

Metal Organic Frameworks, struttura e potenzialità del “materiale del XXI secolo” nell’industria conciaria

A cura di Antonio Medici, Ph.D. 30/01/2026

PARTE II

Nel 2023, Chen et al. hanno valutato il potenziale utilizzo di alcuni **MOF come sostanze concianti**, per provare ad ottenere pelli con caratteristiche simili a quelle ottenute tramite concia metallica, ma riducendo notevolmente la quantità di metallo presente nel prodotto finale [6]. In questo studio viene proposto l’impiego di strutture metallo–organiche a base di zirconio (Zr-MOFs) come nuovi agenti concianti, ma con ridotte quantità di metallo rispetto ai classici concianti metallici. Una serie di Zr-MOFs (UiO-66, MOF-801, MIP-202 e MOF-808) è stata sintetizzata con metodo solvotermico e successivamente applicata in processi di concia su pelli caprine. Tra i materiali testati, UiO-66 ha conferito al cuoio la massima stabilità idrotermica, con una temperatura di contrazione di 75,3 °C. Risultati significativi mostrano che l’uso di Zr-MOFs (UiO-66) permette di ridurre fino all’80% il consumo di metallo rispetto al solfato di zirconio convenzionale. Analisi di assorbimento (ICP-OES) hanno rivelato un tasso di fissazione del 93%, mentre studi di microscopia elettronica (SEM/EDS) hanno confermato l’omogenea distribuzione delle particelle nei fasci collagene.

L’anno successivo Ramesh et al., (2024) hanno studiato la capacità conciante e riconciante di un MOF, con una struttura simile a quello descritto nel paragrafo precedente, ossia il **UiO-66NH₂**, che presenta come linker un gruppo acido **2-amminotereftalico** al posto dell’**acido tereftalico**, in combinazione con il gliossale [7].

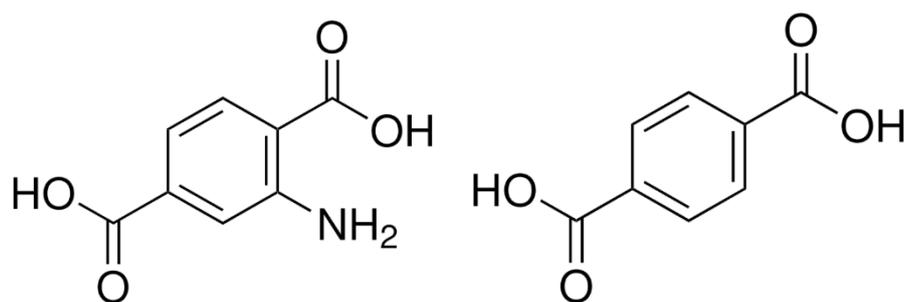


Figura 4 Struttura molecolare dell'acido tereftalico a destra e acido 2-amminotereftalico a sinistra

La presenza del gruppo amminico sul sistema aromatico della molecola organica modifica sostanzialmente le caratteristiche chimiche del MOF fornendo dei nuovi “punti di appiglio” cationici che possono essere sfruttati per creare nuovi legami con altre sostanze per i differenti processi conciari.

L'aggiunta dell'8% (p/p) di questo NH₂MOF unita al 6% (p/p) di gliossale ha permesso di incrementare la **temperatura di contrazione della pelle a un valore di 89±2 °C**, una stabilità termica fondamentale che rende la pelle idonea per la produzione di calzature, superando i risultati di stabilità termica ottenuti in precedenti studi con soli MOF a base di zirconio, ma anche dei singoli gliossale (70 °C) e NH₂MOF (72 °C) da soli.

Un aspetto cruciale di questo processo è il significativo miglioramento dell'affinità tintoriale della pelle: la presenza dei siti amminici cationici sul MOF facilita la fissazione dei coloranti anionici, **portando l'esaurimento del colorante dal 74.3±2.5% della pelle conciata in modo convenzionale a un eccellente 91.8±1.7%**. Questo non solo migliora la qualità del prodotto, ma riduce anche la concentrazione di coloranti dispersi nello scarico. Le pelli conciate con questo metodo hanno anche mostrato solidità del colore superiore allo sfregamento rispetto alle pelli conciate al cromo standard. L'analisi meccanicistica suggerisce che la stabilizzazione del collagene della pelle deriva sia dall'interazione tra i siti metallici liberi di zirconio e gli amminoacidi acidi del collagene, sia dalla formazione di un legame imminico tra i “pendenti” amminici del MOF e gli amminoacidi basici. Infine, dal punto di vista ambientale, il processo è estremamente vantaggioso, come dimostra un rapporto BOD₅/COD delle acque reflue di 0.36 rispetto al 0.27 del processo classico, indicando una migliore biodegradabilità e trattabilità del refluo rispetto ai processi di concia tradizionali.

