



## COMPENDIO SULLA TECNOLOGIA FOTOCATALITICA

### La Fotocatalisi

#### Nascita e utilizzo della tecnologia fotocatalitica

Il fenomeno chimico secondo il quale una sostanza modifica la velocità di una reazione di ossido-riduzione, quando è illuminata, è definito *Fotocatalisi*.

La letteratura attribuisce i primi studi sul processo di ossidazione catalitica a Fujishima e Honda, due scienziati giapponesi che agli inizi degli anni '70 riuscirono a dividere l'acqua in idrogeno e ossigeno con la luce solare (fotoelettrolisi), analogamente a quanto avviene in natura ad opera delle piante con la fotosintesi clorofilliana.

I due scienziati nipponici, realizzarono un circuito elettrochimico in cui venivano immersi nell'acqua un elettrodo costituito da un cristallo di  $\text{TiO}_2$  (biossido di titanio) ed un elettrodo di Pt (Platino); illuminando l'elettrodo di  $\text{TiO}_2$  con una radiazione di lunghezza d'onda inferiore a 415 nm, la corrente fluiva dall'elettrodo di platino all'elettrodo di biossido di titanio, la direzione del flusso di corrente indicava che all'elettrodo di biossido di titanio si otteneva una reazione di ossidazione, mentre all'elettrodo di platino si poteva assistere ad una reazione di riduzione.

Quindi, secondo l'esperimento condotto da Fujishima e Honda, l'acqua poteva essere divisa in ossigeno e idrogeno utilizzando luce UV visibile senza applicare una fonte esterna di voltaggio:

- $\text{TiO}_2 + 2 h\nu \rightarrow 2 e^- + 2 h^+$
- $\text{H}_2\text{O} + 2 h^+ \rightarrow \frac{1}{2} \text{O}_2 + 2 \text{H}^+$  (all'elettrodo di biossido di titanio)

- $2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$  (all'elettrodo di platino)

La formula di tale fotocatalisi è la seguente:

- $\text{H}_2\text{O} + 2 \text{h}\nu \rightarrow \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2$

### Il principio chimico-fisico dell'ossidazione fotocatalitica

Come sarà esplicito in seguito, la fotocatalisi in diversi ambiti applicativi può assumere un ruolo primario nel miglioramento della qualità dell'aria che respiriamo per la decomposizione degli agenti inquinanti e l'eliminazione di muffe e batteri.

Infatti i fotocatalizzatori, chimicamente molto reattivi, possono degradare, a livello molecolare, molti inquinanti sia di origine organica che inorganica.

Perché i materiali foto-catalitici, irradiati con raggi UV, a contatto con le sostanze nocive responsabili dell'inquinamento dell'aria, riescono ad abbattere una soddisfacente quantità di:  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , CO,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{VOC}_s$  (composti organici volatili), idrocarburi organici (composti clorurati), idrocarburi aromatici (composti condensati) e aldeidi.

Sostanzialmente la fotocatalisi utilizza l'energia solare per attivare chimicamente i fotocatalizzatori, che illuminati, divengono fortemente ossidanti e reagiscono decomponendo le sostanze organiche ed inorganiche presenti nell'ambiente di controllo. Pertanto la fotocatalisi riesce ad accelerare i processi di ossidazione naturali, mediante materiali semiconduttori, i cui elementi riescono ad accelerare una reazione chimica se irradiati con la luce.

I semiconduttori hanno una struttura in cui una banda di conduzione quasi vuota (CB) è separata da una banda di valenza quasi piena (VB).



# La Tecnologia Fotocatalitica

## I catalizzatori nel processo fotocatalitico

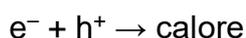
L'esperimento condotto dai due scienziati Fujishima e Honda aveva messo in risalto che una lega del titanio (Anatasio e Rutilo, forme cristalline del  $\text{TiO}_2$ ) riusciva ad attivare e accelerare una particolare reazione chimica la fotocatalisi.

