

Sommario

ACCORDO DI COLLABORAZIONE CON ENEA.....	2
POLITECNICO DI MILANO	3
Chiara MOLETTI: Economia circolare nel settore delle costruzioni: recupero e valorizzazione dei materiali di scarto nella produzione di materiali sostenibili.....	3
Giselle DE ARAUJO LIMA E SOUZA: organizzazione strutturale e proprietà di trasporto di elettroliti polimerici basati su liquidi ionici protici per batterie a ioni di litio e di sodio.....	5
Federica Carla CAROLLO: Circolarità nella filiera della gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione....	8
UNIVERSITA DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA	10
Luca Mastella: ingegneria di processo e metabolica per la produzione di vitamina B9 nei lieviti come esempio di simbiosi industriale ed economia circolare.....	10
Chaudary Rajat: Tecnologia di manifattura additiva basata su Digital Light Processing (DLP)	11
Stefano Fiorini: Definizione di tecniche di memorizzazione, accesso e presentazione dei dati riguardanti la mobilità in aree urbane utilizzando distributed ledger technologies.....	12
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA	13
Anna Gobetti: tecnologie e relazioni di filiera per un nuovo ecosistema industriale: l'applicazione della simbiosi industriale nel settore dei metalli.....	13
Eric Mehner: Sostenibilità e uso efficiente delle risorse nell'ottica di economia circolare per il settore agro-industriale lombardo – La necessità di valorizzare i sottoprodotti.....	17
Alan Piemonti: Valorizzazione di rifiuti industriali, con particolare riferimento alle scorie di fonderia e acciaieria, come nuovi materiali per l'edilizia.....	19
Maddaloni Marina: Agricoltura smart per la sostenibilità del sistema agro-alimentare.....	21
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PAVIA	22
Luca Preti: Sensing cattura e smaltimento di nanoparticolato.....	22
Diego Locatelli: Integrazione di veicoli elettrici in smart grids”	23
UNIVERSITA DEGLI STUDI DI BERGAMO	25
Carugo Francesco: Sviluppo di materiali innovativi da produrre con tecnologie additive	25
Mubashir Ali: Sviluppo di soluzioni basate sul paradigma dei microservizi per il mondo Big data e loro utilizzo per smart cities.....	26
Beatrice Colombo: Sviluppo di architetture tessili innovative a base di fibre di carbonio di riciclo per il settore dei materiali compositi.....	27
Mattia Carminati: Sviluppo di polveri innovative, anche da scarti e/o materiali da riciclo, da impiegare nella realizzazione di componenti mediante tecnologie additive	29
Asad Hussein: Sviluppo di architetture basate su sensori per la raccolta efficiente di misure.....	30

ACCORDO DI COLLABORAZIONE CON ENEA

Premessa

Nell'accordo di collaborazione tra Regione Lombardia ed ENEA, sottoscritto nel 2018 (DGR n. 7792/2018) Regione Lombardia, ENEA e le università aderenti, hanno collaborato, nell'ambito delle rispettive finalità istituzionali al rafforzamento del sistema scientifico e produttivo regionale.

Regione Lombardia, a seguito dell'avviso di manifestazione d'interesse (1405 del 6/2/2019), rivolto alle Università statali pubbliche, ha finanziato (per un importo di euro 919.957,26) n. 19 dottorati di ricerca allo scopo di valorizzare il capitale umano e promuovere l'alta formazione e la crescita tecnico-professionale dei ricercatori. ENEA ha contribuito attraverso la costruzione di tre nuovi laboratori di ricerca in Lombardia (per un importo di euro 2.050,000,00) incentivando ricadute dirette sul territorio e sul sistema produttivo della ricerca e dell'innovazione.

I dottorati di ricerca finanziati nell'ambito dell'accordo sono stati attivati nel 2019 e hanno svolto parte della loro attività presso i tre nuovi laboratori Enea presenti in Lombardia oggetto dell'Accordo di collaborazione:

- laboratorio sulle "tecnologie della sostenibilità" Brescia
- laboratorio su "materiali e processi industriali sostenibili 4.0" presso kilometro Rosso Bergamo
- laboratorio sulle "tecnologie per le smart cities" presso kilometro Rosso Bergamo

Alcuni dottorati si sono conclusi a fine 2022 come previsto dall'Accordo, altri nei primi mesi del 2023 prorogati in base alle disposizioni ministeriali e ai regolamenti di Ateneo, per sopperire alle difficoltà nelle attività di ricerca dovute alle misure di contenimento da Covid 19.

Ai sensi art. 7 dell'Accordo "Modalità di diffusione e di pubblicizzazione delle attività realizzate" sono previste attività di disseminazione dei risultati da parte di Regione Lombardia sulla piattaforma Open Innovation. In questo documento per ciascuno dei dottorati finanziati di ciascuna università aderente si riportano:

- l'abstract della tesi di dottorato
- le pubblicazioni inerenti all'attività scientifica
- i convegni/congressi di presentazione dei risultati scientifici

Dottorati finanziati dall'accordo:

- Chiara Moletti, Ingegneria dei Materiali
- Giselle De Araujo Lima e Souza, Chimica Industriale e Ingegneria Chimica
- Federica Carla Carollo, Ingegneria Ambientale e delle Infrastrutture

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.

Pubblicazioni:

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".

Abstract:

L'uso di dispositivi per l'accumulo di energia è in crescita esponenziale, soprattutto per i dispositivi mobili e il settore del trasporto; quindi, lo sviluppo di sistemi ottimizzati è la chiave per il successo della transizione verso fonti di energia rinnovabili. Al giorno d'oggi, le batterie agli ioni di litio (LIB) sono la tecnologia di elezione per la maggior parte delle applicazioni elettrochimiche grazie alla loro elevata energia specifica, all'elevata efficienza e alla lunga durata del ciclo di vita. Tuttavia, la sicurezza è ancora un problema e alcuni componenti dell'elettrolita devono essere migliorati.

Recentemente, i liquidi ionici protici (PIL) sono emersi come sostanze di potenziale interesse come elettroliti nelle LIB. Quando si sostituiscono i solventi organici infiammabili e volatili con i PIL, ci si aspetta un miglioramento della sicurezza e delle prestazioni dei dispositivi elettrochimici. Per l'effettiva implementazione dei PIL come componenti elettrolitici occorre ancora comprendere i fattori chiave che regolano le loro proprietà fisico-chimiche e di trasporto.

A tal fine, questo lavoro di dottorato indaga in profondità gli effetti delle caratteristiche strutturali e delle interazioni intermolecolari sulle proprietà di PIL promettenti e basati sul catione 1,8-diazabicyclo-[5,4,0]-undec-7-ene (DBUH⁺) e sugli anioni (trifluorometansulfonil-nonafluorobutilsulfonil)immide (IM14⁻), trifluorometansolfonato (TFO⁻) e bis(trifluorometansulfonil)immide (TFSI⁻). In questo contesto, una caratterizzazione completa dei PIL utilizzando metodi NMR multinucleari e diverse analisi fisico-chimiche ha fornito una comprensione completa delle caratteristiche che regolano le proprietà dei PIL selezionati. I risultati iniziali hanno svelato il peculiare comportamento di DBUH-IM14 in termini di proprietà macroscopiche, che possono essere correlate alle caratteristiche strutturali dell'anione IM14⁻, come la presenza di una catena perfluorurata C4, l'asimmetria della distribuzione degli atomi di F attorno al gruppo sulfonilimmidico, in termini di proprietà macroscopiche, che possono essere correlate alle caratteristiche strutturali di IM14⁻ anione, come la presenza di una catena perfluorurata C4, la distribuzione asimmetrica degli atomi di F sul lato del gruppo funzionale sulfonilimide, l'ingombro sterico, la capacità di stabilire domini fluorurati nel liquido, ecc.

Tuttavia, per promuovere l'applicazione dei PIL come elettroliti è cruciale raggiungere una comprensione approfondita del ruolo svolto dagli ioni nel liquido per modulare le proprietà di trasporto. A questo proposito, sia i PIL puri, sia gli stessi addizionati di sali di litio contenenti lo stesso anione (es. DBUH-IM14, DBUH-TFSI e DBUH-TFO addizionati di LiIM14, LiTFS e LiTFO, nell'ordine) sono stati studiati mediante misure di conducibilità, e di diffusione e rilassamento via NMR. Queste tecniche hanno permesso di ottenere un'ampia panoramica della dinamica di questi sistemi. Di conseguenza, la presenza di Li⁺ ha mostrato un effetto particolare sul comportamento dinamico di DBUH-IM14. Dal punto di vista molecolare, gli elettroliti DBUH-IM14 meritano dunque ulteriori indagini.

È noto che gli elettroliti polimerici possono migliorare ulteriormente gli aspetti legati alla sicurezza delle LIB. Inoltre, gli elettroliti polimerici sono materiali modellabili e possono migliorare i problemi di progettazione volumetrica associati agli elettroliti liquidi. Quindi, per espandere l'applicazione dei PIL come componenti elettrolitici innovativi, i PIL selezionati sono stati confinati in una matrice polimerica utilizzando polimetilmetacrilato (PMMA) come scaffold polimerico. Attraverso l'analisi termica e la spettroscopia NMR allo stato solido, questo lavoro potrebbe sondare le caratteristiche strutturali e le interazioni a livello molecolare tra gli ioni e il PMMA.

L'approccio multidisciplinare ha mostrato che: i) anche quando è incapsulato nella matrice polimerica, il PIL mantiene una certa mobilità interna e ii) DBUH-IM14 ha un'interazione più forte con la matrice polimerica rispetto a DBUH-TFSI e DBUH-TFO.

Il comportamento scarsamente prevedibile del sistema polimerico DBUH-IM14 ha stimolato l'ulteriore studio delle proprietà di trasporto degli elettroliti polimerici a base di DBUH-IM14. A tal proposito, l'effetto del confinamento dei PIL sulle loro proprietà di trasporto è stato studiato mediante pulsed field gradient NMR (PFG-NMR) e fast field cycling NMR (FFC-NMR).

Quando il liquido ionico protico è miscelato con PMMA si osserva un marcato rallentamento della dinamica complessiva. Nel caso dell'elettrolita polimerico, si è osservato che lo ione Li^+ ha un effetto minore sulla dinamica dello ione DBUH^+ , mentre la dinamica rotazionale e traslazionale dell'anione IM14^- si è dimostrata abbastanza sensibile alla presenza di ioni Li^+ . Un modello descrittivo per spiegare completamente le proprietà di trasporto e i profili di rilassamento di questi sistemi è attualmente in fase di sviluppo.

Da tutti i risultati di questo lavoro di dottorato, posso certamente affermare che gli elettroliti basati su DBUH-IM14 sono di interesse per l'applicazione in LIB e le caratteristiche strutturali e la natura delle interazioni intermolecolari nell'anione IM14^- giocano un ruolo cruciale nelle loro proprietà molecolari e macroscopiche.

Pubblicazioni:

- G. de Araujo Lima e Souza, M.E. Di Pietro, V. Vanoli, W. Panzeri, F. Briatico-Vangosa F. Castiglione, A. Mele. Hydrophobic eutectogels: a new outfit for non-ionic eutectic solvents *Materials Today Chemistry* 2023, 29, 101402 (7 pages) ISSN: 2468-5194 DOI: 10.1016/j.mtchem.2023.101402
- Giselle de Araujo Lima e Souza, Maria Enrica Di Pietro, Franca Castiglione, Valeria Vanoli, Andrea Mele Insights into the Effect of Lithium Doping on the Deep Eutectic Solvent Choline Chloride: Urea *Materials*, 2022, 15, 7459 (12 pages) ISSN: 1996-1944.
- Giselle de Araujo Lima e Souza, Maria Enrica Di Pietro, Franca Castiglione, Pedro Henrique Marques Mezencio, Patricia Fazio Martins Martinez, Alessandro Mariani, Hanno Maria Schütz, Stefano Passerini, Maleen Middendorf, Monika Schönhoff, Alessandro Triolo, Giovanni Battista Appetecchi, Andrea Mele "Implications of Anion Structure on Physicochemical Properties of DBU-Based Protic Ionic Liquids" *J. Phys. Chem. B* **2022**, 126, 7006-7014 ISSN: 1520-5207 DOI: 10.1021/acs.jpcc.2c02789
- Maria Enrica Di Pietro, Kateryna Goloviznina, Adriaan van den Bruinhorst, Giselle de Araujo Lima e Souza, Margarida Costa Gomes, Agilio A. H. Padua, Andrea Mele "Lithium Salt Effects on the Liquid Structure of Choline Chloride-Urea Deep Eutectic Solvent" *ACS Sustainable Chem. Eng.* **2022**, 10, 11835-11845. ISSN: 2168-0485 DOI: 10.1021/acssuschemeng.2c02460

Congressi/Convegni:

- 02/10/2022-07/10/2022: 17th International Symposium on Polymer Electrolytes (ISPE-17) - Giselle de Araujo Lima e Souza, Carla Cecilia Fraenza, Maria Enrica Di Pietro, Giovanni Battista Appetecchi, Andrea Mele, Steven Greenbaum. *Insights on the Transport Properties of DBUH-IM14-Based Electrolytes* - Oral presentation
- 27/09/2022-30/09/2022: Italian-French International Conference on Magnetic Resonance - Giselle de Araujo Lima e Souza, Maria Enrica di Pietro, Franca Castiglione, Alessandro Triolo, Giovanni Battista Appetecchi, Andrea Mele. *NMR Studies on Transport Properties of Protic Ionic Liquids-Based Electrolytes* - Poster presentation
- 05/06/2022-10/06/2022: 28th EUCHEM Conference on Molten Salts and Ionic Liquids (EUCHEMSIL) - Giselle de Araujo Lima e Souza, Maria Enrica di Pietro, Franca Castiglione, Giovanni Battista Appetecchi, Andrea Mele. *Structural and Molecular Insights of Protic Ionic Liquids and Polymer Systems* - Poster presentation
- 15/03/2022-16/03/2022: Webinar of the European Society of Ionic Matter (ESIM) - Giselle de Araujo Lima e Souza, Maria Enrica di Pietro, Franca Castiglione, Giovanni Battista Appetecchi, Andrea Mele. *NMR Investigations on Protic Ionic Liquids for Electrolytes Applications* - Oral presentation
- 22/11/2021-26/11/2021: 6th International Conference on Ionic Liquid-Based Materials (ILMAT VI) - Giselle de Araujo Lima e Souza, Maleen Middendorf, Maria Enrica Di Pietro, Giovanni Battista Appetecchi, Andrea Mele, Monika Schönhoff. *Evidencing the Transport Properties of DBUH-IM14*-Poster Presentation
- 17/11/2021: 18th NMRUsers Meeting of the Brazilian Association of Magnetic Resonance Users (AUREMN) *Inside the Features of Protic Ionic Liquids Using NMR*-PLENARY LECTURE

