



**Nanomateriali nella catalisi: una straordinaria innovazione applicativa.
Ma quali i rischi per la salute e l'ambiente?**

Enrico Sabbioni



***LASA, INFN e Università di
Milano, Segrate, Milano***



***Centro di Studi e Tecnologie Avanzate (C.A.S.T.)
"G. d'Annunzio" University of Chieti-Pescara***

La catalisi: uno degli strumenti più potenti della chimica verde (o chimica sostenibile)

Progettazione e conduzione di processi chimici che riducono/eliminano l'uso o la generazione di sostanze pericolose



Formulazione originale dei "12 principi della chimica verde" di P. Anastas e J. Warner Green chemistry: theory and practice Oxford University Press New York. 1998

1. Prevenzione degli sprechi
2. Massimizzazione dell'economia atomica
3. Progettazione di sintesi chimiche meno pericolose
4. Progetta prodotti chimici e prodotti più sicuri
5. Utilizzo di solventi e condizioni di reazione più sicuri
6. Aumento dell'efficienza energetica
7. Utilizzo delle materie prime rinnovabili
8. Riduzione dei derivati chimici
9. Utilizzo di catalizzatori, non reagenti stechiometrici
10. Progettazione per uno smaltimento controllato dei rifiuti
11. Analisi in tempo reale per prevenire l'inquinamento
12. Prevenzione del rischio di incidenti

La catalisi: uno degli utilizzi pionieristici delle nanoparticelle

Nel 1926 l'ingegnere statunitense Murray Raney sviluppò il catalizzatore **Nichel-Raney** per condurre reazioni di idrogenazione industriale degli oli vegetali. Il catalizzatore fu ottenuto per trattamento di un blocco di lega nichel-alluminio con idrossido di sodio concentrato risultando in un solido costituito da una **lega di nichel e alluminio in grani finissimi**, dando origine a catalizzatori detti "a spugna metallica".

In catalisi, i primi articoli su catalizzatori basati su nanoparticelle sono stati pubblicati nel 1941 (Rampino e Nord). Riguardavano reazioni di idrogenazione basate su **nanocatalizzatori di palladio e platino protetti da alcol polivinilico** preparati per riduzione di sali metallici per mezzo di H_2 .

Una grande svolta nel 20^o secolo è arrivata nel 1987 quando **Haruta** scoprì che l'ossidazione di CO in CO_2 da parte di O_2 era grandemente potenziata da **nanoparticelle d'oro dimensioni inferiori a 5 nm**.



21^o secolo: era della nanocatalisi, sotto area della catalisi tra le più interessanti emersa dalla nanoscienza



Rampino, L. D.; Nord, F. F. Preparation of palladium and platinum synthetic high polymer catalysts and the relationship between particle size and rate of hydrogenation. *J. Am. Chem. Soc.* 1941, 63, 2745–2749

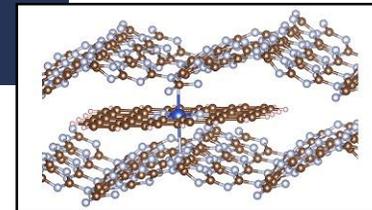
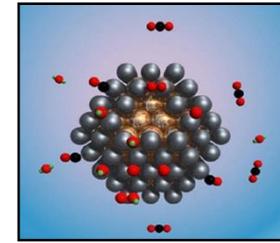
Haruta, M.; Kobatashi, T.; Sano, H.; Yamada, N. Novel gold catalysts for the oxidation of carbon monoxide at a temperature far below 0°C. *Chem. Lett.* 1987, 16, 405–408

Nanocatalisi e nanocatalizzatori

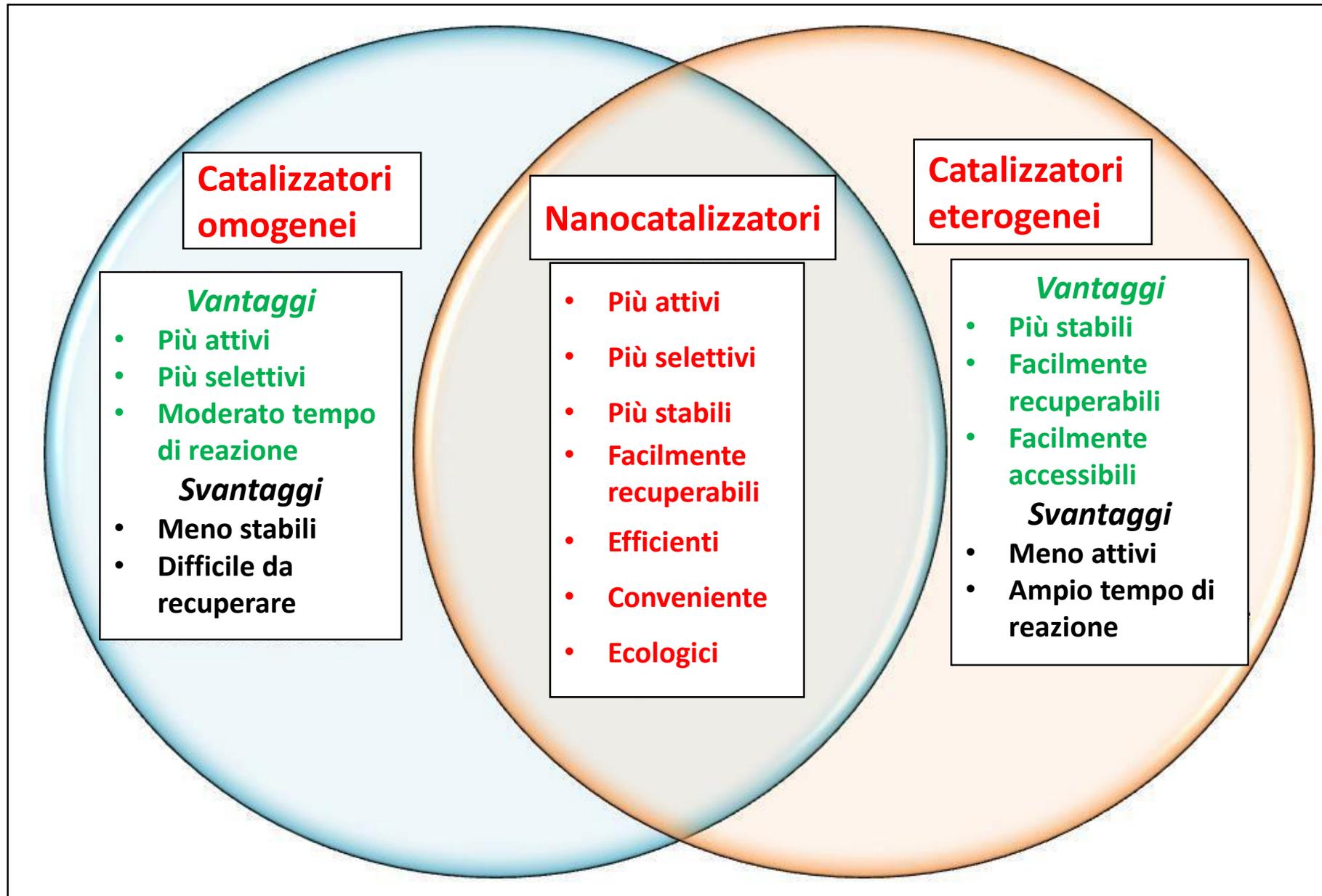
La parola nanocatalisi, non si applica al fenomeno catalitico stesso, ma alle proprietà intrinseche di nanomateriali specifici (nanocatalizzatori) che possono cambiare su scala nanometrica

Obiettivo principale: progettare e sviluppare nano materiali catalitici specifici che possiedano il 100% di selettività, alta attività, basso consumo energetico e di durevole durata

Attualmente, i nanomateriali stanno sempre più sostituendo i catalizzatori eterogenei convenzionali



Catalizzatori omogenei, eterogenei e nanocatalizzatori



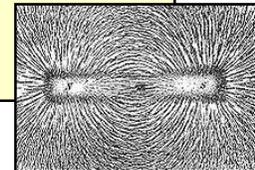
L'avvento della nanoscienza e della nanotecnologia fornisce la possibilità di creare materiali (nanocatalizzatori) con strutture e geometrie controllate per studiare e ottimizzare un'ampia gamma di processi catalitici

Kianfar E, (2020). Importance & Applications of Nanotechnology, MedDocs Publishers. Vol. 5, Chapter 4, pp. 22-25.

