

GIOVANI RICERCATORI E LAUREATI

Consegnati i premi AIDIC e Orim 2020

Come il Presidente AIDIC Giuseppe Ricci ha affermato, i lavori di ricerca che hanno ottenuto i Premi Tesi AIDIC e Orim 2019 sono da apprezzare “per la loro qualità, in particolare dal punto di vista dell’innovazione, della sostenibilità, dell’utilità sociale e della realizzabilità”. Vediamo più in dettaglio i risultati di questi sei lavori di ricerca.

DI GIORGIO VERONESI

Il 12 giugno scorso si è tenuto il Consiglio Direttivo AIDIC, che, a causa dell'emergenza Covid-19, si è svolto in via telematica. In quest'occasione sono stati premiati i vincitori dei premi AIDIC ed Orim del 2020. Perciò, si sono collegati via web, oltre a numerosi membri del Consiglio e rappresentanti di Soci Sostenitori AIDIC, i sei premiati dei concorsi di quest'anno. Il Presidente AIDIC, Giuseppe Ricci, ha espresso apprezzamento per la qualità dei lavori presentati, per la distribuzione geografica e la crescente presenza femminile, e la volontà di far crescere l'iniziativa continuando ad investire sui giovani e sulla ricerca, anche applicativa.

1.0 DOTTORATO

- Il premio Tesi Dottorato di 2.500 € va ad **Annalisa Apicella** dell'Università di Salerno, con il punteggio di 30.85 su 40, per la tesi: “Innovative routes to develop multi-functional sustainable active films for food packaging”, relatrice Prof.ssa Loredana Incarnato.
- Il secondo premio di 2.000 € va a **Giada Tranchida** dell'Università di Palermo, con il punteggio di 29.95 su 40, per la tesi: “Corrosion Resistance of Different Stainless Steel Grades in Food and Beverage Industry”, relatore Prof. ssa Monica Santamaria.

2.0 MAGISTRALE

- Il primo premio Tesi Magistrali di 2.000 € va a **Riccardo Donadi** dell'Università di Padova, con il punteggio di 31.5 su 40, per la tesi: “Innovative methods for free aromatic amines abatement in glycolysis products”, relatore Prof. Michele Modesti.

- Il secondo premio di 1.500 € va ad **Alessandro Milazzo** dell'Università di Palermo, con il punteggio di 29.95 su 40, per la tesi: “Deposizione e caratterizzazione di biocoating di bioglass e idrossiapatite per applicazioni biomedicali”, relatrice Prof.ssa Rosalinda Inguanta.
- Il terzo premio di 1.500 € va a **Flavia Ciranna** e **Matteo Fedeli** del Politecnico di Milano, con il punteggio di 28.65 su 40, per la tesi: “Optimal design and flexibility assessment of intensified solutions for biorefinery downstream processing: the dwc case study”, relatore Prof. Flavio Manenti.

3.0 PREMIO ORIM

Il premio ORIM per tesi di laurea magistrale di 2.500 € va a **Daniela Tamburrino** dell'Università di Palermo, dal titolo: “Processo di recupero del rame da schede elettroniche”, relatrice Prof. ssa Rosalinda Inguanta.

Su richiesta del Presidente Alfredo Mancini per Orim, ogni vincitore ha presentato il proprio lavoro in maniera sintetica, ma efficace.

Il Presidente Ricci ha concluso la cerimonia esprimendo il suo personale apprezzamento per il lavoro fatto. Dalla discussione con i giovani ricercatori e laureati, è risultato evidente che anche in questi tempi di seria crisi economica la Laurea in Ingegneria Chimica rappresenta sempre una buona via d'accesso a opportunità lavorative interessanti.

In conclusione, Ricci ha esortato ed ha esortato i giovani vincitori a portare nelle loro future attività professionali l'entusiasmo e la competenza che hanno dimostrato nei loro lavori di tesi.

Active packaging, sviluppo di film attivi sostenibili e ad alte prestazioni

DI ANNALISA APICELLA, PH.D. (*)

(*) DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO - FISCIANO (SA)
anapicella@unisa.it



ANNALISA APICELLA HA VINTO IL PRIMO PREMIO TESI DOTTORATO

L'*active packaging* è tra le più interessanti innovazioni nel campo del confezionamento alimentare. Fra tutti, gli *oxygen scavengers*, gli antiossidanti e gli antimicrobici sono i sistemi attivi più promettenti, poiché influenzano profondamente la qualità e la durabilità dei prodotti alimentari. Tuttavia, ottenere un imballaggio attivo con prestazioni ottimali non è un compito semplice: gli obiettivi chiave includono la realizzazione di strutture efficaci, con prestazioni "su misura" in base ai requisiti di conservazione degli alimenti e con proprietà funzionali soddisfacenti; l'impiego di tecnologie di

