

**i Quaderni delle Nanotecnologie**  
volume 6 vetri, ceramici, materiali per costruzione

6



in collaborazione con



## **La Collana**

*La Collana è composta da 9 Quaderni (modulari) che trattano applicazioni nanotecnologiche suddivise per argomenti:*

- Vol 01 "Introduzione alle Nanotecnologie"
- Vol 02 "Polimeri, Vernici, Adesivi"
- Vol 03 "Packaging"
- Vol 04 "Trattamenti superficiali"
  - Metalli*
  - Gioielli, Bigiotteria e Metalli Preziosi*
  - Polimeri*
  - Packaging*
  - Vetri*
  - Occhialeria*
  - Ceramici e Lapidei*
  - Pellami*
  - Legno*
  - Fibre Sintetiche e Naturali*
- Vol 05 "Metalli"
- Vol 06 "Vetri, Ceramiche, Materiali per costruzione"
- Vol 07 "Fibre e Tessuti"
- Vol 08 "Micro/Nano Elettronica, MEMS/NEMS, Batterie, Microfluidica, Lab on a Chip"
- Vol 09 "NANOFAB"

***i Quaderni delle Nanotecnologie***  
*volume 6 vetri, ceramici, materiali per costruzione*

6

---

---

Questi Quaderni sono stati realizzati da Veneto Nanotech grazie al contributo della Regione del Veneto e delle Camere di Commercio di Padova, Venezia e Vicenza.

**A cura di** Ing. Galdino Baldon

**Con la collaborazione di** Ing. Enrico Benetti, Dott.ssa Federica Lodato

**Consulenza scientifica** Prof. Alvise Benedetti, Prof. Marino Quaresimin

**Progetto grafico ed impaginazione** Paolo Fontana/Signaletic:for science

**Stampa** Tipografia Eden, Cadoneghe (Pd)

**I Edizione** novembre 2006

**II Edizione** novembre 2007

Esente da vidimazione ai sensi della Legge 248/2000, art. 10 – 1° comma.

---

---

Il ruolo dell'infinitamente piccolo  
è infinitamente grande.

*Louis Pasteur*

---



*Veneto Nanotech ha voluto, con questa Collana, fornire alle aziende e alle imprese delle informazioni riguardanti le applicazioni delle nanotecnologie ai diversi comparti produttivi, tipici dell'impresa italiana.*

*Mancava, infatti, nel panorama della letteratura tecnico-divulgativa, una pubblicazione che descrivesse le applicazioni delle nanotecnologie, che sono uno degli esempi più tipici dell'industria emergente ad elevato contenuto tecnologico. In continua e rapida espansione, trovano oggi la loro applicazione in numerosissimi ambiti produttivi (meccanico, tessile, conciario, beni di lusso, occhiali, agro-alimentare, etc.) ma sono destinati a trovare impiego in diversi altri campi.*

*Per tale motivo la Collana, destinata al mondo delle imprese, non ha nessuna pretesa di esaustività bensì vuole essere uno strumento al servizio degli imprenditori, dei responsabili ricerca e sviluppo e di quanti vogliono avvicinarsi al mondo dell'infinitamente piccolo con informazioni che rispettino la scientificità degli argomenti trattati ma che vengono illustrati con un approccio di tipo divulgativo.*

*Nei Quaderni viene descritta la possibilità di applicare le nuove soluzioni all'interno di processi produttivi già esistenti e quindi vengono date informazioni pratiche per quelle aziende che volessero compiere quel salto qualitativo tanto auspicato e necessario per confrontarsi pienamente nella sfida globale.*

*I Quaderni sono stati realizzati grazie al contributo delle Camere di Commercio di Padova e di Venezia che sostengono e supportano varie iniziative di Veneto Nanotech a favore della divulgazione e del trasferimento tecnologico per le aziende.*

Luigi Rossi Luciani  
Presidente  
Veneto Nanotech ScpA





*Le Camere di Commercio di Padova e Venezia sono da tempo impegnate sui temi legati all'innovazione tecnologica. La Camera di Venezia direttamente, e la Camera di Padova tramite il Parco Scientifico Galileo, hanno intrapreso svariate iniziative per il coinvolgimento delle aziende che più necessitano di un trasferimento di tecnologia nei loro prodotti e processi aziendali.*

