

Girolamo Di Francia, Gabriella Rametta
ENEA CR-Portici
FIM-MATNANO
 Napoli
difracia@portici.enea.it

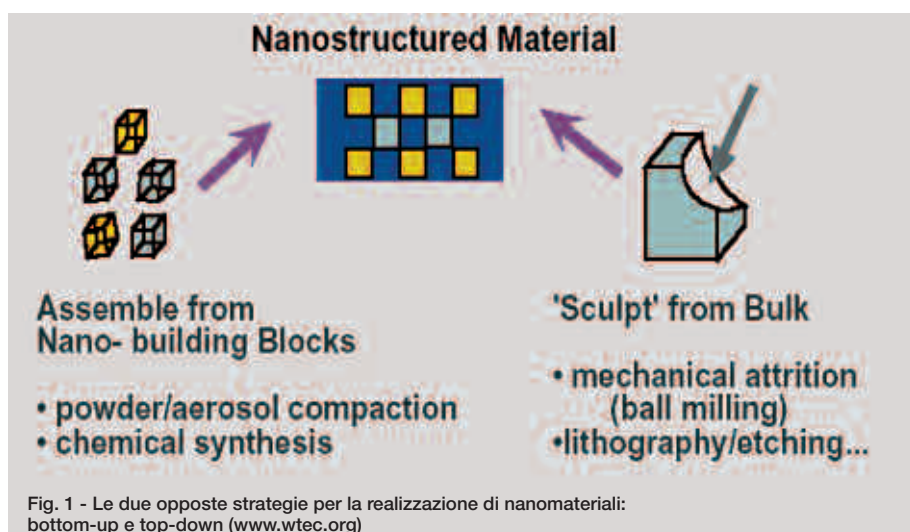
LA TOSSICITÀ DEI NANOMATERIALI

Esiste o no un problema di salute pubblica legato all'impiego sempre più su vasta scala dei nanomateriali? L'interrogativo non ha ancora una risposta chiara. Molto, come si mostra in quest'articolo, dipende ancora dal tipo di materiale e non dalle sue dimensioni caratteristiche.

Ormai sono circa 200 i beni di consumo comunemente reperibili sul mercato che possono essere considerati come ottenuti attraverso materiali che sfruttano le peculiari proprietà della materia quando questa viene ridotta in dimensioni nanometriche [1].

Tutti i settori produttivi ne sono interessati: dalla salute al settore tessile, all'elettronica, all'edilizia per finire con quello agroalimentare e dei trasporti. La Tab. 1 riporta, a titolo di esempio, alcuni prodotti "nanotecnologici" comunemente reperibili ed i relativi settori industriali di riferimento.

La ragione di questo interesse ampio e trasversale dell'industria verso il nanostato è principalmente legata all'osservazione che materiali ridotti in forma nanometrica possono esibire proprietà fisico-chimiche completamente nuove ed inattese: ad esempio il biossido di titanio in polvere è di colore bianco, mentre sotto forma di nanoparticelle è invece incolore e trasparente. Si è visto che queste nuove proprietà ottiche lo rendono un candidato interessante per la formulazione di nuovi schermanti per i raggi UV nelle creme solari. Ancora il carbonio della grafite nella mina è relativamente fragile, mentre il carbonio sottoforma di nanotubi è più resi-

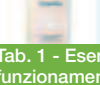


stente dell'acciaio e più leggero. Ciò lo ha reso particolarmente utile per la realizzazione di attrezzi sportivi.

Come è noto sono principalmente due le ragioni che rendono i nanomateriali significativamente diversi da tutti gli altri materiali, compresi quelli in dimensioni macroscopiche dai quali derivano. Esse sono:

- 1) l'elevato rapporto fra area superficiale e volume, per cui una data massa di materiale in forma di nanoparticelle sarà molto più reattiva della stessa massa di materiale fatta di particelle più grandi;
- 2) le nuove proprietà chimiche esibite dalle nanoparticelle in virtù degli effetti legati al confinamento quantistico della materia, fenomeno che si evidenzia solo quando le dimensioni fisiche diventano paragonabili a quelle dell'eccitone di Bohr per quel materiale (generalmente per dimensioni al di sotto di 20 nm).