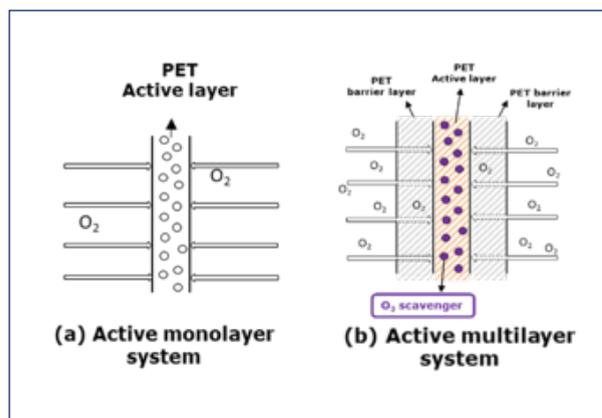
produzione convenzionali, facilmente scalabili a livello industriale; un'elevata eco-sostenibilità, nel rispetto dei requisiti dettati dal modello di economia circolare.



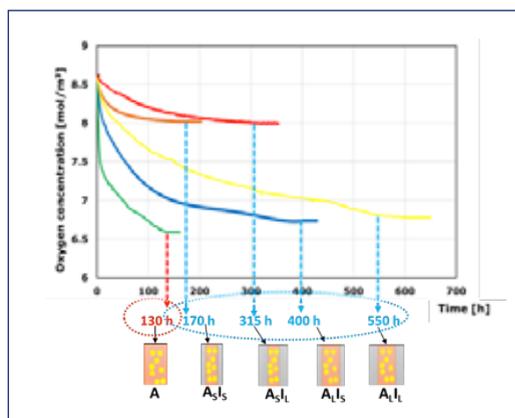
In particolare, è necessario un adeguato controllo delle cinetiche di assorbimento, al fine di evitare l'esaurimento prematuro dei film a base di *oxygen scavengers*, mentre per le strutture antimicrobiche e antiossidanti è fondamentale ottenere un rilascio modulabile nel tempo. In tale scenario, l'obiettivo di questa tesi di dottorato è stato quello

di progettare, realizzare e verificare l'efficacia di film innovativi multi-funzionali ed eco-sostenibili per il confezionamento alimentare. Particolare attenzione è stata posta all'eco-design dei sistemi, selezionando materiali completamente riciclabili, come il PET, o polimeri biodegradabili, come PLA, PBAT e whey protein isolate (WPI). Allo stesso tempo, è stata privilegiata l'applicabilità industriale, impiegando tecnologie convenzionali, come l'estrusione e il coating, utilizzate nell'industria del packaging alimentare.

La prima parte del lavoro ha riguardato la realizzazione di film multistrato mono-materiale, 100% riciclabili a base di PET e oxygen scavenger, opportunamente progettati



SCHEMA DEI MECCANISMI DI DIFFUSIONE DI OSSIGENO CHE INTERVENGONO IN CASO DI (A) FILM MONOSTRATO ATTIVO A BASE DI OXYGEN SCAVENGER; (B) FILM MULTISTRATO A BASE DI OXYGEN SCAVENGER + BARRIERA INERTE



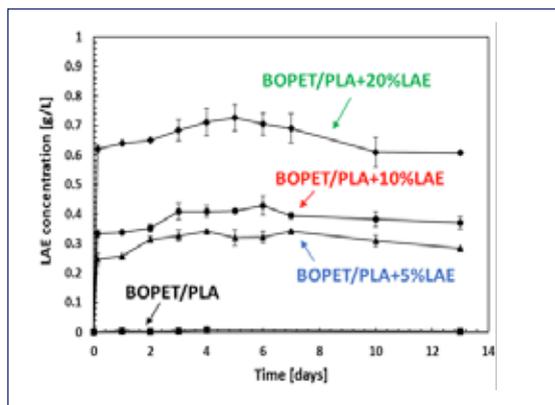
CURVE DI ASSORBIMENTO DI OSSIGENO A 25 °C PER IL FILM MONOSTRATO ATTIVO (A) E PER I FILM MULTISTRATO AVENTI DIVERSO SPESSORE RELATIVO DEGLI STRATI ATTIVO E INERTI

allo scopo di estendere la durabilità dello scavenger nel tempo.