*Vanno segnalate, in questo ambito, le indagini di auditing aziendale per rilevare l'effettivo bisogno di innovazione delle imprese locali, consci del fatto che lo sviluppo delle imprese esistenti e la nascita di nuove realtà imprenditoriali è inscindibilmente legato all'introduzione delle innovazioni.*

*In tale ottica rientra anche il sostegno a Veneto Nanotech, una realtà molto importante in questo settore, un polo di attrazione di innovazione che deve essere uno strumento sempre più vicino alle imprese per collaborare con loro allo sviluppo di nuove strategie che facciano crescere sempre di più il sistema Veneto ed il sistema Italia.*

*Ben vengano dunque questi Quaderni che possono diventare un'importante strumento di diffusione delle iniziative che Veneto Nanotech attua anche con il prezioso ausilio del sistema camerale.*

Gr. Uff. Gianfranco Chiesa  
Presidente  
CCIAA di Padova

Ing. Massimo Albonetti  
Presidente  
CCIAA di Venezia

Scopo del presente Quaderno è quello di favorire la conoscenza delle nanotecnologie e delle loro applicazioni, con un approccio divulgativo, nel rispetto dei contenuti tecnici e scientifici. La realizzazione dell'intera Collana, comprendente ad oggi ben 9 Quaderni, è stata resa possibile grazie al contributo delle Camere di Commercio, Industria, Artigianato e Agricoltura di Padova e di Venezia e alla collaborazione con il CIVEN, Associazione delle Università di Padova, Venezia e Verona per le nanotecnologie.

Le fonti da cui si sono adattati i contenuti (immagini, tabelle, elenchi, testi e quant'altro), a cui si rimanda il lettore per gli approfondimenti, sono state sempre citate esplicitamente.

Per quanto si sia lavorato al fine di garantire la massima accuratezza per ciò che concerne le informazioni contenute nel Quaderno, quanto alle dosi, agli elementi e alle applicazioni riportate, non si riesce a garantirne la perfezione e l'eshaustività. Per eventuali approfondimenti si rimanda alla letteratura specializzata e alle fonti riportate.

Le informazioni contenute nel Quaderno sono tratte da testi scritti e da documenti liberamente disponibili sul web di cui si trovano tutti i dettagli in bibliografia: a volte le informazioni nel Quaderno sono state adattate al nuovo contesto e quindi non sempre riproducono fedelmente la versione originale della fonte.

L'utilizzazione dei marchi altrui nel Quaderno avviene in funzione meramente descrittiva.

Considerata la rapida evoluzione del settore, Veneto Nanotech non garantisce l'aggiornamento e la corrispondenza delle informazioni riportate aventi carattere previsionale.

La collaborazione alla revisione della presente Collana e/o alla stesura di nuovi Quaderni è benvenuta ed auspicata: le proposte sono da inviare all'indirizzo e-mail [nano@venetonanotech.it](mailto:nano@venetonanotech.it)

Si ringraziano il CIVEN, e in particolare il prof. Alvisè Benedetti, per il contributo scientifico dato nella redazione degli argomenti e per la revisione dei testi, Nanofab per il supporto tecnico nella realizzazione del Quaderno dedicato e il prof. Marino Quaresimin per l'incoraggiamento e la critica costruttiva.

Veneto Nanotech si riserva il diritto di modificare una o più parti dei presenti Quaderni in qualsiasi momento e senza preavviso.

*Galdini Paolo*

*Peckerica Roberto*



# Sommario

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Cosa sono le nanotecnologie</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>I Vetri</b>	<b>18</b>
3.1	Vetri nanostrutturati	22
<b>4</b>	<b>Ceramici</b>	<b>24</b>
4.1	Applicazioni varie	29
4.1.1	Ricoprimenti superficiali	29
4.1.2	Nanocompositi polimerici	32
4.1.2.1	Polimeri biodegradabili	35
4.1.2.2	Polimeri conduttori	36
4.1.2.3	Industria automobilistica	36
4.1.2.4	Packaging	37
4.1.3	Vernici	38
4.1.4	Adesivi	39
4.1.5	Composti metallo ceramici	39
4.1.6	Materiali con un gradiente funzionale	41
4.1.7	Fibre	44
4.1.8	Allumina e derivati	46
<b>5</b>	<b>Materiali per costruzione</b>	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>La ricerca nel Veneto</b>	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>Veneto Nanotech S.C.P.A.</b>	<b>52</b>
<b>8</b>	<b>Bibliografia e fonti</b>	<b>55</b>