- 27/09/2021-01/10/2021: 42nd FGMR Annual Discussion Meeting of the German Chemical Society, Division of Magnetic Resonance Spectroscopy-Giselle de Araujo Lima e Souza, Maleen Middendorf, Maria Enrica Di Pietro, Giovanni Battista Appetecchi, Andrea Mele, Monika Schönhoff. *Inside the Transport Properties of Protic Ionic Liquids Using NMR*-Poster presentation
- 08/09/2021-10/09/2021: XLIX GIDRM National Congress on Magnetic Resonance-Giselle de Araujo Lima e Souza, Maria Enrica di Pietro, Patricia Fazio Martins Martinez, Giovanni Battista Appetecchi, Andrea Mele. *NMR: A Powerful Tool to Characterize Protic Ionic Liquids*-Poster Presentation
- 06/09/2021-08/09/2021: XII Congresso Nazionale Associazione Italiana Chimica per l'Ingegneria (AICing)-Giselle de Araujo Lima e Souza, Maria Enrica di Pietro, Patricia Fazio Martins Martinez, Giovanni Battista Appetecchi, Andrea Mele. *Thermal Properties of two DBU-Based Protic Ionic Liquids*-Poster presentation
- 23/05/2021-26/05/2021: 15th International Conference on Chemical and Process Engineering (ICHEAP15)-Giselle de Araujo Lima e Souza, Maria Enrica Di Pietro, Giovanni Battista Appetecchi, Andrea Mele. *Molecular Features and Transport Properties of DBU Based Protic Ionic Liquids*-Poster presentation

Awards:

- Aicng – Associazione Italiana Chimica per l'Ingegneria. Best PhD Thesis Award. Milano, June 28, 2023.

Abstract

Il progetto di dottorato nasce da un accordo di collaborazione tra Regione Lombardia, ENEA e Politecnico di Milano. I risultati forniscono uno studio completo sugli impatti economici e ambientali dell'intera filiera di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) in Lombardia. L'obiettivo è stato raggiunto implementando la metodologia del Full-Environmental Life Cycle Costing (feLCC), che allinea la metodologia del Life Cycle Costing (eLCC) a quella del Life Cycle Assessment (LCA) attraverso la monetizzazione degli impatti ambientali. Sulla base dei risultati ottenuti, è stato possibile proporre un set di incentivi a favore delle piccole e medie imprese (PMI) per l'esecuzione di opere di demolizione privata così da rilanciare la filiera, attualmente bloccata, e favorirne la circolarità. I rifiuti C&D rappresentano il 45,5% della produzione totale di rifiuti speciali in Italia. Tuttavia, sebbene il tasso di recupero si attesti al 78,1% (ISPRA 2021), sono numerose le barriere normative, economiche, tecniche e culturali che impediscono l'uso diffuso degli aggregati riciclati (AR) prodotti dalle attività di riciclaggio dei rifiuti C&D. La presenza di impurità negli AR e la difficoltà nel garantirne una produzione costante ne precludono l'impiego nel calcestruzzo strutturale. Per produrre AR di alta qualità, bisogna che i rifiuti in ingresso in impianto di trattamento siano il più omogenei possibile e, per tale motivo, i materiali necessitano una corretta cernita già in fase di demolizione, una pratica attualmente poco diffusa in Italia e motivo per il quale andrebbe incoraggiata la demolizione selettiva. La prima fase di ricerca, mirata all'applicazione dell'eLCC, è stata eseguita con lo scopo di indagare i costi sostenuti relativi a tutte le fasi di gestione dei rifiuti inerti provenienti dalle attività di demolizione, dalla loro generazione, alla fase di trattamento in un impianto di riciclo, fino al ricollocamento sul mercato come AR. L'inventario, implementato per ogni singolo processo, è stato costruito sulla base di 9 casi studio reali (7 casi di demolizione selettiva e 2 di riciclo inerti da C&D) ottenuti tramite l'invio di questionari alle imprese di demolizione e agli impianti di riciclo. Sotto gli stessi confini del sistema è stato successivamente condotto lo studio di LCA. Il Life Cycle Inventory è stato sviluppato utilizzando i dati relativi al consumo di gasolio, acqua ed energia, la tipologia e le quantità di rifiuti in uscita dal sito di demolizione per il riciclaggio/discarda e/o il riutilizzo in situ e le distanze di trasporto per il conferimento. Il modello è stato sviluppato sul software SimaPro 9.3 e sono state analizzate 16 categorie di impatto con il metodo di caratterizzazione Environmental Footprint 3.0. L'unione tra eLCC e LCA è avvenuta attraverso il processo di monetizzazione degli impatti ambientali. Sono stati selezionati quattro diversi metodi di monetizzazione secondo i quali sono stati calcolati gli impatti monetizzati moltiplicando l'indicatore di impatto ambientale per il fattore di monetizzazione riportato nel metodo di riferimento. L'feLCC è stato infine ottenuto incrementando il valore finale dell'eLCC con l'impatto monetizzato. A valle dei risultati ottenuti sono stati definiti i meccanismi di incentivazione per favorire la demolizione selettiva e l'utilizzo degli aggregati riciclati. Sono state individuate le voci di costo sulle quali è possibile applicare uno sconto sul costo sostenuto dalle imprese di demolizione e dagli impianti di riciclo e i destinatari di tali incentivi (le PMI per l'esecuzione di lavori privati). È stata infine eseguita un'analisi di fattibilità sull'applicazione degli incentivi sopra descritti applicandoli a casi studio reali e ipotizzando di stanziare fondi regionali funzionali allo scopo. In conclusione, sebbene siano state affrontate molte sfide nella raccolta dei dati, il feLCC si è rivelato uno strumento utile all'identificazione delle criticità di una catena del valore come quella dei rifiuti C&D. Utilizzando i dati disponibili, è stato possibile valutare tutti i costi interni ed esterni della catena di gestione e, di conseguenza, sviluppare alcune proposte per stimolare il mercato degli AR. Sono state formulate raccomandazioni per gli operatori del settore su come gestire al meglio la demolizione selettiva e quali sono i flussi di rifiuti separabili che portano maggiori benefici sia in termini economici che ambientali. È stato infine definito un insieme di incentivi utilizzabili direttamente dalle pubbliche amministrazioni a favore delle PMI nella realizzazione di opere private.

Pubblicazioni:

- Carollo F., Ceruti F., Rigamonti L. (2021). *“Life cycle costing of construction and demolition waste management chain”*. Sidisa2021 - XI International symposium on environmental engineering, Torino, 29 June – 2 July 2021. N. 55, pp. 1-6.
- Carollo F., Ceruti F., Rigamonti L. (2021). *“LCC analysis of construction and demolition waste management chain”*. 7th International Conference on Industrial & Hazardous Waste Management – Crete2021, 27-30 July 2021, Chania (Crete – Greece). ISSN: 2241-3146. Pp. 1-6.
- Carollo F., Ceruti F., Rigamonti L., 2022. *“Life cycle costing della catena di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione”*. Atti del X Convegno dell’Associazione Rete Italiana LCA: Innovazione e circolarità - il contributo del Life Cycle Thinking nel Green Deal per la neutralità climatica, pubblicato da Associazione Rete Italiana LCA, ISBN: 9791221004564, pp. 146-153 (convegno 22-24/9/2021 Reggio Calabria).
- Carollo F., Ceruti F., Rigamonti L., 2022. *“Economic evaluation of the construction and demolition waste management chain through the life cycle costing methodology”*. Proceedings SUM2022 6th symposium on circulareconomy and urbanmining (Capri,18-20 May 2022).Cisapublisher. Number 1792,Pp. 1-7. ISBN: 9788862650274.
- Carollo F., Ceruti F., Scalbi S., Rigamonti L., 2021.*“Il Life Cycle Costing della catena di gestione dei rifiuti da costruzione edemolizione”*.Deliverable per il progetto ARCADIA di ENEA.

Convegni

- “Life Cycle Costing approach for construction and demolition waste management chain: methodology of data collection and organization” during “SUM 2020 / 5th symposium on urban mining and circular economy”, 18-20 November 2020 – online event
- “Sistemi e opportunità del processo di demolizione selettiva - Eco-progettazione e modelli di business circolari e collaborativi - Edilizia” within the cycle “Lombardia Circolare” - Camera di Commercio di Milano Monza-Brianza Lodi (online) - 16 December 2020
- “Analisi LCC della catena di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione” during “Giornata di studio Rifiuti e Life Cycle Thinking 5° edizione” – 9 March 2021 – Online event
- “Economic evaluation of circular schemes for managing Construction and Demolition waste” during “EM4SS’21 Conference - Engineered Materials for Sustainable Structures”, 26 - 28 April 2021 - online event
- “Progetto Arcadia: l’applicazione LCC alle PA e la Banca dati Italiana LCA” in collaboration with ENEA during “Forum PA” 24 June 2021 – online event
- “Construction and demolition waste management from the perspective of circular economy”, during “SIDISA 2021 – XI international symposium on environmental engineering” 29 June/2 July 202 – Torino
- “LCC analysis of construction and demolition waste management chain”, during “CRETE 2021 – 7th International Conference on Industrial & Hazardous Waste Management”, 27-30 July 2021 – online event
- “Life Cycle Costing della catena di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione” during “X Convegno Dell’associazione Rete Italiana LCA”, 22-24 September 2021 – Reggio Calabria
- “Economic evaluation of the construction and demolition waste management chain through the Life Cycle Costing methodology” during “SUM2022 – Sixth symposium on circular economy and urban mining”, 18-20 May 2022 – Capri
- “Full Environmental Life Cycle Costing della catena di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione” during “Approccio Life Cycle Thinking: sviluppi metodologici e strumenti” Webinar organised by Gruppo DIRE – Associazione Rete Italiana LCA, 14 July 2022 – Online
- “I principi di economia circolare applicati agli edifici” during “Edifici sostenibili: riduzione dei consumi ed economia circolare”, 12 October 2022 – Milano
- “Analisi LCC della catena di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione” during “Valorizzazione dei rifiuti da costruzione e demolizione e buone pratiche di economia circolare”, 14 October 2022 - Milano
- “Circularity in the construction and demoliton waste management chain” during “Dottorati di ricerca e opportunità di finanziamento: collaborazione tra università, ENEA e Aziende”, Brescia, 17/11/2022, organised by ENEA and Università degli Studi di Brescia in collaboration with Regione Lombardia and CSMT.

Dottorati finanziati dall'accordo:

- Luca Mastella, Tecnologie convergenti per i sistemi biomolecolari
- Chaudary Rajat, Scienza dei materiali
- Stefano Fiorini, informatica

Luca Mastella: ingegneria di processo e metabolica per la produzione di vitamina B9 nei lieviti come esempio di simbiosi industriale ed economia circolare

Abstract

La lignocellulosa è il principale componente strutturale delle piante legnose e non, e rappresenta una delle principali fonti potenziali di materia organica rinnovabile. La lignocellulosa è composta principalmente da due polimeri di carboidrati, cellulosa ed emicellulosa e dalla lignina (un polimero aromatico). Questi polimeri complessi da un lato costituiscono spesso una biomassa residua della filiera agroalimentare, ma allo stesso tempo contengono differenti monomeri zuccherini e precursori fenolici, aventi un enorme valore biotecnologico, poiché potenzialmente possono essere convertiti in differenti prodotti ad elevato valore aggiunto. In uno scenario in cui la popolazione mondiale è in aumento insieme alla generazione di rifiuti ed inquinamento a scapito delle risorse del pianeta e del benessere umano, questo progetto mira a proporre un esempio di bioeconomia circolare e simbiosi industriale. Più in dettaglio, il progetto parte dalla valutazione quali-quantitativa delle biomasse agricole residue fino alla valorizzazione di un sottoinsieme di interesse per il nostro territorio in folati, sfruttando i lieviti come cell factory microbiche. Il folato (Vitamina B9) è una vitamina B idrosolubile con ruoli importanti nella sintesi, riparazione e metilazione degli acidi nucleici, prodotta solo dalle piante verdi e da alcuni microrganismi: per questi motivi rappresenta una componente nutritiva essenziale per l'uomo. La vitamina B9 disponibile in commercio è sintetizzata chimicamente come acido folico, non ottimale in termini di bioattività per l'uomo; la produzione di folati naturali mediante fermentazione microbica sta quindi diventando un'alternativa sostenibile e desiderabile per l'integrazione umana. Nel corso del progetto è stata acquisita ed applicata la metodologia ENEA per l'analisi dei flussi di risorse e per la creazione di possibili sinergie tra le varie aziende presenti nella regione Lombardia. Grazie a questo lavoro è stato possibile identificare le principali biomasse di scarto prodotte nell'area nel settore agroalimentare e le vinacce non fermentate sono state quindi selezionate per ulteriori studi in laboratorio, e confrontate con biomasse residue precedentemente utilizzate, derivanti dal processo di produzione dello zucchero. Il lievito non convenzionale *Scheffersomyces stipitis* è stato sfruttato come ospite naturale per la produzione di vitamina B9, per la prima volta in questo lavoro. La crescita è stata ottimizzata e la produzione di folati è stata valutata prima in beuta e successivamente in bioreattore in terreni formulati che imitano gli idrolizzati di lignocellulosa. La produzione massima di folati è stata di $3,7 \pm 0,07$ mg/L, che ad oggi è la più alta riportata se si considerano i microrganismi di tipo selvatico. Inoltre, è stata valutata la produzione di folati in beuta a partire da tre diverse biomasse residue: melassa di barbabietola da zucchero (SBM), polpa di barbabietola da zucchero (SBP) e vinacce non fermentate (UGM). *S.stipitis* è stato in grado di metabolizzare queste biomasse, raggiungendo titoli di folati rispettivamente di $188,2 \pm 24,86$ µg/L, $130,6 \pm 1,34$ µg/L e $101,9 \pm 6,62$ µg/L. Parallelamente, il lievito *Saccharomyces cerevisiae*, suscettibile di manipolazione genetica, è stato ingegnerizzato nel percorso anabolico della produzione di folati per acquisire nuove conoscenze sui possibili bersagli per sbloccare i precursori che ne limitano la produzione. Otto geni diversi sono stati manipolati per la prima volta nello stesso background genetico sfruttando diverse strategie ingegneristiche. Questo è stato fondamentale per testare il miglior ceppo nel bioreattore e per portare la produzione e la produttività di folati rispettivamente a $620,0 \pm 12,30$ µg/L e $41,33$ µgfol/Lh, tra i più alti in letteratura. Nel complesso, questi risultati forniscono una solida evidenza di possibili processi di upcycling a base microbica di biomasse lignocellulosiche.