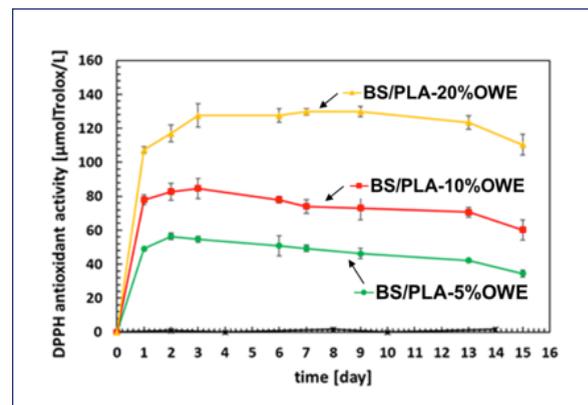
Nella seconda parte della tesi è stata studiata la possibilità di funzionalizzare substrati di PET attraverso un coating attivo biodegradabile, a base di PLA, incorporato con diverse concentrazioni di un antimicrobico naturale denominato LAE (Ethyl-N α -dodecanoyl-L-arginate).

Infine, la terza parte del lavoro, in parte condotto nell'ambito di 6 mesi di internship presso il Fraunhofer Institute (IVV) di Monaco di Baviera, ha mirato ad esplorare nuove possibilità per sviluppare film attivi sostenibili attraverso la valorizzazione di composti bioattivi naturali derivanti da scarti dell'industria olearia.

Le numerose strutture di packaging sviluppate nell'ambito di questo lavoro di tesi hanno tutte dimostrato il loro potenziale nell'estendere la shelf-life di alimenti sensibili, agendo come assorbitori di ossigeno o come carriers per il rilascio controllato di antimicrobici e antiossidanti, interagendo con molteplici meccanismi di deterioramento. Inoltre, la progettazione tailor-made dei film ha permesso di soddisfare le esigenze



CURVE DI RILASCIO DELL'ANTIMICROBICO LAE NEL TEMPO PER I FILM DI BOPET/PLA A DIVERSA PERCENTUALE DI AGENTE ATTIVO



ATTIVITÀ ANTIOSSIDANTE (ESPRESSA IN μ molTrolox/L) λ RILASCIATA DAI COATING BIODEGRADABILI ATTIVI A BASE DI ESTRATTI DA ACQUE DI VEGETAZIONE DELLE OLIVE: SI OTTIENE UNA CINETICA DI RILASCIO REGOLABILE VARIANDO LA COMPOSIZIONE DEI FILM

di confezionamento di un'ampia gamma di alimenti (matrici vegetali fresh-cut, prodotti secchi o grassi) con shelf-life breve, media o a lungo termine.

L'approccio impiegato ha consentito di ottenere imballaggi altamente eco-sostenibili con molteplici proprietà funzionali soddisfacenti, assicurando il superamento del modello economico lineare "take-make-dispose" in favore dell'adozione del modello più vantaggioso di economia circolare, capace di autosostenersi e rigenerarsi.

Resistenza alla corrosione di acciai inox per il settore Food

DI GIADA TRANCHIDA (*)

(*) LABORATORIO DI ELETTROCHIMICA APPLICATA - UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

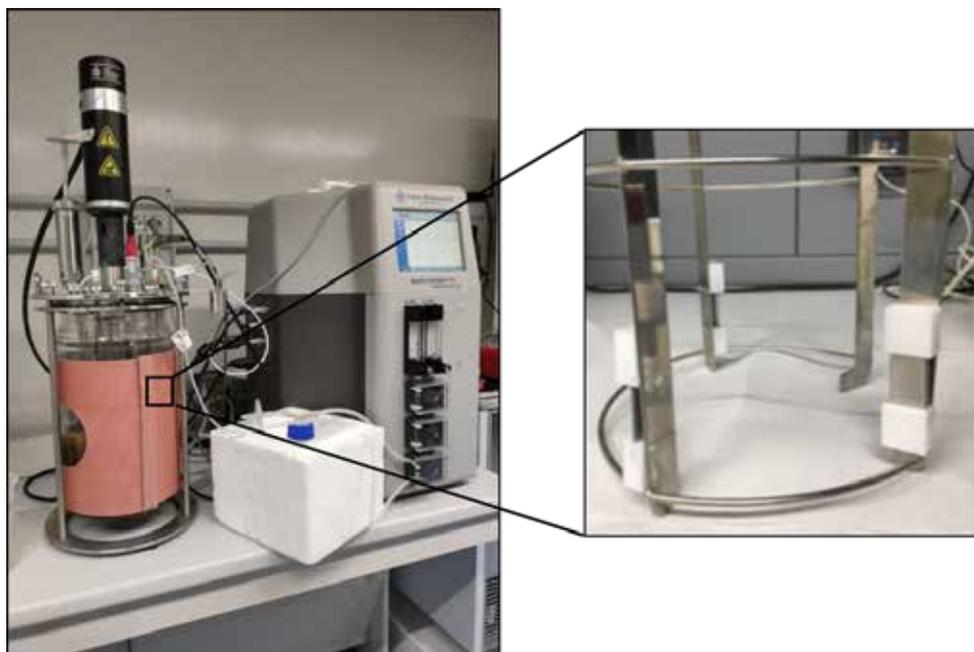
Il quadro normativo in materia di sicurezza e igiene degli alimenti ha portato gli operatori del settore alimentare a garantire il rispetto delle direttive nazionali e comunitarie tali da assicurare elevati standard di igiene e qualità in impianto e il contenimento dei costi di produzione e manutenzione delle apparecchiature. In particolare le Good Manufacturing Practices (GMP) impongono severe prescrizioni per la produzione degli alimenti, la progettazione degli ambienti di processo e la prevenzione delle possibili fonti di contaminazione.