I processi di fabbricazione delle nanostrutture seguono generalmente due strade opposte schematicamente riportate nella Fig. 1 [2]. La prima detta "top-down", è quella in cui processi spesso altamente controllati, realizzano poche strutture, o addirittura singoli punti quantici, dalle proprietà fisiche ben modellabili; nella seconda, "bottom-up", i materiali vengono sintetizzati attraverso processi che si autoregolano e che realizzano un elevato numero

Prodotti	Settore	Uso delle nanoparticelle	Sito di riferimento
	SALUTE Vitamina B12 spray Nutrition by nanotech LLC	Nanopozzetti contenenti vitamina B12 che permettono il rilascio della vitamina in modo controllato	www.nutritionbynano.com
	SALUTE Protezione solare Applied Therapeutics	Nanoparticelle trasparenti di ossido di zinco e biossido di titanio come schermanti UV	www.skinterra.com
	TESSILE Articoli sportivi Sharper Image	Nanoparticelle d'argento utilizzate come antibatterico	www.sharperimage.com
	ELETTRONICA Computer Elkos	Nanotubi di carbonio conduttivi	www.elkos.com
	SPORT Racchette da tennis Babolat	Nanotubi di carbonio che conferiscono resistenza e leggerezza alla racchetta	www.babolat.com
	EDILIZIA Verri autopulenti Nanotech Ply Ltd	Nanoparticelle di biossido di titanio che aderiscono perfettamente alla superficie	www.nanotec.com.au
	AGROALIMENTARE Buste di plastica Sharper Image	Nanoparticelle d'argento utilizzate come antibatterico	www.sharperimage.com
	COSMETICI Emulsione idratante Chanel	Nanoparticelle idratanti che prolungano la fragranza	http://www.chanel.com/home.n

Tab. 1 - Esempi di alcuni prodotti già reperibili sul mercato e che sfruttano per il loro funzionamento materiali nanostrutturati

di nanostrutture le cui proprietà, spesso molto singolari, sono ancora difficili da prevedere e da descrivere teoricamente. Questo secondo approccio è legato a processi di sintesi fisico-chimica più vicini alle ragioni di produzione di massa dell'industria di consumo. Di pari passo allo sviluppo ed alla messa a punto di nuovi processi produttivi e di nuovi prodotti legati alle nanotecnologie, si sta comunque sempre più palesando la preoccupazione, innanzitutto legata alla salvaguardia dei lavoratori addetti alla realizzazione delle nanoparticelle, di possibili effetti nocivi legati alle nanoparticelle stesse. Va detto subito che questa preoccupazione ha finora pochi riscontri sperimentali. Anzi gli unici studi che hanno, seppure indirettamente, investigato la correlazione tra dimensione delle particelle ed il loro grado di tossicità, eseguiti con fibre di vetro, evidenziano piuttosto che esiste un massimo di tossicità in funzione della dimensione [3]. Dunque questa preoccupazione sembra più essere connessa, da un lato, alla scarsa capacità che abbiamo di prevedere il comportamento dei sistemi nanostrutturati e dall'altro alla consapevolezza dell'esistenza di precedenti situazioni di ignoranza del rischio che hanno poi causato seri problemi di salute pubblica piuttosto che a nozioni e conoscen-

ze specifiche (è, ad esempio, il caso dell'amianto). Nel caso delle nanoparticelle c'è però forse un'intuitiva preoccupazione ulteriore: le nanoparticelle sono infatti costituite da poche decine di migliaia di atomi, sono estremamente leggere e difficilmente potrebbero essere "catturate" una volta che esse venissero inavvertitamente rilasciate nell'ambiente. La loro propagazione può a quel punto verosimilmente avvenire in modo eguale tramite l'aria, l'acqua e il suolo, con la conseguenza che diverse specie viventi potrebbero essere interessate all'esposizione, entrando in questo modo esse a far parte anche della catena alimentare. L'analisi del ciclo di vita dei nanomateriali o dei prodotti contenenti nanoparticelle, considerando gli stadi che vanno dalla produzione, all'uso al suo smaltimento, diventa dunque essenziale ed urgente prima che l'impiego di questi materiali diventi ancora più ampio. Per quanto concerne gli studi specifici sulla tossicità dei materiali nanostrutturati, molti progetti ed attività sono in corso. In Tab. 2 è riportata una sintesi di quelli attualmente in corso [4]. Dal punto di vista scientifico i lavori finora pubblicati valutano in genere la potenziale tossicità in seguito ad inalazione e/o ad esposizione orale e dermica. Essi sono condotti con nanoparticelle di carbonio, silicio, ful-