Nel complesso, questi lavori dimostrano che i *Metal Organic Framework* costituiscono una promettente classe di agenti conciari “*metal-less*”, capaci di coniugare prestazioni tecniche

elevate con un ridotto impatto ambientale. Per una valutazione completa di questi nuovi materiali, sarebbe opportuno estendere gli studi ad altri MOF analizzando anche la risposta del materiale ai processi successivi alla concia, come la tintura e l'ingrasso. Tali fasi dipendono in larga misura dai siti di aggancio generati durante la concia, come quelli metallici forniti dal cromo. I risultati ottenuti, tuttavia, aprono nuove prospettive per la produzione di pelli ad alte prestazioni, in linea con i principi della chimica verde e della *circular economy*. Ulteriori studi di fattibilità per l'utilizzo di queste sostanze nel settore conciario potrebbero portare miglioramenti rispetto ai processi tradizionali, ma anche introdurre un nuovo paradigma di sostenibilità nei processi industriali. Resta, tuttavia, necessario un ulteriore lavoro di ricerca per affrontare le sfide legate alla stabilità, alla **scalabilità** e all'integrazione tecnologica, affinché i MOF possano effettivamente tradursi in una soluzione industriale valida e sostenibile.

Bibliografia

1. Gatou, M.-A.; Vagena, I.-A.; Lagopati, N.; Pippa, N.; Gazouli, M.; Pavlatou, E.A. Functional MOF-Based Materials for Environmental and Biomedical Applications: A Critical Review. *Nanomaterials* **2023**, *13*, 2224, doi:10.3390/nano13152224.
2. Delhali, A.; Assen, A.H.; Mohammed, A.; Adil, K.; Belmabkhout, Y. Enabling Simultaneous Valorization of Tannery Effluent and Waste Plastic via Sustainable Preparation of Cr-BDC MOFs for Water Adsorption. *Sci Rep* **2023**, *13*, 14653, doi:10.1038/s41598-023-41840-9.
3. Tang, S.; Wang, Y.; He, P.; Wang, Y.; Wei, G. Recent Advances in Metal–Organic Framework (MOF)-Based Composites for Organic Effluent Remediation. *Materials* **2024**, *17*, 2660, doi:10.3390/ma17112660.
4. Song, W.; Zheng, Z.; Alawadhi, A.H.; Yaghi, O.M. MOF Water Harvester Produces Water from Death Valley Desert Air in Ambient Sunlight. *Nat Water* **2023**, *1*, 626–634, doi:10.1038/s44221-023-00103-7.
5. Delhali, A.; Assen, A.H.; Mohammed, A.; Adil, K.; Belmabkhout, Y. Enabling Simultaneous Valorization of Tannery Effluent and Waste Plastic via Sustainable Preparation of Cr-BDC MOFs for Water Adsorption. *Sci Rep* **2023**, *13*, 14653, doi:10.1038/s41598-023-41840-9.
6. Chen, J.; Ma, J.; Fan, Q.; Zhang, W. An Eco-Friendly Metal-Less Tanning Process: Zr-Based Metal-Organic Frameworks as Novel Chrome-Free Tanning Agent. *Journal of Cleaner Production* **2023**, *382*, 135263, doi:10.1016/j.jclepro.2022.135263.
7. Ramesh, R.R.; Chandrasekar, I.; Rathinam, A.; Jonnalagadda, R.R. Chrome-Free Leather Processing Based on Amine Pendant Metal–Organic Frameworks and Dialdehyde with Enhanced Dye Affinity. *Environ Sci Pollut Res* **2024**, *31*, 66477–66496, doi:10.1007/s11356-024-35501-1.

