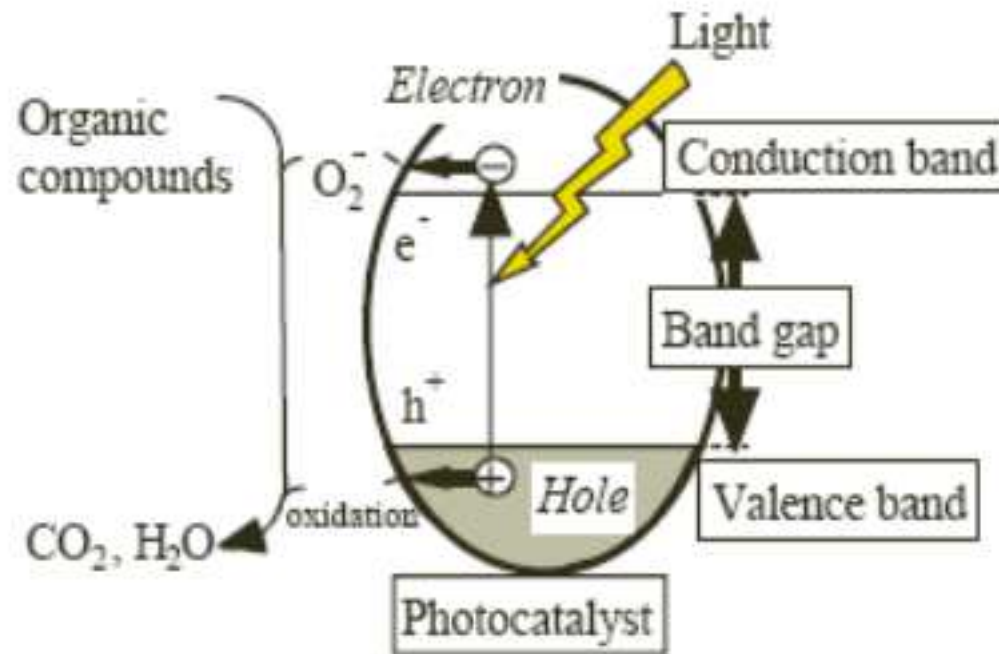


Tecnologia PCO...

La prossima evoluzione nella pulizia dell'aria negli ambienti interni?



Sommario

1. Introduzione alla tecnologia PCO e al Diossido di Titanio
2. Le basi della reazione PCO
3. Attuali applicazioni della tecnologia PCO
4. La PCO e la qualità dell'aria interna
 5. Particolato
 6. Chimica
 7. Biologia
5. Design delle unità: pro e contro
6. Commenti conclusivi

Cos'è la tecnologia PCO?

Ossidazione fotocatalitica

- Fotocatalisi: accelerazione di una fotoreazione in presenza di catalizzatore.
- Nella fotocatalisi catalizzata, la luce è assorbita da un substrato.
- La sua comprensione è divenuta possibile a seguito della scoperta dell'elettrolisi dell'acqua mediante diossido di titanio nel 1967 a Fujishima.
- La fotocatalisi dipende dalla capacità del catalizzatore di creare coppie di elettroni-buco, che creano radicali liberi (radicali ossidrilici, OH) in grado di subire reazioni secondarie.

Cos'è il substrato?

In questo caso, è Diossido di Titanio

The image shows a standard periodic table of elements. The elements Oxygen (O) and Titanium (Ti) are circled in red. Two red arrows originate from these circles and point towards the chemical formula TiO_2 on the right side of the page.

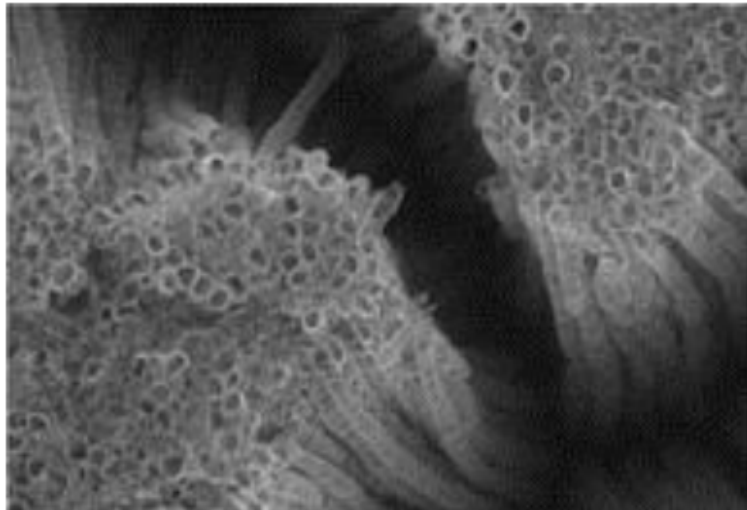
Group →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period ↓	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			

- Diossido di Titanio, altrimenti conosciuto come titanio (IV) ossido o titania.
- Il Diossido di Titanio è presente in natura sottoforma del più conosciuto rutilo, anatasio, brookite e inoltre come due forme ad alta pressione, una simile alla baddeleite monoclinica e un'alfa ortorombica.
- Possiede un'ampia gamma di applicazioni.

Utilizzi del TiO₂

- ✓ Ogni anno vengono consumate in tutto il mondo 4 milioni di TiO₂ pigmentario per rendere vernici e rivestimenti più bianchi e opachi.
 - ✓ Costituente primaria della vernice bianca
 - ✓ La parte esterna del razzo Saturn V fu dipinta con diossido di titanio
 - ✓ Rivestimento ottico per gli specchi dielettrici
- ✓ Pietre preziose come il «topazio mistico di fuoco»
- ✓ Opacizzante, e per la formazione di cristalli di semi in smalti ceramici
- ✓ Plastiche, per le sue proprietà di resistenza ai raggi UV
- ✓ Carte, inchiostri, cibo, medicine (ad es. pillole e compresse), dentifrici
- ✓ Cosmetici
 - ✓ Assorbitore di UV nei cosmetici
 - ✓ Pigmenti per tatuaggi
 - ✓ Matite emostatiche
 - ✓ Protezione solare
- ✓ Energia solare (in forma di nanoparticelle), schermi LCD
- ✓ **Fotocatalisi**

Anatasio

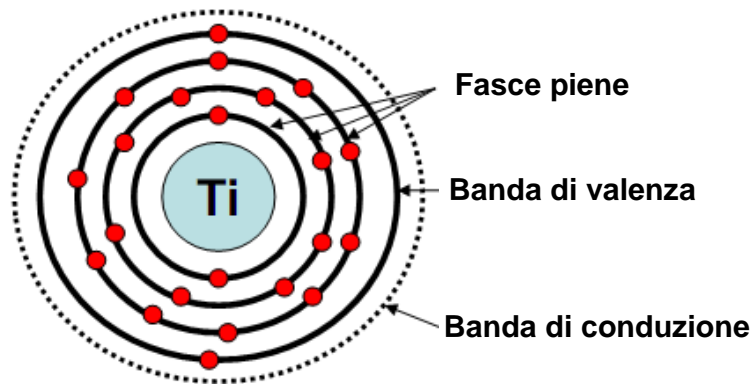


L'anatasio può essere delaminato con la sintesi idrotermale per creare nanotubi di anatasio e nanoribboni di titanato.

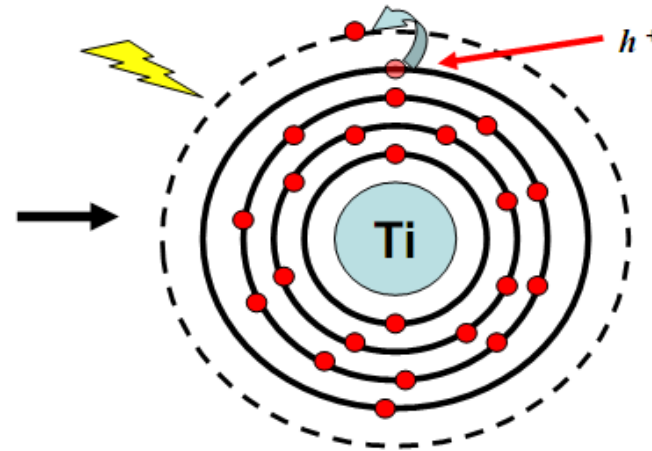
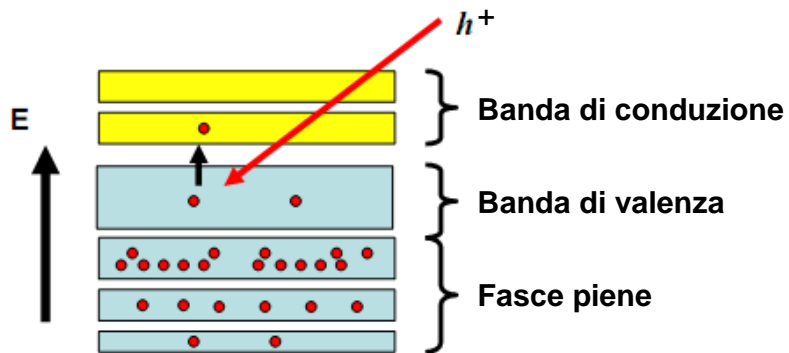
Il Diossido di Titanio in forma di anatasio è un fotocatalizzatore sotto luce ultravioletta.