I semiconduttori arteficiali dell'attività fotocatalitica sono:  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$  e  $\text{CdS}$ . Di questi, l'ematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) che presenta il vantaggio di assorbire la luce visibile ma lo svantaggio di essere chimicamente meno attiva rispetto al biossido di titanio; il solfuro di cadmio e l'ossido di zinco, sono anch'essi meno attivi del biossido di titanio, ma presentano anche lo svantaggio di rilasciare in soluzione, rispettivamente, ione cadmio ( $\text{Cd}^{2+}$ ) e ione zinco ( $\text{Zn}^{2+}$ ):

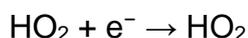
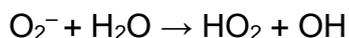
- $\text{CdS} + 2\text{h}^+ \rightarrow \text{Cd}^{2+} + \text{S}$
- $\text{ZnO} + 2\text{h}^+ \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \frac{1}{2}\text{O}_2$

Tra i fotocatalizzatori più noti è il  $\text{TiO}_2$  che risulta il più idoneo poiché nonostante il suo potere fortemente ossidante, risulta poco costoso e maggiormente disponibile in natura. Inoltre, gli elettroni generati mediante irraggiamento riescono in modo ottimale a produrre, per riduzione, l'anione superossido dall'ossigeno.

Tra le diverse reazioni di ossidazione che avvengono in un semiconduttore irradiato si contraddistinguono le seguenti:



mentre la produzione di superossido di ossigeno è dovuta a:



L'interesse scientifico per l'utilizzo del biossido di titanio nella tecnologia ha prodotto approfonditi studi e pubblicazioni nel settore delle costruzioni, nell'impiego di materiali per l'edilizia, perché il biossido di titanio ( $\text{TiO}_2$ ) è un semiconduttore dotato di una elevata reattività foto-chimica per cui può essere facilmente attivato dalla luce solare, ed è risultato il catalizzatore più efficace nella degradazione ad ampio raggio dei contaminanti nocivi per la salute dell'uomo.

Inoltre il biossido di titanio ha trovato ampio impiego come pigmento per pitture e polimeri, dove si è sfruttata la forte reattività degli ioni super-ossido, particelle in grado di ossidare

materia organica. Per questa stessa caratteristica il processo di fotocatalisi delle nanoparticelle di  $\text{TiO}_2$  attivato dalle radiazioni UV può essere utilizzato anche per la depurazione di acqua e aria.

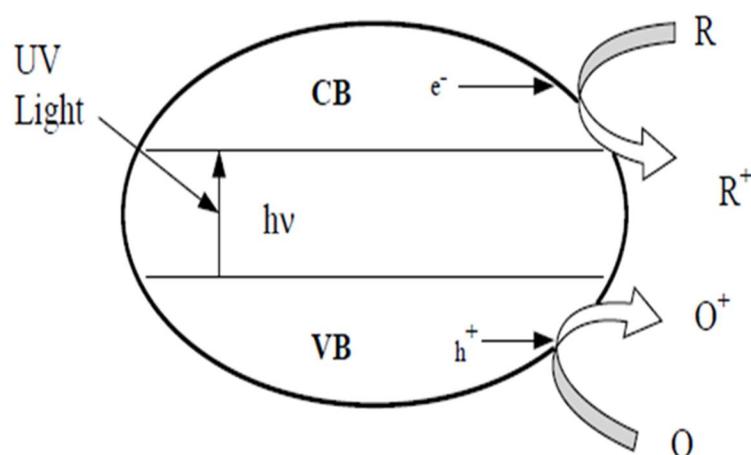
Il  $\text{TiO}_2$  assorbendo la luce la trasforma in energia chimica, come un catalizzatore semiconduttore, e le nanoparticelle di biossido di titanio attivate dalla luce UV producono composti ossidanti come l'ossigeno e gruppi ossidrilici.

Nella tecnologia PCO che illustreremo nei capitoli successivi, il processo chimico che sta alla base è un'ossidazione che si attiva grazie all'azione simultanea della luce artificiale (lampada UV), inserita in una lega metallica semiconduttrice, e dell'acqua, quest'ultima è presente sia allo stato liquido che allo stato gassoso di aggregazione della materia (vapor d'acqua) nel flusso d'aria trattata per la climatizzazione indoor.

Quando i fotoni aventi un elettrone ( $e^-$ ) investono il  $\text{TiO}_2$  si comportano da semiconduttori facendo migrare un elettrone dalla banda di valenza alla banda di conduzione, generando così una vacanza (mancanza di un elettrone).

