

Pellicola fotocatalitica WiWell® per la decontaminazione microbica e di materiale particellare in ambienti indoor

Meccanismi di funzionamento

Relazione sinottica e semplificata del Dr Salvatore Chirumbolo

Dipartimento di Ingegneria per la Medicina d'Innovazione

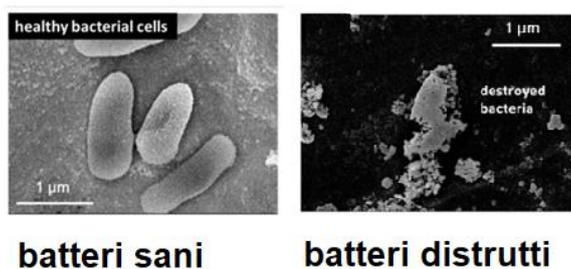
Università degli Studi di Verona

Premessa. La fotocatalisi con diossido di titanio

La fotocatalisi è un processo assolutamente naturale, dato che, ad esempio, tutti gli organismi fotosintetici (le piante verdi, per intenderci) usano la luce per la costruzione di molecole organiche¹. Esistono dei composti metallici che sfruttano il meccanismo della fotocatalisi per distruggere molecole organiche inquinanti o pericolose. Fujishima e Honda sono due scienziati che per primi hanno realizzato una fotocatalisi elettrochimica dell'acqua su un elettrodo semiconduttore nell'anno 1972, in un lavoro pubblicato sulla prestigiosa rivista *Nature*². Successivamente è stato scoperto che un metallo in forma di ossido, cioè il diossido di titanio (TiO₂) aiutava a decomporre il cianuro nell'acqua, e questo fatto alla fine è diventato motivo di crescente interesse verso le applicazioni ambientali del materiale³.

Più di recente, è stato visto che il diossido di titanio, che esiste in diverse forme cristalline usate nella tecnologia dei foto-catalizzatori, è in grado di distruggere microbi presenti nell'ambiente aereo indoor, sia virus come ad esempio il coronavirus umano SARS-CoV2⁴ che batteri⁵.

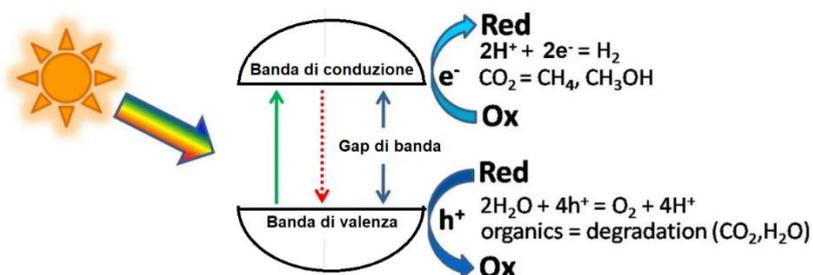
Qui sotto è rappresentato un esempio di batteri distrutti dal diossido di titanio attivato con luce solare (420 nm)⁵.



batteri sani

batteri distrutti

Il foto-catalizzatore al diossido di titanio usa un fotone luminoso per “spostare” elettroni dall’ossigeno agli spazi vuoti del titanio che poi vengono usati, sia gli elettroni che i “vuoti” elettronici che si formano, per creare delle reazioni chimiche di riduzione e di ossidazione dell’acqua e di quelle componenti organiche che incontrano la pellicola fotocatalitica:

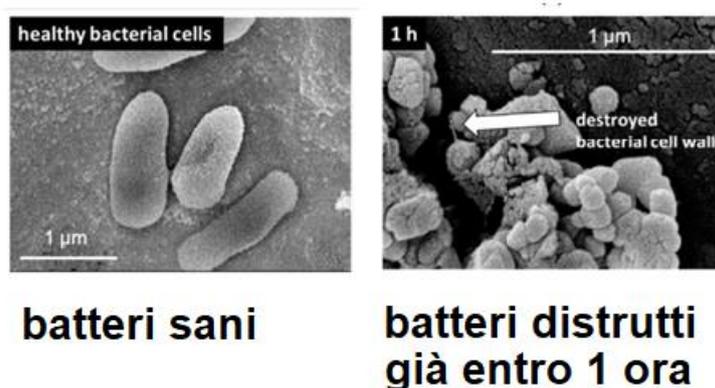


Dall'acqua si formano sostanze molto reattive, come il radicale ossidrile, l'anione superossido e il radicale perossidrile, che sono in grado di danneggiare entro pochi minuti tutti i micro-organismi biologici, disattivandoli e distruggendoli, come mostrato nella Figura precedente.