Publicazioni

- “Starting from residual biomasses in the logic of biorefineries and circular bioeconomy” Pubblicazione paper in *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*: Mastella, Luca, et al.
- "First report on Vitamin B9 production including quantitative analysis of its vitamers in the yeast *Scheffersomyces stipitis*." *Biotechnology for biofuels and bioproducts* 15.1 (2022): 1-13.

Convegni

- Intervento orale al convegno SUN - 4/11/2020 " Il ruolo della simbiosi industriale per la prevenzione della produzione dei rifiuti: a che punto siamo?"
- Poster presentation al congresso ASBE V (Applied Synthetic Biology in Europe): Characterization of folate production in engineered yeasts.
- Flash poster presentation and Poster session al PhD meeting 2020: Development of a biobased microbial process for Vitamin B9 production. 1° premio come miglior poster.
- presentazione orale al Journal Club Bicocca: Engineering a riboswitch-based genetic platform for the self-direct evolution of acid-tolerant phenotypes
- Poster session al BtBs Day 2019: Sustainable Production of Folate by Microbial Metabolic Engineering
- Flash poster presentation e poster session al congresso EFB2021: Assessment of folates produced by wild type and engineered *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells
- Presentazione orale al congresso ICY15: The flexibility of *Scheffersomyces stipitis* to valorize residual biomasses for Vitamin B9 production
- Poster presentation al BtBs day 2021: Development of a sustainable bioprocess to produce Vitamin B9
- Presentazione orale al PhD meeting 2021: Development of a sustainable bioprocess to produce Vitamin B9
- Presentazione orale al Journal Club Bicocca: Development of techniques to detect Vitamin B9
- Presentazione orale alla “1st Yeast4Bio Training school”: Development of a sustainable bioprocess to produce Vitamin B9
- Presentazione orale al PhD meeting 2022: Process and metabolic engineering for the optimization of vitamin B9 production in yeasts

[Chaudary Rajat: Tecnologia di manifattura additiva basata su Digital Light Processing \(DLP\)](#)

Abstract

La “additive manufacturing (AM)” o stampa 3D è un processo, basato su diverse tecnologie, per la progettazione e la fabbricazione di oggetti tridimensionali, un'alternativa alla convenzionale subtractive manufacturing. La AM consente una produzione conveniente soprattutto per geometrie complesse, potenzialmente con impatti ambientali inferiori rispetto ai processi convenzionali, grazie alla flessibilità di progettazione e alla riduzione degli sprechi. Questi vantaggi hanno attirato l'attenzione di diversi settori industriali, per svariate applicazioni. Attualmente, diverse tecnologie AM vengono utilizzate per produrre parti leggere, funzionali e non funzionali. Tra questi, il Digital Light Processing (DLP) è una delle tecnologie più recenti e promettenti per la produzione di parti funzionali e non ad alta definizione. Rispetto alla stereolithography (SLA), che si basa su una sorgente laser per la polimerizzazione voxel per voxel, uno dei principali vantaggi del DLP è l'uso di una sorgente ad alta risoluzione, che polimerizza un intero strato con una proiezione ad ogni passaggio, riducendo così il tempo di stampa complessivo. Sviluppata inizialmente per la produzione di prototipi utilizzando fotopolimeri puri (resine), la tecnologia è stata recentemente testata per stampare sospensioni in ceramica e metallo. Attualmente, la tecnologia viene utilizzata per produrre parti 3D con materiali funzionali, come elastomeri, polimeri conduttivi, polimeri a memoria di forma, biopolimeri e materiali piezoelettrici. Questi materiali fotopolimerizzabili e sostenibili aggiungono

un'altra dimensione alla parte stampata estendendo la stampa 3D alla stampa 4D. In questa tesi vengono evidenziate le novità e le caratteristiche speciali del DLP in contrasto con altre tecnologie AM. Inoltre, vengono affrontati vari aspetti del processo di stampa DLP, tra cui la preparazione del materiale, la comprensione dell'interazione tra materia leggera durante la stampa, le applicazioni e i progressi della tecnologia DLP. Lo studio concentra anche sull'ottimizzazione della stampa per fotopolimeri puri, nonché sospensioni in ceramica e metallo. Viene proposta una semplice metodologia basata su prove preliminari di stampa dei singoli strati, per identificare le proprietà del materiale, inclusa la profondità di penetrazione e l'energia critica. Tali informazioni sono la base per disegnare una mappa di stampa utilizzando lo spessore dello strato e il tempo di esposizione come variabili indipendenti: in quanto tale, viene definito uno spazio di stampa entro il vincolo della stampabilità del materiale, garantendo così una polimerizzazione ottimale durante la stampa di oggetti tridimensionali.

Pubblicazioni

- R. Chaudhary, P. Fabbri, E. Leoni, F. Mazzanti, R. Akbari, C. Antonini, Additive manufacturing by digital light processing: a review, Prog. Addit. Manuf. (2022). <https://doi.org/10.1007/s40964-022-00336-0>.
- R. Chaudhary, R. Akbari, C. Antonini, Rational design and characterization of materials for optimized additive manufacturing by digital light processing. (Submitted)

Convegni

- Additive Manufacturing by Digital Light Processing (DLP) [University of Pavia, Italy, 17/01/2022]
- Additive Manufacturing of metals by Digital Light Processing (DLP) [Winter School of Metallurgy, Amirkabir University, Iran, 15/03/2022]

Conference presentation:

- Characterization of Pure Photopolymers and Suspensions for Digital Light Processing (DLP) [International Conference on Additive Manufacturing - AM CoE 2022, Orlando, USA, 31/10/2022]

[Stefano Fiorini: Definizione di tecniche di memorizzazione, accesso e presentazione dei dati riguardanti la mobilità in aree urbane utilizzando distributed ledger technologies](#)

Abstract

Le città sono in continua evoluzione a causa dei cambiamenti e delle interazioni con i loro cittadini. Sono sistemi complessi composti da individui, veicoli e infrastrutture che costituiscono il cuore della vita moderna e dello sviluppo sociale. Un fattore chiave che guida questa crescita è l'avanzamento della mobilità verso uno scenario più intelligente e tecnologico, noto anche come Smart Mobility. Questo concetto implica il passaggio da un sistema di trasporto tradizionale a uno più innovativo, in cui un tessuto infrastrutturale intelligente collega le parti interessate e le entità per fornire soluzioni efficienti e sostenibili. I ricercatori in questo campo pongono una forte enfasi sulla comprensione e sull'identificazione dei modelli di spostamento degli individui, al fine di migliorare i servizi e, più in generale, la vivibilità delle città. L'avvento della Data Science ha rivelato l'importanza dello sviluppo e dell'applicazione di tecniche di Intelligenza Artificiale nella creazione di sistemi urbani automatizzati e intelligenti. Sebbene l'IA sia sempre più utilizzata nella Smart Mobility, ci sono ancora molte sfide da affrontare. Per questo motivo, in questa tesi, l'IA e la Scienza dei Trasporti vengono combinate per risolvere problemi di mobilità attraverso l'estrazione di informazioni dai dati di mobilità e lo sviluppo di algoritmi sofisticati. Tramite un'ampia sperimentazione, dimostriamo che le soluzioni proposte migliorano effettivamente la comprensione e l'applicazione dell'intelligenza artificiale ai problemi di mobilità. In particolare, ci concentriamo inizialmente sull'elaborazione dei dati e sull'estrazione della conoscenza da essi.

Per spiegare l'adozione di veicoli per la mobilità condivisa, proponiamo l'uso di caratteristiche geografiche (distanza dal centro, walkability, concentrazione di punti di interesse) edemografiche (indice di istruzione). Inoltre, presentiamo un algoritmo di ottimizzazione multi-obiettivo per identificare le comunità in base al loro comportamento, tenendo conto dei modelli di utilizzo della mobilità condivisa, della distanza tra le aree e delle informazioni strutturali (tramite Map Embeddings). Esploriamo anche la definizione teorica e architetturale delle tecniche di Deep Learning per la risoluzione di problemi di mobilità del mondo reale. Proponiamo due architetture di Deep Learning, 3D-CLoST e STREED-Net, che utilizzano soluzioni innovative per estrarre meglio le relazioni spazio-temporali presenti nei dati di mobilità. Queste soluzioni ci permettono di migliorare lo stato dell'arte nella risoluzione del problema di previsione dei flussi a breve termine. Inoltre, per estendere l'applicabilità delle reti convoluzionali spettrali a grafo a problemi di mobilità definiti mediante grafi diretti ponderati, introduciamo SigMaNet, che è in grado di gestire sia grafi non diretti che diretti con pesi di qualsiasi segno o grandezza. La peculiarità di SigMaNet è la nuova matrice Sign-Magnetic Laplacian. Infine, ci occupiamo della previsione dei parcheggi su strada valutando le prestazioni di vari metodi, tra cui modelli statistici, reti convoluzionali a grafo e reti neurali convoluzionali, su due indicatori, il tempo medio in sosta e il numero di veicoli parcheggiati contemporaneamente.

Pubblicazioni

- S. Fiorini, M. Ciavotta, A. Maurino. Listening to the city, attentively: A Spatio- Temporal Attention Boosted Autoencoder for the Short-Term Flow Prediction Problem. Submitted to Information Sciences Journal
- S. Fiorini, M. Ciavotta, S. Joglekar, S. Scepanovic, D. Quercia. On the adoption of e-moped sharing systems. Submitted to EPJ Data Science Journal

Convegni

- S. Fiorini, G. Pilotti, M. Ciavotta, A. Maurino. Urban Mobility Prediction: CNNLSTM at rescue. Accepted at 6th Italian Conference on ICT for Smart Cities and Communities
- S. Fiorini, G. Pilotti, M. Ciavotta, A. Maurino. 3D-CLoST: A CNN-LSTM Approach for Mobility Dynamics Prediction in Smart Cities. Accepted at IEEE Big Data Workshop on Data Science for Smart and Connected Communities (IEEE BigData 2020)
- E. Kurian², S. Varghese², S. Fiorini². Towards an innovative model in Wearable Expert System for Skiing. Accepted at MTSR 2020 Conference
- S. Fiorini, M. Ciavotta, A. Maurino. A Multi-Criteria Algorithm for Automatic Detection of City Communities. Accepted by IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (IEEE ITSC 2021)
- L. Tolomei, S. Fiorini, A. Ciociola, D. Giordano, L. Vassio, M. Mellia. Benefits of Relocation on E-Scooter Sharing - a Data-Informed Approach. Accepted by IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (IEEE ITSC 2021)

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA

- Anna Gobetti, Ingegneria Meccanica e Industriale
- Eric Mehner, Ingegneria Civile, Ambientale della Cooperazione Internazionale e di Matematica,
- Alan Piemonti Ingegneria Civile, Ambientale della Cooperazione Internazionale e di Matematica,
- Marina Maddaloni Ingegneria Meccanica e Industriale

[Anna Gobetti: tecnologie e relazioni di filiera per un nuovo ecosistema industriale: l'applicazione della simbiosi industriale nel settore dei metalli](#)

Abstract

Negli ultimi anni l'attenzione globale si è sempre più focalizzata verso uno sviluppo sostenibile spostandosi maggiormente verso un modello di economia circolare. Spesso questo concetto viene associato alla gestione e alla valorizzazione dei rifiuti, ma esso comprende tutto il ciclo di vita di un prodotto, dalla progettazione al fine vita, con lo scopo idealmente, di generare zero rifiuti. Nella realtà produttiva purtroppo difficilmente questo è realizzabile, perciò prendendo a modello la biosfera, la simbiosi industriale è una branca dell'ecologia industriale che coinvolge industrie tradizionalmente dissimili in un approccio collettivo che implica lo scambio fisico di materiali, energia, acqua e sottoprodotti per ottenere vantaggi economici oltre che ambientali. Le chiavi della simbiosi industriale sono la collaborazione e le possibilità sinergiche offerte dalla vicinanza geografica. Esistono diversi modelli di simbiosi industriale, quello proposto in questo progetto è il modello sviluppato dall' ENEA, cosiddetto "a rete" che tramite un'analisi del contesto territoriale e dei settori produttivi individua possibili flussi simbiotici e fa in modo di mettere in contatto tra loro anche aziende del tutto dissimili.

È in tale contesto che questo progetto di dottorato si colloca. Lo scopo del lavoro è stato quello di eseguire una caratterizzazione ingegneristica relativa ad una nuova applicazione della scoria da forno elettrico ad arco, come filler in matrici polimeriche, con particolare focus sulla gomma vulcanizzata; parallelamente è stato eseguito uno studio di questi due settori, tradizionalmente molto lontani tra loro nell'ottica implementare una simbiosi industriale basata appunto sullo scambio della scoria. Questa attività di è stata condotta con il supporto e la guida dell'ENEA.