## Introduzione

Il presente Quaderno è dedicato interamente alle applicazioni delle nanotecnologie in relazione ai vetri, ai ceramici ed ai materiali per costruzione. Si inserisce all'interno della Collana "I Quaderni delle Nanotecnologie", ed approfondisce una tematica ben definita riportando esempi specifici in tali ambiti, poiché anche in questo settore le nanotecnologie consentono di realizzare applicazioni che permettono di innalzare il livello tecnologico dei prodotti "Made in Italy" per vincere il confronto con quelli dei nuovi paesi emergenti.

Le nanotecnologie non interessano un unico settore economico ma, grazie al loro carattere pervasivo<sup>1</sup>, sono presenti in quasi tutti gli ambiti. Possono essere considerate come una scienza trasversale, con effetti di training altamente benefici per tutta l'economia e possono rappresentare quel radicale salto innovativo tanto auspicato in questa fase storico-economica.

*<sup>1</sup> Pervasivo – che tende a diffondersi ovunque in modo omogeneo.*

Scopo di questa raccolta è di fornire alcune informazioni sulle nanotecnologie e di divenire un utile strumento per valutare la possibilità di inserire le nuove soluzioni offerte da tali scienze nei cicli produttivi o per iniziare un percorso di ricerca di nuove applicazioni.

Il Veneto vanta una tradizione secolare in specifiche aree di competenza che, grazie all'imprenditorialità sviluppatesi nel fertile tessuto socio-economico, ha visto la creazione di veri e propri Distretti produttivi riconosciuti a livello internazionale per l'eccellenza qualitativa.

All'interno di quest'area, si sono sviluppate aziende che hanno saputo creare e diffondere marchi noti in tutto il mondo e che hanno contribuito a far conoscere ed apprezzare l'elevata qualità del "Made in Italy".

Considerato il carattere divulgativo dei Quaderni, si è utilizzato un approccio che favorisca la comprensione da parte di chi si accinge per la prima volta ad affrontare gli argomenti trattati, rimandando i dettagli tecnico scientifici alle fonti per ulteriori approfondimenti.<sup>2</sup>

*<sup>2</sup> Sempre all'interno di tale contesto, si sono utilizzati termini inglesi laddove d'uso comune o non esista una traduzione italiana; ci si è soffermati su tematiche ritenute fondamentali o più vicine alla produzione industriale del Triveneto, anche se sicuramente applicabili a una realtà territoriale più estesa.*

## 2. Cosa sono le nanotecnologie

Il prefisso «*nano*» deriva dal greco antico *náno* e contraddistingue ciò che è molto piccolo. Il termine moderno di "Nanotecnologia" fu coniato nel 1974 da Norio Taniguchi<sup>3</sup> e fu ripreso in seguito nel 1976 da Eric Drexler<sup>4</sup>, il quale definisce la nanotecnologia come "[...] una tecnologia a livello molecolare che ci potrà permettere di porre ogni atomo dove vogliamo che esso stia. Chiamiamo questa capacità "nanotecnologia", perché funziona sulla scala del nanometro, che equivale ad 1 miliardesimo di metro": in pratica il rapporto fra 1 nanometro ed 1 metro corrisponde, grossomodo, al rapporto di grandezza che esiste tra il diametro di una pallina da tennis ed il diametro del pianeta terra.

Il termine nano indica il prefisso di un'unità di misura pari a  $10^{-9}$ : si tratta dunque di una tecnologia a livello atomico<sup>5</sup>. La scala di grandezza è tanto piccola al punto che non esiste più

<sup>3</sup> Norio Taniguchi -  
Professore presso  
l'Università delle Scienze  
di Tokyo

<sup>4</sup> Eric Drexler -  
Scienziato americano.

<sup>5</sup> Gli atomi di solito non godono di una buona reputazione: quando se ne sente parlare si pensa ad esplosioni terribili o a radiazioni pericolose. Questi aspetti riguardano solo le tecniche che utilizzano il nucleo dell'atomo. Le nanotecnologie riguardano il guscio atomico ed intervengono solo a quel livello.