Le basi scientifiche... della nano-euforia per catalizzatori alla nanoscala

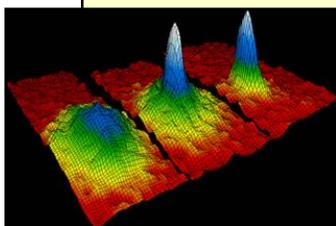


A causa di **leggi fisiche di scala** le forze dominanti in diversi fenomeni sono diverse (**dominio delle forze elettromagnetiche**)



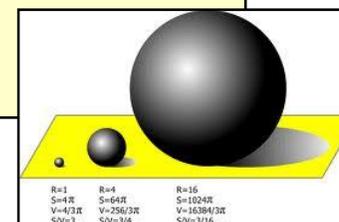
Gli **effetti quantistici** sono responsabili di modifiche delle **proprietà elettro-magnetiche e ottiche**

Diminuendo le dimensioni degli oggetti questi acquisiscono sempre più un **comportamento ondulatorio** che è descritto dalla **meccanica quantistica**

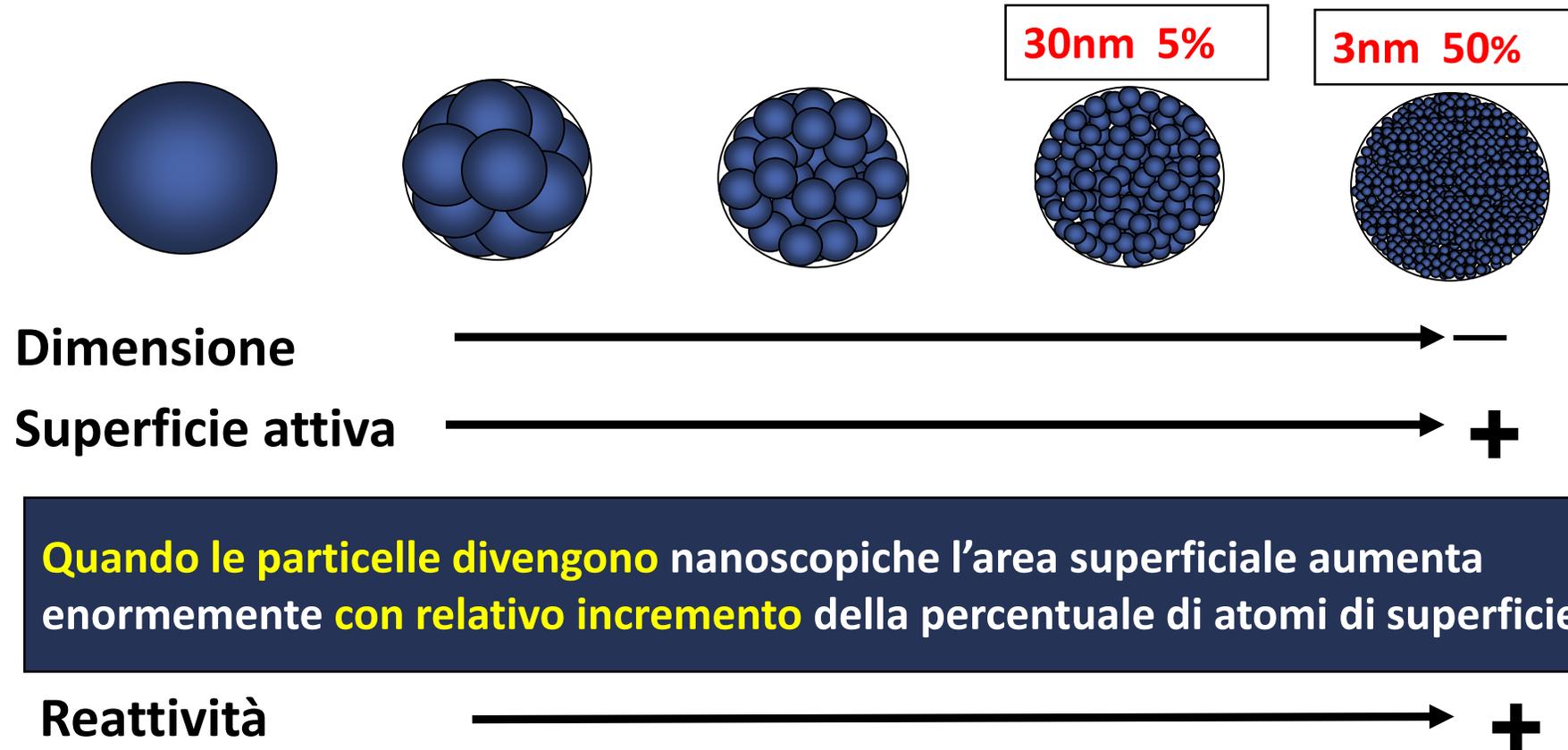


L'**aumento della superficie specifica** in **rapporto al volume** è responsabile di modifiche di alcune **proprietà meccaniche, termodinamiche e chimiche**

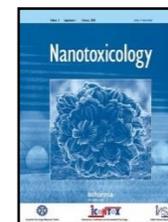
I **materiali sono modificati** nella loro velocità di diffusione, reattività, solubilità e capacità di catalizzare reazioni



Ragioni delle peculiari proprietà catalitiche dei nanocatalizzatori: elevato rapporto superficie/volume e importanza degli atomi di superficie



Adattato da Dahwan et al, Nanotoxicology, 2009, 1-9

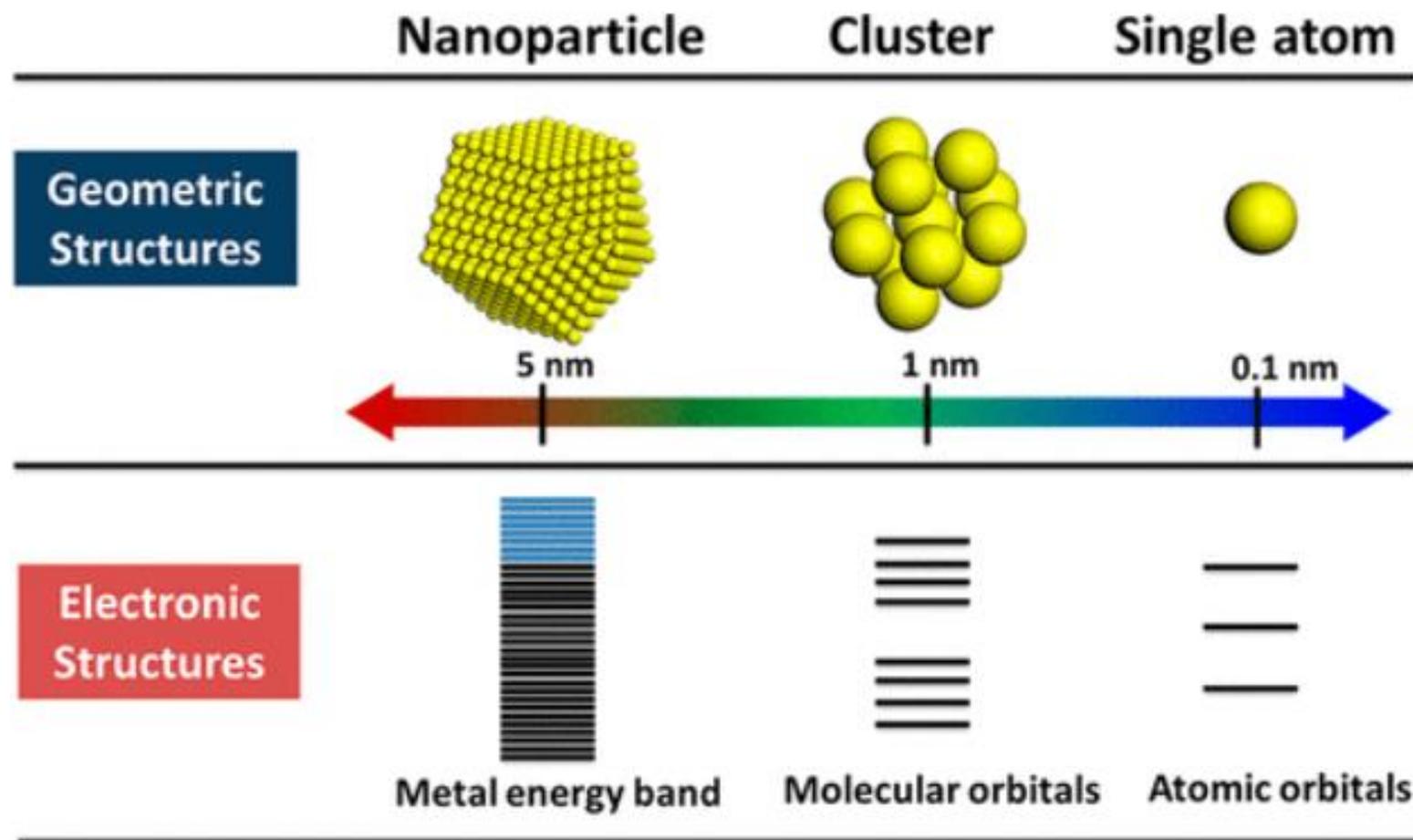


Catalizzatori «monoatomi»

Il catalizzatore ad atomo singolo è il limite estremo di riduzione delle dimensioni della particella cataliticamente attiva

E' stabilmente ancorato a un supporto inerte (es. nitruro di carbonio), il che garantisce che non vada disperso

I singoli atomi non condividono elettroni come un metallo, quindi le bande di elettroni fondamentali per spiegare la catalisi non esistono