Titolo	Istituzione	Budget	Durata
Role of particle agglomeration in nanoparticle toxicity	Nelson Institute of Environmental Medicine-Tuxedo NEW YORK University	\$375,000	2005/2008
Agglomeration, Retention, and Transport Behavior of manufactured nanoparticles in variably-saturated porous media	University of DELAWARE	\$399,035	2007/2010
Carbon nanotubes: Environmental Dispersion, States, Transport, Fate and Bioavailability	University of MICHIGAN	\$371,886	2008/2009
Microbial impacts of engineered nanoparticles	RICE University	\$ 375,000	2005/2008
Risk assessment for particles exposure	Institute of occupational medicine quantitative toxicology research park north, Riccanton UNITED KINGDOM	€ 799576	2005/2008
Investigative support for the elucidation of the toxicological impact of nanoparticles on Human Health and the Environment	University of Manchester UNITED KINGDOM	€ 408554	2005/2007
The Behaviour of Aerosols Released to Ambient Air from Nanoparticle Manufacturing - A Pre-normative Study	DNV Research NORWAY	€ 450000	2006/2008
Risk Assessment & Management of Manufactured Nanomaterials	NEDO project JAPAN	\$17,000,000	2006/2010
Standardization of Nanoparticle Risk Evaluation Method	METI project JAPAN	\$ 1,000,000	2005/2007

Tab. 2 - Selezione dei progetti di ricerca più recenti relativi allo studio del rischio sulla salute connesso con l'uso di nanomateriali. Da notare in questo senso il poderoso programma varato dal NEDO

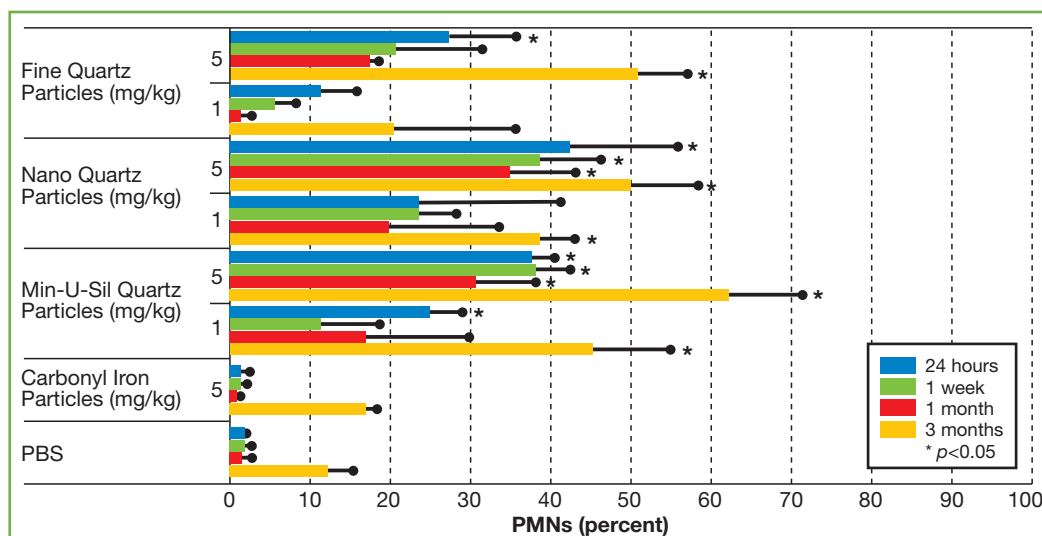


Fig. 2 - Risultati degli studi effettuati mediante instillazione tracheale sui topi di particelle di quarzo di tre dimensioni (foto riprodotta per gentile concessione di [11])

lereni, ossido di zinco, biossido di titanio, nanotubi di carbonio e riguardano esperimenti condotti sia *in vivo* che *in vitro*.