Essendo a contatto con l'acqua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) le lacune generatesi per mancanza dell'elettrone rilasciano radicali ossidrilici ( $\text{OH}$ ), mentre per riduzione dall'ossigeno si ottiene l'anione superossido ( $\text{O}^-$ ).

Nel caso del  $\text{TiO}_2$  il potere ossidante delle lacune è di gran lunga superiore al potere riducente degli elettroni. Queste due attività fortemente reattive riescono a decomporre le sostanze inquinanti.



## La tecnologia PCO utilizzata

La tecnologia PCO (Photocatalytic oxidation), sfrutta l'azione combinata dei raggi di luce UV con una struttura catalizzatrice composta da una lega metallica, tra cui diossido di titanio (TiO<sub>2</sub>). L'interazione di tali elementi, al passaggio dell'aria, genera idro-perossidi, ioni super ossidanti e idrossidi, i quali, una volta avvenuta l'ossidazione, sono in grado di ritornare in forma di anidride carbonica e acqua senza il rilascio di residui chimici.

Tale combinazione di elementi è in grado di distruggere le sostanze inquinanti ed in particolare batteri, virus, muffe, allergeni, odori, composti organici e volatili, agendo nell'aria, sulle superfici e nei canali stessi dando luogo così ad una sanificazione di tipo attivo.

Il perossido d'idrogeno generato possiede un'efficacia molto elevata nella distruzione della carica microbica, sia nell'aria che sulle superfici. A seguito della reazione fotocatalitica, esso viene rilasciato nell'aria in quantità minime e tollerabili di 0.02 ppm.

Le molecole di H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> possiedono carica sia positiva che negativa, che con l'attrazione elettrostatica che si genera, vanno attivamente a ricercare e ad abbattere i virus e i batteri presenti in ambiente.

Gli ulteriori radicali ossidrilici generati dalla reazione fotocatalitica, analogamente, sono in grado di eliminare gli agenti inquinanti e gli odori chimici presenti in ambiente, convertendoli in elementi innocui per la salute pubblica.

La tecnologia PCO esaminata è costituita da un involucro in lega penta metallica di TiO<sub>2</sub> al cui interno è alloggiata una lampada UV ad alta intensità. Alimentando elettricamente la lampada UV si avvia una reazione di ossidazione fotochimica nell'aria umida (con presenza di acqua allo stato gassoso), che investe il modulo PCO descritto in precedenza. Detta reazione lega un'ulteriore molecola di ossigeno all'H<sub>2</sub>O, **e si genera perossido d'idrogeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) allo stato gassoso, capace di sanificare l'ambiente in cui è diffuso degradando gran parte dei composti inquinanti quali batteri, virus, muffe, allergeni e odori.**

La sua azione sanificante, veicolata dal flusso d'aria si estende sia alle superfici dei canali in cui il modulo PCO è installato sia alle superfici indoor in cui il flusso d'aria climatizzata e sanificata viene diffuso.

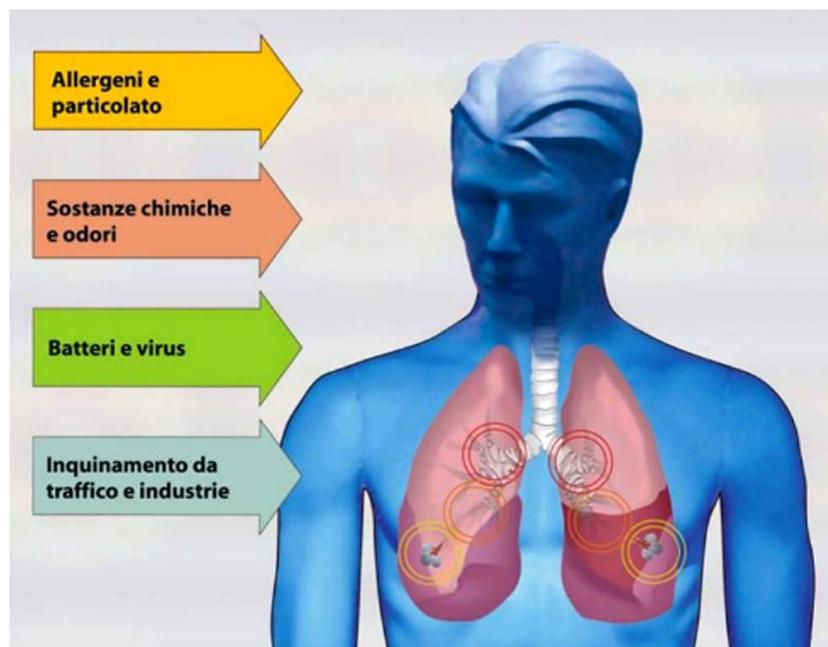
## Ulteriori tecnologie di sanificazione utilizzate da RefineAir