Per saperne di più sul Titanio

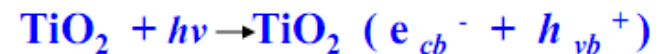


Modello di Bohr semplice per il Titanio



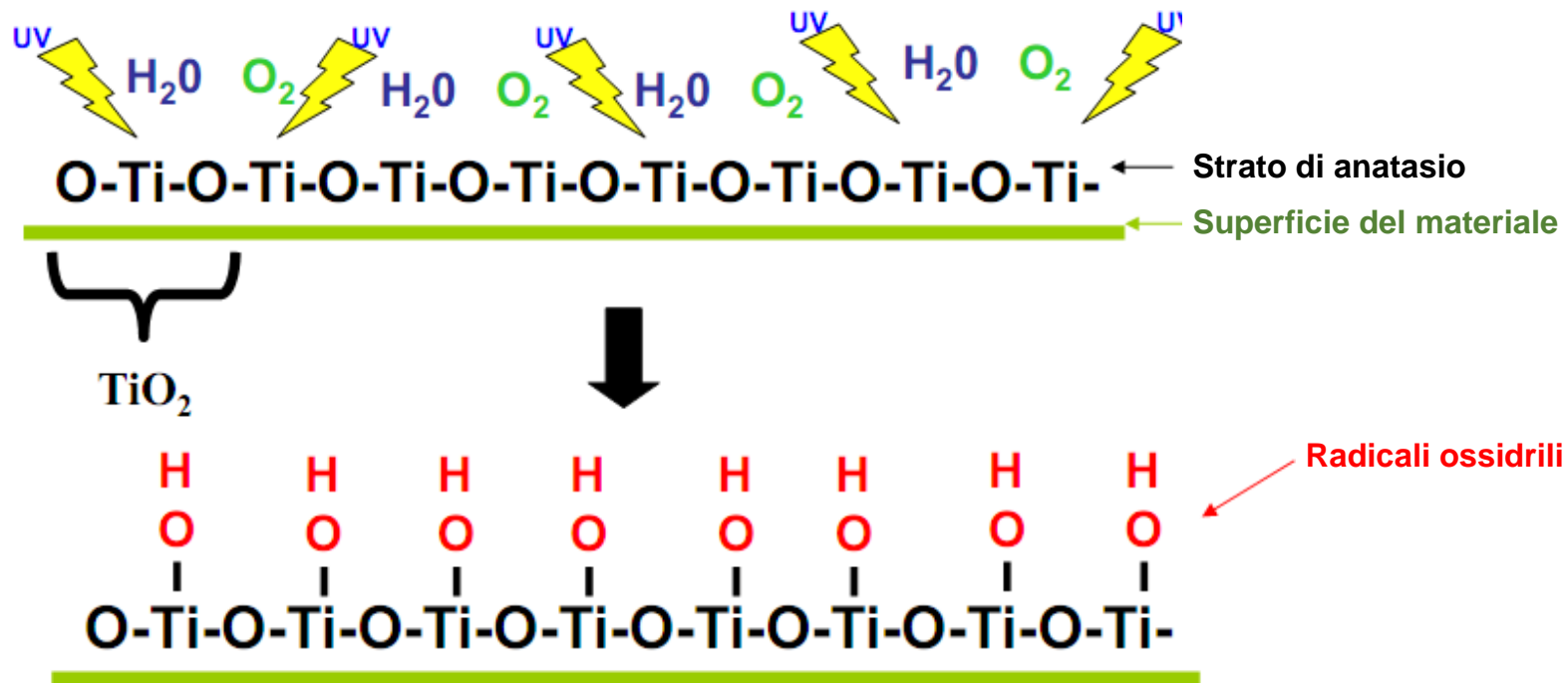
Quando l'atomo assorbe energia, gli elettroni «saltano» verso orbite a più elevata energia

L'elettrone allo stato «eccitato» è il primo passo verso la Reazione Fotocatalitica.



Quando un fotone con energia eccedente a quella della banda di oscillazione viene assorbito dall'atomo, l'elettrone (e^-) salta dalla banda di valenza alla banda di conduzione, lasciando indietro un buco (h^+) nella banda di valenza.

Cosa accade in seguito?

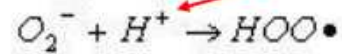
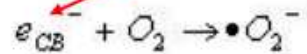
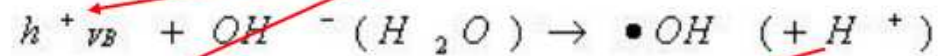
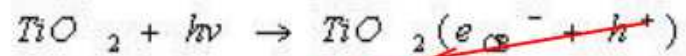


1. Gli elettroni «eccitati» nella banda di valenza si spostano nella banda di conduzione.
2. I buchi formati dagli elettroni (h⁺) sulla superficie reagiscono con acqua, ossigeno e ioni idrossido per formare radicali ossidrilici.
3. La durata dello stato eccitato oscilla tra i 10⁻⁹ e i 10⁻⁵ secondi.
4. Il fattore determinante nel processo di fotocatalisi è generalmente la produzione e l'uso di radicali ossidrilici.

Radicali ossidrili

Potere relativo degli ossidanti chimici		
Composto	Potenziale di ossidazione (volts)	Potere ossidante relativo (Cl ₂ = 1.0)
Radicali ossidrili	2.8	2.1
Solfato radicale	2.6	1.9
Ozono	2.1	1.5
Perossido d'idrogeno	1.8	1.3
Permanganato	1.7	1.2
Biossido di cloro	1.5	1.1
Cloro	1.4	1.0
Ossigeno	1.2	0.90
Bromo	1.1	0.80
Iodio	0.76	0.54

Reazione complessiva



(1) Creazione del «buco»

(2) Formazione dei radicali ossidrilici

(3) Formazione di radicali superossido

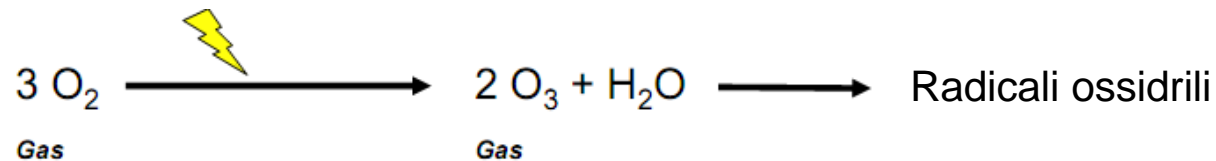
(4) Formazione di radicali perossidi

Questi radicali altamente reattivi hanno quindi la funzione di generare varie reazioni di ossidazione

Vi sono due tipi di Fotocatalisi

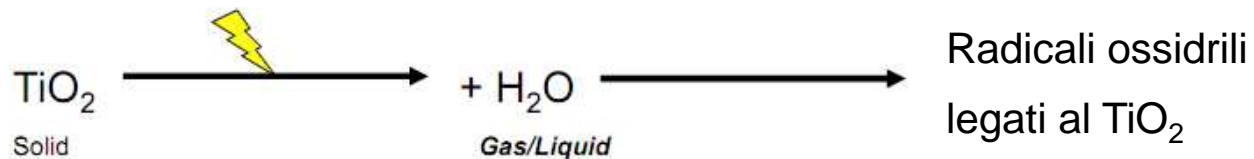
Fotocatalisi omogenea

Nella fotocatalisi omogenea, i reagenti e i foto-catalizzatori fanno parte della stessa fase. I foto-catalizzatori omogenei più comunemente utilizzati includono meccanismi per la creazione di Ozono (O₃)



Fotocatalisi eterogenea

In questo caso, i catalizzatori non si trovano nella stessa fase dei reagenti.



Cosa significa tutto ciò?

Una volta applicata...abbiamo ora superfici «Auto-pulenti»



Esempio: le sedie sdraio. La sedia sdraio di sinistra presenta muffa, quale risultato dell'esposizione all'umidità. La sedia a destra è stata trattata con un rivestimento di TiO_2 . Indipendentemente dal livello di umidità, su quest'ultima superficie «foto-attiva» non crescerà alcuna muffa.



Edifici con superfici **Auto-Pulenti** e tecnologie per finestre

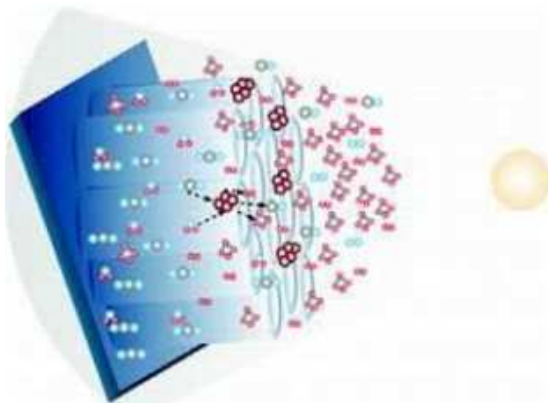




Marciapiedi con rivestimenti fotocatalitici, disegnati per ridurre il diossido di azoto (NOx) e le emissioni sulfuree derivanti dalla combustione dei carburanti.