Gli studi condotti in vivo, mediante instillazione tracheale sui topi, per la valutazione della tossicità polmonare dei nanotubi di carbonio suggeriscono che le lesioni polmonari sono dipendenti dalla dose e dal tempo di contatto. Confrontando i danni ottenuti con quelli provocati da instillazioni tracheali di particelle di carbon black e di quarzo, la tossicità, al livello polmonare, risulta maggiore con i nanotubi rispetto alle particelle di quarzo [5, 6]. Studi eseguiti in vitro sulla tossicità dei nanotubi di carbonio, in seguito ad esposizione dermica, hanno poi riportato una risposta infiammatoria dovuta alla localizzazione dei nanotubi di carbonio all'interno dei cheratinociti [7].

In seguito agli studi eseguiti sul biossido di titanio, è stato poi dimostrato che particelle di questo materiale in forma nanometrica passano nell'interstizio polmonare [8]. Inoltre, sempre per quanto riguarda il biossido di titanio, Oberdörster e Bermudez hanno indipendentemente dimostrato che in seguito all'inalazione di particelle ultrasottili si verifica un'accentuata infiammazione del tratto respiratorio, maggiore rispetto a quella riscontrata in seguito all'inalazione di particelle sottili dello stesso materiale [9, 10]. Non sempre però la tossicità delle particelle è legata alle dimensioni, come è possibile vedere nel grafico mostrato in Fig. 2, dove si può osservare che l'infiammazione polmonare evidenziata dall'aumento percentuale della presenza di neutrofili (PMN) dopo tre mesi di esposizione, è maggiore per le particelle di quarzo dalle dimensioni di 1,6 µm (Min-U-Sil quartz) che per le particelle di quarzo dalle dimensioni di 400 nm (fine quartz) e delle particelle di 50 nm (nano quartz). In contrasto con gli studi eseguiti sul TiO₂ [10], dai quali si evince che le particelle ultrasottili di biossido di titanio hanno una tossicità al livello polmonare più alta rispetto alle stesse particelle di taglia sottile, in questo caso la tossicità polmonare delle particelle di quar-

zo non è legata alle dimensioni nanometriche delle particelle stesse ma è maggiore per le particelle più grandi [11]. Warheit nei suoi studi ha dimostrato che la cristobalite provoca un danno polmonare più grande rispetto al quarzo che provoca un danno polmonare intermedio, mentre per il silicio amorfo, il danno è minimo evidenziando così che il danno maggiore è provocato da materiali poco solubili mentre quello minimo dai materiali più solubili

[12]. Anche negli studi eseguiti da Borm si è osservato che il silicio amorfo, somministrato mediante instillazioni tracheali, induce poche neoplasie polmonari probabilmente in ragione della sua alta solubilità e della sua bassa biopersistenza che ne previene l'accumulo nell'organismo [13]. La dissoluzione delle particelle in nanoscala, potrebbe così determinare il loro destino sia nell'organismo che nell'ambiente: le nanoparticelle insolubili potrebbero bioaccumularsi in seguito ad esposizioni prolungate mentre per le nanoparticelle solubili potrebbe essere facilitata la biotrasformazione e l'escrezione [14]. Considerando le difficoltà di prevedere la dissoluzione in sistemi complessi quali quelli in vivo, gli studi che si propongono di misurare il potenziale di dissoluzione delle particelle in funzione delle loro dimensioni vengono generalmente effettuati riproducendo in vitro fluidi biologici che possono contenere o meno additivi in modo da lavorare in condizioni ideali e ben controllate.

Nel centro ENEA di Portici (Napoli) vengono comunemente utilizzate nanoparticelle di silicio e carbonio, sia fabbricate in casa che acquistate da fornitori, per realizzare sensori chimici per gas.



Fig. 3 - Camera bianca classe 100 del centro ricerche ENEA di Portici

Proprio la scarsa disponibilità di informazioni relative alla tossicità dei materiali utilizzati ha generato la necessità di studiare la dissoluzione di queste nanoparticelle, con l'obiettivo di avere informazioni oggettive relative al loro grado di tossicità.