La scelta dei materiali da utilizzare per la realizzazione del Food Equipment gioca dunque un ruolo fondamentale nel prevenire l'onset di fenomeni di corrosione che possono indurre il degrado dei materiali metallici e la contaminazione dei fluidi di processo. La normativa prevede inoltre che vengano periodicamente applicati



dei protocolli di pulizia e sanificazione degli ambienti attraverso cicli di pulizia (*Cleaning In Place*, CIP), disinfezione e sterilizzazione mediante l'utilizzo di soluzioni di lavaggio grazie a un sistema automatizzato che evita così il disassemblaggio delle apparecchiature e grazie alle

GIADA TRANCHIDA HA VINTO IL 2° PREMIO TESI DI DOTTORATO



RAPPRESENTAZIONE DEL SET-UP SPERIMENTALE UTILIZZATO PER SIMULARE L'ADESIONE BATTERICA

quali è possibile rimuovere e prevenire l'accumulo di sostanze organiche, che possono indurre la proliferazione dei batteri e quindi la formazione di biofilm sulla superficie dei vessel.

STUDIO DELLA RESISTENZA ALLA CORROSIONE DI ACCIAI INOX NEGLI AMBIENTI SIMULANTI

L'obiettivo di questo progetto di ricerca è stato dunque quello di studiare le interazioni tra gli acciai inossidabili tipicamente utilizzati nell'industria alimentare e gli ambienti con cui entrano in contatto considerando non solo il food processing, ma anche le operazioni di cleaning delle apparecchiature e lo storage dei fluidi di processo.

È stato quindi realizzato uno studio sulla formazione e la stabilità di film di passività accresciuti su AISI 304L, 316L e duplex in seguito all'esposizione prolungata nelle soluzioni simulanti gli ambienti di lavoro, scegliendo opportunamente la composizione, la temperatura di esercizio, le modalità e i tempi di esposizione in accordo con i protocolli riportati in letteratura. È stata studiata quindi nel dettaglio la cinetica dei processi di dissoluzione nei food simulant tramite CoE protocol e sono stati infine simulati i processi di cleaning, disinfezione e sterilizzazione nel tentativo di ottimizzare i protocolli di sanificazione degli ambienti industriali. Infine, è stato studiato l'effetto

dell'adesione batterica e della rimozione del biofilm sulla resistenza alla corrosione degli acciai inducendo la crescita dei batteri attraverso immersione in un fermentatore pilota destinato alla produzione di proteine ricombinanti in *E. coli* tramite fermentazione aerobica. La rimozione è stata effettuata attraverso lavaggi in ipoclorito di sodio a diverse concentrazioni in maniera da garantire anche la necessaria disinfezione.