Classificazione dei nanomateriali

Nanomateriali a base di carbonio

Fullereni, Nanotubi di carbonio (CNTs), Nanofibre di C, Grafene, Nero fumo, Nanodiamanti)

Nanomateriali a base inorganica

Al_2O_3 , CeO_2 , Co_2O_3 , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , MoO_3 , SeO_2 , SiO_2 , TiO_2 , ZnO , ZrO_2
 Al^0 , Ag^0 , Au^0 , Fe^0 , Co^0 , Cu^0 , Mn^0 , Mo^0 , Ni^0 , Pd^0 , Pt^0
 CdSe , CdTe ; InP/ZnS , CuInS/ZnS , Mn: ZnSe (quantum dots)

Nano sistemi organici

A base liposomica: Liposomi, Niosomi, Trasferosomi, Fitosomi, Cubosomi,
Nanoemulsioni

A base polimerica: Nanocapsule, Nanosfere, Nanofibre

Sistemi aggiuntivi: Dendrimeri, Nanocristalli

Nanoibridi

Organici e inorganici – sistemi «core-shell»

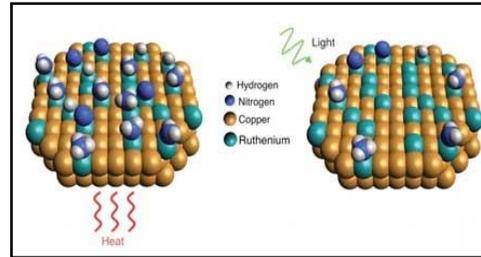
Materiali nanoparticellari usati come (nano)catalizzatori

I nanocatalizzatori sono materiali inorganici come semiconduttori e ossidi metallici



Due sono i gruppi principali di nanoparticelle usate come nanocatalizzatori:

- supportate da metalli nobili (Au, Pt, Pd, ecc.)
- nanoparticelle metalliche e nanoparticelle a base di metalli non nobili (Fe, Cu, Ni, Co, ecc.)



Particelle nanostrutturate a base metallica come «nanocatalizzatori verdi»

Table 1. Various metal nanoparticles synthesized and their catalytic properties.

	Metal Nanoparticles	Catalysts
Mo-Bi	Molybdenum–Bismuth Bimetallic Chalcogenide Nanoparticles	CO ₂ to Methanol
Pt-Sb-Sn ox	Platinum–Antimony Tin Oxide Nanoparticles	Cathode catalysis for direct methanol fuel cells via an oxygen reduction reaction (ORR)
Co ox	Cobalt Oxide Nanocrystals	Cobalt Oxide Nanocrystals with CoO nanocrystals coupled with carbon nanotubes as catalysts for chlor–alkali electrolysis systems
Fe ox	Iron Oxide Magnetic Nanoparticles	Catalytic oxidation of phenolic and aniline chemical compounds (Fe ₃ O ₄)
Zr ox	Zirconia Nanoparticles	Catalysts for sol–gel synthesis, aqueous precipitation, thermal decomposition, and hydrothermal synthesis
Sn ox	Tin Oxide Nanoparticles	Catalysts for the reduction and photodegradation of organic compounds
Ag	Silver Nanoflakes	Silver nanoflakes on molybdenum sulfide (MoS ₂) films for the catalytic oxidation of tryptophan
W ox	Tungsten Oxide Nanoparticles	Hetero-nanostructured photoelectrodes synthesized via the atomic layer decomposition of tungsten oxide (WO ₃) combined with an oxygen evolving catalyst
Cu ox	Cuprous Oxide Nanoparticles	Cuprous oxide nanoparticles on reduced graphene oxide (RGO) for usage as an efficient electrocatalyst in ORR
Ti ox	Titanium Dioxide Nanoparticles	Carbon modified titanium dioxide (TiO ₂) can be used in daylight photocatalysis TiO ₂ nanoparticles and photocatalytic performance measured under a medium-pressure mercury UV lamp

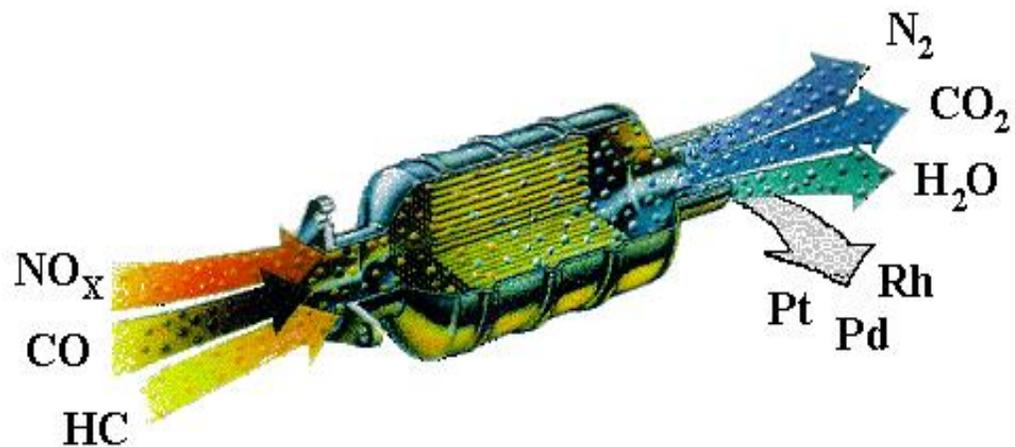
Narayan N, Meiyazhagan A, Vajtai R. Metal Nanoparticles as Green Catalysts. Materials (Basel). 2019 Nov 2;12(21):3602. doi: 10.3390/ma12213602

S	Elemental Sulfur Nanoparticles	Catalysis occurred when elemental sulfur nanoparticles were placed on chromium (VI) with a sulfide reaction
Si-Ti ox	Silica Titanium Oxide Nanoparticles	Exhibit catalytic properties that can be tested for the oxidation of saturated and unsaturated hydrocarbons
Si-V ox	Silica Vanadium Oxide Nanoparticles	Exhibit catalytic properties that can be tested for the oxidation of saturated and unsaturated hydrocarbons
MeNPs	Dendrimer-Encapsulated Metal Nanoparticles	Dendrimers can be used to control the placement and other properties of metal nanoparticles for their usage as catalysts
MeNPs	Imidazolium Metal Nanoparticles	Metal nanoparticles immersed in imidazolium ionic liquids exhibit unique catalytic properties
Zn ox	Zinc Oxide Nanoparticles	Semiconducting zinc oxide nanowires made from nanoparticles can be tested for photoluminescence properties through catalytic growth
Ag	Silver Nanoparticles	Silver nanoparticles can be used as chemically stable nanoparticles with no environmentally harmful effects on microbes under anaerobic conditions
Mg ox	Magnesium Oxide Nanoparticles	EXAFS spectroscopy shows that magnesium oxide is a precursor of a type of mononuclear complex of gold that can catalyze ethene hydrogenation
Ca ox	Calcium Oxide Nanoparticles	Calcium oxide nanoparticles can be catalyzed with pyridines in an aqueous ethanol medium
Sr-Zn ox	Strontium-Doped Zinc Oxide Nanoparticles	Can be created with the sol-gel method, and tests showed successful photocatalytic activity of these nanoparticles when removing methylene blue (MB)
TiC	Titanium Carbide Nanoparticles	Such nanoparticles can support platinum catalysts for methanol electrooxidation in acidic mediums
Ce ox	Cerium Oxide Nanoparticles	These nanoparticles with their catalytic properties can be used for a variety of biomedical applications
Sb-V ox	Antimony-Vandium Oxide Catalysts	Catalysts prepared are selective for acrylonitrile formation
C -CN	Metal Nanoparticles at Mesoporous N-doped Carbons and Carbon Nitrides	Metal nanoparticles at mesoporous N-doped carbons and carbon nitrides held in Mott-Schottky heterojunctions can function as efficient catalysts
MeNPs	Metal Nanoparticles	Catalytic properties of metal nanoparticles can be used in the synthesis of single-walled carbon nanotubes

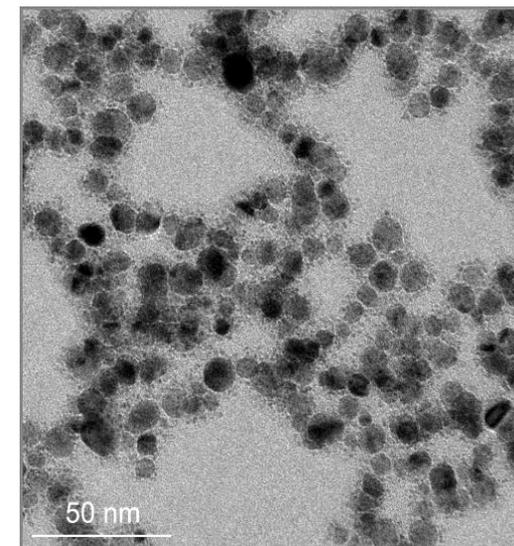
Nanocatalizzatori a base di metalli nobili in marmitte catalitiche