Il motivo per cui sono stati scelti questi settori è che da una parte l'Italia è il principale produttore europeo di acciaio da forno elettrico, e più del 50% delle grandi imprese italiane di trova in Lombardia; conseguentemente in questo territorio viene prodotta una ingente quantità di scoria. Nonostante la scoria venga già riutilizzata nel settore delle costruzioni come aggregato artificiale, è stato stimato che purtroppo ancora un 30% venga smaltito in discarica (Federacciai, Rapporto Sostenibilità 2021). Per questo motivo è necessario studiare nuove applicazioni per tale materiale. Nel 2015 è stata proposta per la prima volta l'applicazione innovativa della scoria come filler in matrici di polipropilene e resina epossidica (Cornacchia et al., JOM,2015). Nella presente ricerca ci si è focalizzati su matrici elastomeriche data la distribuzione geografica delle imprese operanti nel settore delle guarnizioni: si è stimato che, anche in questo caso, più del 50% delle grandi imprese è situata in Lombardia. Oltre a questa condizione certamente favorevole per l'implementazione di una simbiosi industriale è stato riscontrato un elevato interesse da parte di entrambi i settori, quello dell'acciaio e quello della gomma, a sviluppare lo studio di materiali elastomerici additivati con scoria nera da forno elettrico dati i potenziali vantaggi non solo ambientali ma anche economici che se ne potrebbero trarre.

Il tema della valorizzazione dei rifiuti non è un tema sensibile unicamente per i produttori di acciaio per quanto riguarda la scoria, ma anche per i produttori di articoli in gomma in quanto diversamente dai materiali termoplastici essa non è riprocessabile con il solo apporto del calore a causa dei legami chimici che vengono formati nel processo di vulcanizzazione. La produzione di pezzi in gomma porta con sé una considerevole percentuale di scarto, non dovuto a difettosità ma intrinseco nel processo. Ad oggi esistono dei processi di de-vulcanizzazione ma non sono comunemente attuati principalmente per i costi ancora troppo elevati. A tale proposito, in questo progetto di dottorato gli scarti industriali da articoli tecnici e anche il polverino di pneumatico fuori uso (data la sua grande rilevanza ambientale) sono stati riciclati tramite un processo semplice di calandratura senza l'aggiunta di additivi. L'influenza della scoria come filler è stata valutata anche in questi ultimi.

Il lavoro svolto è strutturato in una prima parte di revisione della letteratura, articolato come segue:

I) Analisi dei concetti di economia circolare, ecologia industriale e simbiosi industriale al fine di definirne caratteristiche e mutue relazioni. Particolare attenzione è stata prestata al concetto di simbiosi industriale in termini di origini, definizione e modelli. Il modello "a rete" proposto dall'ENEA sarà quello adottato nel capitolo dedicato alla simbiosi industriale potenziale basata sul trasferimento della scoria tra il settore dell'acciaio e della gomma in Lombardia.

II) Analisi del settore dell'acciaio, in particolar modo della scoria d'acciaio. È stata riportata una panoramica delle varie tipologie di scorie derivanti dai diversi processi e/o fasi di processo con le relative caratteristiche. In particolar modo ci si è focalizzati sulla scoria nera da forno elettrico ad arco, oggetto di questo studio per cui è stata riportato più nel dettaglio il processo produttivo e le metodologie di caratterizzazione.

Potenzialmente la scoria nera rilascia metalli pesanti pericolosi per l'ambiente e per l'uomo, per questo motivo in letteratura sono riportati metodi che rendano la scoria più stabile da un punto di vista della lisciviazione per un riutilizzo sicuro della stessa.

III) Analisi dei metodi di caratterizzazione delle matrici polimeriche caratterizzate. Dopo una breve panoramica sulla caratterizzazione della resina epossidica (matrice polimerica termoindurente) è stata analizzata più nel dettaglio la matrice elastomerica. La gomma nitrilica utilizzata, NBR (Nitrile-butadiene rubber) è stata descritta in termini di proprietà e applicazioni prima di passare ai processi produttivi di articoli tecnici che comportano lo scarto sopra menzionato. La seconda matrice elastomerica caratterizzata è stato il polverino di pneumatico fuori uso (PFU) riciclato, per cui è stata fatta una revisione della letteratura circa la gestione e i possibili utilizzi.

Infine, un paragrafo è stato dedicato alla caratterizzazione della gomma vulcanizzata in termini di:

- cinetica di vulcanizzazione tramite curva reometrica;
- densità di reticolazione;
- proprietà meccaniche statiche, ovvero la durezza (con focus sulle diverse scale utilizzate nell'industria della gomma), e il comportamento a trazione e a compressione;
- valutazione del comportamento viscoelastico (rilassamento degli sforzi, creep, deformazione permanente ed effetto Mullins);
- comportamento dinamico meccanico al variare di temperatura e frequenza, e ampiezza di deformazione. Le gomme additivate con carbon black presentano un andamento non lineare del modulo conservativo dinamico, che all'aumentare della deformazione imposta cala in modo significativo.
- interazione tra carica e matrice tramite diverse procedure sperimentali sia sulla gomma vulcanizzata che non;
- comportamento tribologico.

Una seconda parte relativa all'attività sperimentale svolta, suddivisa nelle diverse matrici polimeriche caratterizzate:

I) Confronto del comportamento meccanico di una resina epossidica additivata con scoria e con sabbia di fiume al fine di proporre un materiale di scarto come alternativa a un materiale naturale nelle cosiddette malte epossidiche. La scoria utilizzata è stata caratterizzata in termini di composizione chimica e fasi mineralogiche, inoltre è stato valutato il comportamento a lisciviazione della scoria inglobata all'interno della matrice polimerica. Si è evidenziato come la scoria rappresenti una valida alternativa alla sabbia da un punto di vista di performance meccaniche del composito e come la lisciviazione della scoria inglobata venga ridotta al di sotto dei limiti imposti per il riutilizzo sicuro della scoria.

II) Caratterizzazione di una NBR standard additivata con una crescente percentuale di scoria. La scoria utilizzata anche in questo caso è stata caratterizzata in termini di composizione chimica, fasi mineralogiche e comportamento a lisciviazione. Come per la resina epossidica, la lisciviazione degli elementi pesanti è ridotta nel momento in cui la scoria viene inglobata nella gomma (al di sotto delle soglie imposte per lo smaltimento in discarica come inerte). Da un punto di vista del composito, è stata condotta una caratterizzazione a tutto tondo evidenziando un irrigidimento globale che in applicazioni di tenuta può comportare un vantaggio. È stata inoltre valutata l'interazione tra scoria ed NBR, e i risultati sperimentali portano ad affermare che tale interazione esista.

III) Caratterizzazione di sfrido industriale NBR, e influenza della scoria in diverse granulometrie. È stato riscontrato che nonostante lo sfrido riprocessato tramite un processo semplice come la calandratura e il successivo stampaggio a compressione non consenta di creare geometrie complesse le sue proprietà meccaniche si mantengono globalmente buone senza alterazioni nella struttura chimica dovute a ossidazione o degradazione del materiale (spettro ATR-FTIR). Per quanto riguarda la scoria, anche in questo caso è stato evidenziato un irrigidimento e da un punto di vista di interazione carica-matrice sembra che questa aumenti per granulometrie più fini grazie a una maggiore superficie di adesione.

IV) Il carbon black è il filler più utilizzato nell'industria della gomma grazie alla sua spiccata proprietà di rinforzo. Tuttavia, l'impatto ambientale legato alla sua produzione è enorme. Per questo motivo negli ultimi anni si stanno studiando filler alternativi. In questo capitolo la scoria è stata utilizzata in matrice NBR come filler sostitutivo e parzialmente sostitutivo del carbon black al fine poter ridurre anche solo parzialmente

l'utilizzo di questo prodotto inquinante. I risultati sperimentali hanno evidenziato come per alcune proprietà meccaniche la gomma additivata con scoria possa rappresentare una alternativa a gomme standard. Sono state inoltre condotte delle prove di stampaggio a iniezione sulla base di dati di laboratorio che non evidenziavano differenza tra la cinetica di reticolazione della gomma additivata con carbon black e con scoria. Tuttavia, è emersa qualche problematica nella processabilità della gomma additivata scoria, perciò saranno necessarie ulteriori prove di processo.

V) Caratterizzazione di polverino PFU riciclato e additivato con scoria da forno elettrico. Il processo di riciclo tramite calandratura a freddo e senza additivi ha permesso di ottenere un materiale coeso e compatto. La scoria, il cui tasso di lisciviazione di metalli pesanti è ridotto nella matrice PFU, permette variare alcune proprietà come la durezza, la conducibilità termica, e il coefficiente di attrito ampliando lo spettro delle possibili applicazioni del PFU tramite l'aggiunta di un altro materiale di scarto.

VI) Analisi di una simbiosi industriale potenziale tra il settore dell'acciaio e quello della gomma. L'implementazione della simbiosi industriale da un punto di vista normativo prevede che i materiali scambiati non siano classificati come "rifiuti" ma bensì come "sottoprodotti". Per questo motivo è stata analizzata la normativa riguardante i sottoprodotti (con le relative criticità), quella dei rifiuti e all'interno del contesto della scoria anche la recente proposta del tavolo scorie di Regione Lombardia relativa alla cessazione della qualifica di rifiuto. In questo contesto, sono stati individuati possibili percorsi simbiotici tra il settore acciaio e il settore gomma tramite banca dati AIDA e codici ATECO 2007. La Lombardia è risultata essere la regione più densa sia di imprese operanti nei suddetti settori, perciò, la suddivisione è stata approfondita anche a livello provinciale. Questa suddivisione geografica è stata poi affiancata dalla classificazione per tipologia di impresa (micro, piccola, media e grande) in accordo con Raccomandazione dell'Unione Europa n. 2003/361/CE. Sulla base delle informazioni raccolte sono state fatte delle considerazioni anche a livello economico sui potenziali benefici dell'utilizzo della scoria come filler in matrici elastomeriche.

I risultati ottenuti in questi 3 anni di dottorato circa l'applicazione della scoria come filler in matrici polimeriche sono incoraggianti in quanto da una parte la problematica principale del riutilizzo della scoria, ovvero la lisciviazione dei metalli pesanti, può essere superata in questa applicazione, e dall'altra è possibile formulare gomme, riciclate e non, con diverse quantità e dimensioni della scoria come filler in funzione dell'applicazione finale.

Publicazioni

- Stabilized Waste Material Instead of Calcite to Produce Sustainable Composites Anna Gobetti, Annalisa Zacco, Stefania Federici, Laura E. Depero and Elza Bontempi Applied Sciences 2020
- Application of short-term methods to estimate the environmental stress cracking resistance of recycled HDPE Anna Gobetti, Giorgio Ramorino Journal of Polymer research 2020
- EAF Slag as filler in vulcanized rubber Anna Gobetti, Giovanna Cornacchia, Marco La Monica, Massimo Svanera, Giorgio Ramorino Atti di convegno SUN 2021
- Post-consumer tires as a valuable resource: review of different types of material recovery Michele Battista, Anna Gobetti, Silvia Agnelli, Giorgio Ramorino Environmental Technology Reviews 2021
- Innovative reuse of electric arc furnace slag as filler for different polymer matrixes Anna Gobetti, Giovanna Cornacchia, Giorgio Ramorino Minerals MDPI 2021
- Characterization of EAF slag filled epoxy screed composites Anna Gobetti, Alessandro Riboldi, Giovanna Cornacchia, Giorgio Ramorino, Laura E. Depero Sustainable materials and technologies 2021
- Reuse of electric arc furnace slag as filler for Nitrile Butadiene Rubber Anna Gobetti, Giovanna Cornacchia, Giorgio Ramorino JOM 2022
- Effect of static offsets on the nonlinear dynamic mechanical properties of human brain tissue Giorgio Ramorino, Anna Gobetti, Giovanna Cornacchia, Elena Roca Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials 2022
- Analysis of the synergies of industrial symbiosis concerning the steel waste in industrial areas Anna Gobetti, Giovanna Cornacchia, Marco La Monica, Giorgio Ramorino Atti di convegno SUN 2022

- Characterization of recycled Nitrile Butadiene Rubber scraps Anna Gobetti, Claudio Marchesi, Laura Eleonora Depero, Giorgio Ramorino Sustainable materials and technologies Submitted Mechanical Characterization of a new sustainable material:2022

Convegni

- Il contributo ed il potenziale della Simbiosi industriale per la transizione ecologica Ecomondo, Rimini Fiera Poster 27/10/21
- Soluzioni eco innovative per la valorizzazione degli pneumatici fuori uso e dei residui di lavorazione a base gomma Ecomondo, Rimini Fiera Presentazione orale 28/10/21
- International meeting AIM materials and recycling Bergamo Presentazione orale 01/12/21 3rd Online International Conference on Sustainable Technology and Development Online Presentazione orale 11/04/22
- Tecnologie avanzate per la caratterizzazione delle gomme Unibs Presentazione orale 28/06/2022
- XXIV Convegno nazionale AIM- Associazione Italiana Macromolecole Trento Presentazione orale 04-07/09/2022

[Eric Mehner: Sostenibilità e uso efficiente delle risorse nell'ottica di economia circolare per il settore agro-industriale lombardo – La necessità di valorizzare i sottoprodotti](#)

Abstract

Nel contesto delle crescenti pressioni per produrre in modo più sostenibile, in particolare nell'industria agroalimentare, il presente lavoro di tesi ha l'obiettivo di fornire in primo luogo, una panoramica sullo stato attuale del settore agroalimentare lombardo. In secondo luogo, viene stabilita una collaborazione con i produttori agroalimentari locali al fine di sviluppare nuovi metodi per il miglioramento dell'efficienza delle risorse e della sostenibilità della produzione insieme ai ricercatori nei laboratori ENEA. In terzo luogo, viene effettuata una valutazione dell'approccio sviluppato rispetto ad altri scenari che rappresentano le pratiche attuali in termini di impatti ambientali. Infine, viene sviluppata una metodologia per valutare la circolarità della produzione agricola e testata come esempio sui partner della collaborazione.