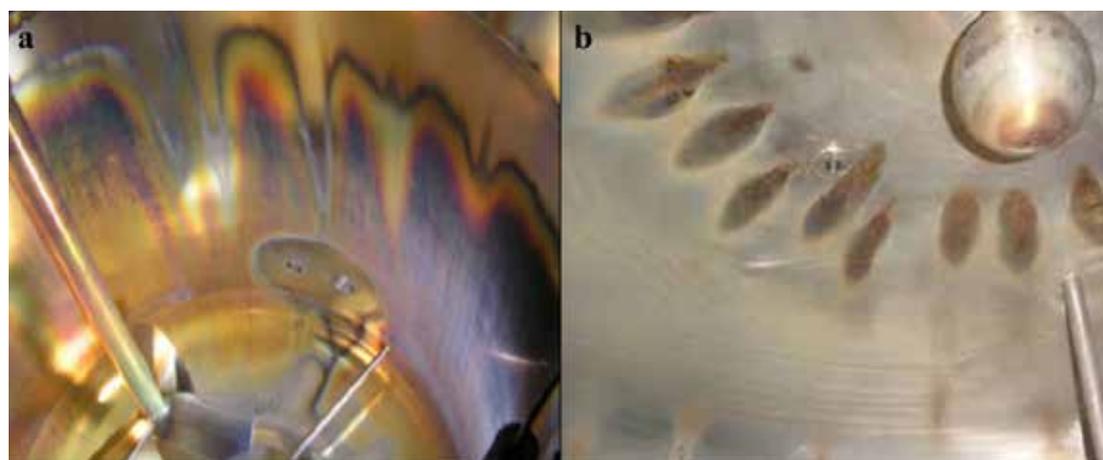
RISULTATI SPERIMENTALI

I risultati sperimentali hanno consentito di stabilire come l'interazione tra acciai inox e Water For Injection e/o soda a caldo, comunemente utilizzate per il Cleaning in Place, e Hot Water Vapor, utilizzato per la Sterilizzazione in Place, possano indurre la formazione di *rouging*, ossia la formazione di un film di passività ricco in ferro frutto della dissoluzione selettiva del cromo. Le quantità di cromo perse durante queste fasi sono comunque talmente basse da non risultare pericolose nei confronti dei fluidi di processo.

I fluidi che simulano i cosiddetti acidic food non provocano cambiamenti significativi nel film di passività che ricopre gli acciai inox che rimane

essenzialmente costituito da ossido di cromo. Invece il contatto con i fluidi che simulano i cosiddetti fatty food induce un arricchimento in ferro del film di passività e l'onset di pit metastabili il cui destino finale dipende significativamente dal contenuto di manganese all'interno dell'acciaio di partenza.

All'interno dei fermentatori per la produzione di proteine ricombinanti l'acciaio inox si mantiene a potenziali molto negativi per via del fatto che la concentrazione di ossigeno viene mantenuta bassa in prossimità della superficie di crescita del biofilm a causa del metabolismo batterico. L'azione chelante delle siderofore si è rivelata responsabile dell'arricchimento in cromo del film di passività che mantiene un'elevata azione protettiva.



ROUGING SULLE PARETI INTERNE DI UN MIXER (a) E
IN PROSSIMITÀ DELLE SPRAY BALLS UTILIZZATE PER IL CLEANING (b)

Abattere le ammine aromatiche per il recupero del poliuretano

DI RICCARDO DONADINI(*)

(*) UNIVERSITÀ DI PADOVA

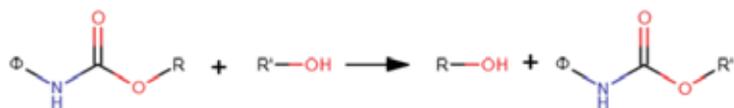


RICCARDO DONADINI, VINCITORE DEL PRIMO PREMIO TESI MAGISTRALE

Durante gli ultimi anni, il problema del fine vita del poliuretano è esponenzialmente cresciuto, vista l'applicazione di leggi più severe in materia ambientale e dell'emergere del concetto di economia circolare. Essendo un materiale termoindurente, le classiche tecnologie di riciclo non trovano applicazione, il riciclo chimico invece risulta l'alternativa preferibile. In particolare, il processo di glicolisi, che utilizza un glicole per transesterificare il poliuretano, permette di ottenere un prodotto liquido che può essere impiegato come materia prima seconda per produrre nuovo poliuretano. Durante il processo

di glicolisi avvengono alcune reazioni secondarie che producono un'ammina aromatica libera, la metilendianilina (MDA) che ha un limite di concentrazione in un poliolo di 0.1% wt.

L'obiettivo di questo lavoro è lo studio della formazione di MDA al variare dei diversi parametri di processo. La reazione di glicolisi è condotta a 200 °C per 4 ore, con un rapporto tra poliuretano e glicole (DEG) di 1.5. I catalizzatori testati sono l'acetato di potassio e l'ottoato di stagno.



Lo studio è condotto in umidità ambiente e ridotta. Il prodotto ottenuto è stato caratterizzato in termini di viscosità, numero di ossidrilie e contenuto di MDA. Quest'ultima è stata minimizzata agendo sui parametri di processo sopra citati e abbattuta mediante l'utilizzo di agenti di deaminazione.

L'MDA si forma linearmente nel tempo e l'acetato di potassio è risultato più selettivo dell'ottoato, producendo quindi, a parità di concentrazione, un minor contenuto di MDA. La disidratazione dei prodotti è efficace nell'evitare la produzione di MDA, ma non ha permesso di rispettarne i limiti di concentrazione. L'HMTA e il DGEBA (esametilentetrammina e diglicidil etere del bisfenolo)



LASTRE DI POLIURETANO

riducono l'MDA aumentando esponenzialmente la viscosità. In opportune condizioni di temperatura e concentrazione, invece, un etere riesce ad abbattere

completamente l'ammina aromatica preservando le caratteristiche di viscosità. Il prodotto di glicolisi ottimizzato è stato poi mescolato a poliolo vergine (dal 25 al 75% in peso) e formulato per ottenere una schiuma poliuretanicca. Le caratteristiche termiche delle schiume ottenute risultano invariate rispetto al riferimento, mentre la resistenza a compressione aumenta all'aumentare della percentuale di poliolo di riciclo. I risultati conseguiti permettono quindi di ampliare lo studio variando puntando alla realizzazione di un reattore semi-pilota.