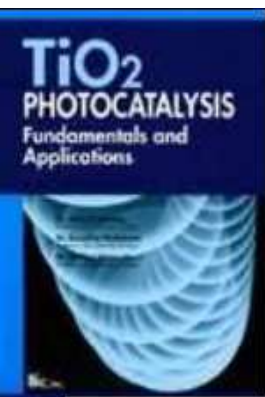
Tecnologie fotocatalitiche per i tunnel: caso studio di design e analisi costi-benefici per il Maastunnel di Rotterdam nella rimozione di NOx e PM 2.5.



Convertitore di emissioni fotocatalitiche



Trattamento antimogg cemento autostrade



La Tecnologia fotocatalitica TiO_2

offre ampie opportunità per il futuro.
I suoi possibili utilizzi a servizio dell'umanità sono ora soltanto dei piccoli segni sulla superficie...



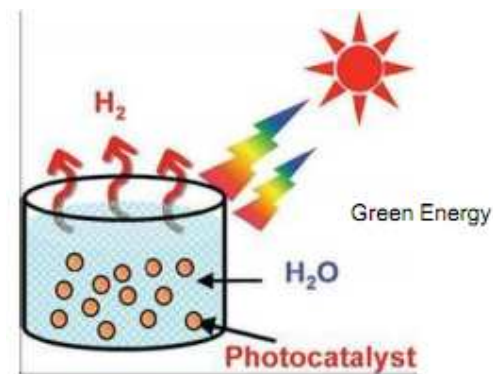
Cella combustibile



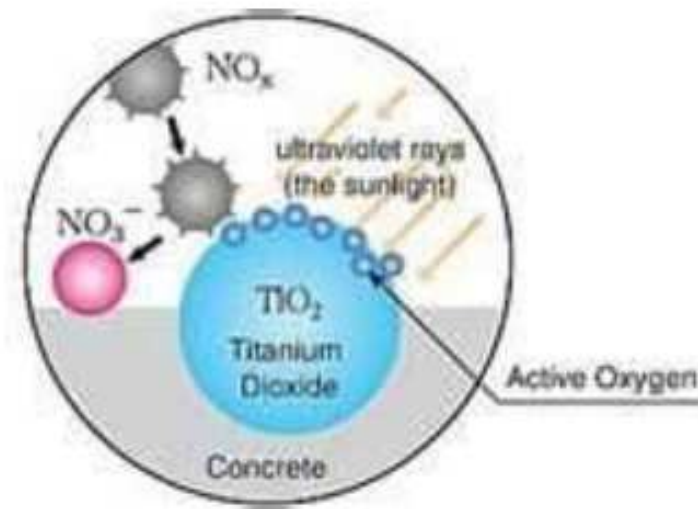
Vetreteria autopulente



Trattamento dei gas di scarico

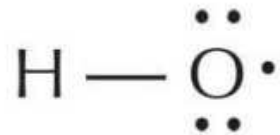


Applicazione della tecnologia all'aria

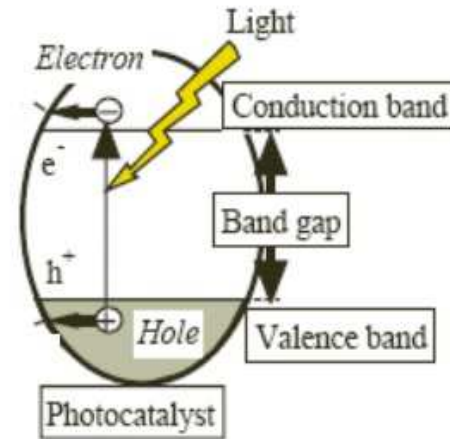


...Non soltanto all'aria esterna, ma anche a quella interna

Ricordarsi di una cosa...



Creazione dei radicali ossidrilici



**Un agente chimico indiscriminante, legato alla superficie del substrato di TiO₂, che ossiderà altri composti chimici, indipendentemente dal fatto che essi siano organici, inorganici, in sistemi viventi o meno...
I materiali organici sono ridotti in CO₂ e H₂O, gli inorganici in solfati, nitrati ecc...**

3-Duplica approccio ad un accettabile IAQ



L'E.P.A. definisce come un livello accettabile di IAQ quello in cui:

1. **Mantenimento di un appropriato comfort termico**

...(ASHRAE Standard 55)

2. **Mantenimento di un'appropriata ventilazione**

...(ASHRAE Standard 62)

3. **Mantenimento dei livelli di contaminanti:**

1. Particolato
2. Composti organici volatili
3. Agenti biologici

Mantenimento di un'appropriata ventilazione ASHRAE Standard 62-73

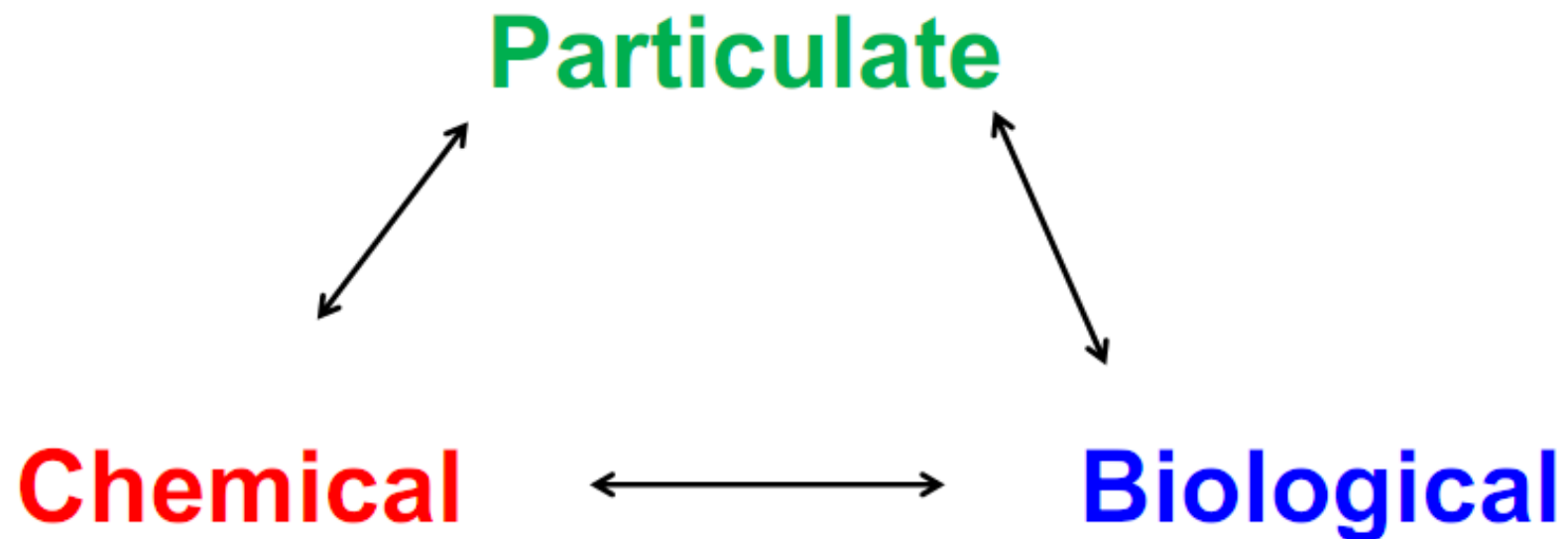
- Primo standard per la ventilazione meccanica e controllata. Fornisce un approccio prescrittivo alla ventilazione, specificando sia il livello minimo che quello raccomandato di flusso d'aria esterna per ottenere un accettabile IAQ per una varietà di spazi interni.
- Crisi energetica, edifici stretti, esplosione di strutture basate su materiali organici, prodotti e componenti per la pulizia.
- Mantra IAQ del 1990: «La ventilazione è la soluzione all'inquinamento interno».
- Spesso propagandato come il componente IAQ più importante negli anni '90.
- Sono state fatte revisione periodiche dello standard ASHRAE 62...l'ultima è del 2010.
- Certamente resta oggi una componente importante, ma il costo dell'energia ha avuto un serio impatto sui tassi di ventilazione realistici vs quelli desiderati.

Tecnologia PCO di ossidazione fotocatalitica per la purificazione dell'aria: riduzione dell'uso di energia durante la pulizia degli ambienti

- I ricercatori hanno stimato che l'efficienza della tecnologia PCO, installata in un edificio adibito a uffici con sistemi HVAC avrebbe dovuto superare il 17% per permettere una riduzione del 50% della ventilazione dell'edificio.
- Un esperimento del laboratorio di Berkeley ha dimostrato che la conversione della maggior parte dei composti organici volatili ha superato il 19%, confermando la sua efficacia. In numerosi casi, la conversione ha toccato livelli del 75%.
- Alcuni test hanno rivelato la generazione di formaldeide a acetaldeide dalla parziale ossidazione dei composti organici volatili. Successive ricerche hanno utilizzato un ossidante chimico-assorbente – il permanganato di sodio – a valle del dispositivo PCO.
- Quale risultato del test, il sistema PCO di pulizia dell'aria e quello chimico-assorbente sembrano possedere efficacia sufficiente nella rimozione di composti organici volatili per consentire una riduzione del tasso di ventilazione del 50%, senza comportare un incremento delle concentrazioni di aldeide interne.

