

LA NANOCELLULOSA COME MATERIALE INNOVATIVO PER UN FUTURO PIÙ SOSTENIBILE

» **Laura Riva**
ricercatrice post-doc
del Politecnico
di Milano,
dottorato nell'OSCMLab
con Innovhub SSI,
Area Carta e Cartone;
vincitrice della borsa
di studio sponsorizzata
da Aticelca
e da RDM Group

In un mondo in cui produzione, utilizzo e smaltimento dei prodotti vengono condotti in modo non sostenibile, la ricerca muove passi verso nuove prospettive, che permettano di limitare il consumo di materie prime che si stanno lentamente esaurendo a favore di nuovi materiali che è possibile ottenere anche da fonti di scarto. Circolarità, riciclo e sostenibilità sono le nuove chiavi per un futuro più ecologico e a impatto ridotto

La mia attività di ricerca – a partire dal dottorato svolto all'interno dell'OSCMLab in condivisione con Innovhub SSI, Area Carta e Cartone – ha avuto come missione l'utilizzo e la valorizzazione di fonti di scarto contenenti cellulosa per ottenerne un materiale innovativo ed eco-sostenibile, la nanocellulosa. Tutto il lavoro è stato valutato positivamente dalla commissione scientifica nell'ambito della competizione per il premio "Carta Tecnologia Futura", risultando il progetto di ricerca di tesi vincitore della borsa di studio, sponsorizzata da Aticelca e da RDM Group.

La missione scientifica

Durante il mio dottorato di ricerca svolto

nel Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta" del Politecnico di Milano, sotto la guida del professore Carlo Punta e in collaborazione con Innovhub Stazioni Sperimentali per l'Industria – Area Carta e Cartone, sotto la supervisione di Graziano Elegir, l'obiettivo è stato fin da subito chiaro: occuparci di fonti di cellulosa vergini e di scarto – con particolare attenzione a queste ultime – per ottenerne materiali cellulose-based a valore aggiunto, meno impattanti, più sostenibili e che potessero essere inseriti in diverse applicazioni.

La nanocellulosa

Tra i materiali a valore aggiunto ottenibili

**LA NANOCELLULOSA
HA UNA NOTEVOLE
RESISTENZA
ALLA TRAZIONE,
UN'ELEVATA
BIOCOMPATIBILITÀ,
PROPRIETÀ
ISOLANTI E GRANDE
FLESSIBILITÀ**

dalle fonti contenenti cellulosa abbiamo individuato la nanocellulosa. Perché proprio la nanocellulosa? La risposta risiede nelle interessanti caratteristiche che essa possiede. Tra le proprietà intrinseche che la rendono così altamente appetibile per il settore industriale troviamo la sua

LA MIA MISSIONE SCIENTIFICA, PREMIATA CON LA BORSA DI STUDIO CARTA TECNOLOGIA FUTURA, È RIVOLTA ALL'UTILIZZO E ALLA VALORIZZAZIONE DI FONTI DI SCARTO CONTENENTI CELLULOSA PER OTTENERNE UN MATERIALE INNOVATIVO ED ECO-SOSTENIBILE, LA NANOCELLULOSA

notevole resistenza alla trazione, l'elevata biocompatibilità, le proprietà isolanti e la sua grande flessibilità. È inoltre già utilizzata in alcuni ambiti industriali, in particolare nella cosmetica, per la produzione di bio-etanolo e molto altro ancora. Tutte queste qualità ci hanno ispirati e la nostra ricerca si è quindi orientata sulla produzione di nanocellulosa da fonti vergini e di scarto per poi utilizzarla in ambito bioedilizio e per la sintesi di composti nanostrutturati.

