

CELLULOSA BATTERICA:

1. Introduzione:

La cellulosa è il componente principale delle pareti delle cellule vegetali ed è il polimero naturale rinnovabile e più abbondante sulla terra. Può essere isolato da una fonte diversa, ad esempio legno, erbe, fibre di semi, fibre liberiane, invertebrati, animali acquatici, batteri, funghi e alghe.

La cellulosa batterica BC è un materiale sintetizzato naturalmente da diverse specie di *Acetobacteraceae* e i più ampiamente studiati sono il *Komagataeibacter xylinus* e il *Komagataeibacter oboediens* per la loro elevata efficienza. La BC si ottiene attraverso la fermentazione batterica, che è un processo semplice che non produce composti indesiderati. Nonostante abbia la stessa struttura chimica di quella della cellulosa vegetale, BC ha proprietà fisiche, chimiche e meccaniche molto diverse di elevata superficie, buona ritenzione idrica, elasticità, elevata resistenza e formabilità. La purezza, la cristallinità e il contenuto di acqua eccezionalmente elevati sono le ragioni dell'ampia gamma di potenziali applicazioni del BC in biologia. Nell'ultimo decennio sono stati sviluppati diversi metodi di dispersione del BC, tra cui la dispersione meccanica, la dispersione ultrasonica e il trattamento chimico, per ottenere nano-BC uniformemente dispersi.

2. Struttura:

BC esiste come struttura di base della fibrilla che consiste nella catena β -1 \rightarrow 4 glucano con formula molecolare $(C_6H_{10}O_5)_n$. Le catene di glucano sono tenute insieme da legami inter- e intra-idrogeno.

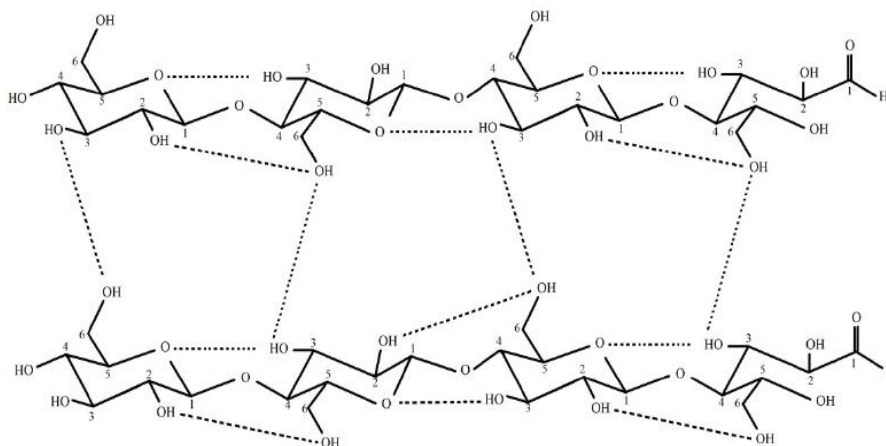


Figura 1: Legami intra- e inter- idrogeno nella cellulosa batterica

Le microfibrille di BC sono state descritte per la prima volta da Muhlethalerin nel 1949 e sono circa 100 volte più piccole della cellulosa vegetale. La rete fibrosa di BC è costituita da nanofibre tridimensionali ben disposte, con conseguente formazione di foglio di idrogel con elevata area superficiale e porosità. Durante processo di sintesi, le profibrille della catena del glucosio vengono secrete attraverso la parete cellulare dei batteri e si aggregano insieme formando nastri di cellulosa di nanofibrille. Questi nastri costruiscono la struttura della rete a forma di ragnatela di BC con matrice altamente porosa. La cellulosa formata ha una superficie abbondante di gruppi idrossilici, rendendola idrofilia, biodegradabile.