PCO e contaminanti

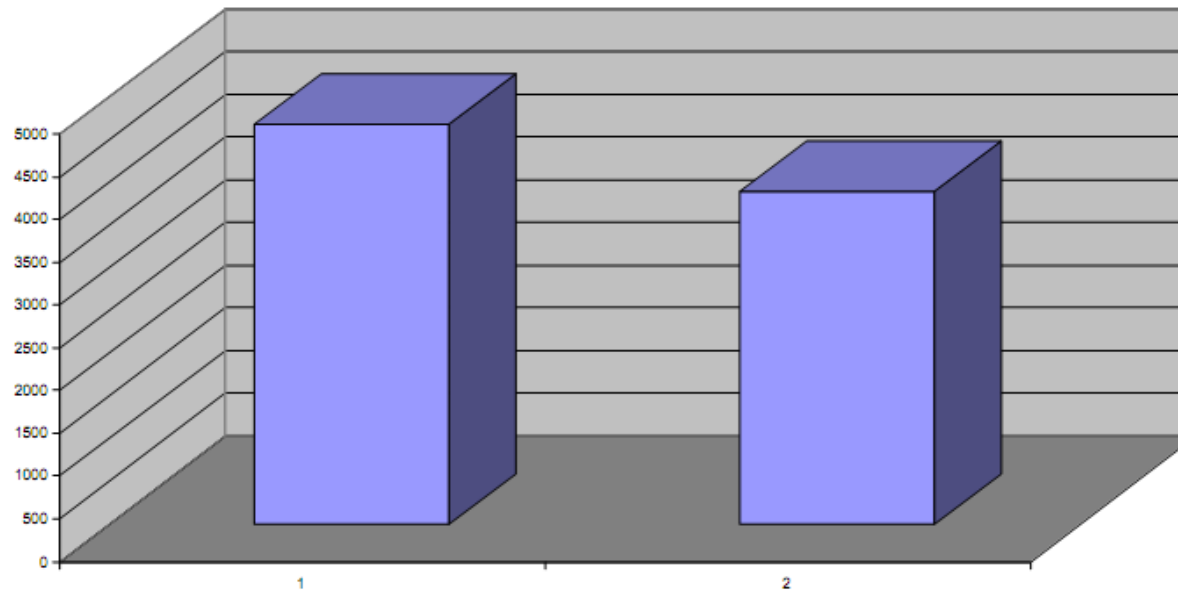
utilizzo del sistema a 3 modelli



Ad esempio, una muffa può essere parte di tutti e tre i sistemi

PCO e controllo delle particelle

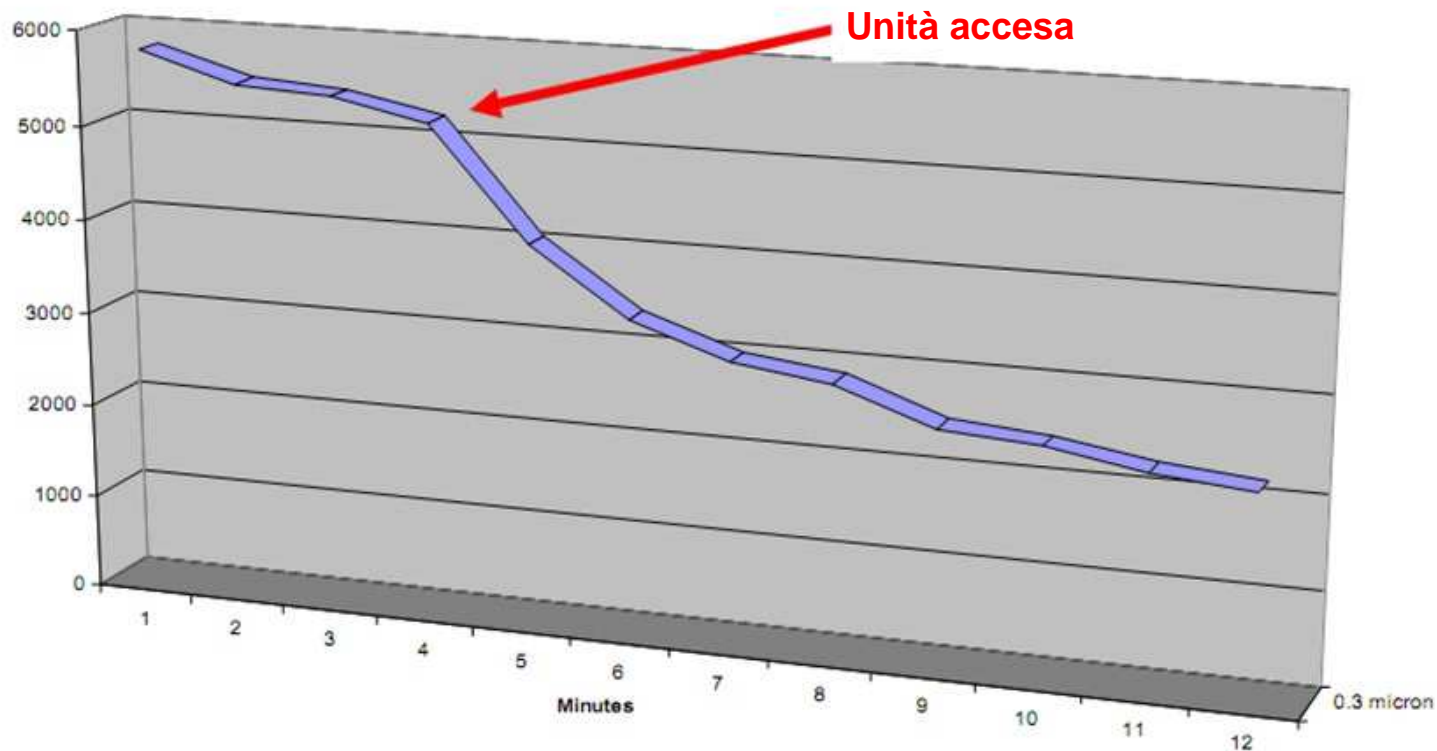
Effetto della tecnologia PCO su particelle di 0.3 micron – Passaggio singolo



Studio non pubblicato eseguito da REC Group, utilizzando Met 1-5 contatore di particelle laser nel canale; modalità passaggio singolo dell'aria nel test della camera di controllo.

PCO e controllo delle particelle

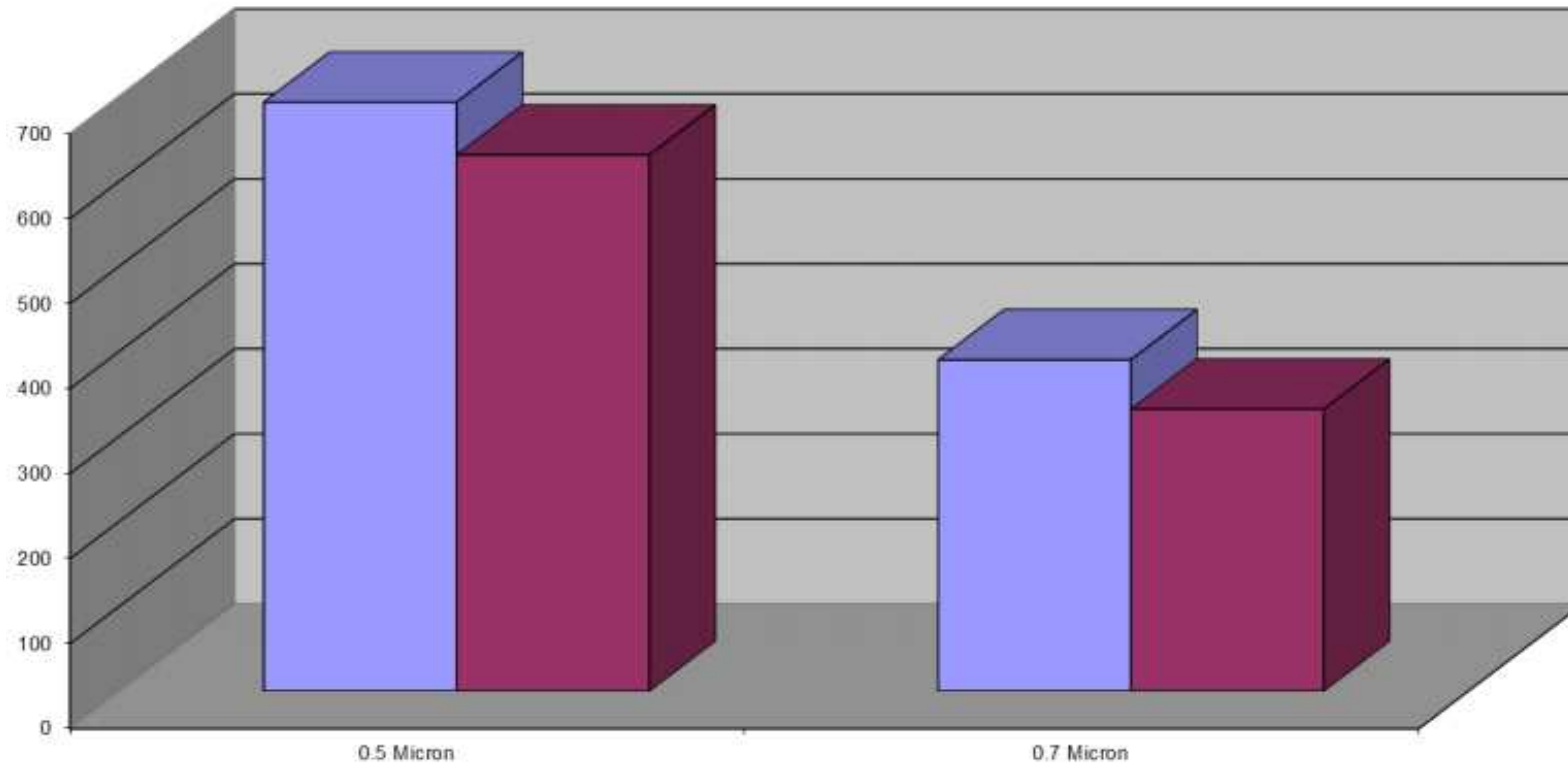
Effetto della tecnologia PCO su particelle di 0.3 micron – Modalità di ricircolo



Studio non pubblicato eseguito da REC Group, utilizzando Met 1-5 contatore di particelle laser nel canale; modalità passaggio singolo dell'aria nel test della camera di controllo.