Figura 1: Il rapporto fra 1 nanometro ed 1 metro corrisponde, grossomodo, al rapporto di grandezza che esiste tra il diametro di una pallina da tennis ed il diametro del pianeta Terra (nella foto non sono rispettate le dimensioni)[1]



una netta distinzione disciplinare fra le applicazioni ed i temi della chimica, della fisica, dell'ingegneria genetica e della quantistica.

La nanotecnologia agisce sulle connessioni fra gli atomi, dalle quali risulta la proprietà della materia. Per lavorare a tali dimensioni ( $10^{-9}$ ) si impiegano dei macchinari molto sofisticati che sono in grado di agire su singoli atomi. Il futuro aperto dalle nanotecnologie prevede l'assemblaggio di atomi e molecole in maniera automatica simile a quella che avviene in natura; uno dei pionieri dell'applicazione industriale delle nanotecnologie, Albert Franks, definì tali scienze come "quell'area della tecnologia dove le dimensioni e le tolleranze tra i 0,1 nm e i 100 nm (nm=nanometro) giocano un ruolo critico". Operare a tali livelli di definizione significa riuscire a studiare, assemblare e modificare i materiali a livello molecolare.

Attraverso l'uso delle nanotecnologie è possibile creare nuovi materiali funzionali, strumenti e sistemi con straordinarie proprietà derivanti dalla loro struttura, ed implementare qualità e caratteristiche di processi e prodotti esistenti.

I materiali nanostrutturati possono essere creati attraverso due approcci fondamentali: "bottom up" (dal basso verso l'alto) e "top down" (dall'alto verso il basso).

Quello *bottom up* si riferisce alla capacità di assemblare il materiale nanostrutturato a partire dalle nanoparticelle che lo costituiranno. In biologia, biomedicina e chimica si usa per lo più questo tipo di approccio.

Quello *top down* consiste, invece, nella costruzione di micro e nanostrutture a partire da un blocco massivo di materiale (*bulk*) con tecniche di tipo litografico<sup>6</sup> oppure riducendo con metodi fisici le dimensioni delle strutture iniziali, portandole a livello nanometrico. Tale metodo è quello più comunemente utilizzato per la creazione di materiali nanostrutturati e trova i principali impieghi in applicazioni elettroniche e metallurgiche. I due metodi sono impiegati a seconda di quelle che sono le applicazioni da realizzare.

<sup>6</sup> Litografia – la tecnica di produzione di strutture microscopiche, mediante un sistema fotoreattivo che viene inciso con fasci luminosi e che, una volta sviluppato, evidenzia o nasconde alcune parti della superficie per l'incisione o altri processi.

Le nanoscienze costituiscono il punto d'incontro fra discipline diverse quali la fisica quantistica, la chimica supramolecolare,

la scienza dei materiali e la biologia molecolare. Essendo delle scienze multidisciplinari, le nanotecnologie possono essere applicate trasversalmente ai più svariati settori industriali. Alcuni esempi d'applicazioni di materiali nanostrutturati, quali tessuti antimacchia, superfici antigraffio o autopulenti, cosmetici contenenti nanopolveri o aerogel nanostrutturati per l'isolamento termico sono già in commercio e si prevede che il mercato di prodotti funzionalizzati attraverso l'uso delle nanotecnologie possa crescere rapidamente nel prossimo decennio.

Finanziamenti pubblici e privati per ricerche nell'ambito delle nanotecnologie sono infatti in continua crescita e si prospetta che la loro ricaduta sul mercato mondiale possa portare i prodotti nanostrutturati a raggiungere un giro d'affari stimato intorno ai 600 miliardi di Euro entro il 2015 e ad una creazione di oltre 2 milioni di nuovi posti di lavoro (source: "National Science Foundation"). Le nanotecnologie rappresentano un salto innovativo radicale che a detta di molti analisti produrrà una nuova rivoluzione industriale paragonabile, se non di portata superiore, a quella generata dall'introduzione nel mercato dei semiconduttori nei primi anni '80.

### 3. I Vetri

*<sup>7</sup> Matrice – la fase principale nella quale sono dispersi gli altri costituenti*

Le applicazioni nanotecnologiche che riguardano i vetri interessano i trattamenti superficiali, la creazione di nanostrutture e la dispersione di nanoparticelle nella matrice<sup>7</sup>. Tali argomenti verranno presentati nei successivi paragrafi. Per completezza si riprendono parte delle tematiche già trattate negli altri volumi.