Le fonti e i processi produttivi

Il confronto tra fonti vergini e fonti di scarto come fonte primaria di cellulosa per l'ottenimento di nanocellulosa è stato di fondamentale importanza per poter comprendere che anche fonti di scarto con alto contenuto celluloso – come per esempio i fanghi derivanti dai processi di depurazione delle acque di cartiera e alcuni tipi di cartoncino riciclato e polpa da macero di riciclo – possono essere utilizzate ottenendo risultati soddisfacenti. Per la produzione di nanocellulosa diversi processi sono stati confrontati, in particolare combinando pre-trattamenti ossidativi ed enzimatici con diversi trattamenti meccanici. Le nanofibre di cellulosa ottenute tramite queste diverse combinazioni hanno diverse caratteristiche morfologiche, ma tutte si collocano in un range dimensionale nanometrico per quanto riguarda il loro diametro, presentando però una lunghezza della fibra che rimane micrometrica mantenendo così intatte le proprietà meccaniche di rinforzo ma acquisendo tutte le qualità della nanocellulosa elencate precedentemente.

L'analisi del ciclo di vita (LCA) sulle nanofibre di cellulosa

Sulle nanofibre di cellulosa prodotte è stata condotta un'analisi del ciclo di vita, analisi che è in grado di fornire una panoramica dettagliata del reale impatto ambientale di un materiale selezionato. Pertanto, l'LCA ci ha aiutati a valutare l'impatto delle nanofibre di cellulosa prodotte con diversi metodi e partendo da diverse fonti. L'analisi è stata condotta in collaborazione con il laboratorio Mat4En del Politecnico di Milano, in particolare con il professore Giovanni Dotelli e la professoressa Paola Gallo Stampino.

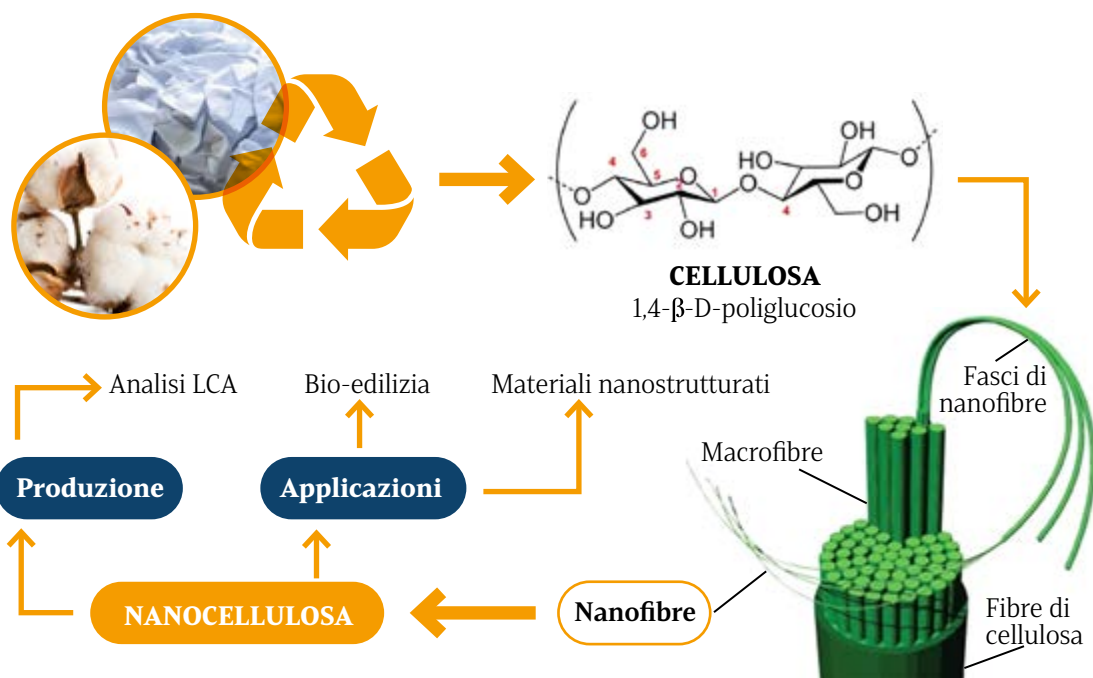
Da questa analisi è emerso che l'utilizzo di un pre-trattamento enzimatico è significativamente più conveniente in termini di sostenibilità rispetto ai processi che prevedono un pre-trattamento ossidativo, dal momento che la fase di ossidazione ha un forte impatto sul processo complessivo in termini di consumo energetico. È stato inoltre riscontrato che a parità di pre-trattamento, l'utilizzo di un trattamento di omogeneizzazione ad alta pressione risulta essere migliore del trattamento di ultrasonificazione per quanto riguarda la fase di nano-dimensionamento della fibra. Un altro dato osservato è che l'uso di fonti di cellulosa da scarto è più conveniente rispetto alle fonti vergini in termini di impatto. Inoltre, a seguito di un'analisi di sensibilità, è stato possibile individuare l'elevato impatto del consumo di elettricità su scala di laboratorio, che però può essere ridotto in modo significativo modellando un processo su scala pilota. Su scala pilota, il processo con pre-trattamento enzimatico risulta comunque essere il migliore, mentre le differenze tra i processi di omogeneizzazione e ultrasonificazione sono praticamente annullate. Va però considerato che il processo di ultrasonificazione può essere utilizzato solo su scala di laboratorio senza possibilità di scale-up, pertanto il processo di nanodimensionamento tramite omogeneizzazione ad alta pressione risulta essere migliore anche su scala pilota. È però necessario fare alcune considerazioni prima di eleggere il processo comprendente il pre-trattamento enzimatico come il migliore in assoluto. Va sottolineata la diversa struttura chimica