PCO e controllo delle particelle

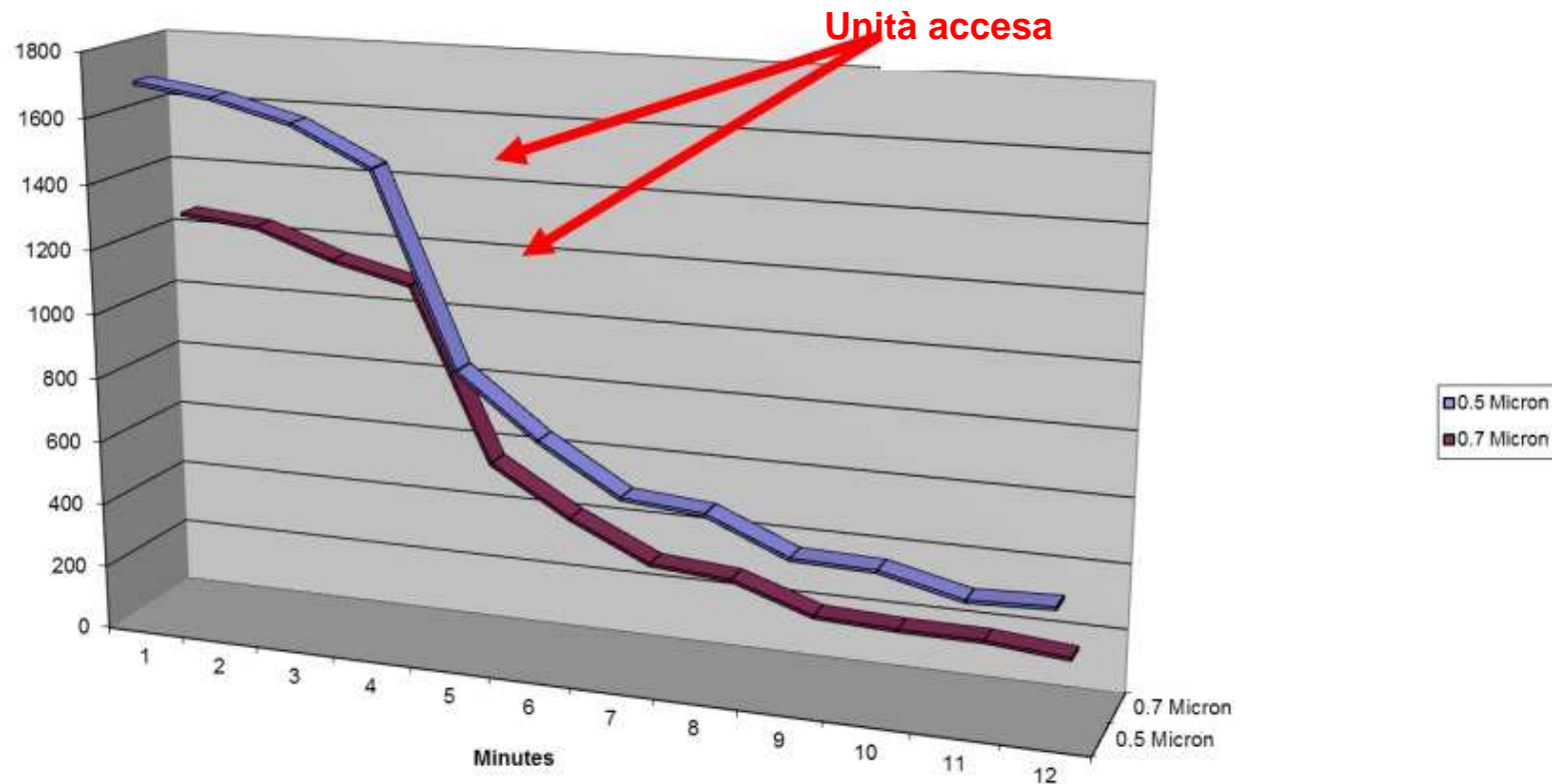
Effetto della tecnologia PCO su particelle di 0.5 e 0.7 micron – Passaggio singolo



Studio non pubblicato eseguito da REC Group, utilizzando Met 1-5 contatore di particelle laser nel canale; modalità passaggio singolo dell'aria nel test della camera di controllo.

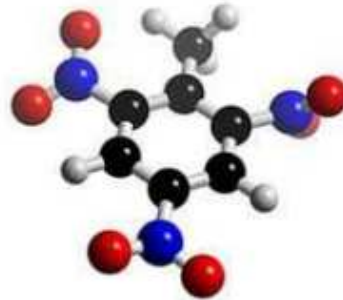
PCO e controllo delle particelle

Effetto della tecnologia PCO su particelle di 0.5 e 0.7 micron – Modalità di ricircolo



Studio non pubblicato eseguito da REC Group, utilizzando Met 1-5 contatore di particelle laser nel canale; modalità passaggio singolo dell'aria nel test della camera di controllo.

PCO e composti chimici



Ricerche predominanti documentate in letteratura

Purificazione dell'aria

Trattamento dei gas di scarico

Aria interna

Degrado pesticidi

Aria esterna

Trattamento delle acque reflue

Trasformazione dei prodotti alimentari

Trasformazione dei prodotti alimentari?

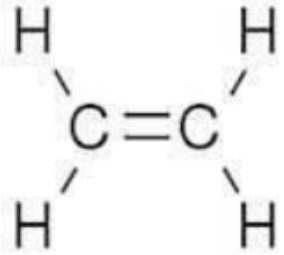
Il concetto di PCO è stato sviluppato dalla NASA per controllare il gas «etilene», che stava avendo effetti deleteri sulla coltivazione di piante.



La NASA vendette i diritti ad un'azienda di ingegneria che aveva in precedenza sviluppato sistemi di nebulizzazione

L'uso di PCO è diffuso nel controllo di «etilene» nello stoccaggio dei prodotti e nelle strutture aziendali

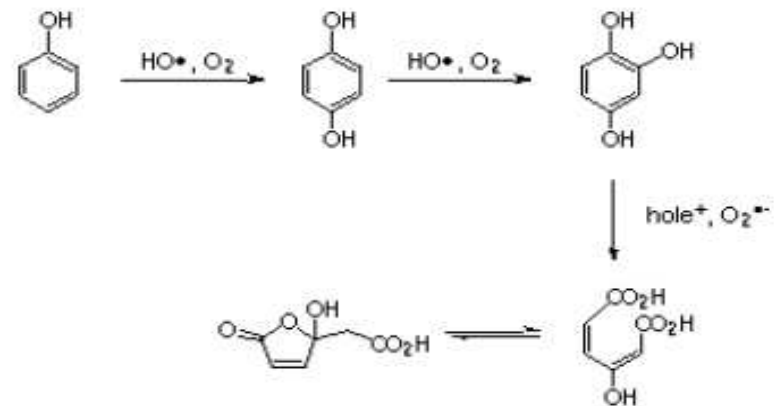
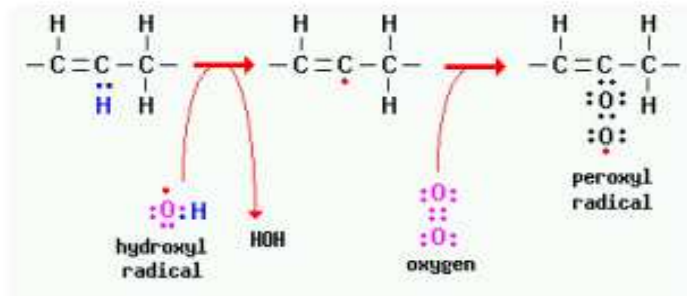