Lo studio da noi svolto ed i cui risultati vengono presentati in questo lavoro, è stato incentrato sulla valutazione del potenziale di dissoluzione di nanoparticelle di carbonio e silicio da parte di una soluzione fisiologica.

In opportuni becker sono stati disciolti in condizioni controllate e mantenuti in agitazione costante per tutta la durata dell'esperimento quantità predefinite di nanoparticelle di carbonio e silicio. Sulle aliquote che di volta in volta venivano prelevate, sono state effettuate misure di pH ed indagini volte a verificare il possibile aggregarsi o meno delle nanoparticelle attraverso misure con un granulometro ottico ad alta risoluzione ed attraverso misure di assorbimento ottico.

Il carbon black (CB) utilizzato per lo studio è di tipo commerciale, ampiamente utilizzato nel campo industriale. In aggiunta ad altre materie prime agisce come rinforzante o colorante ad esempio per pneumatici, inchiostri da stampa, materie plastiche, rivestimenti cavi elettrici. L'altro materiale nanostrutturato utilizzato è il silicio poroso (PS) di tipo n 1 Ω cm, prodotto nei nostri laboratori. Si tratta di un materiale relativamente nuovo, le cui applicazioni vanno dall'optoelettronica, ai sensori di gas, alla microlavorazione del silicio. La soluzione campione utilizzata per questo studio è una soluzione fisiologica di NaCl allo 0,9% (Industria Farmaceutica Galenica Senese).

Sul carbon black nanostrutturato e sul silicio poroso nanostrutturato sono state eseguite preliminarmente misure con un porosimetro a gas. La misura attraverso il metodo multipoint BET (Brunauer-Emmett-Teller) consente di ricavare l'area superficiale specifica del campione in oggetto e la relativa dimensione delle particelle nanostrutturate che la compongono. Per il CB l'area superficiale misurata è di 1.500 m²/g ed il raggio medio delle particelle di 12 nm.

Tossicità

Con il termine tossicità viene definita la capacità di provocare effetti dannosi su organismi viventi da parte di un agente tossico quando questo supera un certo livello di concentrazione. La tossicità di una sostanza esterna all'organismo dipende dall'interazione della sua struttura molecolare con le molecole biologiche dell'organismo vivente. Due parametri fondamentali sono l'esposizione, cioè la quantità di sostanza disponibile ad entrare nell'organismo e la dose, cioè la quantità di sostanza che effettivamente entra nell'organismo.

Si parla di tossicità acuta per risposte che si manifestano in tempi relativamente brevi e di tossicità cronica per risposte che si rendono evidenti dopo tempi prolungati.

La misura della tossicità di una sostanza è l'individuazione della concentrazione o della dose alle quali il composto tossico è capace di produrre uno o più effetti su organismi tenuti in condizioni controllate quali concentrazione del composto tossico e durata dell'esposizione.

Per il PS abbiamo un'area superficiale specifica di 450 m²/g e per questo tipo di materiale, la dimensione tipica dello scheletro è dell'ordine delle centinaia di nm [15].

La preparazione delle soluzioni è avvenuta in una camera pulita classe 100 presente nel nostro centro di ricerca ENEA (vedi Fig. 3), in modo da lavorare in un ambiente controllato per evitare la contaminazione della soluzione con altre particelle inquinanti presenti nell'aria sia durante la preparazione dei campioni, sia durante le successive operazioni di prelievo delle aliquote, filtrazione e trasferimento in cuvette.

In un flacone di vetro con tappo a vite sono stati inseriti 500 ml di soluzione fisiologica e 0,01 g di carbon black nanostrutturato. In un altro flacone sono stati inseriti altri 500 ml di soluzione fisiologica e 0,15 g di silicio poroso tipo n. Entrambe le soluzioni sono state mantenute in agitazione per tutta la durata dell'esperimento per evitare, quanto possibile, la formazione di aggregati e/o agglomerati.