La reazione al foto-catalizzatore è ciclica e continua per cui l'azione di fotocatalisi si può banalmente considerare come un motore (o una pila) che continua a usare luce ed elettroni per modificare le molecole organiche di composti organici volatili o di micro-organismi, fino alla loro distruzione completa entro un'ora in condizioni standard.

Distruzione di microbi con la fotocatalisi da TiO₂

Di recente abbiamo dimostrato che le pellicole WiWell® riducono l'inquinamento ambientale da particelle microbiche in ambienti chiusi e occupati da persone, come i cabinati di autobus⁶. Un lavoro recente ha mostrato in microscopia elettronica l'azione dell'ossido di titanio TiO₂ irradiato con luce a 420 nm su colture di *Escherichia coli*⁵.



Come i microbi arrivano alla pellicola

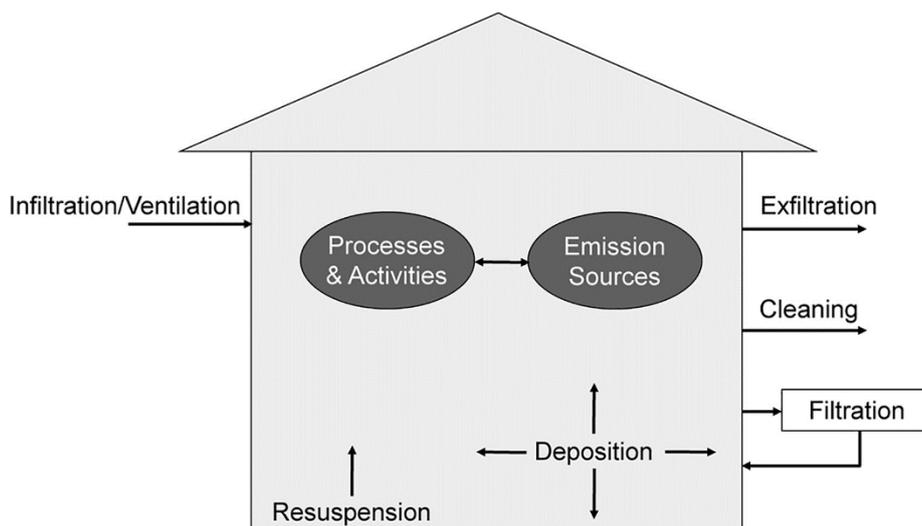
Quando si applica una pellicola adesiva WiWell® ad una parete verticale, ad esempio all'interno fisso di una finestra o di una parete a muro, l'idea che si ha comunemente è che le particelle microbiche e/o organiche vengano chimicamente denaturate solo per quella componente che si trova sulla superficie della pellicola, mentre la stragrande maggioranza della componente "sporca" costituita da nano-particolato veicolo di particelle organiche bioattive e di microbi, aerosol con particelle microbiche e composti organici volatili (VOC), resti sospesa nell'aria ossia nel cosiddetto volume interno dello spazio indoor.

All'interno di una stanza chiusa e frequentata da persone attive che parlano e lavorano o vi ci soggiornano, esistono dei moti convettivi dell'aria, legati a fenomeni microclimatici (temperatura,

radianza luminosa, umidità, ecc) che consentono il movimento continuo delle particelle sospese, senza considerare anche il movimento dell'aria da parte delle persone che vi soggiornano, escludendo per il momento il ricambio attivo del volume d'aria.

Normalmente, le velocità dell'aria in un micro-ambiente domestico (casa o ufficio) chiuso sono intorno ai 0,5-2,5 m/sec, ma sono stabilite condizioni microclimatiche più stringenti da direttive del Ministero della Salute che fissano le velocità dell'aria indoor a circa 0,01-0,1 m/sec in inverno (19°C-22°C) e a 0,1-0,2 m/sec in estate (25°C-28°C).

In queste condizioni, anche le particelle sospese, che sono chiamate “materiale particellare”, hanno velocità comparabili e dunque possono, in un'ora, avere statisticamente toccato ogni angolo dello spazio interno, compreso ovviamente anche le pellicole fotocatalitiche. Queste particelle, a causa di motivi di frizione con le particelle di aria e di umidità, si caricano, con una carica netta spesso negativa e dunque sono facilmente e rapidamente catturate per cattura elettrostatica da elementi presenti nello spazio indoor, incluse le finestre chiuse e ovviamente dalle pellicole fotocatalitiche, ovvero dal loro supporto plastico. Il materiale plastico è un materiale dielettrico che è sempre carico e facilmente cattura particelle sospese del materiale particellare.