I sanificatori RefineAir nella versione *Plus* abbinano alla tecnologia fotocatalitica la **ionizzazione bipolare** aumentando la quantità di ioni positivi e negativi rendendo ancora più efficace la sanificazione dell'aria in ambiente.

Inoltre i modelli Little Camp e Photoionix di RefineAir sulla ripresa dell'aria sono dotati di un **filtro ad elevata tecnologia** della Next Materials srl (spin-off affiliato al Consorzio Interuniversitario per la Scienza e Tecnologia dei Materiali INSTM), il cui brevetto è stato ottenuto unitamente al politecnico di Milano e a Solari EMC nell'ambito "depuratore batterico ad alta tecnologia (<https://www.nextmaterials.it/it/filtri-next/> per un maggiore approfondimento).

Il filtro *FiltroNext* è realizzato in tessuto triassiale rivestito di nichel e trattato con soil di  $TiO_2$  per indurre le proprietà della fotocatalisi.



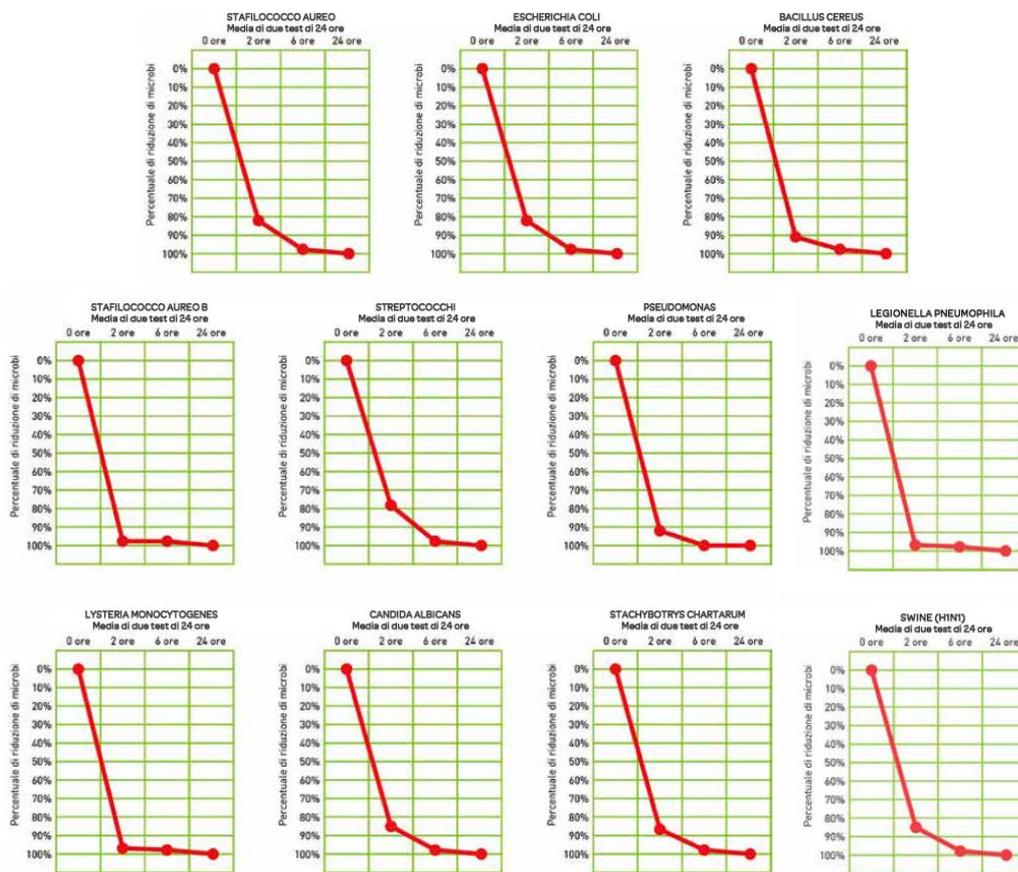


Nella seguente tabella sono indicati i sistemi di filtrazione dell'aria più utilizzati e le sostanze nocive alla salute umana che riescono ad abbattere.