Tempo (giorni)	A (%)	pH	D (nm)
1	19,0 +/-2,0	6,8+/-0,07	37,8+/-0,6
6	20,0 +/-2,0	5,4+/-0,05	37,0+/-7,0
13	23,5 +/-2,5	4,3+/-0,05	1,65+/-0,7
23	24,0 +/-3,0	5,1+/-0,05	21,0+/-0,2
27	24,5 +/-2,0	5,4+/-0,05	130+/-10
30	19,5 +/-2,0	5,2+/-0,05	19+/-3,0
35	20,0+/- 2,0	---	140+/-12
41	20,0+/- 2,0	---	75+/-17

Tab. 3 - Valori relativi alle misure di assorbimento ottico, PH, e DLS con i relativi errori

Tempo (giorni)	A (%)	pH	D (nm)
1	7,6+/-0,9	4,8+/-0,05	135+/-0,5
2	8,4+/-1,0	3,3+/-0,03	---
3	7,6+/-0,9	4,0+/-0,04	0,5+/-0,7
9	10,0+/-1,0	3,9+/-0,04	7,5+/-7,5
13	10,0+/-1,0	3,7+/-0,04	1,6+/-0,4
16	14,0+/-1,5	---	0,1+/-0,3

Tab. 4 - Valori relativi alle misure di assorbimento ottico, PH, e DLS con i relativi errori

	pH	ASSORBIMENTO OTTICO	DLS
CB	NC	NC	C
PS	NC	C	C

Tab. 5 - La tabella mostra che mentre il pH della soluzione è sostanzialmente non correlabile nel tempo, assorbimento ottico e dimensioni delle particelle lo sono. In particolare mentre la dissoluzione è correlabile al tempo sia per il CB che per PS, l'assorbimento ottico lo è solo per CB
NC = dati non correlati C = dati correlati



Fig. 4 - Le cuvette in vetro utilizzate per le misure

Con una siringa, dalla soluzione campione, sono state prelevate periodicamente e per circa 30 giorni delle aliquote di 2 ml di soluzione, filtrati attraverso filtri aventi una porosità di 0,2 μm ed inseriti in opportune cuvette di vetro.

Con un pHmetro ad elettrodo di vetro abbiamo rilevato i valori di pH della soluzione campione e delle successive aliquote via via prelevate. La grandezza delle particelle di carbonio e di silicio nanostrutturato presenti in soluzione, D, è stata invece misurata con un granulometro mediante tecnica DLS (Dynamic light scattering) in grado di misurare le dimensioni di particelle con diametro compreso tra 0,6 e 6000 nm. Uno spettrofotometro a fibre ottiche è stato infine utilizzato per misurare la variazione dei valori di assorbimento ottico dei campioni, A. Nelle Tab. 3 e 4 sono riportati i risultati delle misure eseguite rispettivamente su carbonio nanostrutturato e silicio nanostrutturato.

Per stabilire se esiste o meno una correlazione fra i dati ottenuti dalle misure eseguite sulle rispettive aliquote di soluzione ed il tempo di osservazione del fenomeno è stato applicato il criterio di consistenza di Birge [16]. In Tab. 5 sono riportati i risultati dall'applicazione del test di Birge sui dati ottenuti dalle misure eseguite sia sul campione contenente CB che sul campione contenente PS. Il test di Birge mostra che sia per il carbonio nanostrutturato che per il silicio, a parte un aggiustamento iniziale, contenuto nell'arco della prima giornata, il pH relativo alle due soluzioni non varia nel tempo attestandosi rispettivamente a 5,4

per il campione contenente CB ed a 3,9 per il campione contenente PS. Diverso è invece il comportamento dei 2 materiali nel tempo, rispetto alla formazione di aggregati.

Il carbonio nanostrutturato in soluzione tende infatti ad aggregarsi come si può vedere anche dal grafico in Fig. 5 dove sono riportati i valori delle misure eseguite con la tecnica DLS. Si parte da una soluzione contenente particelle di circa 10-20 nm fino ad arrivare dopo 30 giorni a particelle in soluzione con diametro di circa 140 nm. Il risultato dell'applicazione del test di Birge sui valori ottenuti dalle misure evidenzia l'esistenza della correlazione tempo-dimensione delle particelle che ci permette di affermare che le particelle crescono in funzione del tempo. La linea solida in Fig. 5 rappresenta il best fit lineare dei dati, il modello più semplice di crescita che si può ipotizzare.