delle nanofibre ottenute con i due diversi approcci. Infatti, il pre-trattamento ossidativo, che ha sicuramente un forte impatto sul processo complessivo, introduce però unità carbossiliche sulla struttura delle nanofibre, conferendo proprietà aggiuntive al materiale. Inoltre, l'uso di fonti riciclate come materie prime sembra essere la scelta ideale per ottenere processi sostenibili, ma è bene scegliere fonti riciclate con un alto contenuto di cellulosa per mantenere i benefici della scelta fatta.

Le applicazioni: dalla bio-edilizia alla sintesi di materiali nanostrutturati

Le nanofibre ottenute dai processi produttivi precedentemente descritti e caratterizzate da analisi di LCA sono state utilizzate per diverse applicazioni, tra cui il settore della bio-edilizia. In termini di impatto ambientale, i materiali da costruzione tradizionali contribuiscono in modo significativo alle emissioni totali di gas serra e al consumo di risorse, oltre a essere responsabili della creazione di una grande quantità di rifiuti. Per questo motivo il settore sta cercando di trovare soluzioni alternative. Queste soluzioni includono innanzitutto l'uso di additivi di origine naturale in materiali ad alto impatto ambientale come i cementi, e l'uso di soluzioni totalmente rinnovabili, come le terre crude, come alternativa ai materiali da costruzione tradizionali. L'utilizzo di additivi sostenibili a base di cellulosa in miscele da costruzione di origine naturale risulterebbe infatti un grande passo verso un'edilizia più green e sostenibile. I test effettuati sulle miscele di terra cruda con additivi a base di





L'obiettivo della tesi di dottorato è stato quello di produrre nanocellulosa da fonti vergini e di scarto e di esplorare diverse applicazioni di questo materiale innovativo, in particolare la bio-edilizia e la sintesi di materiali nanostrutturati

cellulosa e nanocellulosa hanno dimostrato che l'aggiunta di questi materiali ha un ruolo significativo sulle prestazioni delle terre crude nell'ambito applicativo degli intonaci. I test – nello specifico test di adesione e test di risalita capillare – hanno fatto emergere risultati promettenti strettamente dipendenti dal tipo di miscela utilizzata e dalla fonte cellulosa da cui proviene l'additivo. Questo aspetto è estremamente interessante, dal momento che anche partendo da fonti cellulose di scarto si sono ottenuti risultati migliorativi sul comportamento delle terre crude, in particolar modo nei test di adesione, fondamentali quando si vogliono considerare applicazioni in ambito intonaci. Al momento, insieme a tutto il team di lavoro, stiamo effettuando test approfonditi per comprendere quali siano le interazioni tra gli additivi a base di cellulosa e nanocellulosa e le diverse componenti delle terre, che risultano essere miscele complesse. Una comprensione dei fenomeni di interazione ci permetterà sicuramente di muoverci nella giusta direzione per la produzione e l'utilizzo di additivi mirati che possano quindi andare a sostituire gli additivi sintetici. Durante la mia tesi di dottorato ho poi approfondito l'utilizzo di nanofibre di cellulosa prodotte con pre-trattamento ossidativo come building-block per la sintesi di materiali nanostrutturati. Senza entrare nel dettaglio, ma per