Ogni marmitta, a seconda dei modelli di auto, contiene :

- 1,5 - 3 g di Pt
- 0,6 g di Pd
- 0,02 g di Rh



Nanoparticelle di **Pd**
monodisperse **10-20nm**



Dr Kerstin Leopold
Technische Universität München Garching

Nanocatalizzatori a base di metalli nobili per diverse trasformazioni chimiche

Metallo	Forma	Dimensioni(nm)	Trasformazione molecolare	Resa (%)
Au	NPs	1.0-1.9	Accoppiamento di ac. fenilboronico	>99%
	NPs	1.0-3.0	Ossidazione alcoli	> 99%
	NPs	10.5±0.3	Diborazione dello stirene	> 99
	NPs	15–34	Riduzione di 4-nitrofenolo	> 99
	NPs	50 ± 9	Evoluzione dell'idrogeno	n.a.
Pd	NPs	5–10	Idrogenazione di olefine	>99
	NPs	7–10	Accoppiamento di Heck	70–92
			Accoppiamento di Suzuki	85–98
			Accoppiamento di Sonogashira	90–95
			Accoppiamento di Stille	88–98
	NPs	1.6 ± 0.3	Accoppiamento di Heck	>99
			Accoppiamento di Suzuki	>99
	NPs	1.4–1.8	Idrolisi di borano di ammoniaca	n.a.
	NPs	1.4 ± 0.3	Deidrogenazione di acido formico	>99

Metallo	Forma	Dimensioni(nm)	Trasformazione molecolare	Resa (%)
Pt	NPs	3.7 ± 0.7	Ossidazione di idrazina	n.a.
	Multi ottaedro	40 ± 4	Riduzione dell'ossigeno	>99
	Cubo	12.3 ± 1.4	Idrogenazione del benzene	n.a.
	Cubottaedro	13.5 ± 1.5		n.a.
	Tetraedro	4.8 ± 0.1	Trasferimento di elettroni tra ioni esacianoferrato(III) e tiosolfato	n.a.
	Cubo	7.1 ± 0.2		n.a.
	NPs	4.9 ± 0.1		n.a.
Rh	Nanopiastra	1.0 ± 0.2	Ossidazione di 2-propanolo	85
	Nanoclusters	0.4 ± 0.06	Idrogenazione del cicloesano	>99
	NPs	~1.3	Idrogenazione del fenolo	>99
	NPs	~1.2–3.0	Steam reforming dell'etanolo	>99
	NPs	1.9–4.9	Idroclorurazione del 4-clorofenolo	>99
	Tetraedro	4.9 ± 0.4	Idrogenazione di areni	>99
	NPs	4.8 ± 0.4		>99

TS Rodriguez, AGM da Silva, PHC Camargo Nanocatalysis by noble metal nanoparticles: controlled synthesis for the optimization and understanding of activities *J. Mater. Chem. A*, 2019,7, 5857-5874

Metallo	Forma	Dimensioni (nm)	Trasformazione molecolare	Resa (%)
Ru	NPs	<3.0	Idrogenazione del benzene	>99
	NPs	5.3 ± 0.8	Sintesi di ammoniaca	n.a.
	NPs	2.3–10.2	Conversione gas di sintesi	68
	NPs	2.1–6.0	Ossidazione di monossido di carbonio	n.a.
	NPs	1.0–1.2	Ossidazione di D-glucosio	>99
Ir	NPs	1.0–3.0	Idrogenazione del cicloesene	>99
	NPs	1.5–5.0	Idrogenazione del 1-decene	>99
	NPs	2.0–3.0	Idrogenazione di areni e chetoni	>99
	NPs	~3.5	Borilazione di fenili	91
	NPs	3.3 ± 1.7	Idrogenazione di cicloesano e fenilacetilene	>99

TS Rodriguez, AGM da Silva, PHC Camargo Nanocatalysis by noble metal nanoparticles: controlled synthesis for the optimization and understanding of activities *J. Mater. Chem. A*, 2019,7, 5857-5874



Poiché i nanocatalizzatori presentano proprietà *diverse o nuove* rispetto alla stessa sostanza nella sua forma convenzionale

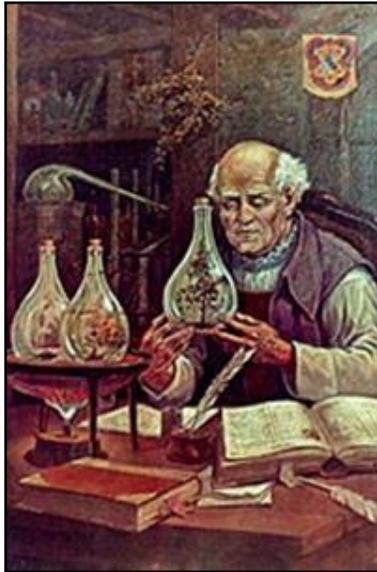


...**esistono rischi per la salute e l'ambiente?**



Parametri determinanti il responso tossicologico di macro-/ micro- e nanomateriali

**Paradigma «classico»
(macro-/ micro materiali)**

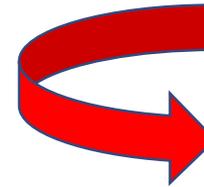


Paracelso,
padre della
tossicologia

La dose è il principale
parametro che determina
l'effetto tossico

Parametri dosimetrici:
massa per unità di peso ($\mu\text{g}/\text{Kg}$)
o **per unità di volume** ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ o $\mu\text{g}/\text{L}$)

**Paradigma
«nanomateriali»**

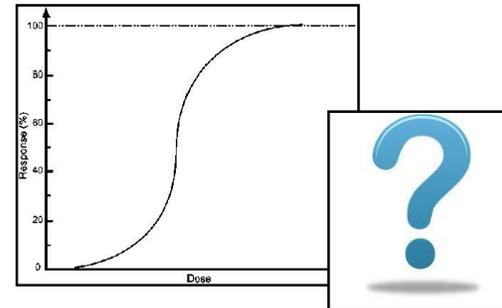


Parametri determinanti il responso tossicologico di nanocatalizzatori



La dose non è il parametro principale che determina l'effetto tossico dei nanomateriali : conseguenza

Attualmente esistono **forti limiti** all'**identificazione** del **pericolo (hazard)** a causa **dell'impossibilità di stabilire con certezza** un parametro che correli la **dose di esposizione** alla **tossicità**



Percorsi metabolici delle NPs nell'organismo

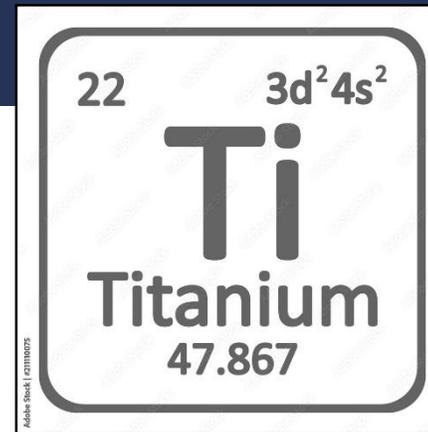
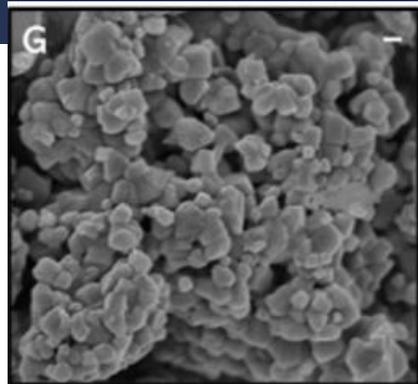
Una volta assorbite
le NPs **traslocano**
nei vari tessuti...