Con uno spettrofotometro a fibre ottiche è stata poi misurata la variazione dei valori di assorbimento ottico della soluzione contenente CB. I valori medi delle misure con la corrispondente barra d'errore sono riportati in Fig. 6. I valori di assorbimento ottico della soluzione contenente CB nel corso dell'esperimento restano compresi fra circa 19,5% e 24,5%. Il risultato dell'applicazione del test di Birge su questa serie di valori (vedi Tab. 5) ci permette di affermare che non esiste correlazione fra i dati. Il CB resta dunque probabilmente insoluto pertanto i valori di assorbimento ottico non aumentano né diminuiscono in funzione del tempo ma hanno piuttosto una variazione con un andamento del tutto casuale.

La situazione cambia per il silicio nanostrutturato in soluzione che risulta invece essere solubile nella soluzione fisiologica. Come si può vedere dal grafico dei valori medi delle misure di DLS, mostrato in Fig. 7, i valori delle dimensioni delle nanoparticelle di silicio poroso nanostrutturato in soluzione diminuiscono nel corso dell'esperimento dai circa 100 nm iniziali a circa 5 nm. Sul grafico sono riportate anche le barre d'errore corrispondenti per ciascun valore.

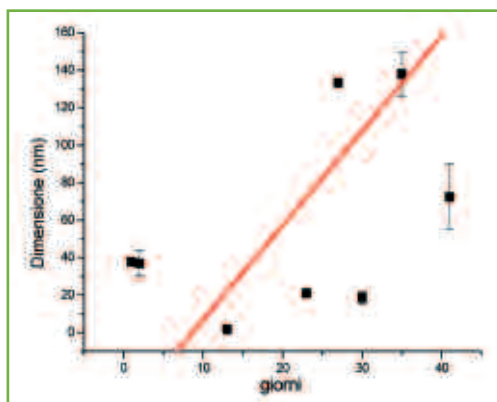


Fig. 5 - Valori medi delle misure granulometriche eseguite sul campione contenente CB

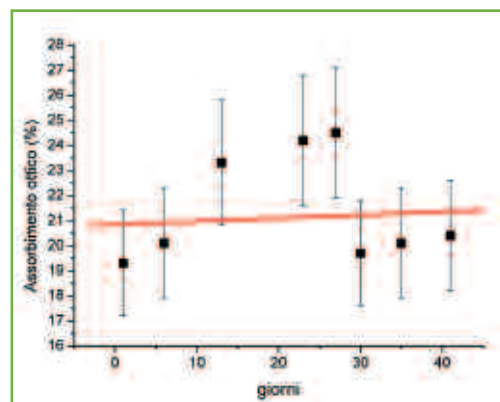


Fig. 6 - Valori medi delle misure di assorbimento ottico eseguite sul campione contenente CB con la corrispondente barra d'errore

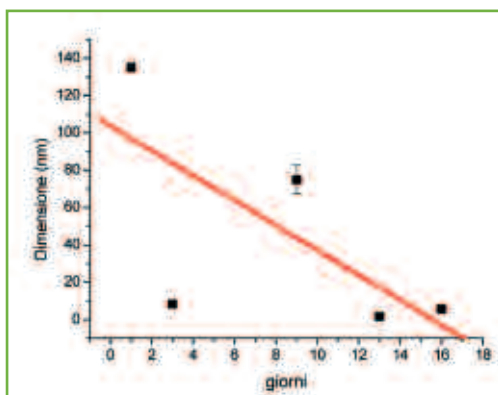


Fig. 7 - Valori medi delle misure DLS eseguite sul campione contenente silicio poroso e le relative barre d'errore. Come si vede la dimensione media delle particelle diminuisce nell'andare del tempo

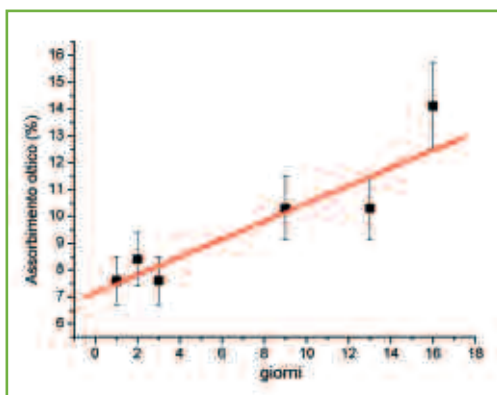


Fig. 8 - Nel grafico sono riportati i valori medi delle misure di assorbimento ottico eseguite sul campione contenente il silicio poroso e le corrispondenti barre d'errore. L'assorbimento ottico aumenta linearmente col tempo

dalla misura ed il tempo trascorso nell'esperimento. Infatti come si può vedere dal grafico il best fit lineare riportato in figura ne mostra l'andamento.