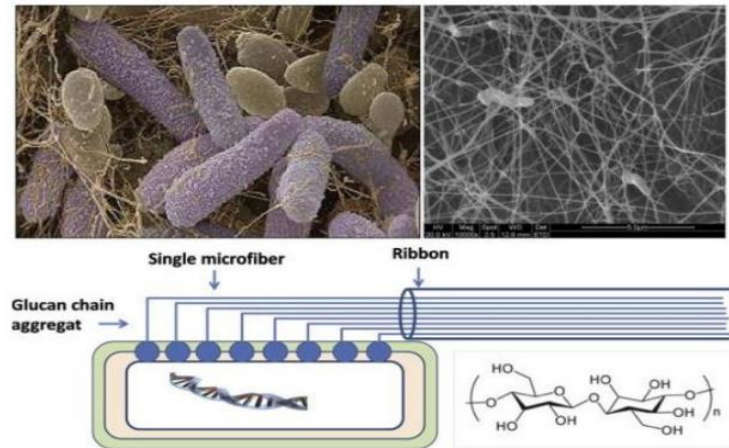


Figura 2: *Acetobacter xylinum* e formazione della cellulosa batterica

3. Processo fermentativo:

La fermentazione della produzione di BC può essere condotta in condizioni statiche, agitate, così da ottenere diverse forme di cellulosa. In condizioni statiche sono state riportate pellicole reticolari interconnesse tridimensionali, mentre in condizioni di agitazione si producono particelle di cellulosa sferiche irregolari. Il processo di formazione della cellulosa in condizioni statiche è regolato dall'apporto di aria dalla superficie mentre la resa dipende dalla concentrazione di carbonio. La sintesi di BC aumenta nel tempo e raggiunge il suo limite quando la pellicina inizia a crescere verso il basso e intrappola tutti i batteri, rendendoli inattivi a causa dell'insufficiente apporto di ossigeno.

Il processo semi-continuo in condizioni statiche è raccomandato su scala industriale, al contrario, a causa della bassa resa della produzione statica, la maggior parte della cellulosa a scopo commerciale viene generata attraverso la fermentazione agitata. Le condizioni di agitazione causano la formazione di cellulosa sferica irregolare, che presenta una minore cristallinità, resistenza meccanica e grado di polimerizzazione inferiori rispetto alle pellicole provenienti da colture statiche.

Considerando come ceppi principali i due citati, *K. Xylinus* è stato fatto fermentare in mezzo acquoso modificato (acqua di cocco, 1% di acido acetico, 2% di etanolo, 0,5% di saccarosio e 0,5% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), mentre *K. Oboediens* lasciato fermentare in un substrato YPGD: 0,5% di glucosio, 0,5% di estratto di lievito, 0,5% di polipeptone e 0,5% di glicerolo. Per entrambi i ceppi, la fermentazione è stata incubata a temperatura di 37°C , in condizioni ambientali, per 7 giorni. In questo modo si ottiene pellicole di BC che vengono fatti bollire con un volume sufficiente di 0,5 M NaOH per 1 ora per rimuovere le cellule batteriche, quindi lavato e immerso più volte con acqua deionizzata, per rimuovere residui di coltura e sostanze chimiche.

4. Applicazioni:

Dimostriamo che le membrane di cellulosa batterica reticolata presentano proprietà fisiche adatte per essere utilizzate come medicazioni per ferite quando idratate, o come medicazioni per ferite essudanti, quando disidratate.

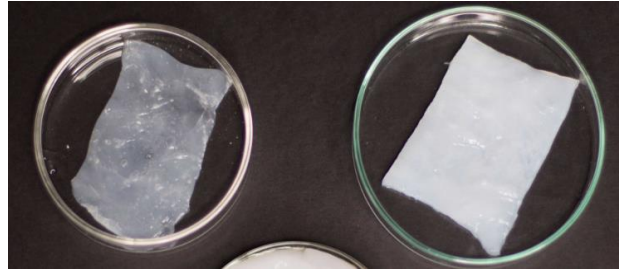


Figura 3: Cellulosa disidratata (sx) e idratata (dx)

Poiché la cellulosa batterica è prodotta in forma quasi pura e sotto forma di nanomateriale, sarebbe preferibile rispetto alla cellulosa ottenuta da altre fonti. Essa inoltre può essere ottenuta in diverse forme e modificata facilmente con metodi fisici e chimici, quindi il suo utilizzo nella produzione di nuovi materiali e nanocompositi per la produzione di maschere con elevata efficienza di filtrazione e attività biocida.

No.	Application field	Reinforcement material	Function	References
1.	Electronic	Graphite nanoplatelet	Electrical conductivity	Zhou et al., 2013
2.	Electronic	Poly-4-styrene sulfonic acid	Redox flow battery	Gadim et al., 2014
3.	Biomedical / Industrial	Chitosan	Nanofilm	Fernandes et al., 2009
4.	Biomedical	Hydroxyapatite	Bone tissue engineering	Tazi et al., 2012
5.	Biomedical	Silver nanoparticles	Antimicrobial wound dressing	Wu et al., 2014, Zhang et al., 2013
6.	Biomedical	Paraffin	Bone scaffolding	Zaborowska et al., 2010
7.	Electronic	Polyurethane	Film substrate of light emitting diod	Ummartyotin et al., 2012.