Per iniziare la tesi, è stato necessario identificare un focus per il lavoro poiché non sarebbe stato possibile includere l'intero settore nella ricerca. Sulla base di un'indagine primaria sulla rilevanza dei diversi settori all'interno dell'industria agroalimentare lombarda per la regione e il paese italiano, si è deciso di concentrarsi sul settore lattiero-caseario. La Lombardia è responsabile di un terzo dei formaggi prodotti in Italia e l'allevamento e in particolare il bestiame sono associati a grandi impatti ambientali. Pertanto, trovare strategie di miglioramento all'interno del settore potrebbe avere notevoli implicazioni per la regione e il paese.

A causa della varietà di obiettivi dati per la tesi, si divide in quattro parti che si concentrano su obiettivi distintivi. La prima parte ha l'obiettivo di stabilire una panoramica sull'attuale situazione di sostenibilità e circolarità del settore lattiero-caseario lombardo. È iniziata con un'analisi dettagliata del background e della letteratura sullo stato attuale del settore lattiero-caseario in Italia e sui suoi impatti ambientali, nonché sulle attuali tendenze per ridurli. L'analisi ha rivelato che la maggior parte degli impatti si crea durante le attività agricole all'interno della catena di produzione guidate principalmente dalla fermentazione enterica e dalla produzione di foraggio. Pertanto, la maggior parte delle strategie di mitigazione dirige la propria attenzione su questa fase della catena di produzione, raccomandando miglioramenti delle strategie agricole in particolare relative all'alimentazione. Altri aspetti sono raramente menzionati, per lo più suggeriscono una migliore gestione dell'energia, dell'acqua e dei rifiuti. Il potenziale delle pratiche circolari per migliorare la sostenibilità della produzione è discusso solo in quantità limitate. A seguito dell'analisi della letteratura, è stata condotta un'indagine presso i produttori lattiero-caseari lombardi per valutare lo stato attuale di applicazione delle pratiche di Economia Circolare nel settore, la percezione che ne hanno dei produttori e la

loro motivazione ad aumentare la loro circolarità. L'indagine consisteva in 60 domande volte a tracciare un quadro delle dimensioni dei flussi di risorse e della loro rilevanza per la produzione annuale, la dimensione dei principali flussi di sottoprodotti e rifiuti e il loro uso e trattamento.

Inoltre, sono state testate le attività di circolarità attuali e pianificate e sono state studiate le motivazioni dei produttori a estendere i loro sforzi. L'indagine ha rivelato che la CE è arrivata nella produzione locale anche se è per lo più limitata ad attività legate a benefici immediati come la vendita di sottoprodotti, sussidi come quelli presenti per la produzione di energia solare e normative come quelle per il trattamento e la qualità delle acque reflue. Altre attività sono state relativamente scarse, il che ha dimostrato la necessità di migliorare i regimi di incentivazione e la creazione di un ambiente che incoraggi e premi le pratiche circolari. Nella seconda parte dello studio, l'obiettivo era quello di creare un metodo di valutazione della circolarità adattato al contesto dell'agricoltura. È stata scelta una prospettiva olistica basata su un sistema di indici che considerasse la dimensione sociale, economica e ambientale della circolarità e della sostenibilità. La letteratura è stata consultata per identificare potenziali indicatori e sono stati selezionati quelli più adatti. In caso di mancanza di indici per alcuni aspetti della circolarità e della sostenibilità, ne sono stati proposti e inclusi nell'elenco di nuovi. Gli indici sono stati poi applicati a un caso di studio di un piccolo produttore locale di formaggio. Nel processo di raccolta dei dati il produttore è stato consultato sulla disponibilità dei dati e sulla praticabilità del calcolo dell'indice. Gli indici non idonei sono stati tolti dalla lista. I calcoli sono stati eseguiti per tre anni di produzione al fine di poter osservare la capacità degli indici di visualizzare le tendenze nelle pratiche del produttore. Gli indici si sono dimostrati adeguati, tuttavia, è stato osservato che nessun indice è stato in grado di rappresentare in modo soddisfacente il beneficio di una maggiore valorizzazione della qualità. Per questo motivo è stato proposto un nuovo indicatore, l'indice di valorizzazione dei sottoprodotti, basato sulle quantità e sulla qualità e sui sottoprodotti valorizzati. I calcoli hanno dimostrato la capacità dell'indicatore di fornire una rappresentazione quantitativa della qualità della valorizzazione dei sottoprodotti.

Nella terza parte è stato modellato un approccio nuovo e circolare alla valorizzazione dei sottoprodotti nel settore lattiero-caseario. L'attenzione è stata posta sul principale sottoprodotto della produzione di formaggio, il siero di latte, in quanto rappresenta oltre l'80% dell'input di latte in termini di peso, il 40% in termini di sostanza secca e il 20% in termini di proteine e rappresenta quindi di gran lunga il flusso di materiale più rilevante che lascia il processo di produzione separato dal prodotto principale. Il modello si basava su una produzione locale, di media scala e decentralizzata, poiché tutti questi aspetti avrebbero riguardato gli effetti positivi attesi da una CE come la creazione di valore locale, forti collaborazioni e una rete innovativa, robusta e adattabile. Nel frattempo, tale pratica non è nota dagli attuali sforzi di valorizzazione che si concentrano principalmente sulla valorizzazione su larga scala, centralizzata e di basso valore, spesso al di fuori della regione, privando l'economia e la società locali dei benefici della creazione di valore e di prodotti di alta qualità.

L'approccio di valorizzazione modellato è stato quindi testato in esperimenti di valorizzazione su scala di laboratorio e pilota. Il frazionamento a membrana è stato scelto come il metodo di valorizzazione più adatto poiché si tratta di una tecnologia di trasformazione alimentare consolidata con un basso uso chimico e basse temperature di lavorazione che consente di mantenere la qualità del composto all'interno del siero. Inoltre, la scelta di una tecnologia di trasformazione alimentare consolidata ha dato l'opportunità di concentrarsi su ottimizzazioni e adattamenti alle esigenze del contesto decentralizzato di valorizzazione dei sottoprodotti. Sono stati raccolti dati sulle prestazioni sperimentali e annotato il consumo di energia e acqua. Nella parte finale dello studio, l'obiettivo era valutare il metodo appena sviluppato in termini di impatti ambientali e fattibilità economica e fornire raccomandazioni ai produttori locali su come migliorare la loro produzione proponendo un caso di studio realistico. Ai dati sperimentali raccolti nella parte precedente si aggiungono i dati del caso studio raccolti presso il piccolo produttore di formaggio. Sono stati creati tre ulteriori scenari di base basati su dati raccolti in interviste con partner industriali e stime. Gli scenari includevano uno scenario centralizzato di frazionamento a membrana su larga scala, uno scenario di produzione di siero di latte in polvere e uno scenario di non valorizzazione che includeva tutti i casi di valorizzazione a qualità inferiore al consumo umano (o applicazioni comparabili). È stato quindi progettato un approccio di valutazione del ciclo di vita per confrontare tutti e quattro gli scenari in una prospettiva di catena del valore. A tal fine, sono state applicate tre unità funzionali che sarebbero state in grado di includere tutti i (sotto)prodotti nella valutazione.

I risultati hanno rivelato un chiaro vantaggio della valorizzazione dei sottoprodotti migliorando il rapporto input-prodotto e quindi riducendo gli impatti relativi per unità di prodotto. Quando ci si concentra sulle quantità di prodotto, i risultati favorirebbero una valorizzazione centralizzata, mentre quando ci si concentra sulla qualità del prodotto l'approccio decentrato modellato ha funzionato meglio.

È stata quindi condotta un'analisi di fattibilità economica per verificare la praticabilità dell'approccio modellato. I dati sui costi di investimento sono stati raccolti durante le interviste con i partner industriali, mentre i prezzi dei materiali e dei prodotti si sono basati sull'attuale situazione del mercato. Sono stati considerati diversi volumi di produzione e prodotti e sono stati calcolati i potenziali ricavi giornalieri, gli investimenti complessivi e i tassi di rendimento attesi. L'analisi ha mostrato l'importanza di produrre prodotti di alta qualità e la necessità di produrre su scala media poiché i piccoli siti di produzione non possono funzionare in modo efficiente come quelli più grandi. Tuttavia, è stato dimostrato che il processo può essere fattibile e raggiungere tassi di rendimento degli investimenti inferiori a dieci anni.

Infine, i risultati della valutazione ambientale ed economica sono stati utilizzati per preparare un caso di studio sulla simbiosi industriale. Le aziende potenzialmente interessate ai prodotti di valorizzazione del siero di latte sono state identificate e contattate e invitate a interviste approfondite. In tali interviste sono stati presentati il progetto e l'approccio di valorizzazione modellato e si è indagato il parere delle aziende su di essi. Sono stati discussi i potenziali ostacoli da superare prima dell'implementazione e discusso il potenziale coinvolgimento e il ruolo delle aziende in un caso di studio. Le aziende più interessate sono state quindi invitate a interviste di follow-up e tavole rotonde per dettagliare ulteriormente le esigenze per l'implementazione di un caso di studio. Dall'analisi delle interviste è emerso un evidente interesse delle aziende per i temi della sostenibilità e della circolarità e la loro disponibilità a partecipare a progetti per migliorare entrambi. Tuttavia, è stato anche mostrato che soprattutto le aziende più piccole hanno difficoltà a fare investimenti e nel coinvolgimento in progetti, a causa delle attuali modalità di finanziamento.

Pubblicazioni

Mehner E., Fantin V., Pizzichini D., Vergalli S. and Vaccari M. The Lombard Dairy Industry in the Perspective of Circular Economy: Degree of Application and Improvement Potentials

Convegni

17th International Conference on Environmental Science and Technology, September 2021, Athens, Flash Presentation and Poster.

[Alan Piemonti: Valorizzazione di rifiuti industriali, con particolare riferimento alle scorie di fonderia e acciaieria, come nuovi materiali per l'edilizia](#)

Abstract

L'industria siderurgica rappresenta una delle maggiori realtà produttive nel panorama mondiale, con una produzione globale di acciaio in continua crescita negli ultimi vent'anni.

Nonostante le diverse tecniche disponibili, al giorno d'oggi la produzione avviene principalmente mediante due cicli: il "*ciclo integrale*" o il "*ciclo elettrico*", ai quali si aggiungono le successive affinazioni in forno siviera. Oltre al materiale primario (acciaio), da tutti questi processi si origina anche un ingente quantitativo di materiale secondario, le cosiddette "*scorie di acciaieria*". In ragione del processo produttivo, delle materie prime, delle modalità di gestione del forno, del tipo di acciaio, dei processi di raffreddamento post-scorifica e dei successivi trattamenti, esse si suddividono in diverse tipologie, ciascuna con le proprie caratteristiche chimico-fisiche, mineralogiche e prestazionali.

Il riutilizzo delle scorie di acciaieria in sostituzione delle materie prime naturali in diverse applicazioni apporta notevoli vantaggi sia dal punto di vista economico e sociale che da quello ambientale. Un loro reimpiego contribuisce infatti alla diminuzione dei quantitativi da destinare a smaltimento in discarica nonché alla

riduzione dello sfruttamento delle risorse naturali e degli impatti da esso derivanti, sia in termini ambientali che di tutela della biodiversità e del paesaggio.

Per poter però garantire un loro corretto trattamento in previsione di un futuro reimpiego, anche le scorie di acciaieria sono soggette al rispetto di determinati standard normativi. Infatti, a seconda della classificazione, i processi di trattamento, registrazione e le verifiche di conformità risulteranno molto diversi ed una loro conoscenza ed interpretazione saranno quindi fondamentali per la corretta gestione di questo tipo di materiale.

Il presente lavoro di ricerca intende dare un ulteriore contributo alle conoscenze sulle scorie di acciaieria, con un focus completo su produzione, proprietà, classificazione, gestione e riutilizzi finali.

È stata dapprima condotta un'intensa attività di ricerca bibliografica riguardante diverse tipologie di scorie di acciaieria, al fine di approfondire ed analizzare le loro proprietà fisiche, chimiche, mineralogiche, prestazionali ed i relativi aspetti correlati ad un loro eventuale impatto ambientale. Ampio spazio è stato dedicato ai loro possibili riutilizzi, con un focus sul reimpiego nel settore delle costruzioni ed in particolare per la produzione di calcestruzzo.

Verrà poi mostrato un quadro generale ed aggiornato sulla normativa nazionale, analizzando le diverse possibilità di classificazione e gli iter da esse derivanti, partendo dalla produzione ed approfondendo tutte le fasi fino all'ottenimento di un materiale conforme e commercializzabile.

Vista l'eterogeneità delle scorie di acciaieria, è stato poi deciso di indagare lo stato dell'arte sulla loro produzione e gestione a livello nazionale e locale, con focus su Regione Lombardia (Italia) e Provincia di Brescia (Italia). Ciò ha inoltre permesso di individuare la tipologia di scoria più consona per lo sviluppo di una campagna sperimentale, parte finale della presente ricerca.

La suddetta campagna sperimentale verte sul riutilizzo della scoria derivante dalla produzione di acciaio al carbonio in forno elettrico ad arco (la cosiddetta "EAFS-C") come aggiunta nel calcestruzzo per applicazioni strutturali. In particolare, sono state dapprima progettate diverse miscele di calcestruzzo con l'aggiunta di scorie in parziale sostituzione dell'aggregato fine e grossolano naturale, in tre diverse percentuali (10, 25 e 50%). Queste miscele sono poi state analizzate mediante l'esecuzione di test per la caratterizzazione del materiale (proprietà reologiche e di resistenza), con l'aggiunta anche di test per la valutazione di alcuni aspetti legati alla durabilità del calcestruzzo.