IL REATTORE UTILIZZATO

Studio su biocoating di idrossiapatite e bioglass

DI ALESSANDRO MILAZZO(*)

(*) UNIVERSITÀ DI PALERMO



RICCARDO DONADINI, VINCITORE DEL PRIMO PREMIO TESI MAGISTRALE

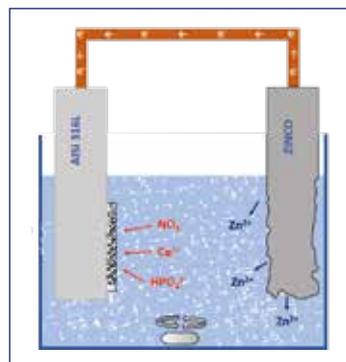
L'*idrossiapatite* ha una struttura chimica molto simile a quella dei componenti minerali delle ossa e dei denti. È compatibile con vari tipi di tessuto e può aderire direttamente al tessuto osseo, molle e muscolare. È osteoconduttiva, cioè aderisce all'osso preesistente favorendone la crescita, inoltre non è tossica e non è riconosciuta come corpo estraneo dal corpo umano. I vetri bioattivi come il Bioglass sono una speciale categoria di ceramiche biocompatibili composta da silicio e vari ossidi. Il Bioglass è in grado, entro poche ore dall'innesto *in vitro*, di creare legami interfacciali molto forti con i tessuti circostanti,

favorendo una perfetta adesione tra la protesi e l'osso, inoltre ha proprietà antibatteriche e antimicrobiche.

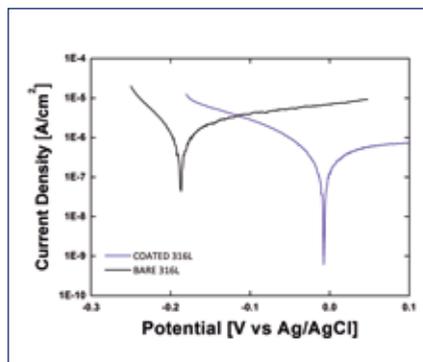
Grazie all'utilizzo dei biocoating di idrossiapatite e bioglass su supporti metallici si ha un composito che resiste non solo agli stress meccanici a cui è soggetto l'apparato scheletrico, ma anche ai fenomeni corrosivi che si verificano nel fluido corporeo assicurando una perfetta integrazione della protesi con le componenti ossee del nostro organismo.

Il biocoating è stato realizzato attraverso codeposizione elettrochimica simultanea di idrossiapatite e bioglass ottenuta tramite il processo di cementazione su acciaio 316L. Questa tecnologia sfrutta la differenza dei potenziali redox tra anodo e catodo senza l'imposizione di una differenza di potenziale esterna. La deposizione avviene a temperatura ambiente, non necessita dell'uso di energia elettrica né di energia termica.

- Come elettrodo di lavoro (catodo) è stato usato l'acciaio AISI 316L (*low carbon*)
- Come anodo è stato usato zinco metallico, sia per basso costo e facile reperibilità e sia perché la coppia acciaio/zinco possiede una buona forza spingente per la deposizione dell'idrossiapatite.



SCHEMA ESPLICATIVO PROCESSO DI CEMENTAZIONE



ANDAMENTO DELLE PROVE DI CORROSIONE

La soluzione catodica è stata preparata con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ e NaNO_3 a cui sono state aggiunte differenti quantità di Bioglass di (0,5 - 1 - 2 g/l). Attraverso la diffrattometria a raggi X si vede i campioni possiedono un coating spesso e un buon grado di rivestimento. Gli stessi risultati sono confermati dalla spettroscopia Raman. Grazie al SEM è stata valutata la morfologia dei campioni, mentre con analisi EDS è stata valutata la composizione atomica dei diversi elementi che costituiscono il coating ed è stata riscontrata la presenza del bioglass. Le prove di corrosione sono state effettuate immergendo i campioni in SBF (*simulated body fluid*) per 21 giorni.

Per valutare la resistenza alla corrosione, i campioni sono stati sottoposti a misure di OCP (*open circuit potential*), e poi sottoposti ad una polarizzazione lineare in modo tale da valutare il potenziale di corrosione e la corrente di corrosione tramite estrapolazione delle rette di Tafel. Una volta terminate le prove di corrosione, l'SBF in cui erano stati immersi i campioni è stato analizzato attraverso la spettroscopia di emissione al plasma (ICP-OES), per determinare la concentrazione di ioni metallici rilasciati durante l'aging.