...penetrano rapidamente
nelle cellule...
...pre-requisito per indurre
tossicità

...e, sotto certe
dimensioni, **penetrano**
negli organelli cellulari

Nano-TiO₂: una vorticiosa crescita delle nanotecnologie

Per le sue spiccate **proprietà sbiancanti** e **fotocatalitiche** il **nano-TiO₂** è ampiamente usato in **vernici, cementi, alimenti** e nella **cosmetica** come **eccellente filtro fisico di protezione contro i raggi UV** in tal caso svolgendo contemporaneamente la funzione di «**sbiancamento della bellezza**»



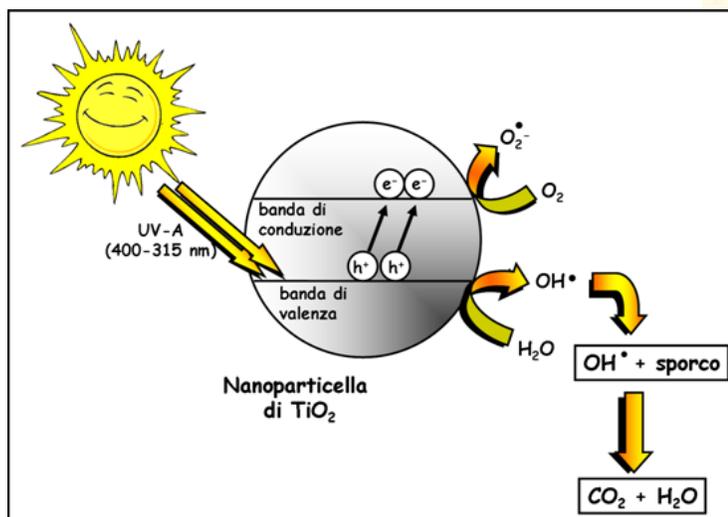
Attività fotocatalitica di nano TiO₂



Se pur offuscato da molte incertezze, il panorama sull'impiego di TiO₂ nano è caratterizzato da due aspetti tra loro contrapposti:

potenziali benefici
possibili rischi sanitari

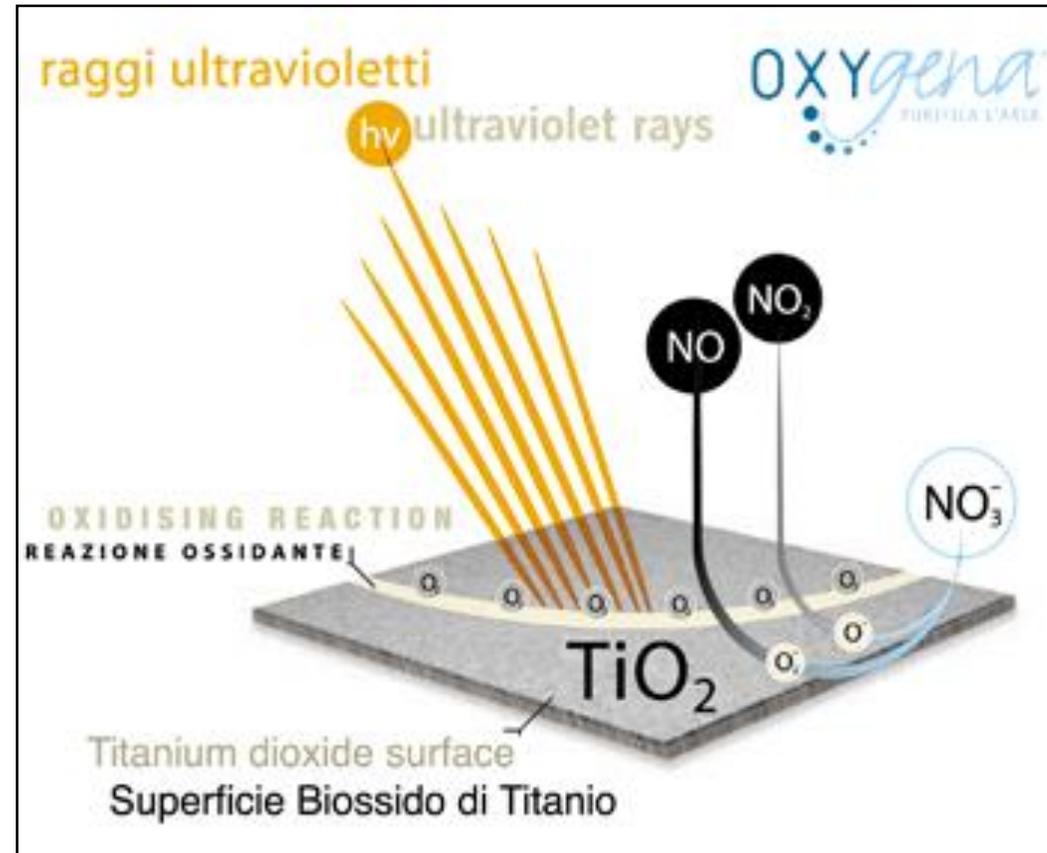
Cementi fotocatalitici in architettura



Chiesa "Dives in Misericordia", Roma
Richard Mayer, 2003
Materiali: Italcementi

A Signa il primo marciapiede ecologico nano-TiO₂

Una applicazione pratica del catalizzatore a base di biossido di titanio messa in atto per **abbattere i particolati** e i **principali inquinanti atmosferici...**



Nano-TiO₂ per trattamenti antigraffiti



La luce (solare o artificiale) viene assorbita dal **biossido di titanio** il quale in seguito attiva le molecole di ossigeno presenti nell'aria

L'ossigeno attivato a sua volta agisce sui contaminanti scomponendo le molecole e permettendone una facile eliminazione

Nanoparticelle di TiO₂ come filtri fisici UV



- Le **nanoparticelle nei filtri solari** sono state sviluppate per **evitare gli effetti tossici** dei classici ingredienti (benzofenone)
- **TiO₂ a livello di nanoscala** ha un elevato indice di rifrazione (**2.7**) e assorbe, riflette e disperde la luce solare offrendo **protezione** nei confronti dei **raggi UV-A e UV-B**, tra le principali cause dei tumori cutanei
- In **forma micronizzata**: il TiO₂ lascia un strato bianco antiestetico sulla pelle.
- In **forma nano**: viene modificato lo spettro di protezione ottenendo **formulazioni trasparenti** e con migliore accettabilità cosmetica, **conservando** il **potere di protezione**

La **dimensione alla nanoscala del TiO_2** con **conseguente attività fotocatalitica** apre nuovi scenari circa possibili rischi sanitari connessi ad una possibile penetrazione cutanea...



Danni cellulari indotti da nanoTiO₂ tramite produzione di ROS

Produzione di ROS con e senza UVR

- TiO₂NPs possono raccogliere la luce e usare l'energia per la produzione di differenti **forme molto reattive dell'ossigeno (ROS)**
- Induzione di danni cellulari anche **in assenza di UVR**, con un possibile meccanismo come la catalisi di H₂O₂ rilasciata da lisosomi a OH· durante la fagocitosi

Effetti sul DNA e genotossicità

- Induzione di **citotossicità e danno al DNA**
- TiO₂ NP foto-irraggiate **possono danneggiare il DNA in ogni nucleotide** tramite radicali liberi idrossile

Effetti sui lipidi cellulari

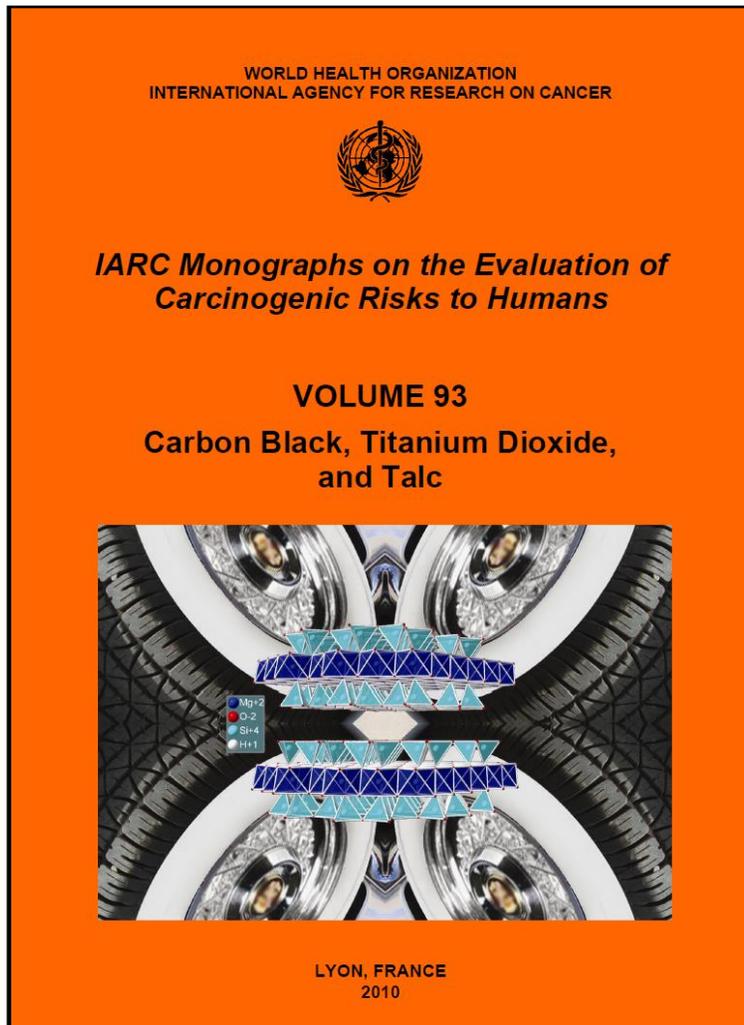
Accelerazione del processo ossidativo lipidico, con aumento di distruzione delle membrane cellulari

Effetti immunotossici

Induzione in macrofagi in vitro di **apoptosi degli immunociti** attraverso l'interruzione del potenziale di membrana mitocondriale

T Tran and Robert Salmon, Potential photocarcinogenic effects of nanoparticle sunscreens *Australasian Journal of Dermatology* (2010)1-15

Dhupal M, Oh JM, Tripathy DR, Kim SK, Koh SB, Park KS. Immunotoxicity of titanium dioxide nanoparticles via simultaneous induction of apoptosis and multiple toll-like receptors signaling through ROS-dependent SAPK/JNK and p38 MAPK activation. *Int J Nanomedicine*. 2018 Oct 23;13:6735-6750. doi: 10.2147/IJN.S176087



Nel febbraio 2006 lo IARC ha cambiato la classificazione del TiO_2 a **Gruppo 2B** «**possibile cancerogeno per l'uomo**»

French Group Wants to Classify Titanium Dioxide as a Carcinogen !