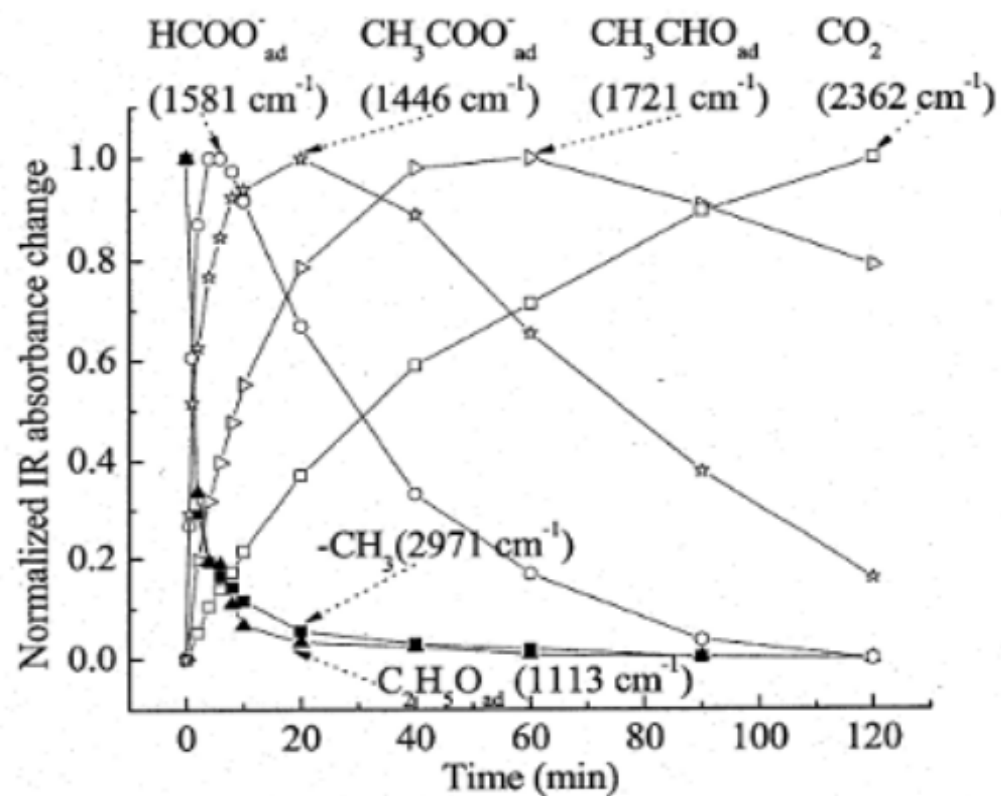
**L'etilene è un semplice idrocarburo al 2-carbonio
(Composto organico volatile)**

**Il meccanismo tramite il quale la tecnologia a ossidazione fotocatalitica
decompone l'etilene è, di base, la stessa per tutti gli idrocarburi.**

**I radicali ossidril rompono i legami mantenendo unite le sostanze
chimiche.....**

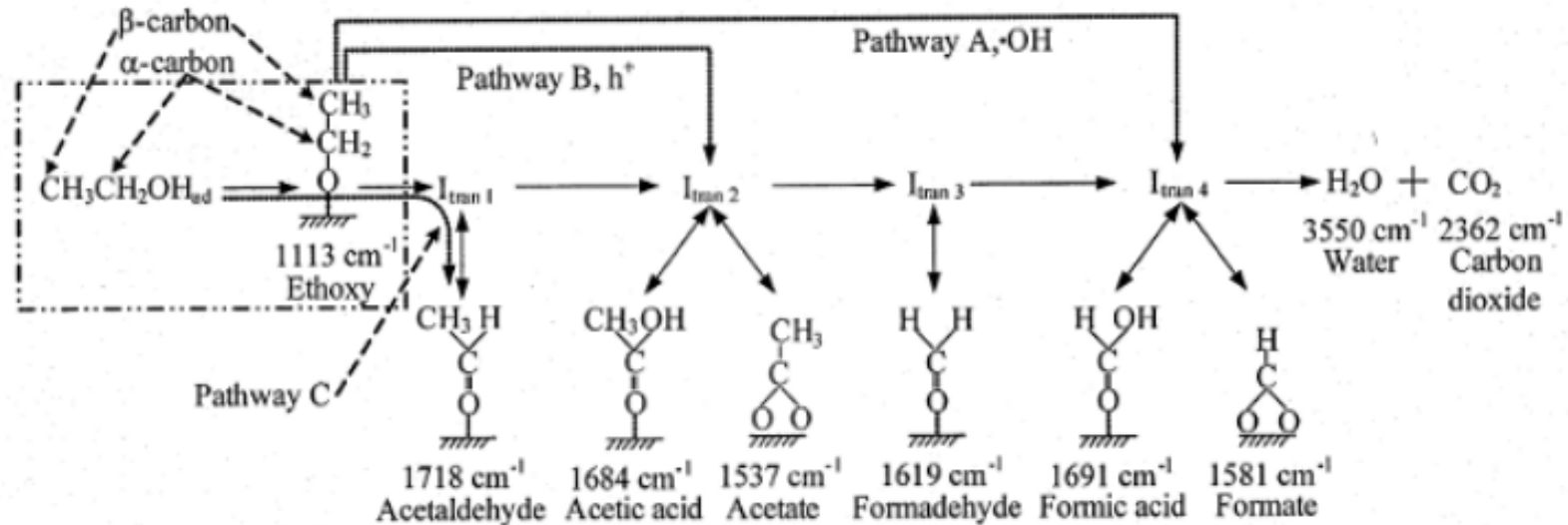


Uno degli studi più interessanti in letteratura riguarda la decomposizione dell'etanolo tramite PCO ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$)



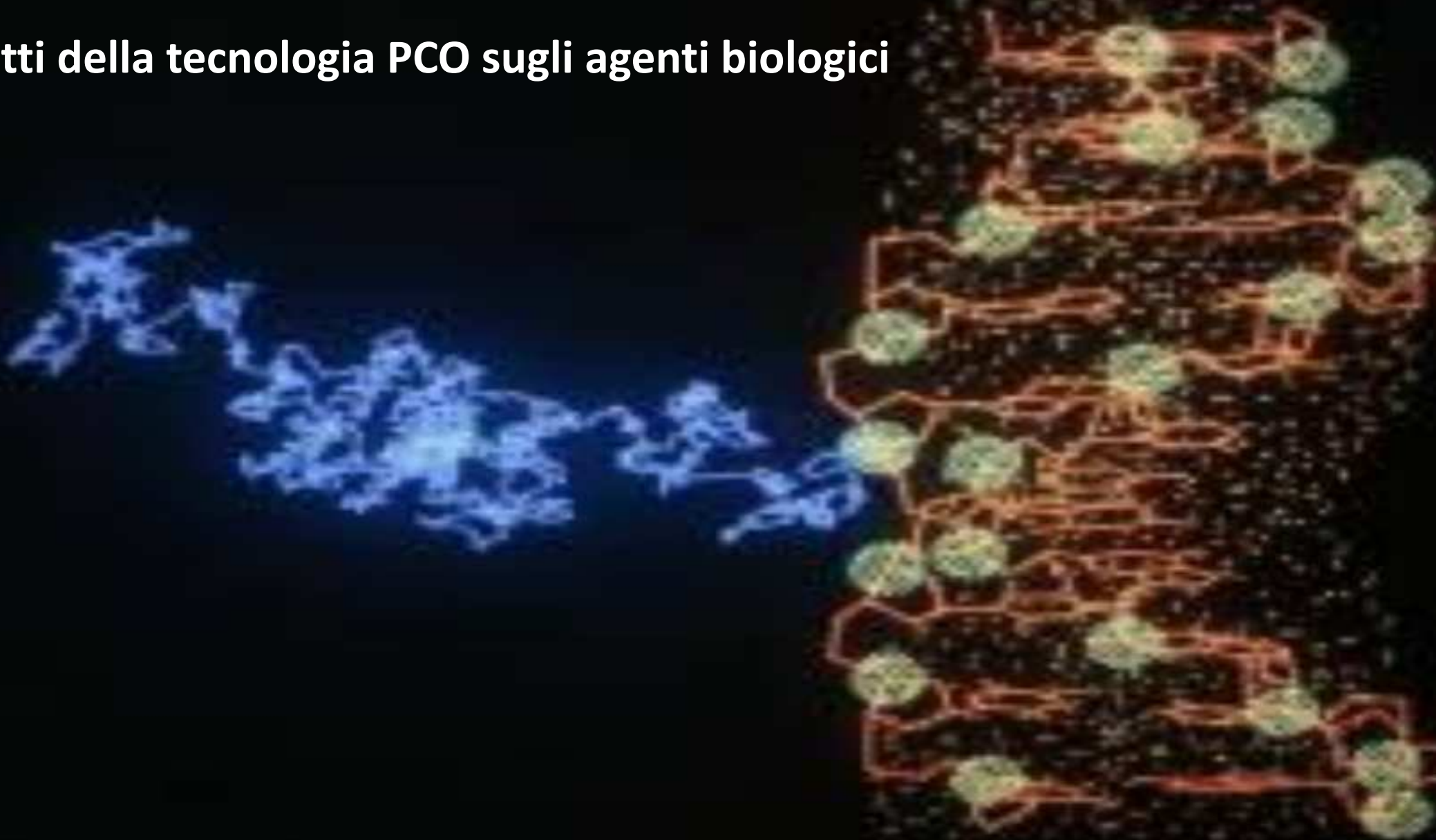
Studio IR in situ di specie assorbite e della generazione di elettroni durante l'ossidazione fotocatalitica dell'etanolo in TiO_2 .

Lo studio rivela che la decomposizione dell'etanolo ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) tramite PCO è prevedibile, ma complicata...



Studio IR in situ di specie assorbite e della generazione di elettroni durante l'ossidazione fotocatalitica dell'etanolo in TiO_2 .