Il vetro è noto all'uomo fin dall'antichità. La natura lo ha reso disponibile ed in seguito abbiamo imparato a produrlo e a trasformarlo in una sostanza che si adatta ai diversi usi. L'evoluzione tecnica ha consentito di creare fibre di vetro ad elevata resistenza, contenitori leggeri in vetro, vetri-ceramica, vetri fotocromatici, vetri termoisolanti, vetri altamente resistenti, vetri atti a contenere le scorie nucleari, biovetri (impiegati nella rigenerazione ossea), guide fotoniche ed amplificatori per fibre ottiche.

I molteplici impieghi, alcuni dei quali sono stati precedentemente citati, rendono il vetro un materiale molto interessante e che ben si presta ad essere ingegnerizzato.

Le nanotecnologie sono in grado di modificare la superficie di tale materiale per creare nanostrutture in grado di conferirgli nuove proprietà. La superficie (inizialmente pulita) del vetro tradizionale in seguito al normale uso si sporca con materiale organico: può appannarsi, insudiciarsi, imbrattarsi e anche corrodersi. Specifiche nanostrutture, ottenibili con i ricoprimenti superficiali, sono in grado di superare brillantemente l'insorgere di tali fenomeni.



Figura 2: Esempio di comportamento idrofobico autopulente di un vetro. Immagini cortesia di [www.nanotec.com.au](http://www.nanotec.com.au)

Il contatto fisico della superficie del vetro con corpi estremamente duri può creare microcricche<sup>8</sup>, graffi e ruvidità. Anche in questi casi i ricoprimenti consentono di rendere la superficie molto resistente all'azione meccanica di corpi abrasivi.

<sup>8</sup> Microcricche – fratture micrometriche in seguito a shock meccanici o termici.

In altre parole i ricoprimenti superficiali cercano di rendere passive le superfici vetree nei confronti delle interazioni dell'ambiente esterno che compromettono le prestazioni e la durata nel tempo.

Ci si soffermerà ora ad esaminare alcune applicazioni delle superfici di vetro ingegnerizzate<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Ingegnerizzare – stabilire, programmando la produzione, metodi e processi con cui trasformare materie prime in prodotti finiti.

La deposizione di film<sup>10</sup> sottili su superfici vetrose rappresenta uno degli esempi di maggiore interesse fra le applicazioni delle nanotecnologie ai materiali vetrosi. Sono state sviluppate differenti tipologie di ricoprimenti per conferire alle superfici le seguenti proprietà:

<sup>10</sup> Film – ricoprimento superficiale.

- Proprietà anti riflesso - ricoprimenti sui vetri dicroici nelle telecamere e macchine fotografiche, sulle lenti degli occhiali, ecc.;
- Proprietà di isolamento termico - ricoprimenti sulle finestre degli edifici, sulle pareti parascintille di caminetti e stufe, ecc.;
- Proprietà anti graffio - ricoprimenti sui cristalli degli autoveicoli, sulle lenti degli occhiali, ecc.;
- Vetri anti batterici - ricoprimenti sui contenitori e sugli attrezzi da cucina, sui contenitori impiegati in biologia e in medicina, ecc.;

- Vetri anti graffiti - ricoprimenti sui cristalli dei mezzi pubblici, sulle vetrature delle stazioni, ecc.;
- Vetri anti appannamento - ricoprimenti sulle lenti degli occhiali, sugli specchi di bagni e piscine, ecc.;
- Vetri anti ghiaccio - ricoprimenti sui cristalli delle automobili o degli aerei, ecc.).

Una nuova classe di ricoprimenti è stata progettata con funzioni autopulenti; sono stati, inoltre, sviluppati vetri con impieghi nel campo delle biotecnologie (Lab on Chip e come protesi ossee).[2]

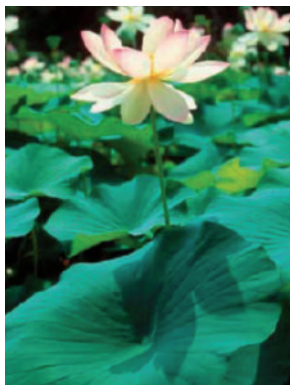
<sup>11</sup> Pilkington – azienda multinazionale.