Tabella 1: Composizione della cellulosa batterica e applicazioni

4.1 Settore tessile:

La nanocellulosa (composta di fibrille di cellulosa di dimensioni nanometriche) e la cellulosa batterica sono largamente utilizzate nel campo tessile in qu hanno un'elevata efficienza di filtrazione, sono in grado di filtrare particelle di dimensioni inferiori a 100 nm. Le mascherine a base di nanocellulosa hanno un'elevata traspirabilità e un peso inferiore rispetto alle maschere mediche convenzionali, quindi si riveleranno molto comodi per chi li indossa. Inoltre la sua proprietà biodegradabile è molto importante, quando si parla di smaltimento e di come negli ultimi anni si è rivelato come problema ambientale. È stato riferito che la carta da filtro a base di nanocellulosa al 100% è in grado di schermare con un'efficacia fino al 99,9980-99,9995%, anche i virus più piccoli. La natura non tossica, l'elevata resistenza e la sua proprietà virucida sarebbero fornite nella produzione della maschera facciale che può essere indossata facilmente per un tempo più lungo. Inoltre, i nanomateriali di ossido di metallo con capacità ossidativa possono anche essere combinati con queste maschere a base di cellulosa batterica, per migliorare le loro proprietà antivirali.

4.2 Settore dell'elettronica:

Di recente introduzione sono i MXeni, presentato come $Mn+1XnTx$ ($n = 1, 2, 3$), dove M indica un elemento metallico di transizione iniziale, X indica C e/o N, e Tx è un gruppo funzionale di superficie (-OH, -F, -O) che mostrano un'eccellente conduttività e abbondanza di gruppi funzionali specifici per diverse applicazioni. A questi si può aggiungere la BC tramite legami ad idrogeno per migliorare le proprietà meccaniche di MXeni. I film compositi ultrasottili e flessibili

Ti₃C₂T_x/BC con strutture lamellari uniformi che presentano notevoli prestazioni di schermatura interferenze elettromagnetiche e conversione fototermica, che hanno un grande potenziale per la protezione dei dispositivi elettronici. Tuttavia presentano limitazioni nelle applicazioni a causa dello spessore ultrasottile e scarse proprietà meccaniche, quindi si aggiunge la BC che è ricca di gruppi funzionali e meccanicamente robusto.

Il film composito Ti₃C₂T_x/BC (50% in peso) presenta una resistenza alla trazione soddisfacente di 109,6 ± 4,5 MPa (no BC 112 MPa), un'eccellente conducibilità elettrica di 5020 S m⁻¹ e valore EMI SE di 43,7 dB (no BC EMI SE di ~ 37 dB) con uno spessore di ~116 μm. Inoltre, il film composito mostra caratteristiche fototermiche stabili e a risposta rapida, con una temperatura di conversione fototermica fino a 74,5 °C. Pertanto, questa semplice strategia fornisce una nuova linea guida per i materiali basati su MXene con schermatura EMI efficiente e prestazioni di conversione fototermica per la protezione dei dispositivi elettronici.

4.3 Settore medico:

La carica superficiale di BC è stata modulata, in quanto carica negativamente, con 2-bromoetilamina bromidato (2-BrEA) tramite un metodo di sintesi in una fase eseguito in soluzioni acquose alcaline a temperatura ambiente così che si formassero nanoparticelle sferiche caricate positivamente. I BC-EA possiedono una buona efficacia antibatterica contro *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. I test CCK-8 e live/dead suggeriscono che BC modificato con 0,09 g/mL 2-BrEA (BC-EA3) è biocompatibile e possiede un'elevata efficienza per promuovere la proliferazione e la differenziazione delle cellule SH-SY5Y del neuroblastoma umano. La sua capacità antibatterica è utile per prevenire la formazione di biofilm nella matrice extracellulare durante la formazione di tessuti e organoidi, mentre le proprietà che promuovono la proliferazione e la differenziazione delle cellule SH-SY5Y rendono BC-EA un buon candidato per l'ingegneria dei nervi o di altri tessuti, la rigenerazione del tessuto nervoso. In sintesi, BC-EA3 appare come un forte candidato per l'ingegneria tissutale e anche per altre applicazioni biomediche.

4.4 Settore moda:

Data la grande versatilità della BC, è possibile ritrovare applicazioni anche nella realizzazione di vari oggetti di design.

Un esempio, lo studio Intervém Design di Curitiba in Brasile utilizza la cellulosa batterica nella produzione di zainetti e borse personalizzati per le aziende. 'I prodotti vengono realizzati con biofilm di cellulosa batterica, prodotti da colonie batteriche (come, per esempio, lo SCOBY di kombucha) e successivamente disidratati.' Il biofilm è a base di caffè, zucchero e acqua''' dice il designer.