Inquinanti	Filtri PCO	Filtri HEPA	Filtri elettrostatici	Filtri a carboni attivi
Acari della polvere	X	X	X	
Pollini	X	X	X	
Muffe	X	X		
Batteri	X	X		
Virus > 3 micron	X	X		
Virus < 3 micron	X			
VOCS	X			X
Odori	X			X
Fumo	X			X

Tutti i test di laboratorio effettuati nell'arco di 24 h, hanno accertato l'abbattimento della carica batterica in particolare delle seguenti specie nocive per la salute umana:

- Staphilococcus aureus (MRSA);
- Escherichia Coli;
- Steptococcus SPT;
- Candida Albicandis;
- Swine (H1N1)
- Picornviridas (Hepatitis A);
- S. Chartarum;
- Pseudomonas SPP;
- Murine Norovirus.



**Test eseguiti e dichiarati dalla casa produttrice della tecnologia PCO  
utilizzata nei dispositivi RefineAir.**



**Tecnologia efficace contro  
l'abbattimento del Sars-CoV-2 al 99.7%**



I test di laboratorio sono stati realizzati in collaborazione con il dipartimento di scienze biomediche e chimiche "Luigi Sacco" dell'università statale di Milano

Test e certificazioni scaricabili sul sito [www.refineair.it](http://www.refineair.it)

## Bibliografia

- Zhao, J. and Yang, X.D. (2003) Photocatalytic oxidation for indoor air purification: A literature review. *Building and Environment*, 38, 645-654. doi: 10.1016/S0360-1323(02)00212-3
- Photocatalytic purification of volatile organic compounds in indoor air: A literature review Jinhan Mo, Yinping Zhang, Qiujian Xu, Jennifer Joaquin Lamson, Rongyi Zhao; Department of Building Science, Tsinghua University, Beijing 100084, PR China; Department of Energy and Environment Engineering, Oslo University College, Norway
- M. Takeuchi, K. Sakamoto, G. Martra, S. Coluccia and M. Anpo, "*Mechanism of photoinduced superhydrophilicity on the TiO<sub>2</sub> photocatalyst surface*", *J. Phys. Chem. B*, 2005, 109, 15422-15428
- M. Yoshinaka, K. Irota e O. Yamaguchi: Formation and sintering of TiO<sub>2</sub> (anatase) solid solution in the system TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>. *J. Am. Ceram. Soc.*, 80, 1997, 2749-2753

## Sitografia in ordine alfabetico:

- [www.nextmaterials.it](http://www.nextmaterials.it)
- [www.inail.it](http://www.inail.it)
- [www.osha.europa.eu](http://www.osha.europa.eu)
- [www.refineair.it](http://www.refineair.it)
- [www.salute.gov.it](http://www.salute.gov.it)

## Test e Monitoraggi documentati:

- Test su VOC, S.Aureus ATCC 33592 (MRSA), S. Pyogenes ATCC 19615, commissionati da a rinomati laboratori di analisi chimiche e biologiche negli USA.
- Test microbiologici allestiti per valutare la capacità microbica del dispositivo PCO 001, Università degli Studi di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Industriale.
- Test di monitoraggio CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> Università degli Studi di Napoli Federico II -Scuola di Medicina e Chirurgia – Dipartimento di Sanità Pubblica U.R.D. di Igiene Medicina, Preventiva e Statistica Sanitaria.
- Test su conta batterica/microbiologica, lieviti e muffe in ambiente pre e post sanificazione RefineAir in diversi campi applicativo: ospedaliero, ambulatoriale odontoiatrico, alimentare, caseario, trasporto di alimenti, allevamento, Neotes Srl laboratorio di analisi chimiche e ambientali.

**Il compendio e gli allegati sono stati resi disponibili grazie alla gentile concessione di:**

**Refine Air Srl** Via Sabato Visco, 24 C 84131 Salerno;

**Sono vietate la stampa e la divulgazione non autorizzate.**