Pilkington<sup>11</sup> e PPG Industries hanno prodotto finestre autopulenti basate sulle proprietà idrofiliche e fotocatalitiche dei ricoprimenti a base di nanoparticelle di diossido di titanio (TiO<sub>2</sub>). Il TiO<sub>2</sub> rompe i legami chimici dei materiali organici che vanno a depositarsi sulla superficie e facilita l'azione successiva di rimozione, rendendo la superficie autopulente. Tali superfici, inoltre, si asciugano molto più rapidamente rispetto a quelle tradizionali. Su un vetro autopulente, infatti, si forma un sottile velo omogeneo d'acqua, mentre sui vetri convenzionali si formano goccioline che risultano più difficili da asciugare.[3]

Anche in natura molte superfici sono autopulenti. L'esempio più evidente è fornito dal fiore di loto, che rimane asciutto e pulito nelle "umide" acque paludose.

Le proprietà di repellenza all'acqua ed allo sporco sono dovute

*Figura 3: Il fiore di loto pulisce le sue foglie grazie all'effetto loto.[1]*

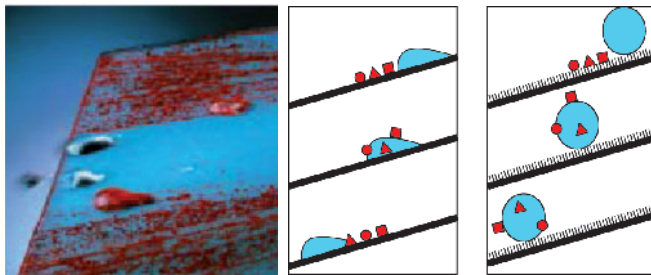


a piccole protuberanze nanometriche ( $10^{-9}$ ) disposte sulla superficie delle foglie che conferiscono la necessaria rugosità superficiale. Tali protuberanze impediscono allo sporco di aderire, il che facilita la sua rimozione a contatto con l'acqua. Lotus-effect® è un vetro prodotto da Ferro Corp.: simula, grazie ad un trattamento al silano, la nanostruttura superficiale repellente all'acqua presente in natura. Con tale nanostruttura si conferiscono alla superficie anche proprietà antiappannamento ed antiriflesso.[4]

Di notevole importanza commerciale risultano essere anche i ricoprimenti superficiali del vetro tramite film sottili depositati attraverso tecniche sol-gel; essi conferiscono alle superficie proprietà antigraffio, antiriflesso, antiappannamento e decorative. Fra i più noti ricoprimenti sol-gel antiriflesso su vetri si citano IROX®, AMIRAN®, CALOREX®. Sempre attraverso le tecniche sol-gel è possibile ricoprire i cristalli conferendo loro eccellenti risultati cromatici, pur garantendone la trasparenza.

Stanno riscuotendo un grosso successo commerciale i ricoprimenti superficiali su occhiali speciali usati contro l'azione accidentale di fasci laser concentrati. Essi vengono nanostrutturati con fullereni - strutture costituite da atomi di carbonio che sono disposti spazialmente in modo da creare una gabbia di forma sferica. Quest'ultima ha una forma simile a quella di un pallone da calcio ed un diametro che varia da qualche decina a qualche centinaio di nanometri.[5]

Sulla superficie dei vetri si possono anche creare micro e nanostrutture tramite stampaggio a caldo con rulli. I vetri così trattati possono essere applicati sulle celle solari fotovoltaiche per renderle più efficienti.[2]



*Figura 4: Esempio di comportamento superidrofobico autopulente che imita ciò che avviene in natura per le foglie del fiore di loto. L'immagine di sinistra è cortesia di UML Continuing Education Conference, Ferro, "Super Hydrophobic Self Cleaning Glass Surfaces Lotus-Effect®" L'immagine di destra schematizza il comportamento.*

## 3.1

# Vetri nanostrutturati

I campi di interesse applicativo legati ai vetri nanostrutturati sono molteplici. Attualmente si possono raggruppare attorno alla fotonica, alla biologia e all'elettronica. Si riporta di seguito qualche esempio.