Presentazioni

- Piemonti, A., Enhancement of industrial waste, with particular reference to foundry and steelmaking slag, as new building materials, poster preparato per il "DICATAMday Poster Twitter Conference 2021" e riguardante l'attività di dottorato. Conferenza avvenuta in data 1 dicembre 2021. Link per la visualizzazione del poster su Twitter: https://twitter.com/AlanPiemonti?t=sbjbPwTGcfTeiHWRmHqz_Q&s=08;
- Sorlini, S., Piccinali, A., Piemonti, A., Plizzari, G. The use of waste material in the construction industry. Presentazione preparata per la "Virtual Global Summer Workshop / Competition and Colloquium – Rebuilding 'Unnatural Horizons': Redevelopment plan for Iwanai-cho – Hokkaido, Japan" e riguardante l'attività di dottorato. Workshop (online) avvenuto in data 4 febbraio 2022;
- Piemonti, A., Conforti, A., Cominoli, L., Luciano, A., Sorlini, S., Plizzari, G. Concrete mixtures with EAF slags as partial replacement of natural aggregates: A preliminar study. Short paper sottomesso (e accettato) al convegno "6th Symposium on Circular Economy and Urban Mining", 18–20 maggio 2022, Capri, Italia. Presentazione discussa dal Prof. Giovanni Plizzari in data 20 maggio 2022;
- Piemonti, A., Conforti, A., Cominoli, L., Luciano, A., Sorlini, S., Plizzari, G. Influence of Electric Arc Furnace Slags on the mechanical properties of concrete. Extended abstract sottomesso (e accettato) al convegno "9th International Conference on Sustainable Solid Waste Management", 15–18 giugno 2022, Corfù, Grecia. Presentazione discussa (online) in data 16 giugno 2022;

- Piemonti, A., Conforti, A., Cominoli, L., Luciano, A., Sorlini, S., Plizzari, G. On the use of Electric Arc Furnace slags in concrete for structural applications. Full paper sottomesso (e accettato) al convegno “14th fib International PhD Symposium in Civil Engineering”, 05–07 settembre 2022, Roma, Italia. Presentazione discussa in data 7 settembre 2022; --- Piemonti, A. Valorizzazione di rifiuti industriali, con particolare riferimento alle scorie di fonderia e ac-ciaieria, come nuovi materiali per l’edilizia. Presentazione preparata per la fiera “FuturaEXPO, Economia per l’Ambiente”, Brescia, Italia e riguardante l’attività di dottorato. Presentazione discussa in data 4 ottobre 2022; --- Piemonti, A. Valorizzazione di rifiuti industriali, con particolare riferimento alle scorie di fonderia e ac-ciaieria, come nuovi materiali per l’edilizia. Presentazione preparata per il “3° Pre forum per lo Sviluppo Sostenibile Regione Lombardia convegno ENEA ‘Edifici sostenibili: riduzione dei consumi ed economia circolare’”, Milano, Italia e riguardante l’attività di dottorato. Presentazione discussa in data 12 ottobre 2022; Piemonti, A., Conforti, A., Cominoli, L., Luciano, A., Plizzari, G., Sorlini, S. Exploring the Potential for Steel Slags Valorisation in an Industrial Symbiosis Perspective at Meso-scale Level.

Maddaloni Marina: Agricoltura smart per la sostenibilità del sistema agro-alimentare

Abstract

Negli ultimi anni, la FAO ha stimato che circa 1/3 dei prodotti agricoli e alimentari viene scartato. Tutto ciò è un problema non solo dal punto di vista dello spreco alimentare, ma lo smaltimento dei rifiuti prodotti, ha forti conseguenze sia a livello di impatto economico, si stima infatti che in Europa circa 143 bilioni di euro annui vengano usati per una tonnellata di rifiuti, sia di impatto ambientale, legato all’emissione di gas serra nell’atmosfera.

Per questo motivo, la ricerca di nuovi percorsi per ridurre al minimo gli sprechi alimentari è un obiettivo fondamentale per gli scienziati. Attualmente l’uso industriale di tali scarti rappresenta solo l’1% della riduzione dei residui. Tuttavia, negli ultimi anni l’interesse scientifico sembra muoversi proprio in questa direzione

D’altra parte, tra i temi caldi più attuali c’è l’esigenza sempre più impellente di tecnologie adatte ad un’agricoltura più sostenibile. Dal 1° febbraio 2018, infatti, la Commissione Europea ha invitato alla diminuzione degli usi dei prodotti antiparassitari a base di rame in campo agricolo. Diventa quindi sempre più urgente la ricerca di nuove strategie più sostenibili. Allo stesso tempo, con l’aumento della popolazione mondiale e dell’inquinamento, è diventata improrogabile anche l’esigenza di avere acqua pulita, anche per uso agricolo. Attualmente, la bonifica delle acque avviene per lo più in impianti centralizzati, prima della distribuzione. Tuttavia, all’interno del sistema di distribuzione, la qualità dell’acqua trattata può essere degradata a causa della lisciviazione di contaminanti, dalla crescita batterica o dall’intrusione da parte di acque reflue. Pertanto, sarebbe il caso di avere dei sistemi per il monitoraggio e il risanamento di inquinanti che possano essere applicati anche localmente.

In questa prospettiva, in questo lavoro di tesi, è stato mostrato che è possibile unire questi tre aspetti sviluppando dei sistemi a base di un biopolimero naturale, estraibile da esoscheletri di gamberi, il chitosano, utilizzato per:

- Preparazione di sistemi, quali idrogeli diversamente funzionalizzati, per l’adsorbimento e rimozione di inquinanti di origine antropica e antropomorfa quali Cromo esavalente e molecole organiche (e.g. blu di metilene, metile arancio) dalle acque;
- Studio e messa a punto di film a partire da scarto alimentare per il *packaging* di cibo e bevande con interessanti proprietà battericide e antifungine;
- Preparazione di Nanoparticelle di chitosano a partire da esoscheletri di gamberi utilizzate come induttori di resistenza in piante di fagiolo infettate da TNV.

I risultati di questo studio hanno dimostrato che nell’ambito della bonifica delle acque, idrogeli sotto forma di *bubbles*, a base di chitosano estratto, sono particolarmente efficaci nell’adsorbimento, rimozione e nella fotodegradazione degli inquinanti target studiati (Cr(VI), blu di metilene, metil arancio). Si è inoltre dimostrato che la capacità di rimozione degli inquinati non è solo funzione della matrice del biopolimero, le

cui proprietà funzionali possono essere razionalmente progettate e controllate da una combinazione sinergica di componenti attivi, come miscele di polimeri o nanoparticelle fotocatalitiche (es. AgNPs, AuNPs, TiO₂, PEDOT:PSS).

Nell'ambito dello studio preliminare di film di chitosano in vista di applicazioni nel settore del *food packaging*, si è evidenziato come pellicole derivanti da questo biopolimero abbiano buone proprietà meccaniche con interessanti caratteristiche battericide e antifungine che le rendono particolarmente adatte allo scopo.

Infine, le nanoparticelle di chitosano applicate su foglie di piante di fagiolo infettate da TNV, hanno dimostrato di aver effetto positivo sul numero di lesioni necrotiche superficiali dovute all'azione del virus che, sulle foglie trattata con il materiale oggetto di studio, diminuiscono sensibilmente.

Publicazioni

- M. Maddaloni, I. Alessandri, I. Vassalini, Food-waste enables carboxylated gold nanoparticles to completely abate hexavalent chromium in drinking water, *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, (2022), 18, 100686.
- M. Maddaloni, I. Vassalini, I. Alessandri Green routes for the development of chitin/chitosan sustainable hydrogels, *Sustainable Chemistry (2020) 1 (3)*, 325-344.
- F. Torricelli, I. Alessandri, E. Macchia, I. Vassalini, M. Maddaloni, L. Torsi, Green Materials and Technologies for Sustainable Organic Transistors *Advanced Materials Technologies (2022) 7 (2)*, 2100445
- A. Boontanon, M. Maddaloni, P. Suwanpinij, I. Vassalini, I. Alessandri, Industrial Waste Against Pollution: Mill Scale-Based Magnetic Hydrogels for Rapid Abatement of Cr(VI), submitted
- M. Maddaloni, I. Alessandri, I. Vassalini, From water for water: hydrogels against water pollution manuscript in preparation

Convegni e Workshop:

- 2021: Festival dello sviluppo sostenibile, Padova: presentazione orale
- 2022: XIII Convegno Nazionale INSTM, Sestriere (TO): presentazione orale
- 9th IUPAC International Conference on Green Chemistry, Atene (Grecia): Poster

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PAVIA

Dottorati finanziati dall'accordo:

- Luca Preti,
- Diego Locatelli

[Luca Preti: Sensing cattura e smaltimento di nanoparticolato](#)

Abstract

Lo scopo di questo progetto di dottorato è la creazione di un nuovo materiale al fine di catturare e rilevare da un ambiente acquoso le nanoparticelle di metallo nobile, ampiamente impiegate. È stato utilizzato un nuovo metodo basato sul noto concetto di polimeri molecolari impressi (MIP) chiamati matrici impresse di nanoparticelle (NAIM). Questo metodo si basa sul drogaggio di una matrice polimerica con nanoparticelle e, dopo la loro rimozione per reazione chimica, sulla formazione nella matrice di cavità vuote della dimensione e della forma appropriate per la cattura del nanoparticolato. Un metodo è stato ottimizzato per la preparazione di matrici di gel di silice mediante sintesi sol-gel, con nanoparticelle incorporate di argento (AgNPs) o oro (AuNPs) di diverse dimensioni e forme. Dopo la messa a punto della sintesi del sol gel, modificando le condizioni di reazione come il precursore organosilano (TEOS e TMOS), il catalizzatore (comportamento acido o basico) e l'additivo chimico di controllo dinamico (CTAB o N,N-dimetilformammide), sono stati ottenuti monoliti quasi privi di fessurazioni (con il colore delle NP incorporate) ed è stato studiato

un metodo per la completa ossidazione delle NP(nanoparticelle) templanti all'interno dei monoliti. È stato riscontrato che sia le AuNP che le AgNP possono essere facilmente rimosse da forti condizioni acide, come l'acqua regia o le soluzioni di acido nitrico. L'analisi ICP-OES mostra che dopo il trattamento acido quasi tutti gli ioni metallici vengono rilasciati nel surnatante lasciando liberi i residui del monolite. Per gli AgNP sono stati inoltre studiati metodi di ossidazione mediante reagenti lisci quali cisteamina cloridrato e soluzioni di nitrato di ferro. In seguito alla reazione di ossidazione mediante cinetica spettrofotometrica si è riscontrato che la completa rimozione di AgNPs dalla matrice di silice avviene in poche ore. Una caratterizzazione morfologica e compositiva completa dei monoliti è stata effettuata prima e dopo la rimozione delle NP del template. I campioni di monolite sono stati analizzati mediante analisi porosimetrica, spettroscopia FTIR, spettroscopia Raman, analisi XRD e imaging SEM. I risultati evidenziano l'assenza dei NP template dopo il processo di rimozione, l'aumento della superficie interna dei monoliti e la rimozione dei componenti organici relativi al rivestimento dei NP. È stata inoltre osservata la presenza di cavità di dimensioni e forma complementari alle NP del modello di partenza. I monoliti sono stati macinati e la polvere di monoliti di gel di silice è stata utilizzata per migliorare la superficie di contatto durante il processo di ricaptazione. La capacità di ricaptazione delle polveri è stata studiata aggiungendole a una soluzione colloidale AgNPs di 7 nm di diametro, con agitazione controllata e tempo di contatto. I processi di ricaptazione sono stati effettuati su soluzioni con diversa concentrazione di NP, tempo diverso e diverse dimensioni delle cavità modellate. I risultati hanno mostrato che il processo di ricaptazione dipende dal tempo ed è selettivo, a seconda della migliore corrispondenza del diametro / dimensione della cavità delle NP. Le polveri di gel di silice prodotte sono state utilizzate anche come sito attivo nel tentativo di preparare sistemi di rilevamento basati su microbilance a cristalli di quarzo, con lo scopo di rilevare selettivamente AgNP in soluzione acquosa.

Publicazioni

- Piersandro Pallavicini, Luca Preti, Maria L. Protopapa, Daniela Carbone, Laura Capodiecì, Yuri A. Diaz Fernandez, Chiara Milanese, Angelo Taglietti and Lavinia Doveri Nanoparticle-Imprinted Silica Gel for the Size-Selective Capture of Silver Ultrafine Nanoparticles from Water *Molecules* 2023, 28(10), 4026

[Diego Locatelli: Integrazione di veicoli elettrici in smart grids](#)

Abstract

I sistemi di gestione delle batterie (Battery Management Systems o BMS) rivestono un ruolo cruciale nel monitoraggio delle funzionalità delle batterie. Per garantire un funzionamento efficiente di tali sistemi, si rende indispensabile l'impiego di modelli matematici. Tuttavia, la precisione dei parametri del modello, ottenuti mediante procedure di identificazione, si rivela limitata. Ciò deriva dalla circostanza che, tipicamente, sono misurabili solo la corrente e la tensione delle celle, rendendo necessaria l'elaborazione di stime degli stati del modello. Questa tesi propone un approccio basato su insiemi per la stima degli stati delle celle al litio attraverso l'utilizzo di un modello di circuito equivalente, considerando sia incertezze parametriche limitate che rumore di misura. I risultati delle simulazioni evidenziano l'efficacia degli stimatori proposti nel fornire un insieme di stati più accurato, fondamentale per la rilevazione di guasti e il controllo basato su modelli delle celle al litio.

Le batterie al litio devono affrontare sfide di affidabilità dovute all'instabilità termica, rendendo imperativa la progettazione di BMS finalizzati a migliorare la sicurezza e a garantire elevate prestazioni delle batterie. Questo studio si concentra sulla rilevazione di guasti termici nelle celle al litio attraverso uno schema di rilevamento dei guasti basato su insiemi che tiene conto di incertezze sconosciute, ma di cui si conoscono i valori di range. Viene impiegato un modello di circuito equivalente (ECM) per la stima degli stati, considerando incertezze parametriche limitate e rumore di misura. Il metodo proposto utilizza zonotopi vincolati (CZ), una rappresentazione insiemistica che consente operazioni standard con minore sforzo computazionale rispetto ai politopi. Le simulazioni numeriche dimostrano l'efficacia dell'approccio proposto

nel rilevare guasti termici in una fase precoce e ne sottolineano i vantaggi rispetto a un metodo basato su intervalli che si affida a funzioni di inclusione e propagazione dei vincoli.