Le curve OCP di polarizzazione hanno dimostrato che indipendentemente dalla concentrazione di Bioglass, si ottiene un rivestimento in grado di proteggere il metallo dalla corrosione rendendolo più nobile. Infatti nei campioni rivestiti col biocoating è stato registrato un potenziale di corrosione maggiore e una densità di corrente minore rispetto all'acciaio nudo. Grazie alle analisi ICP-OES è stata misurata una concentrazione di ioni metallici presente in SBF inferiore al ppm.

La realizzazione di biocoating di idrossiapatite e bioglass è possibile attraverso una tecnica di deposizione davvero semplice, di facilissima attuazione, e dai costi quasi irrisori. Inoltre, attraverso la cementazione è possibile ottenere coating per dispositivi biomedicali di qualsiasi

forma. Con questa nuova tecnologia non si avranno più incompatibilità, infiammazioni, dolori acuti, problemi di calcificazioni del tessuto osseo, non si avrà più rilascio di ioni metallici altamente dannosi per il corpo umano, sarà limitato l'insorgere di infezioni dovuto all'introduzione di corpi estranei nel nostro organismo. Non sarà più il corpo umano che si dovrà adattare alla nuova protesi, bensì sarà la nuova protesi che si adatterà perfettamente ad esso.

Downstream in bioraffineria: utilizzo di una DWC per produrre bioetanolo

DI FLAVIA CIRANNA E MATTEO FEDELI(*)

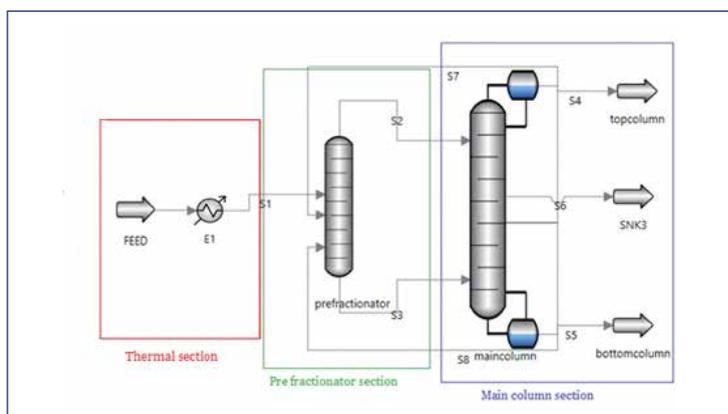
(*) POLITECNICO DI MILANO



FLAVIA CIRANNA E MATTEO FEDELI HANNO OTTENUTO IL TERZO PREMIO TESI MAGISTRALE

La nostra tesi si occupa della simulazione in stazionario di un impianto di separazione a valle del processo Acetone-Butanolo-Etanolo (ABE) attraverso l'utilizzo di una Divided Wall Column (DWC), un particolare tipo di colonna di distillazione che permette la separazione ternaria/quaternaria in una singola unità.

Fino alla prima metà del XX secolo, la fermentazione dell'ABE al fine di ottenere bio-butanolo era il processo di fermentazione più diffuso in scala industriale. Con il sorgere del petrolio e delle benzine, la fermentazione alcolica è stata progressivamente abbandonata a causa della sua bassa competitività. Negli ultimi vent'anni, l'interesse nella produzione di energia da risorse rinnovabili è rinato a causa dell'aumento



FLOWSHEET DEL PROCESSO MODELLATO SU AVEVA SIMSCENTRAL

del riscaldamento globale e del cambiamento climatico, al prezzo del petrolio sempre in aumento e alla presenza di leggi che limitano l'utilizzo di energia da fonti non rinnovabili. La DWC in sostituzione del classico processo di fermentazione, o del treno di colonne permette di ottenere bio-butanolo dalla miscela ABE, con un'unica unità operativa.



CONFRONTO TRA DWC E CONFIGURAZIONE INDIRETTA RELATIVO A COSTI ANNUALI ED EMISSIONI.

Il lavoro si divide in due parti principali: la prima studia l'ottimizzazione, in termini di costi ed emissioni di CO₂, del case-study in condizioni nominali. Nella seconda parte è stata fatta una valutazione della flessibilità variando il feed, con conseguente ottimizzazione. Infine, entrambe le analisi sono state confrontate con il treno indiretto di colonne, per analizzare quale configurazione sia più conveniente da un punto di vista economico, di flessibilità ed emissioni. La maggior parte del lavoro osservabile si è concentrata sull'ottimizzazione in condizioni nominali e perturbate della configurazione della colonna a pareti divise. Questo trattamento ha dato risultati robusti che confermano molte delle teorie viste nella bibliografia. I risultati ottenuti permettono di aumentare l'importanza a livello industriale per questo tipo di colonna poiché può raggiungere un livello di flessibilità maggiore rispetto alle colonne convenzionali, diminuendo la richiesta energetica e il livello di emissioni (in termini di CO₂ equivalente). Inoltre, l'implementazione di una simulazione di processo che crea un algoritmo shortcut migliora il grado di modellazione dell'operazione unitaria.