Anche la Biofaber, azienda italiana, realizza diversi tipi di cellulosa batterica, tra cui la Green Skin che si mostra come valida alternativa alla pelle animale e sintetica, infatti al tatto e alla vista i prodotti realizzati con questa pelle sono paragonabili alla comune pelle.



Figura 4: Pochette in green skin

5. Conclusioni:

Nonostante le proprietà uniche e l'interessante potenziale applicativo, esistono ancora forti limitazioni associate alla sua produzione industriale a causa degli elevati costi operativi e delle basse rese. Sono state condotte ricerche approfondite per promuovere produttività/rendimenti più elevati utilizzando materie prime a basso costo come frutta marcia, siero di latte, carruba e fagioli bianchi, sui rifiuti agricoli e sottoprodotto industriale come nuove fonti di carbonio convenienti.

Bibliografia:

- Asim, M.; Abdan, K.; Jawaid, M.; Nasir, M.; Dashtizadeh, Z.; Ishak, M. R.; Hoque, M. E. A Review on Pineapple Leaves Fibre and Its Composites. *Int. J. Polym. Sci.* **2015**, *2015*, 1–16. <https://doi.org/10.1155/2015/950567>.
- Jawaid, M.; Abdul Khalil, H. P. S. Cellulosic/Synthetic Fibre Reinforced Polymer Hybrid Composites: A Review. *Carbohydr. Polym.* **2011**, *86* (1), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.04.043>.
- Qian, H.; Liu, J.; Wang, X.; Pei, W.; Fu, C.; Ma, M.; Huang, C. The State-of-the-Art Application of Functional Bacterial Cellulose-Based Materials in Biomedical Fields. *Carbohydr. Polym.* **2023**, *300*, 120252. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120252>.
- Jacek, P.; Silva, F. A. G. S. da; Dourado, F.; Bielecki, S.; Gama, M. Optimization and Characterization of Bacterial Nanocellulose Produced by *Komagataeibacter Rhaeticus* K3. *Carbohydr. Polym. Technol. Appl.* **2021**, *2*, 100022. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2020.100022>.
- de Amorim, J. D. P.; de Souza, K. C.; Duarte, C. R.; da Silva Duarte, I.; de Assis Sales Ribeiro, F.; Silva, G. S.; de Farias, P. M. A.; Stingl, A.; Costa, A. F. S.; Vinhas, G. M.; Sarubbo, L. A. Plant and Bacterial Nanocellulose: Production, Properties and Applications in Medicine, Food, Cosmetics, Electronics and Engineering. A Review. *Environ. Chem. Lett.* **2020**, *18* (3), 851–869. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-00989-9>.
- Campano, C.; Balea, A.; Blanco, A.; Negro, C. Enhancement of the Fermentation Process and Properties of Bacterial Cellulose: A Review. *Cellulose* **2016**, *23* (1), 57–91. <https://doi.org/10.1007/s10570-015-0802-0>.
- Pandit, A.; Kumar, R. A Review on Production, Characterization and Application of Bacterial Cellulose and Its Biocomposites. *J. Polym. Environ.* **2021**, *29* (9), 2738–2755. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02079-5>.
- Liu, X.; Xu, Y.; Liao, W.; Guo, C.; Gan, M.; Wang, Q. Preparation and Characterization of Chitosan/Bacterial Cellulose Composite Biodegradable Films Combined with Curcumin and Its Application on Preservation of Strawberries. *Food Packag. Shelf Life* **2023**, *35*, 101006. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.101006>.
- Wong, S.-S.; Kasapis, S.; Tan, Y. M. Bacterial and Plant Cellulose Modification Using Ultrasound Irradiation. *Carbohydr. Polym.* **2009**, *77* (2), 280–287. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.12.038>.