L'osservabilità degli stati si configura come un aspetto critico nel controllo e nell'ottimizzazione di sistemi. Nel contesto della modellazione delle batterie, spesso si assume l'osservabilità del modello di circuito equivalente (ECM) senza considerare l'impatto degli ingressi, dei parametri incerti e della scelta della funzione di adattamento del potenziale a circuito aperto (OCP). Questo lavoro adotta un approccio basato su intervalli per stabilire condizioni di osservabilità garantite per l'ECM. L'analisi rivela che diverse funzioni OCP, nonostante abbiano adattamenti comparabili, portano a risultati vari in termini di osservabilità del modello. Inoltre, esistono combinazioni di stato-ingresso che possono risultare non osservabili quando si considera la derivata temporale dell'ingresso e i parametri incerti.

Le batterie al litio offrono un equilibrio ottimale tra prestazioni, prezzo e longevità per un efficiente stoccaggio dell'energia. Il BMS svolge un ruolo cruciale nel raggiungere un compromesso tra la ricarica veloce e la minimizzazione degli effetti dell'invecchiamento, nel rispetto dei requisiti di sicurezza. Questa tesi presenta una strategia di controllo ottimale online per la ricarica che tiene conto dell'invecchiamento. La strategia formula un problema di controllo utilizzando un modello surrogato che descrive il comportamento della batteria minimizzando reazioni che portano alla perdita di capacità e soddisfacendo vincoli legati all'invecchiamento e alla sicurezza. Il modello surrogato combina un modello non lineare statico dipendente dallo stato di carica con un modello lineare black-box a tempo invariante finito. I risultati delle simulazioni ottenuti con un modello di batteria DFN come "sistema" reale dimostrano l'efficacia dell'approccio proposto. Gli stati sono stimati utilizzando un filtro di Kalman con un fattore di dimenticanza. Infine, i Pareto front ottenuti utilizzando la metodologia proposta basata su controllo ottimale vengono confrontati con quelli ottenuti utilizzando una strategia ad anello aperto.

Nel complesso, questa tesi abbraccia vari aspetti dei sistemi di gestione delle batterie, compresa la stima degli stati basata su insiemi, la rilevazione di guasti termici, l'analisi dell'osservabilità e una strategia di controllo ottimale consapevole dell'invecchiamento. I metodi e le strategie proposti dimostrano risultati promettenti e contribuiscono al progresso dei sistemi di gestione delle batterie per una sicurezza, prestazioni e longevità migliorate delle celle al litio.

Pubblicazioni

- Locatelli, D., Rego, B. S., Raffo, G. V., & Raimondo, D. M. (2021). Interval state estimation based on constraint propagation for a lithium-ion cell using an equivalent circuit model. *IFAC-PapersOnLine*, 54(3), 602-608.;
- D. Locatelli, D.M. Raimondo, Z. Khalik, H.J. Bergveld, M.C.F. Donkers. Closed-loop Optimal Ageing-Aware Charging of Li-ion Batteries Using a Surrogate Model. Accepted to IFAC2023 World Congress July 2023 (To be published).
- Rego, B. S., Locatelli, D., Raimondo, D. M., & Raffo, G. V. (2022). Joint state and parameter estimation based on constrained zonotopes. *Automatica*, 142, 110425.
- Saccani, G., Locatelli, D., Tottoli, A., & Raimondo, D. M. (2022). Model-based thermal fault detection in Li-ion batteries using a set-based approach. *IFAC-PapersOnLine*, 55(6), 329-334.

Convegni

- Locatelli, D., Tottoli, A., Saccani, G., & Raimondo, D. M. (2022, August). Thermal fault-detection in series connected Li-ion cells: a set-based approach using constrained zonotopes. In 2022 IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA) (pp. 411-417). IEEE.
- Locatelli, D., Saccani, G., Rego, B. S., Raffo, G. V., & Raimondo, D. M. (2022, November). Set-based joint state and parameter estimation of a Li-ion cell using constrained zonotopes. In 2022 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC) (pp. 1-6). IEEE.

UNIVERSITA DEGLI STUDI DI BERGAMO

- Carugo Francesco
- Mubashir Ali: Ingegneria e scienze applicate
- Beatrice Colombo: Technology Innovation and Management
- Mattia Carminati: Technology Innovation and Management
- Asad Hussain: Ingegneria e scienze applicate

Carugo Francesco: Sviluppo di materiali innovativi da produrre con tecnologie additive

Abstract

Le leghe a base di nichel sono ampiamente utilizzate in settori caratterizzati da ambienti operativi difficili come quello chimico, aerospaziale, nucleare, petrolifero e del gas. Tra queste, la lega di nichel 625 riveste un ruolo strategico, soprattutto nel settore petrolifero e del gas, grazie alle sue elevate proprietà meccaniche unite ad un'eccezionale resistenza alla corrosione.

La matrice austenitica indurita, tuttavia, rende difficile la lavorazione con tecnologie di lavorazione convenzionali. In questo contesto, la diffusione delle tecnologie di Additive Manufacturing (AM) applicate ai metalli sta guadagnando sempre più interesse nel mondo industriale negli ultimi anni. Queste tecniche, basate su un approccio layer-by-layer, consentono di ridefinire le strategie di progettazione, consentendo la creazione di componenti di forma complessa, ottimizzando la geometria e in alcuni casi riducendo i costi.

Tra le tecniche AM disponibili oggi, le più popolari sono le tecniche basate sul letto di polvere come la Laser Powder Bed Fusion (LPBF) e le tecniche di deposizione di Directed Energy Deposition (DED). Recentemente, sono state sviluppate nuove tecniche che combinano il processo di stampa con processi di debinding e sinterizzazione. Tra queste, la Metal Fused Filament Fabrication (MFFF) è una tecnica emergente che utilizza un filamento composto da polvere metallica e polimero per realizzare un componente. Il componente così realizzato viene quindi sottoposto ad un ciclo di debinding, per rimuovere il polimero, seguito da un trattamento di sinterizzazione per densificare il prodotto finale.

A seconda della tecnica AM utilizzata, si ottengono microstrutture completamente diverse da quelle tradizionali. Diventa quindi fondamentale la questione legata ai requisiti di questi nuovi materiali, soprattutto se destinati all'utilizzo in ambienti caratterizzati da condizioni operative gravose.

Lo scopo di questa tesi è quello di valutare il comportamento alla corrosione della lega di nichel 625 ottenuta mediante tre diverse tecnologie di additive manufacturing: le tecniche LPBF, DED e MFFF. Nello specifico, il comportamento alla corrosione è stato valutato confrontando i risultati ottenuti con quelli di un prodotto commerciale realizzato mediante laminazione a caldo. Per quanto riguarda la tecnica MFFF e DED, è stato valutato l'effetto della pressatura isostatica a caldo post-processo sul comportamento alla corrosione in relazione alle microstrutture caratteristiche ottenute.

Pubblicazioni

- Cabrini, Marina and Carugo, Francesco and Carrozza, Alessandro and Lorenzi, Sergio and Pastore, Tommaso and Barbieri, Giuseppe and Cognini, Francesco and Moncada, Massimo, Effect of macro- and microstructural features on the corrosion behavior of additively manufactured alloy 625, 2022, LA METALLURGIA ITALIANA, 113 (9) pages 22-29.
- Carrozza, Alessandro and Lorenzi, Sergio and Carugo, Francesco and FEST SANTINI, Stephanie and Santini, Maurizio and Marchese, Giulio and Barbieri, G. and Cognini, F. and Cabrini, Marina and Pastore, Tommaso, A comparative analysis between material extrusion and other additive manufacturing techniques: Defects, microstructure and corrosion behavior in nickel alloy 625, 2023, MATERIALS & DESIGN, 225, pages 1-15. 10.1016/j.matdes.2022.111545

Convegni

- Francesco Carugo, Giuseppe Barbieri, Marina Cabrini, Francesco Cognini, Sergio Lorenzi, Tommaso Pastore, "Effect of different additive manufacturing techniques on microstructure and corrosion behavior of alloy 625" (poster presentato al XVI CONVEGNO NAZIONALE AIMAT dal 15-18 settembre 2021)
- Lorenzi Sergio, Barbieri Giuseppe, Cabrini Marina, Carugo Francesco, Cognini Francesco, Moncada Massimo, Pastore Tommaso "Difetti metallurgici e comportamento a corrosione della lega 625 ottenuta per Metal Fused Filament Fabrication" XIII convegno INSTM 23-26 gennaio 2022.

Mubashir Ali: Sviluppo di soluzioni basate sul paradigma dei microservizi per il mondo Big data e loro utilizzo per smart cities

Abstract

Le applicazioni dei Big Data (BD) alle smart city sono quasi illimitate. Big Data Analytics (BDA) è una delle tecnologie recenti che ha un enorme potenziale per migliorare i servizi di smart city trasformando le informazioni sulla città in city intelligence. Man mano che la crescente digitalizzazione si integra nella nostra vita quotidiana, enormi quantità di dati eterogenei raccolti ogni giorno possono essere fruttuosamente utilizzate in diversi domini applicativi come trasporti, sanità, gestione dell'energia, monitoraggio ambientale, ecc. La gestione energetica dell'illuminazione pubblica è uno dei problemi critici per i city manager. È un dominio con un numero enorme di consumatori di energia, in particolare edifici pubblici (come istituti governativi, sanitari e scolastici) e strade. Un'altra preoccupazione importante è che la domanda di energia dovrebbe aumentare nel prossimo futuro a causa dei cambiamenti climatici, della crescita della popolazione e dell'uso inefficiente dell'energia.

Sebbene le soluzioni tecnologiche BD rendano possibile la raccolta e la disponibilità di grandi quantità di dati, questi necessitano anche di nuovi paradigmi per dati e modelli di grandi dimensioni che vadano oltre l'elaborazione, l'archiviazione e l'accesso rapido ai record.

Tuttavia, la transizione da BD a dati intelligenti che forniscono approfondimenti e informazioni non è semplice e ovvia da raggiungere. Maggiore è la quantità di dati e più sono eterogenei, più complessa sarà la loro elaborazione. Sono emerse nuove sfide legate alla qualità, all'elaborazione e alla visualizzazione durante la gestione e l'elaborazione dei dati con nuove grandezze dimensionali, complessità, eterogeneità. Alla luce di queste sfide, in questa tesi, progettiamo e realizziamo un'architettura software Smart Data-centrica per l'analisi dei dati di consumo energetico nel contesto dell'illuminazione pubblica stradale. Nonostante il crescente numero di iniziative di smart city che adottano BDA, queste tecnologie non sono state sfruttate abbastanza in questo settore. La Smart City Platform (SCP) proposta è sviluppata in collaborazione con l'agenzia nazionale di ricerca italiana ENEA (Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Economia Sostenibile) nell'ambito del progetto (Public Energy Living Lab) PELL; in breve: il PELL SCP. Sfruttando le tecnologie BD, abbiamo progettato e prototipato diversi tipi di servizi di analisi come parte del PELL SCP; questi includono: indicatori chiave di prestazione (KPI) per misurare e monitorare il consumo di energia elettrica degli impianti di illuminazione pubblica stradale che rilevano anomalie dai dati di consumo energetico e previsione del consumo di energia dei lampioni.

La valutazione viene eseguita attraverso una vasta serie di esperimenti su set di dati reali sul consumo energetico dell'illuminazione stradale, che sono stati raccolti e gestiti attraverso il PELL SCP. I risultati sull'efficacia e le prestazioni del framework analitico proposto hanno mostrato che il PELL SCP arricchito con tali servizi analitici può far fronte in modo promettente ai problemi di elaborazione, analisi e scalabilità di tale BD.

Pubblicazioni

- Mubashir Ali. Big Data and Machine Intelligence in Software Platforms for Smart Cities. In Doctoral Symposium at the 14th European Conference on Software Architecture (ECSA 2020), L'Aquila, Italy. Communications in Computer and Information Science, vol 1269. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59155-7_2

- M. Ali, P. Scandurra, F. Moretti, L. Blaso, M. Leccisi and F. Leccese, "From Big Data to Smart Data-centric Software Architectures for City Analytics: the case of the PELL Smart City Platform," 2021 IEEE International Conference on Smart Data Services (SMDS), Chicago, IL, USA, 2021, pp. 95-104, doi: 10.1109/SMDS53860.2021.00023.
- M. Ali, P. Scandurra, F. Moretti and L. Blaso, "Architecting a big data-driven software architecture for smart street lighting," 2023 IEEE 20th International Conference on Software Architecture Companion (ICSA-C), L'Aquila, Italy, 2023, pp. 1-10, doi: 10.1109/ICSA-C57050.2023.00019.
- Mubashir Ali, Patrizia Scandurra, Fabio Moretti. Anomaly Detection in Public Street Lighting using Clustering Algorithms. Journal submission under review
- Mubashir Ali, Patrizia Scandurra, Fabio Moretti. Self-Adaptation and Machine Intelligence in Software Platforms for Smart Cities: a Systematic Literature Review. Journal submission under review

Convegni

Eventi di disseminazione dei risultati scientifici:

- Workshop ENEA tenuto al Kilometro Rosso in Bergamo dal 30 novembre al 2 dicembre 2022 dal titolo "Percorsi di Transizione per Città e Territori - Urban Transition Pathway" organizzato da ENEA Divisione Smart Energy (TERIN-SEN)

[Beatrice Colombo: Sviluppo di architetture tessili innovative a base di fibre di carbonio di riciclo per il settore dei materiali compositi](#)