Conclusioni

Nonostante si stiano sempre più diffondendo prodotti commerciali a base di materiali nanostrutturati, gli studi finora pubblicati non consentono di stabilire un collegamento diretto tra la dimensione della particella e la sua tossicità.

Per alcuni valori le barre d'errore non sono evidenti. In questi casi l'errore è contenuto nelle dimensioni del simbolo. Il risultato del test di Birge conferma che esiste una correlazione fra tempo e dati DLS: con il passare dei giorni le dimensioni delle particelle diminuiscono grazie al fenomeno della dissoluzione.

Corrispondentemente, come possiamo vedere dal grafico mostrato in Fig. 8 i valori di assorbimento ottico della soluzione aumentano con il passare dei giorni. Ciò suggerisce che si ha il passaggio del silicio poroso in soluzione con il relativo aumento della concentrazione nelle singole aliquote prelevate periodicamente. I risultati del test di Birge stabiliscono l'esistenza della correlazione fra i dati ottenuti

Questo studio presenta i risultati di una indagine volta a stimare il potenziale di dissoluzione in soluzione fisiologica di nanosilicio e nanocarbonio.

Viene dimostrato che le nanostrutture di silicio tendono a dissolversi in soluzione fisiologica. In questo senso esse mostrano un minor grado di tossicità poiché l'organismo umano tende ad eliminarle attraverso i meccanismi naturali di dissoluzione. Al contrario le particelle nanostrutturate in carbonio non mostrano alcun potenziale di dissoluzione. Esse possono dunque tendere alla formazione di aggregati che accumulandosi potrebbero arrivare a livelli tali da superare la soglia di tossicità negli organismi viventi.

Bibliografia

- [1] www.wilsoncenter.org/index.cfm
- [2] www.wtec.org/loyola/nano/IWGN.Worldwide.Study/ch2.pdf
- [3] B. Bellmann *et al.*, *J. Aerosol Sci.*, 1986, **17**, 341.
- [4] http://cfpub.epa.gov/ncer/abstracts/index.cfm/fuseaction/research.display/rpt/abs/rfa_id/398
- [5] C.W. Lam *et al.*, *Toxicological Sciences*, 2004, **77**, 126.
- [6] D.B. Warheit *et al.*, *Toxicological Sciences*, 2004, **77**, 117.
- [7] N.A. Montiero-Reviere *et al.*, *Toxicol. Lett.*, 2005, **155**, 377.
- [8] J. Ferin *et al.*, *Am. J. Respir. Cell. Mol. Biol.*, 1992, **6**, 535.
- [9] G. Oberdörster *et al.*, *Environ Health Perspect.*, 1994, **102**, 107.
- [10] E. Bermudez *et al.*, *Toxicological Sciences*, 2004, **77**, 347.
- [11] J.S. Tsuji *et al.*, *Toxicological Sciences*, 2006, **89**, 42.
- [12] D.B. Wareit, *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.*, 2001, **20**, 133.
- [13] P. Borm *et al.*, *International Journal of Cancer*, 2004, **110**, 3.
- [14] P. Borm *et al.*, *Toxicological Sciences*, 2006, **90**, 23.
- [15] G. Di Francia *et al.*, *Recent Res. Devel. Electrochem.*, 2000, **3**, 93.
- [16] R.T. Birge, *Physical*, 1932, **40**, 207.

Toxicity of Nanomaterials

Is there a public safety issue related to a mass scale usage of nano-materials? Unfortunately, there is not yet a clear answer to this question. In this paper, we show that the major health impact of nanoparticles seems to be more related to the "material" properties than to its "nano" dimension.

ABSTRACT