L'Agenzia francese per la salute e la sicurezza alimentare, ambientale e sul lavoro (**Anses**) ha proposto che la sostanza chimica, che è spesso utilizzata come pigmento in una serie di prodotti alimentari e di consumo, sia ufficialmente classificata come **cancerogena 1B ai sensi di REACH**, il Regolamento (CE) n. 1907/2006 dell'UE che disciplina l'uso delle sostanze chimiche

<http://www.chem.info/news/2016/06/french-group-wants-classify-titanium-dioxide-carcinogen>

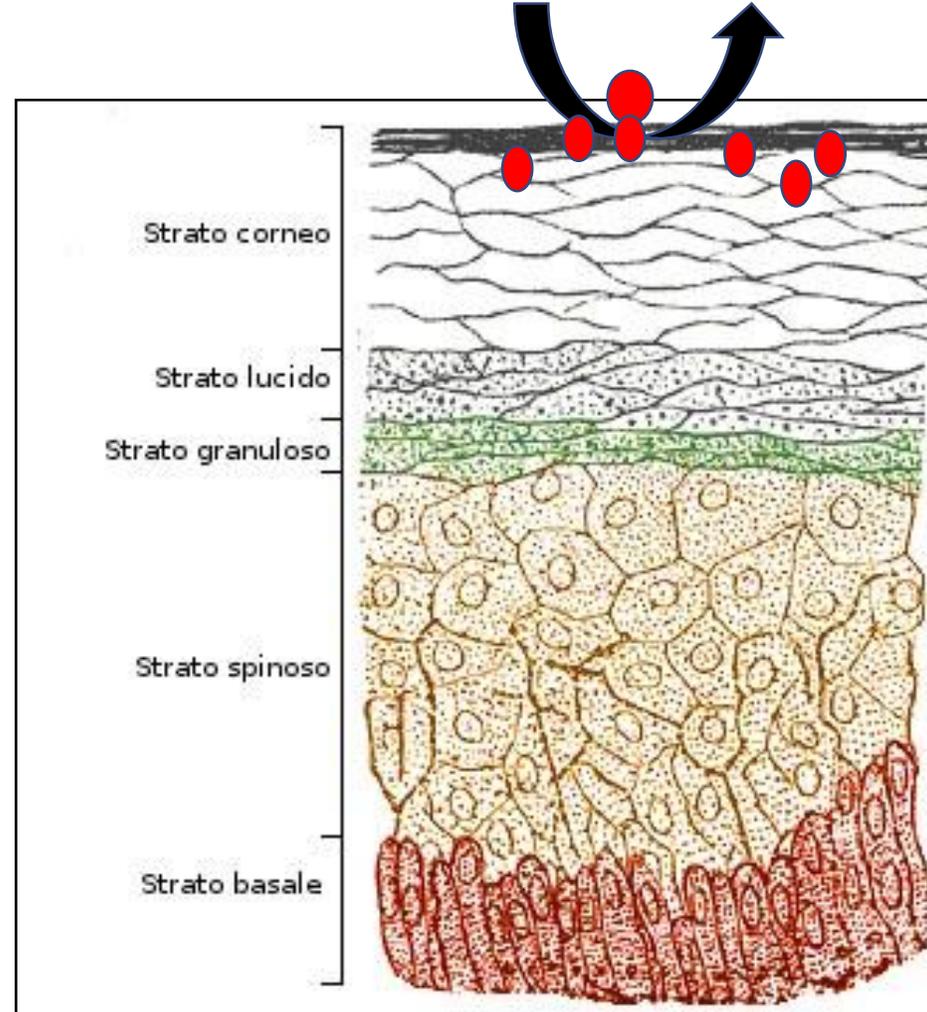
Penetrazione cutanea di nano-TiO₂ : conclusioni

Complessivamente la letteratura attuale riporta **risultati per lo più omogenei** in termini di conclusioni critiche



Assenza di penetrazione attraverso la barriera epidermica intatta e di un'**esposizione sistemica** quando formulazioni di TiO₂NP vengono applicate su diversi animali

Insufficienti evidenze della penetrazione transcutanea relative ad **esposizioni ripetute** e a **lungo termine**



Assorbimento cutaneo di nano-TiO₂: questioni aperte e criticismi

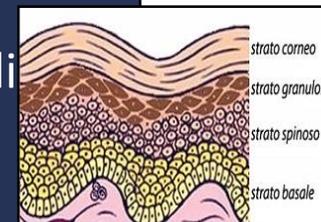
Uso di pelle intatta senza significativa alterazione della barriera cutanea (da eczema, flessione ripetitiva o dermoabrasione)

Sono i consueti **tests** con pelle sana e intatta **adeguati e sufficienti?**

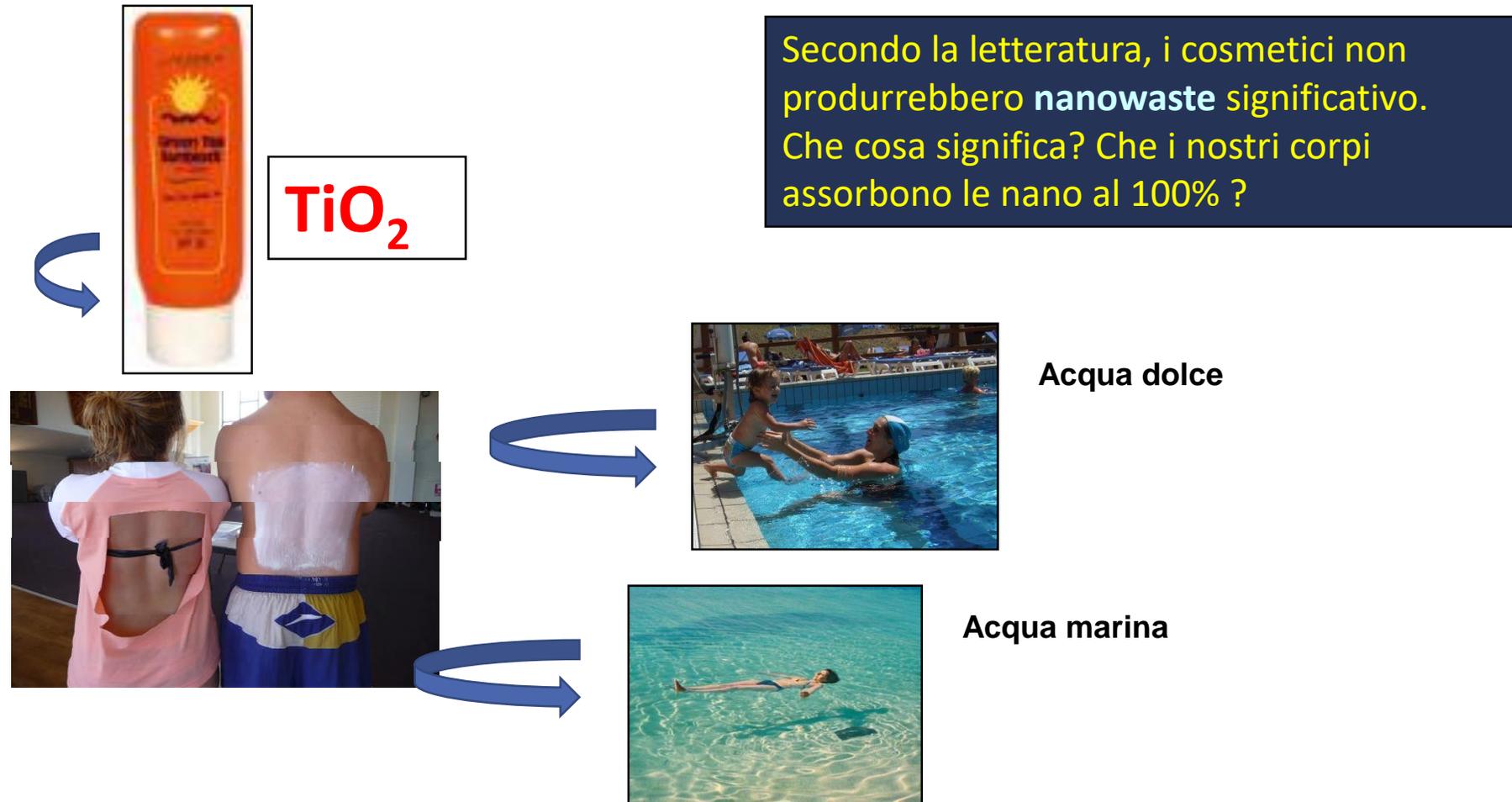
Notevole **eterogeneità metodologica** in termini di tipo di TiO₂ NPs usate, specie animali trattati, via di esposizione, dosi applicate, parametri di endpoint, e tecniche di misurazione