Recupero di rame per via elettrochimica da schede elettroniche

DI DANIELA TAMBURRINO (*)

(*) UNIVERSITÀ DI PALERMO



A DANIELA TAMBURRINO IL PREMIO ORIM PER LA SUA TESI DI LAUREA MAGISTRALE

La crescita dell'industria elettronica degli ultimi vent'anni ha comportato un aumento esponenziale della richiesta di rame e di altri metalli.

La continua domanda di materia prima è accompagnata dalla contemporanea diminuzione della durata dei manufatti, causando un accumulo eccessivo di rifiuti mal gestiti.

Il 3-13 % dei RAEE (Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche) è rappresentato dalle schede elettroniche, le quali sono generalmente composte da materie plastiche, materiali ceramici e da circa il 40% di componente metallica. Tra gli elementi metallici sono presenti rame, oro

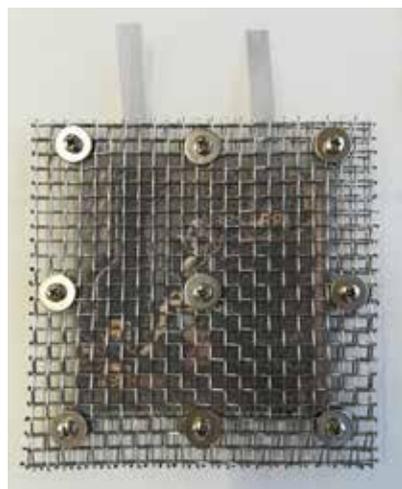
e argento, in concentrazioni tali da rendere le schede elettroniche una "risorsa urbana mineraria". Il rame, in particolare, rappresenta il 20 % in peso di una scheda, percentuale nettamente superiore rispetto a quella riscontrata nei minerali presenti in natura, 0.5 - 6 %.

Le metodologie attualmente adoperate in industria per il recupero specifico di rame prevedono tutti uno step finale di raffinazione elettrochimica. La tecnologia elettrochimica ha notevoli vantaggi, tra cui la compatibilità con l'ambiente, le elevate efficienze energetiche e la riduzione delle sostanze chimiche adoperate, la ricerca scientifica sta sviluppando dei processi.

PROCESSO DI RECUPERO DEL RAME

Il processo di recupero studiato è preceduto da una fase di pretrattamento della scheda elettronica che permette di scoprire le piste di rame di quest'ultima, la quale a questo punto può essere sottoposta alla contemporanea estrazione e deposizione del rame per via elettrochimica, punto focale di questo lavoro di tesi.

Lo step di contemporanea elettrodissoluzione ed elettrodeposizione



CONFIGURAZIONE DELL'ANODO

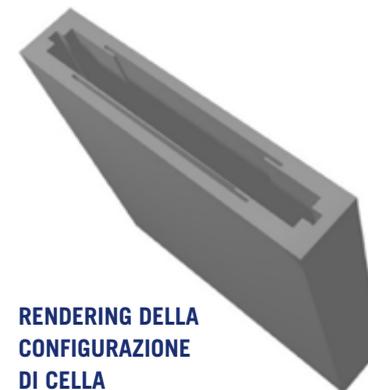


IL 20 % IN PESO DI UNA SCHEDA ELETTRONICA È COSTITUITO DA RAME

è condotto in una cella. L'anodo è un blocco composto da due griglie in acciaio inox e dalla scheda "nuda". Ogni superficie di quest'ultima è esposta verso un catodo di rame puro avente le sue stesse dimensioni. I

catodi e l'anodo sono quindi inseriti all'interno della cella stampata ed immersi nella soluzione elettrolitica $0,2 \text{ M CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O} / 2 \text{ M H}_2\text{SO}_4$.

Al fine di poter individuare le condizioni operative tali da conferire le migliori efficienze accompagnate dal minor dispendio di energia, sono state effettuate varie prove a potenziale costante. È stato individuato che imponendo una tensione di cella pari a 0.45 V, sia a temperatura ambiente che a 45 °C, il consumo di energia elettrica specifico è di 0.37 kWh/kg, valore di poco superiore a quello dei processi di elettrorefinazione (0.25 kWh/kg) e inferiore rispetto ai 1.7 kWh/kg richiesti per il processo condotto in assenza di griglia. Il grado di estrazione del rame raggiunge anche valori superiori all'80 %.



RENDERING DELLA CONFIGURAZIONE DI CELLA