- Soares, S. S.; Silva, C. F. da; Kern, D. G.; Sehn, A. P.; Welser, L.; Pohl, H. H.; Burgos, M. S. RELAÇÃO ENTRE INDICADORES ANTROPOMÉTRICOS E HEMATOLÓGICOS DE PAIS E SEUS FILHOS. *Saúde St. Maria* **2017**, *43* (2), 109. <https://doi.org/10.5902/2236583426301>.
- Festucci-Buselli, R. A.; Otoni, W. C.; Joshi, C. P. Structure, Organization, and Functions of Cellulose Synthase Complexes in Higher Plants. *Braz. J. Plant Physiol.* **2007**, *19* (1), 1–13. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000100001>.
- Dutta, S. D.; Patel, D. K.; Lim, K.-T. Functional Cellulose-Based Hydrogels as Extracellular Matrices for Tissue Engineering. *J. Biol. Eng.* **2019**, *13* (1), 55. <https://doi.org/10.1186/s13036-019-0177-0>.
- Tanskul, S.; Amornthatree, K.; Jaturonlak, N. A New Cellulose-Producing Bacterium, *Rhodococcus* Sp. MI 2: Screening and Optimization of Culture Conditions. *Carbohydr. Polym.* **2013**, *92* (1), 421–428. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.09.017>.
- Ashori, A.; Sheykhnazari, S.; Tabarsa, T.; Shakeri, A.; Gotalipour, M. Bacterial Cellulose/Silica Nanocomposites: Preparation and Characterization. *Carbohydr. Polym.* **2012**, *90* (1), 413–418. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.05.060>.
- Borzani, W.; Souza, S. J. D. A Simple Method to Control the Bacterial Production of Cellulosic @lms in Order to Obtain Dried Pellicles Presenting a Desired Average Thickness. **1998**, *14*.
- Yan, Z.; Chen, S.; Wang, H.; Wang, B.; Jiang, J. Biosynthesis of Bacterial Cellulose/Multi-Walled Carbon Nanotubes in Agitated Culture. *Carbohydr. Polym.* **2008**, *74* (3), 659–665. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.04.028>.
- Chitbanyong, K.; Pisutpiched, S.; Khantayanuwong, S.; Theeragool, G.; Puangsin, B. TEMPO-Oxidized Cellulose Nanofibril Film from Nano-Structured Bacterial Cellulose Derived from the Recently Developed Thermotolerant *Komagataeibacter Xylinus* C30 and *Komagataeibacter Oboediens* R37–9 Strains. *Int. J. Biol. Macromol.* **2020**, *163*, 1908–1914. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.124>.
- Almeida, A. P. C.; Saraiva, J. N.; Cavaco, G.; Portela, R. P.; Leal, C. R.; Sobral, R. G.; Almeida, P. L. Crosslinked Bacterial Cellulose Hydrogels for Biomedical Applications. *Eur. Polym. J.* **2022**, *177*, 111438. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2022.111438>.
- Sharma, P.; Mittal, M.; Yadav, A.; Aggarwal, N. K. Bacterial Cellulose: Nano-Biomaterial for Biodegradable Face Masks – A Greener Approach towards Environment. *Environ. Nanotechnol. Monit. Manag.* **2023**, *19*, 100759. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2022.100759>.
- Esa, F.; Tasirin, S. M.; Rahman, N. A. Overview of Bacterial Cellulose Production and Application. *Agric. Agric. Sci. Procedia* **2014**, *2*, 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.017>.
- Gope, D.; Gope, A.; Gope, P. C. Mask Material: Challenges and Virucidal Properties as an Effective Solution against Coronavirus SARS-CoV-2. *Open Health* **2020**, *1* (1), 37–50. <https://doi.org/10.1515/openhe-2020-0004>.
- Wan et al. - 2021 - Ultrathin, Strong, and Highly Flexible Ti 3.Pdf.
- Liu, H.; Cui, Z.; Luo, L.; Liao, Q.; Xiong, R.; Xu, C.; Wen, C.; Sa, B. Facile Fabrication of Flexible and Ultrathin Self-Assembled Ti3C2T/Bacterial Cellulose Composite Films with Multifunctional Electromagnetic Shielding and Photothermal Conversion Performances. *Chem. Eng. J.* **2023**, *454*, 140288. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.140288>.
- Yu, Y.; Shen, H.; Wang, X.; Gibril, M. E.; Kong, F.; Wang, S. Spherical Nanoparticle-Modified Bacterial Cellulose Drives SH–SY5Y Cell Differentiation and Inhibits Bacterial Proliferation. *Process Biochem.* **2022**, *122*, 307–315. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2022.10.015>.
- Altun, E.; Ekren, N.; Kuruca, S. E.; Gunduz, O. Cell Studies on Electrohydrodynamic (EHD)-3D-Bioprinted Bacterial Cellulose/Polycaprolactone Scaffolds for Tissue Engineering. *Mater. Lett.* **2019**, *234*, 163–167. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.09.085>.
- <https://www.gazetadopovo.com.br/haus/design/designers-criam-embalagens-de-presente-com-celulose-bacteriana-que-viram-bolsas-e-cachepos/>
- <http://www.biofaber.com/>