La maggioranza degli studi sono stati condotti su **brevi periodi di applicazioni topiche** (24h su pelle asportata ; a 2-6 settimane per applicazioni *in vivo*), utilizzando **eccessive e irrealistiche alte dosi** di (l'estrapolazione diretta di questi risultati per l'uomo in condizioni realistiche è molto discutibile)

Assenza di studi epidemiologici



Nano-TiO₂ dall'uomo all'ambiente...necessità di Analisi del Ciclo di Vita (Life Cycle Analysis) delle nanoparticelle





INDEPENDENT

**Scientists find titanium dioxide from sunscreen is polluting beaches
August 17, 2018, Goldschmidt Conference-Boston USA**

Nell'acqua le TiO_2 NPs tendono a perdere il loro rivestimento protettivo sotto l'influenza della luce UV o della composizione dell'acqua di mare, il che espone il TiO_2 più tossico all'ambiente acquatico

Misura delle concentrazioni di TiO_2 in 3 spiagge vicino a Marsiglia (3000 persone al giorno) con esame dei bagnanti riguardo all'uso della crema solare, e alle volte che hanno usato l'acqua.

Rilevate concentrazioni giornaliere da 15 a 45 $\mu\text{g} / \text{L}$ di TiO_2 , che corrisponde a circa 54 kg in due mesi estivi



Possibile impatto sulla fauna locale

Accumulo più pronunciato nelle zone ricreative con acqua stagnante (laghi o nelle piscine con acqua di mare)





ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Analytica Chimica Acta

journal homepage: www.elsevier.com/locate/aca

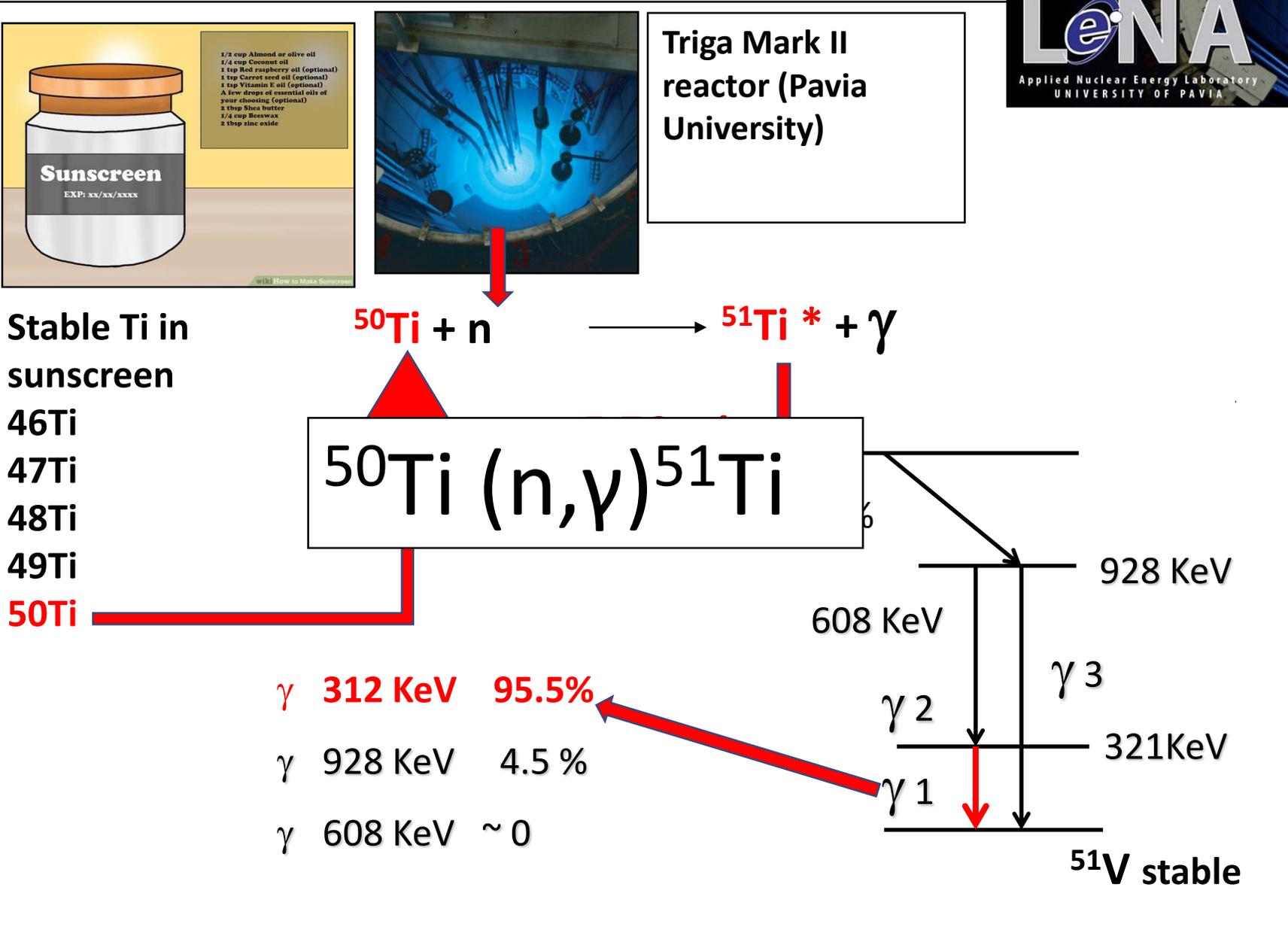


Fast and non-destructive neutron activation analysis for simultaneous determination of TiO_2 and SiO_2 in sunscreens with attention to regulatory and research issues

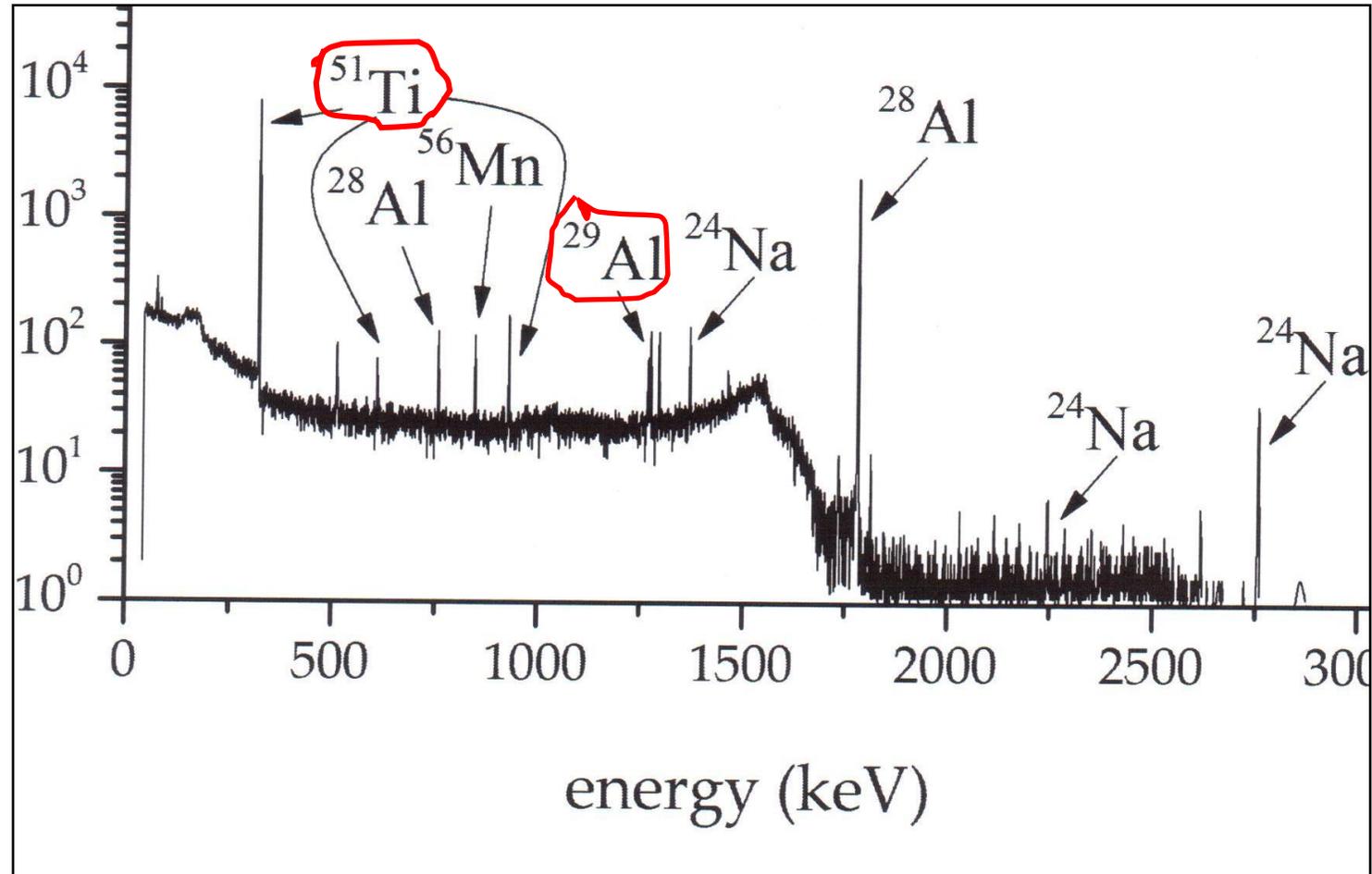


Enrico Sabbioni ^{a, b, 1}, Simone Manenti ^{b, c, *, 1}, Riccardo Magarini ^d, Claudia Petrarca ^{a, e}, Anna Maria Giuseppina Poma ^f, Gloria Zaccariello ^g, Michele Back ^g, Alvisè Benedetti ^g, Mario Di Gioacchino ^{a, h}, Elio Mignini ⁱ, Giulio Pirotta ^j, Renato Riscassi ^d, Andrea Salvini ^k, Flavia Groppi ^{b, c}

