



Integrazione tra simulazione di processo, LCA e LCC per la valutazione sostenibile di packaging alimentare in plastica e fibre cellulosiche

Wednesday 2 September 2026 17:45 (15 minutes)

La progressiva sostituzione delle plastiche di origine fossile con materiali a base cellulosica nel packaging alimentare è sempre più soggetta a vincoli normativi ed ambientali. Tuttavia, l'efficienza e l'efficacia dal punto di vista della sostenibilità ambientale delle soluzioni che prevedono l'impiego di fibre naturali non può essere assunta a priori, poiché essa dipende non solo dalla disponibilità del materiale di base, ma anche dalla fattibilità produttiva, dai vincoli geometrici e funzionali (spessore dell'imballaggio) e dall'efficienza del processo. Questo studio propone una metodologia che integra la modellazione e simulazione agli elementi finiti del processo di produzione (imbutitura), validata sperimentalmente, con la valutazione del ciclo di vita (LCA) dalla culla alla tomba e una valutazione dei costi lungo l'intero ciclo di vita (LCC) dell'imballaggio, consentendo un confronto ambientale ed economico fisicamente coerente, a parità di condizioni funzionali, tra differenti soluzioni.

Un cartone multistrato in fibra Chemi-Thermo-Mechanical Pulp (CTMP) è stato caratterizzato sperimentalmente mediante 48 prove di trazione conformi agli standard ISO, analizzando anisotropia, effetti della temperatura e sensibilità all'umidità. Sulla base della campagna sperimentale, è stato calibrato un modello costitutivo ortotropo elasto-plastico, con relativo criterio di danno, implementato negli algoritmi del software Abaqus/Explicit®, per simulare il comportamento durante un processo di imbutitura. È quindi stato sviluppato un prototipo di macchina imbutitrice per poter eseguire prove sperimentali necessarie alla validazione delle previsioni numeriche in termini di risposta forza-spostamento, morfologia delle deformazioni indesiderate (grinze in prossimità delle aree da sigillare) e localizzazione di eventuali fenomeni di collasso. Un approccio Design of Experiments ha consentito di identificare le combinazioni dei parametri di processo per la relativa fattibilità e di determinare lo spessore minimo dell'imballaggio tecnicamente realizzabile.

I risultati della simulazione validata - massa della vaschetta, scarti di processo ed energia di formatura - sono stati così direttamente impiegati per la generazione dell'inventario del ciclo di vita (LCI). Sono stati valutati quattro scenari utilizzando il metodo ReCiPe 2016 ed avvalendosi del software SimaPro®: imballaggio in PET vergine, in PET riciclato, in fibra di cellulosa vergine e in fibra di cellulosa riciclata, mantenendo una rigorosa equivalenza geometrica e funzionale.

L'imballaggio in plastica mostra un impatto ambientale migliore in termini di consumo d'acqua e uso del suolo, ma peggiore in termini di esaurimento delle risorse fossili e di alcune categorie di parametri legati alla salute umana. L'imballaggio in fibra di cellulosa riduce la dipendenza da risorse fossili, ma presenta un impatto ambientale peggiore associato al consumo idrico, all'uso del suolo e all'eutrofizzazione. La pratica del riciclo migliora significativamente l'impatto ambientale per entrambi i materiali selezionati. Dal punto di vista economico, l'analisi LCC evidenzia il ruolo critico dei parametri di processo, degli scarti e del consumo energetico nel determinare la competitività delle soluzioni considerate. Nel complesso, i risultati dimostrano che la sostenibilità è un traguardo a livello di sistema, vincolato dal processo e dagli obiettivi progettuali effettivamente raggiungibili. Il framework proposto fornisce una metodologia solida e trasferibile per integrare simulazione di processo, valutazione ambientale ed economica, supportando decisioni di eco-design basate su dati reali, sebbene questi non sempre siano di facile reperimento.

Primary authors: Dr FELACO, Amelia (Università degli studi della campania luigi vanvitelli); Prof. CAPUTO, Francesco (Università degli studi della campania luigi vanvitelli); Prof. CANTONE, Luciano (Università degli Studi di Roma Tor Vergata); Dr MUNNO, Mario (Università degli studi della campania luigi vanvitelli); Dr BENEDEUCE, Stefano (Università degli studi della campania luigi vanvitelli)

Presenter: Prof. CAPUTO, Francesco (Università degli studi della campania luigi vanvitelli)

Session Classification: Circular Design

Track Classification: Circular Design