dare un'idea chiara di quali siano le potenzialità di queste nanofibre di cellulosa e di questi materiali da esse derivati, la mia attività di ricerca mi ha portata ad esplorare applicazioni di questi aerogel nanostrutturati in diversi ambiti, in particolare la decontaminazione ambientale, il sensing di ioni specifici e la catalisi eterogenea. Ambiti estremamente variegati, ma tutti collegati alle proprietà interessanti ed uniche di questi materiali, tra cui troviamo elevata porosità, bassa densità e capacità di chelare i metalli grazie alla presenza di una poliammina, anch'essa building-block fondamentale per la sintesi di questi aerogels. Questi materiali nanostrutturati, prodotti dall'OSCM Lab fin dal 2015, hanno subito un'evoluzione nel tempo e nel 2020 siamo arrivati ad avere una formulazione meccanicamente stabile ed eco-compatibile, grazie all'introduzione di un co-crosslinker, l'acido citrico. Dopo questa ottimizzazione, l'attività di ricerca che ho svolto durante il dottorato si è concentrata sull'approfondimento delle applicazioni degli aerogels a base nanocellulosa, partendo dalla decontaminazione ambientale da metalli pesanti come rame, cobalto e nichel e piombo (Progetto NANOBOND in collaborazione con Regione Toscana) e da coloranti organici individuati nelle acque reflue di tintorie e stamperie. In entrambi i progetti abbiamo inoltre verificato la possibilità di rigenerare questi

materiali adsorbenti dopo l'uso in modo molto semplice, aspetto estremamente interessante, dal momento che i carboni attivi normalmente utilizzati per questo genere di applicazioni hanno un processo di rigenerazione estremamente impattante a livello economico e di consumo energetico. Tra le altre applicazioni interessanti di cui mi sono occupata troviamo sicuramente il rilevamento di anioni specifici in soluzione. Quando questi materiali nanostrutturati vengono opportunamente funzionalizzati con molecole sensore possono essere efficacemente utilizzati come sensori di anioni in soluzione, come ad esempio gli anioni fluoruro. L'aspetto interessante che abbiamo osservato è stata la possibilità di individuare la presenza di questi ioni attraverso un cambiamento di colore dei nostri sistemi visibile anche ad occhio nudo. Attualmente sono in corso studi con nuove molecole sensore per ampliare la gamma di ioni rilevati. Altre applicazioni che hanno visto gli aerogels a base di cellulosa come protagonisti sono state quelle nell'ambito della catalisi eterogenea. Sempre considerando le loro proprietà – in particolare la possibilità di chelare i metalli, la loro struttura micro- e nano-porosa, nonché le proprietà alcaline del materiale stesso – abbiamo esplorato il mondo della catalisi eterogenea di reazioni catalizzate da basi e da metalli. Il risultato è stato molto soddisfacente, dal momento che siamo stati in grado di utilizzare i nostri aerogels come catalizzatori efficienti in reazioni di Henry, di Knoevenagel, nella sintesi di acetali e nelle reazioni di Suzuki-Miyaura.

Guardare al futuro

Molto ancora c'è da esplorare, ma i risultati finora ottenuti ci confermano la versatilità di questi sistemi cellulose-based e dimostrano le potenzialità della nanocellulosa come risorsa del futuro, un materiale sostenibile, eco-compatibile, resistente e facilmente ottenibile anche da fonti di scarto. L'interesse crescente da parte dell'industria verso questo materiale ci invoglia inoltre a considerare e ad esplorare nuovi ambiti applicativi che possano espletare al meglio le interessanti e numerose proprietà della nanocellulosa. ■