Abstract

Il crescente utilizzo di materiali compositi plastici rinforzati con fibra di carbonio in diverse applicazioni industriali riguardanti, ad esempio, i trasporti, le costruzioni e le attrezzature sportive di lusso ha portato a un aumento dei rifiuti generati, che vengono principalmente inceneriti o smaltiti in discarica, causando notevoli problemi ambientali. Il motivo principale risiede nell'incapacità di utilizzare efficacemente le fibre di carbonio riciclate che attualmente possono essere utilizzate solo per la produzione di materiali di seconda qualità come tessuti non tessuti e compositi stampati ad iniezione che possiedono basse proprietà meccaniche. Poiché i filati sono caratterizzati da un elevato orientamento delle fibre e da una buona compattezza, possono essere sfruttati per produrre rinforzi più orientati, migliorando potenzialmente le prestazioni dei materiali compositi finali. Pertanto, la filatura potrebbe rappresentare un modo per espandere l'uso della fibra di carbonio riciclata a componenti più strutturali. In tale contesto, questo progetto di dottorato mira a: sviluppare un innovativo processo di filatura per ottenere filati con proprietà fisiche, termiche e meccaniche ripetibili adatti alla produzione di compositi plastici rinforzati con fibra di carbonio per applicazioni strutturali. Per raggiungere questo obiettivo, è stato seguito un approccio in sei fasi. I risultati raggiunti mostrano diverse prove. In primo luogo, le fibre di carbonio riciclate provenienti dagli scarti di produzione possono essere gestite dall'innovativo processo di filatura proposto, ma devono essere miscelate con una fibra termoplastica. In secondo luogo, i filati ibridi lavorati hanno buone proprietà di trazione e una buona quantità di fibra di carbonio riciclata, sebbene le diverse fasi che compongono l'innovativo processo di filatura proposto riducano la quantità teorica inserita, pertanto, potrebbero essere adottati per la fabbricazione di materiali compositi di buona qualità. I CFRP costituiti da filati ibridi prodotti con il 70% di fibre di carbonio riciclate sembrano essere i più promettenti dal punto di vista meccanico. In terzo luogo, è stata analizzata la sostenibilità dell'innovativo processo di filatura. Alla fine, vale la pena notare che questa tesi ha implicazioni sia teoriche che pratiche. Da un lato, migliora la conoscenza del rapporto tra materiali compositi ed economia circolare ampliando le conoscenze sulla filatura dei rifiuti di fibre di carbonio dagli scarti di produzione e fornendo future direzioni di ricerca nel campo delle tecnologie di riciclaggio dei materiali compositi plastici rinforzati con fibre. Dall'altro, offre un forte arricchimento pratico all'industria dei materiali compositi portando importanti risparmi economici alle aziende, che possono ridurre sia i costi di acquisto delle materie prime che i costi di smaltimento dei rifiuti. Inoltre, i risultati portano a una significativa

riduzione dell'impatto ambientale, poiché il riciclaggio delle fibre di carbonio dagli scarti di produzione consente di ridurre l'uso di materie prime vergini, materiali e inquinamento dovuti all'incenerimento e alla discarica, nonché al recupero dell'energia incorporata nelle fibre di carbonio durante la loro produzione.

Pubblicazioni

- B. Colombo, P. Gaiardelli, S. Dotti, and F. Caretto, "An innovative spinning process for production and characterisation of ring-spun hybrid yarns from recycled carbon fibre," *J. Clean. Prod.*, vol. 406, 137069, 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137069.
- B. Colombo, P. Gaiardelli, S. Dotti, and F. Caretto, "Recycling technologies for fibre-reinforced plastic composite materials : A bibliometric analysis using a systematic approach," *J. Compos. Mater.*, pp. 1–18, 2022, doi: 10.1177/00219983221109877.
- B. Colombo, P. Gaiardelli, S. Dotti, F. Caretto, and G. Coletta, "Recycling of Waste Fiber-Reinforced Plastic Composites: A Patent-Based Analysis," *Recycl. 2021, Vol. 6, Page 72*, vol. 6, no. 4, p. 72, Nov. 2021, doi: 10.3390/RECYCLING6040072.

Contributi under review:

- B. Colombo, P. Gaiardelli, S. Dotti, and F. Caretto, "Environmental assessment of a spinning process for the production of ring-spun hybrid yarns from recycled carbon fiber: a cradle-to-gate approach" (under review on *Journal of Cleaner Production*).
- B. Colombo, P. Gaiardelli, S. Dotti, and F. Caretto, "Tensile properties of Università degli studi di Bergamo – Dipartimento di Ingegneria Gestionale, dell'Informazione e della Produzione – viale Marconi 5, 24044 Dalmine (Bg) – Tel:035 2052 077- 300 – Fax:035 2052 308 Email: ingegneria@unibg.it – Pec: ingegneria@unibg.legalmail.it – P.iva:IT01612800167 – C.f.:80004350163 – Codice Amministrazione Destinataria: TNONX2
- unidirectional thermosetting composites reinforced with ring-spun hybrid yarns from recycled carbon fibers" (submitted to *The Journal of The Textile Institute*).
Conference Proceedings:
- B. Colombo, P. Gaiardelli, S. Dotti, and F. Caretto, "Analysis of hybrid yarns properties for good-quality recycled carbon fibre-reinforced plastic composites," *Proc. Summer Sch. Fr. Turco, 2022. IDI-Italian Assoc. Ind. Oper. Profr. 2022.*, 2022
- B. Colombo, A. Abdoos, P. Gaiardelli, S. Dotti, and F. Caretto, "A technical feasibility study of an innovative spinning process for recycled carbon fibres," *26th Summer Sch. Fr. Turco, 2021. AIDI-Italian Assoc. Ind. Oper. Profr. 2021.*, 2021.

Convegni/Conferenze

- APMS 2022 - Smart Manufacturing and Logistic Systems: Turning Ideas into Action – PhD Workshop, Gyeongju, 25th September 2022 Presentazione del Dottorato e dei relativi risultati
 - APMS 2021 - Artificial Intelligence for Sustainable and Resilient Production Systems - PhD Workshop, Nantes, 5th September 2021 Presentazione del Dottorato e dei relativi risultati
 - XXVII Summer School Francesco Turco - "Unconventional Plants: Technologies, Tools and Methodologies for emerging domains", Sanremo, 7th-9th September 2022 → Presentazione dell'articolo [6]
 - IX PhD on the Go "Marco Garetti" – University of Sannio, 16th -17th June 2022→ Presentazione del Dottorato e dei relativi risultati
 - XXVI Summer School Francesco Turco – "Industrial systems engineering amid change and uncertainty in the next normal", Bergamo, 8th-10th September 2021 → Presentazione dell'articolo [7]
- Università degli studi di Bergamo – Dipartimento di Ingegneria Gestionale, dell'Informazione e della Produzione – viale Marconi 5, 24044 Dalmine (Bg) – Tel:035 2052 077- 300 – Fax:035 2052 308 Email: ingegneria@unibg.it – Pec: ingegneria@unibg.legalmail.it – P.iva:IT01612800167 – C.f.:80004350163 – Codice Amministrazione Destinataria: TNONX2
- VIII PhD on the Go "Marco Garetti" – University of Sannio, 24th -25th June 2021 → Presentazione del Dottorato e dei relativi risultati

Doctoral workshop

- Presentazione attività di ricerca dei dottorandi, 22nd September 2021
- Presentazione attività di ricerca dei dottorandi, 24th September 2020

[Mattia Carminati: Sviluppo di polveri innovative, anche da scarti e/o materiali da riciclo, da impiegare nella realizzazione di componenti mediante tecnologie additive](#)

Abstract

L'Industria 4.0 sta rivoluzionando il sistema manifatturiero globale. Tra le principali tecnologie abilitanti di questo enorme fenomeno, l'Additive Manufacturing (AM) rappresenta una delle più promettenti e sfruttate, poiché AM rende i processi più flessibili, massimizza la personalizzazione, riduce il time to market di nuovi prodotti e minimizza i costi di produzione per piccoli lotti. Particolare attenzione è rivolta alle tecnologie AM in grado di lavorare materiali metallici a causa del notevole interesse del mercato manifatturiero per questo tipo di materiali. Tuttavia, rimangono ancora diverse lacune da colmare a causa della novità tecnologica, compresi i costi di produzione ancora troppo elevati, soprattutto per la produzione di grandi lotti. In questo contesto, le tecnologie additive sono meno competitive rispetto ai processi tradizionali, sia a causa dell'elevato costo dei macchinari che delle materie prime. Altri fattori includono la lentezza del processo di stampa e l'elevato consumo energetico.

Nell'ultimo decennio è sorta una nuova tecnica di Additive Manufacturing per superare il suddetto inconveniente intrinseco delle tecnologie AM in metallo, soprattutto per quanto riguarda l'elevato costo di acquisto e dispendio energetico, nonché la maggiore sicurezza durante il processo.

Questa nuova tecnica, denominata Metal Material Extrusion (ME), riguarda fondamentalmente la vantaggiosa combinazione tra le attrezzature di Estrusione di Materiale tradizionalmente impiegate per i materiali termoplastici, e le polveri fini metalliche per realizzare componenti finiti in metallo. Questa produzione è ottenuta attraverso una materia prima costituita da particelle metalliche distribuite uniformemente in una matrice polimerica. Questa innovativa materia prima multicomponente viene lavorata mediante un processo multistadio, che comprende le fasi di modellatura, debinding e sinterizzazione.

Nonostante le prospettive promettenti, l'estrusione di materiali metallici è ancora agli inizi e, quindi, scarsamente impiegata nei settori manifatturieri.

L'obiettivo principale di questa tesi riguarda lo studio approfondito del processo di Estrusione di Materiale Metallico con l'obiettivo finale di ampliarne le conoscenze e le possibilità della sua applicazione, per renderlo più utilizzabile in ambito industriale.

Questa ricerca si è concentrata su due acciai inossidabili di grande interesse per diverse applicazioni manifatturiere e quindi ampiamente utilizzati: AISI 316L e AISI 630. Le principali proprietà fisiche e meccaniche dei componenti risultanti dal processo multistep sono state analizzate e confrontate con quelle del relativo materiale monolitico convenzionale per dare un riferimento delle potenzialità della tecnologia.

La questione ambientale sviluppata negli ultimi anni ha richiesto anche una valutazione della sostenibilità di questa tecnologia, soprattutto per quanto riguarda il riciclo e il riutilizzo degli scarti di produzione. In questa prospettiva, è stato sviluppato un metodo AM circolare per il riutilizzo delle parti difettose raccolte dalla fase di formatura del processo per migliorare la competitività economica e sostenibile della tecnologia di estrusione di materiali metallici. Il processo di riciclo è stato sviluppato in un lavoro congiunto tra l'Università di Bergamo e il Laboratorio Nanomateriali e Dispositivi (SSPT-PROMAS-NANO) del Centro Ricerche ENEA Portici.

Pubblicazioni

- Carminati, M.; Quarto, M.; D'urso, G.; Giardini, C.; Maccarini, G. Mechanical Characterization of AISI 316L Samples Printed Using Material Extrusion. Appl. Sci. 2022, 12, doi:10.3390/app12031433.

- Carminati, M.; D'urso, G.; Giardini, C. The enhancement of mechanical properties via post-heat treatments of AISI 630 parts printed with material extrusion. *Progress in Additive Manufacturing*, 2023, <https://doi.org/10.1007/s40964-023-00401-2>.
- Carminati, M.; Quarto, M.; D'urso, G.; Giardini, C.; Borriello, C. A Comprehensive Analysis of AISI 316L Samples Printed via FDM: Structural and Mechanical Characterization. In *Proceedings of the Key Engineering Materials*; Trans Tech Publications Ltd, 2022; Vol. 926 KEM, pp. 46–55.

Convegni/Conferenze

- Speaker alla conferenza internazionale ESAFORM “25th International Conference on Material Forming” con un lavoro di ricerca sullo sviluppo di un modello simulativo robusto capace di prevedere i fenomeni di saldatura dei trucioli formanti il materiale di partenza delle operazioni di Friction Stir Extrusion. Braga (Portogallo), 27-29 aprile 2022.
- Speaker ai workshop del dottorato in Technology, Innovation and Management, tenuti a presso l'Università degli Studi di Bergamo il 24 settembre 2020 e il 22 settembre 2021.

[Asad Hussein: Sviluppo di architetture basate su sensori per la raccolta efficiente di misure](#)

Abstract

Il settore residenziale contribuisce a circa il 30-40% del consumo globale di energia. Gestire e comprendere il comportamento riguardante il consumo di elettricità domestica è una sfida vitale e aperta per molti ricercatori. Molte iniziative e ricerche sono state intraprese per ridurre il consumo di energia e il carico elettrico sulle singole famiglie. Tra le diverse misure di risparmio energetico, il cambiamento del comportamento di utilizzo dell'energia da parte dei consumatori ha ricevuto un'attenzione alta poiché influisce in modo significativo sul consumo quotidiano di energia senza creare alterazioni. L'Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e il Sostenibile Anche lo Sviluppo Economico (ENEA) sta lavorando per raggiungere obiettivi simili concentrandosi principalmente sull'efficienza energetica, sul miglioramento del clima e dell'ambiente e sulle fonti di energia rinnovabili.

Il lavoro presentato in questa tesi fa parte di un'iniziativa di ricerca congiunta tra l'Università degli Studi di Bergamo e l'ENEA con due obiettivi primari di ricerca.

Il primo obiettivo era l'aggregazione dei dati dai sensori e l'integrazione con DHOMUS (una piattaforma di stoccaggio ENEA). Questo obiettivo è stato raggiunto sviluppando una piattaforma modulare a bassa potenza e un'applicazione IoT per parametri ambientali acquisizione tramite il dispositivo di rilevamento e integrazione con la piattaforma DHOMUS.

Il secondo obiettivo era la disaggregazione dei consumi energetici dei dati acquisiti in modo che possa essere utilizzato per facilitare la comprensione da parte dei consumatori del comportamento tenuto sul consumo energetico. Inoltre, abbiamo ideato anche analisi statistiche a livello di apparecchiature basate su estrazioni di caratteristiche. Inoltre, abbiamo sviluppato previsioni per il consumo orario di energia basate su algoritmi di apprendimento automatico.

Per valutare l'efficacia degli approcci sviluppati sono stati utilizzati i dati acquisiti DHOMUS con due diversi set di dati temporali. I risultati indicano che la soluzione sviluppata si è dimostrata efficace nel migliorare la conoscenza dei consumi energetici degli utenti in modo efficiente, contribuendo al risparmio energetico.

Convegni

Eventi di disseminazione dei risultati scientifici:

- Workshop ENEA tenuto al Kilometro Rosso in Bergamo dal 30 novembre al 2 dicembre 2022 dal titolo "Percorsi di Transizione per Città e Territori - Urban Transition Pathway" organizzato da ENEA Divisione Smart Energy (TERIN-SEN)