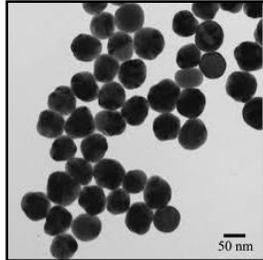
NAA of Ti in cosmetics: neutron activation



INAA di Ti e Si in filtri solari: spettro γ di un latte solare



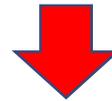
Nanocatalizzatori : grandi opportunità, ma anche potenziali rischi sanitari



Nanocatalizzatori

Eccezionali opportunità applicative (nanocatalisi)

Indicazioni di citotossicità/genotossicità in modelli sperimentali *in vitro/in vivo*



A tutt'oggi non esiste alcuna evidenza scientifica di patologie specifiche causate da nanoparticelle ingegnerizzate

L'uso del termine «nanopatologie» può risultare inappropriato e fuorviante

Attualmente i nanomateriali non debbono essere considerati nè “**nano-angeli**” nè “**nanodemoni**”



Nanoparticelle



Demoni?

Angeli?

GRAZIE PER L'ATTENZIONE



enrico2.sabbioni@gmail.com

Nano TiO₂: un semiconduttore tra i più efficaci fotocatalizzatori

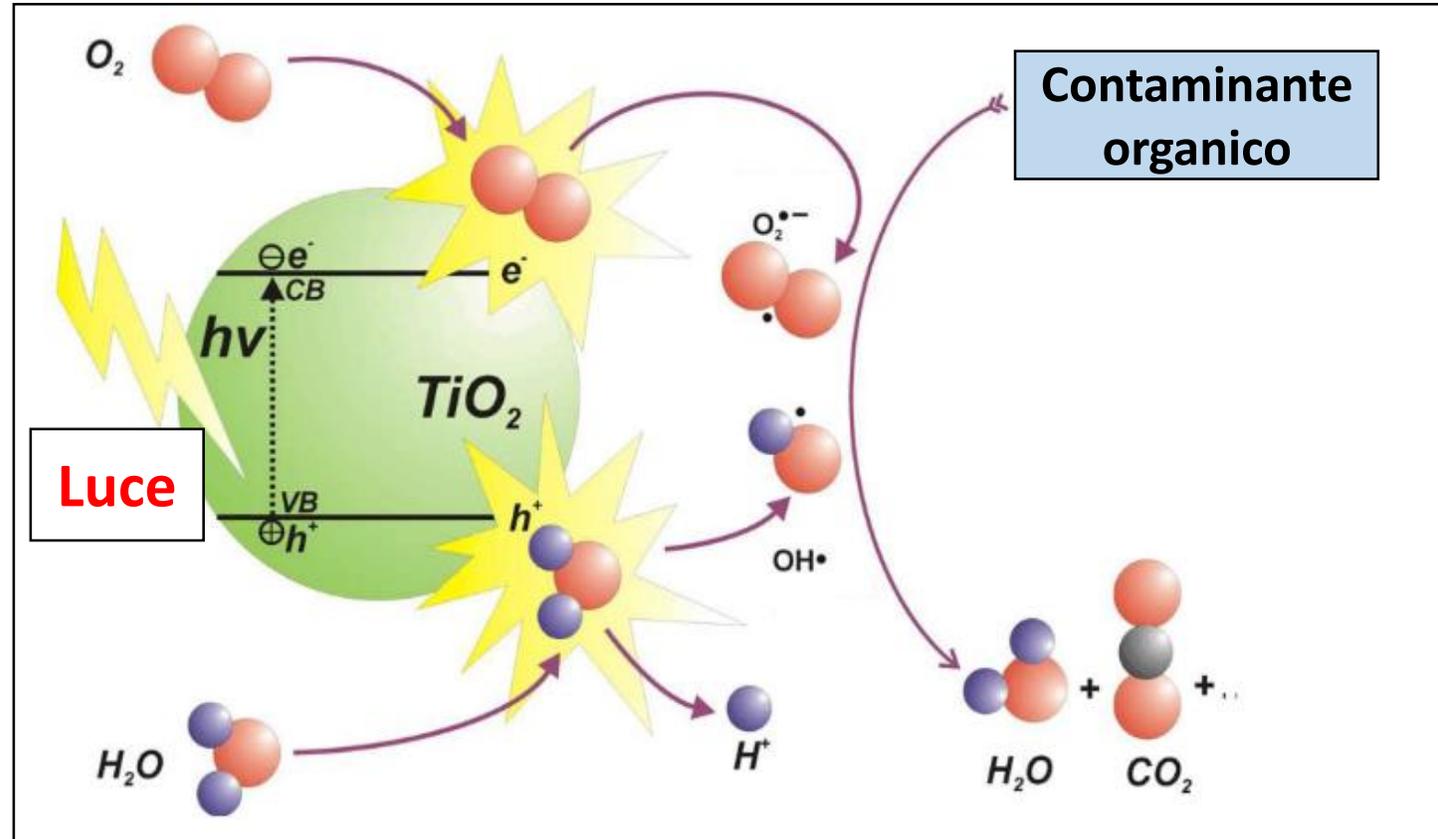
Le forme cristalline di TiO₂ NPs sono dei **semiconduttori**. Come tali sono considerate particelle con **spiccata attività fotocatalitica**

Queste NPs, quando stimolate dai raggi UV o luce diretta, **emettono cariche elettronegative** sulla superficie

Gli elettroni liberati e le «lacune» risultanti caricate positivamente (h^+) reagiscono con l'O₂ e l'H₂O per la **produzione di ROS**

Ciò promuove l'**ossidazione (fotocatalisi) delle sostanze organiche** che si trovano in prossimità della superficie, mentre il bianco del titanio rinforza l'immagine di "**bianco splendore**".

Tale azione rimane **perennemente attiva**



Prof. Ignazio Renato Bellobono: ricercatore di fama internazionale in...

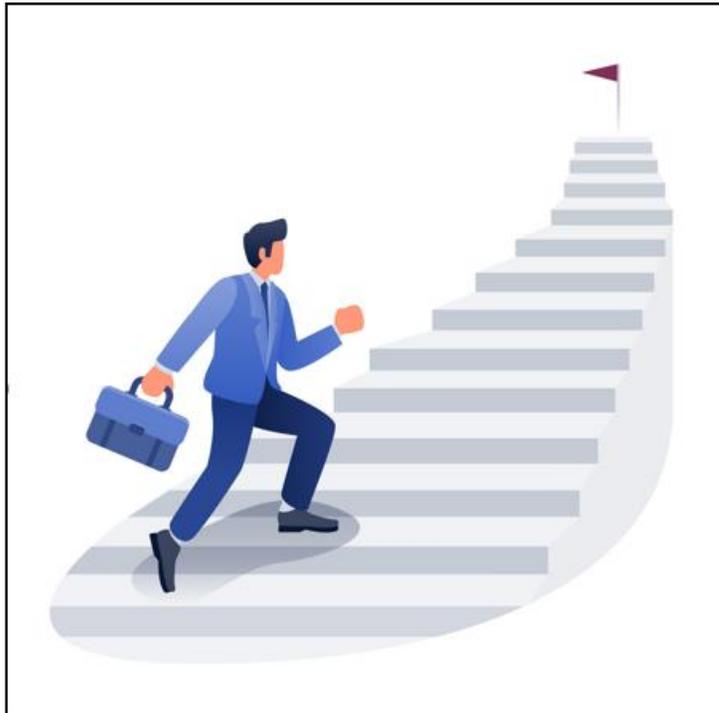
Materials Chemistry

Chemical Kinetics

Photochemistry

Photocatalysis

**Environmental
Decontamination**



Fotoeccitazione di TiO₂ e generazione di specie reattive di ossigeno(ROS)