Effetti della tecnologia PCO sugli agenti biologici

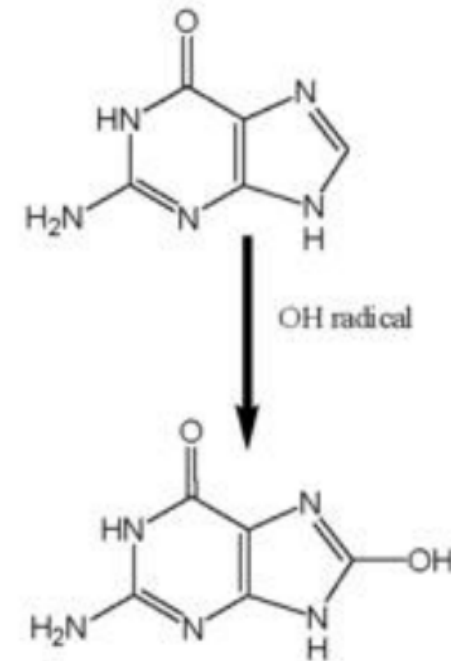


DNA e RNA...le molecole di «controllo vita» dei sistemi viventi



DNA e RNA sono composti da 1) acido fosforico
2) ribosio o zuccheri di desossiribosio e 3) basi nucleotidiche (adenina, guanina, timina, uracil, citosina)

La guanina è stata dimostrata essere causata dalla reazione PCO, che rende il DNA e l'RNA inattivi...

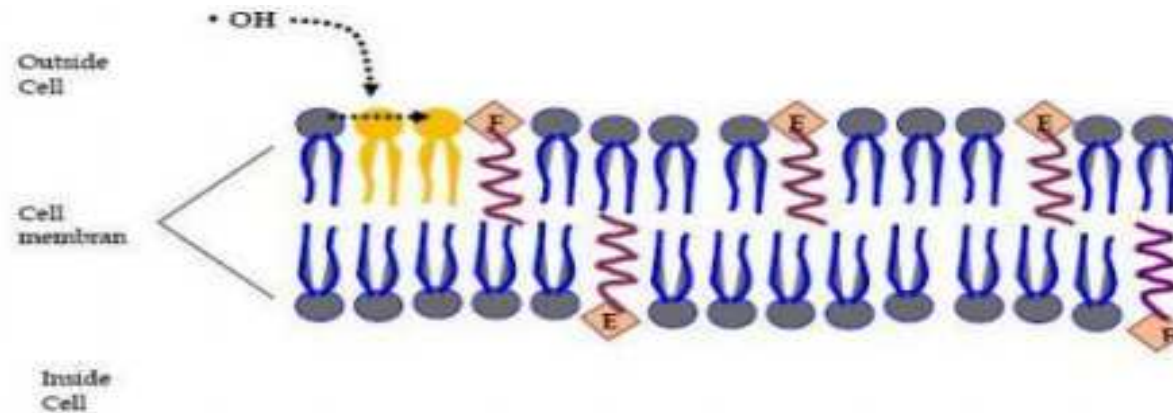


Effetti della PCO sugli agenti biologici

- Triantis et al. Hanno dimostrato il degrado dei microcystin-LR, tra i più comuni e tossici idrosolubili cianotossici emessi dallo sviluppo dei cianobatteri, a seguito della PCO.
- Suzuk et al. Hanno dimostrato l'effetto della PCO come tecnica per creare DNA rotture localizzate del doppio filamento del DNA, ciò a suggerire che la tecnologia in questione ha un ruolo nella distruzione delle particelle virali.
- La PCO ha rivelato il possesso di un controllo positivo sui batteri *Bacillus* relativamente all'antrace.
- Riduzione dei microbi presenti nell'aria in sala operatoria e altre ambientazione cliniche a seguito dell'utilizzo della tecnologia PCO, dimostrati da Cram et al.
- Letteralmente, esistono numerosi riferimenti riguardanti l'impatto della tecnologia PCO sugli organismi biologici.

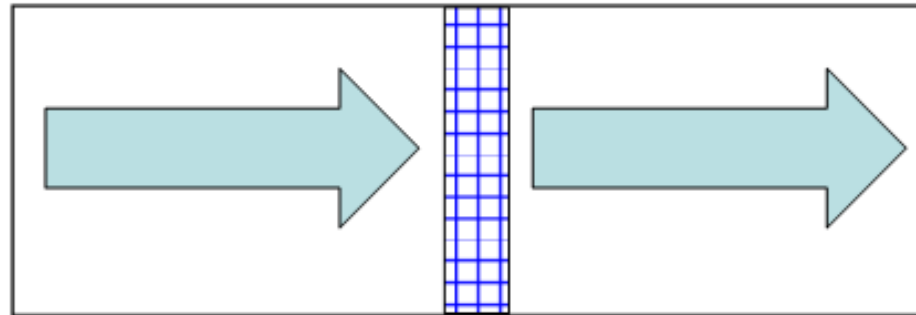
Effetti della PCO sugli agenti biologici

L'impatto della PCO sugli organismi biologici non è necessariamente così sorprendente.

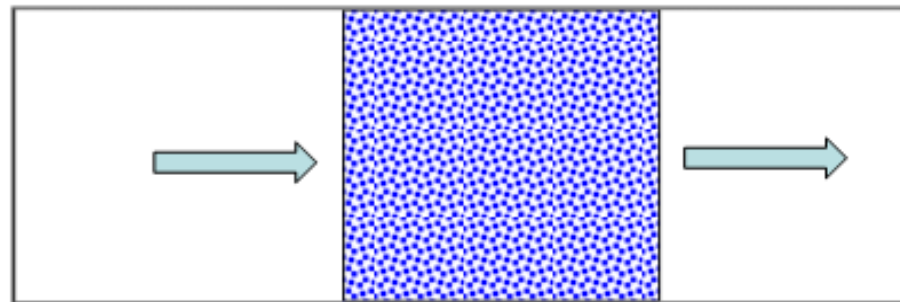


- **Basicamente, tutti gli organismi viventi sono composti da molecole organiche.**
- **Gli stessi tipi di molecole di idrogeno e carbone compensano altri composti organici, anche volatili, che non si trovano nei sistemi viventi.**
- **Alla reazione PCO il materiale organico è indistinguibile e neutrale.**
- **I componenti chimici che comprendono gli organismi viventi sono denaturati e decomposti.**
- **Ad un certo punto, l'organismo degrada e cessa di vivere. Le reazioni susseguenti dei restanti bio-costituenti avrebbero seguito la stessa strada come gli altri composti organici, producendo, in ultima analisi, acqua e anidride carbonica.**

Attualmente nel mercato IAQ sono offerte applicazioni di due basi di progettazione

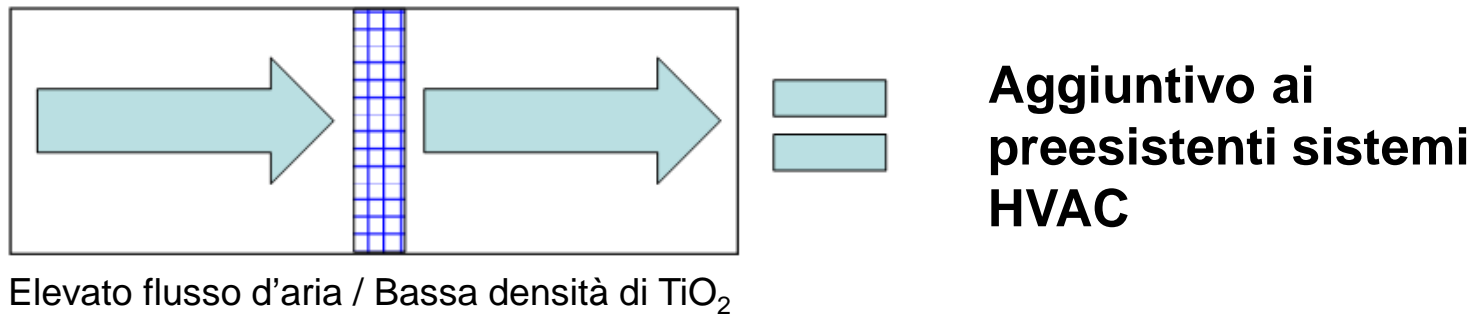


Elevato flusso d'aria / Bassa densità di TiO_2



Basso flusso d'aria / Alta densità di TiO_2

Applicazioni pratiche del modello ad elevato flusso d'aria/bassa densità di TiO_2



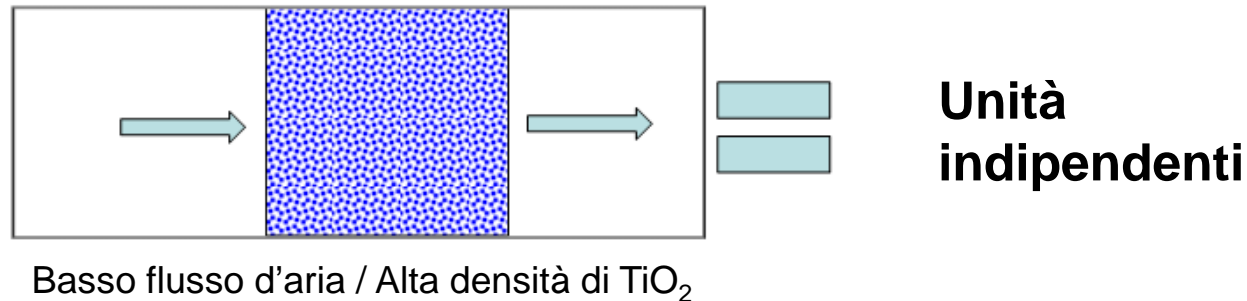
PRO

- Tratta grandi volumi di aria/spazi occupati
- Adattabile al preesistente sistema HVAC