I moti convettivi dell'aria, e i movimenti del personale all'interno dello spazio indoor, rimettono in moto dinamico il materiale particellare che viene ricatturato dalle superfici, comprese le pellicole fotocatalitiche (deposition e resuspension = deposito e risospensione nell'aria).

C'è dunque un ciclo continuo di materiale verso la pellicola, per cui l'ambiente indoor è completamente sanificato entro 1 ora. È noto dalla letteratura che il materiale particellare contiene materiale organico bioattivo e microbi, e dunque tale materiale porta i microbi a contatto con la pellicola, con la parte fotocatalitica della pellicola, portandoli alla loro distruzione.

La genialità dei “pozzetti” o photocatalytic sink

Il “lavello fotocatalitico” è un’invenzione della WiWell® che ha realizzato dei microfori nella superficie fotocatalitica inizialmente con l’idea di togliere l’aria da compressione per adesione della pellicola alla parete verticale dalla parte adesiva ma successivamente verificando che tali microfori agivano come “lavelli fotocatalitici”, cioè pozzetti in cui si concentra il materiale substrato della fotocatalisi con diossido di titanio insieme all’acqua che funziona da comburente fotocatalitico.

Il materiale degradato dalla pellicola è comunque tale, in termini di peso e concentrazione, che non crea fenomeni di accumulo sulla membrana, al punto da comprometterne la relativa funzione, dato che le particelle più grossolane, dell’ordine di decine o centinaia di micrometri, costituiscono il deposito che è presente in tutte le superfici (polvere) e che può essere facilmente eliminata con un panno molto pulito e leggero o anche con acqua bidistillata/deionizzata. Tuttavia, fenomeni elettrostatici legati alla componente plastica della pellicola, allontanano le particelle di polvere più voluminose che si caricano positivamente come la superficie catalitica e sono respinte per repulsione elettrostatica, in genere. Le dimensioni dei pozzetti o lavelli fotocatalitici (foto) sono di circa 1 mm di diametro. Le particelle di polvere sono grandi massimo 500 micrometri (500 μm), quindi piuttosto grandi per non precipitare su superfici piane.

Nei lavelli fotocatalitici l’acqua e le reazioni fotocatalitiche produttrici di perossido d’idrogeno, mantengono attiva la pellicola anche in caso di scarsa luminosità. L’acqua, per le proprietà tensioattive forma nano-bolle che rappresentano un accumulo di comburente per le reazioni fotocatalitiche, garantendo la durata funzionale della pellicola anche per un tempo congruo (qualche ora) dopo l’assenza di luce attiva.

Conclusioni

La tecnologia WiWell®, rappresenta una novità nel campo della purificazione e sanitizzazione dell’aria indoor, garantendo l’eliminazione di nanoparticolato $\text{PM}_{2,5}$, di materiale microbico e di *airborne* virus, garantendo l’assoluta salubrità dell’ambiente indoor con una tecnologia eco-sostenibile e assolutamente economica.

Riferimenti bibliografici

1. Yang X, Wang D. Photocatalysis: from fundamental principles to materials and applications. ACS Appl Energy Mater 2018; 1(12): 6657-6693

2. Fujishima A, Honda K. Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode. *Nature*. 1972 Jul 7;238(5358):37-8
3. Zhang L, Djellabi R, Su P, Wang Y, Zhao J. Through converting the surface complex on TiO₂ nanorods to generate superoxide and singlet oxygen to remove CN. *J Environ Sci (China)*. 2023 Feb;124:300-309.
4. Lu Y, Guan S, Hao L, Yoshida H, Nakada S, Takisawa T, Itoi T. Inactivation of SARS-CoV-2 and photocatalytic degradation by TiO₂ photocatalyst coatings. *Sci Rep*. 2022 Sep 26;12(1):16038. doi: 10.1038/s41598-022-20459-2. Erratum in: *Sci Rep*. 2022 Dec 16;12(1):21767.
5. Kimura ME, Kuwalska E. Plasmonic photocatalysts for microbiological applications *Catalysts* 2020; 10(3): 824
6. Tirelli, U. Berto, L. Chirumbolo, S. WiWell® TiO₂-photocatalytic adhesive films to reduce microbial charge in indoor micro-environments of public transportation and ensure biosafety in the COVID-19 time. *J Photochem Photobiol* 2022; 12: 100143