CONTRO

- Trattamento dell'aria esterna (?)
- Trattamento di tutta l'aria nello spazio occupato potrebbe non essere desiderato
- Incrementa potenzialmente gli efflussi indesiderati

Applicazioni pratiche del modello ad elevato flusso d'aria/bassa densità di TiO_2



PRO

- Ideale per aree ad uso speciale
- Riduce potenzialmente gli efflussi indesiderati

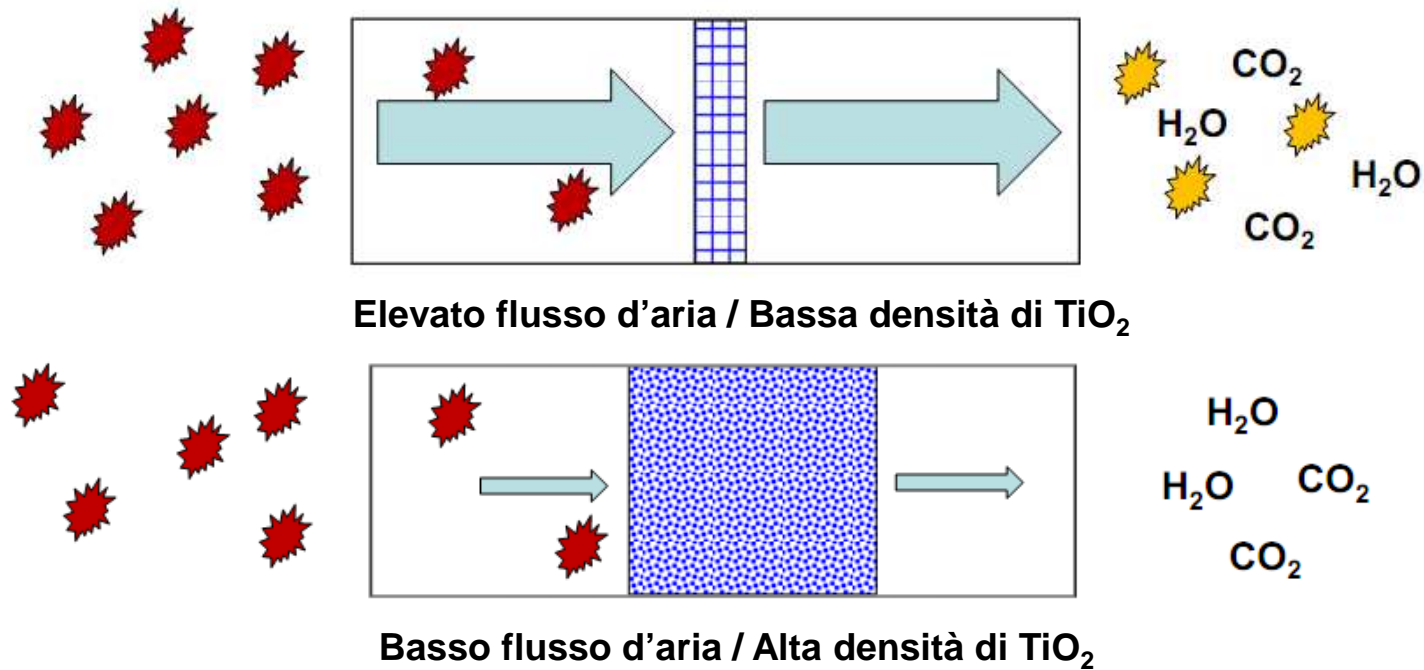
CONTRO

- Potrebbe essere necessario più di un'unità per il trattamento di un'ampia superficie

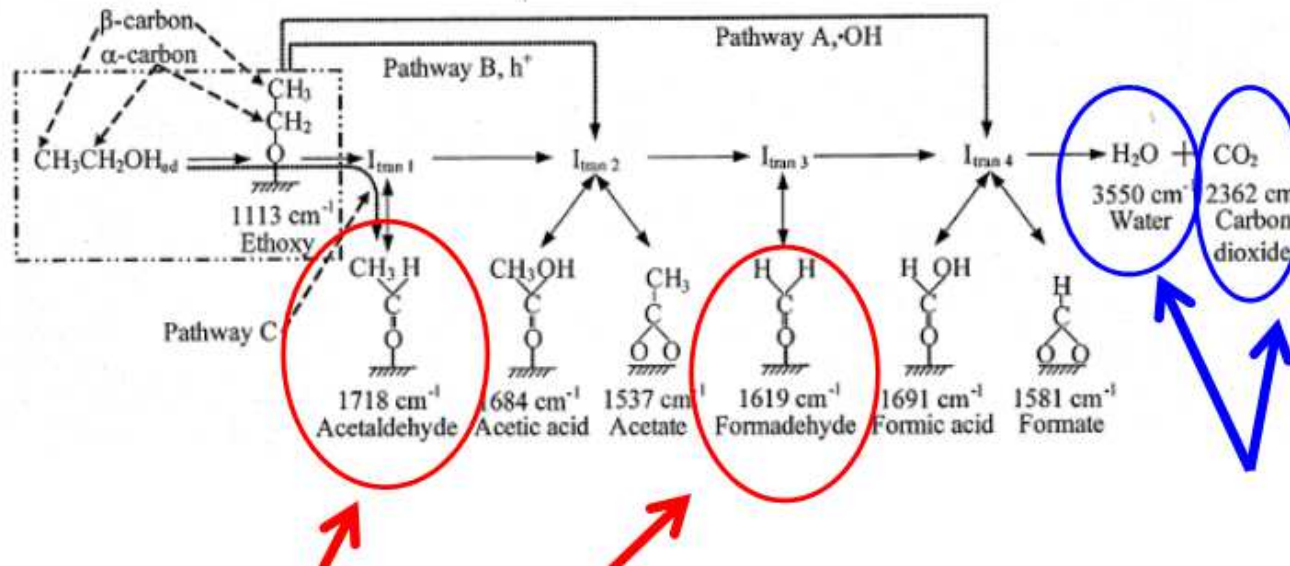
Attenzione!! Ma quali sono questi efflussi indesiderati?

Alcuni studiosi americani hanno rivelato la fondamentale importanza del controllo dei momenti di contatto degli agenti inquinanti primari e secondari con la superficie rivestita di TiO_2

(acetaldeide e formaldeide)



Ricordare lo studio sull'etanolo ($\text{CH}_3 \text{CH}_2 \text{OH}$)...



Le ricerche sembrano dire che se gli organici sono spinti troppo velocemente tramite la tecnologia PCO, si verifica una composizione incompleta, provando la fuoriuscita dal sistema.

Tuttavia, se vi è tempo sufficiente per il contatto, vi è maggiore probabilità che questi escano dal sistema.

I sistemi «Basso flusso/Alta densità» non sono immuni da potenziali produzioni incomplete

Va sempre tenuto presente che la superficie di TiO_2 a disposizione affinché avvengano le reazioni su entrambi i tipi di sistema è «finita».
Possono verificarsi efflussi indesiderati se:

- Il flusso d'aria che transita attraverso l'unità è troppo veloce
- Le concentrazioni di agenti in ingresso sono troppo elevate
- I reagenti in ingresso possiedono strutture chimiche complesse
- Basso livello di umidità (necessaria H_2O per la formazione dei radicali ossidrilici)
- Disattivare la catalisi

I filtri al permanganato di Sodio hanno dimostrato essere efficaci nel controllo del flusso dell'aria in uscita.

Concetti generali

- **La selezione di prodotti con tecnologia PCO richiede previdenza sulle specifiche della destinazione d'uso e sul contesto ambientale**
- **Uno sguardo ai vari ambienti che possono essere migliorati attraverso la tecnologia....**
 - **Celle frigorifere**
 - **Strutture sanitarie**
 - **Strutture dentistiche e farmaceutiche**
 - **Ristoranti, saloni parrucchiere**
 - **Ambienti ipersensibili (MCS, etc...)**

La tecnologia PCO e gli altri metodi di ossidazione fotocatalitica sono oggi utilizzati negli ambienti più critici conosciuti dall'uomo....

Questi ambienti interni non sono di questo Mondo !!!

Il programma Spaziale!

- Nello spazio.....
- La qualità dell'aria è disponibile in quantità finita.
- E' il carico più prezioso diverso dagli astronauti
- Non esiste la ventilazione tradizionale o altro!
- Il programma spaziale non utilizzerebbe tale tecnologia se essa non apportasse benefici
- Si tratta di scienza applicata alla tecnologia Missilistica, ora disponibile anche per l'industria dell'IAQ.



Commenti conclusivi

- ❖ La tecnologia PCO è arrivata nell'industria IAQ.
- ❖ Tale tecnologia offre un contributo unico e positivo al mercato dell'IAQ.
- ❖ La tecnologia PCO offre il controllo e la rimozione delle particelle, degli agenti chimici e biologici dall'aria interna in un singolo processo
- ❖ Raccomandazione: apprendere maggiori informazioni su tale tecnologia, i suoi utilizzi, le applicazioni e i limiti.
- ❖ La nuova tecnologia va integrata nell'esistente «pacchetto» di risposte sul tema IAQ.