<sup>12</sup> *Fotonica – tecnologia di sistemi o dispositivi che emettono, modulano, trasmettono o rivelano la luce.*

<sup>13</sup> *Cristallo fotonico – una struttura dielettrica periodica.*

<sup>14</sup> *Indice di rifrazione – il fattore per il quale la velocità di una radiazione elettromagnetica viene rallentata, rispetto alla sua velocità nel vuoto, quando questa attraversa il materiale.*

<sup>15</sup> *Interferometro – strumento di precisione usato per eseguire misurazioni e determinazioni di lunghezze d'onda.*

<sup>16</sup> *Amorfo – sostanza solida, priva di ordine cristallino.*

<sup>17</sup> *Ball-milling – processo di macinazione di polveri di dimensioni micrometriche fino a renderle di dimensioni nanometriche.*

- **Fotonica**<sup>12</sup>: Per mezzo di raggi laser convergenti in precisi punti all'interno della matrice vetrosa si creano delle strutture tridimensionali nanometriche che consentono al materiale l'acquisizione di elevati indici di rifrazione. Con altri metodi si riescono a costruire i cristalli fotonici<sup>13</sup> ed i superprismi. In fotonica sono molto utilizzati vetri speciali drogati con nanoparticelle di terre rare. Il più promettente fra tutti i droganti sembra essere l'erbio che è impiegato negli amplificatori planari ottici, nelle guide d'onda ed in altri dispositivi con indice di rifrazione<sup>14</sup> non lineare. Il  $\text{LiNbO}_3$  è un drogante che trova impiego negli interferometri<sup>15</sup> di Mach Zehnder e negli accoppiatori direzionali.
- **Materiali inorganici bioattivi**: L'introduzione di questi vetri speciali negli organismi viventi stimola la formazione di legami fra questi materiali e le strutture cellulari. Tale caratteristica ne favorisce l'impiego per realizzare le protesi. Si è, inoltre, in grado di costruire delle microsferi di vetro che contengono elementi radioattivi. Le microsferi hanno la peculiarità di emettere le radiazioni solo se eccitate da un fascio esterno di neutroni risultando dunque ottime nella distruzione mirata dei tumori in un organismo vivente.
- **Sviluppo dei materiali elettrolitici solidi non cristallini per le batterie al litio ricaricabili**: partendo da materiali quali gli ossidi di zolfo amorfi<sup>16</sup>, che presentano il fenomeno della conduttanza ionica, si ottiene un elettrolita solido per le batterie al litio ricaricabili. Le polveri degli ossidi di zolfo, rese amorse dopo essere state processate per 20 ore tramite ball milling<sup>17</sup>, sono pronte per la fase successiva di formatura negli stampi.

- **Chip di bioanalisi e substrati vetrosi:** È sempre di maggior interesse la possibilità di misurare e rilevare quantità di sostanze molto piccole (dell'ordine dei nano<sup>18</sup> o dei pico<sup>19</sup> grammi) per le indagini in campo medico, biologico e ambientale. A tale scopo si stanno sviluppando dei dispositivi molto compatti, forniti di microcapillari vetrosi (quarzo) interfacciati ai sistemi micro o nanoelettronici che li governano. Una classe molto importante di questi dispositivi è costituita dai Lab on Chip che trovano un ampio impiego principalmente in biologia ed in medicina.
- **Ossidi semiconduttori trasparenti:** Gli ossidi semiconduttori trasparenti maggiormente impiegati nei display a cristalli liquidi sono l'ITO (indium tin oxide) e lo ZnO (ossido di zinco) e utilizzano gli elettroni quali portatori di carica negativi (vengono chiamati semiconduttori di tipo n). Se si droga del  $\text{CuInO}_2$  con ioni  $\text{Ca}^{2+}$  si ottiene un semiconduttore ricco di portatori di carica positivi (vengono chiamati semiconduttori di tipo p). Mettendo assieme un semiconduttore di tipo n ed uno di tipo p si ottiene una giunzione p-n. Questa giunzione forma un diodo. Questo tipo di diodo trova un vasto impiego nel campo dell'industria elettronica. Presso il Tokyo Institute of Technology sono stati prodotti dei diodi mettendo assieme ZnO e  $\text{SrCu}_2\text{O}_3$  in grado di emettere luce nello spettro dei raggi ultravioletti. Sono facilmente fabbricabili industrialmente. [6]

<sup>18</sup> Nano –  $10^{-9}$

<sup>19</sup> Pico –  $10^{-12}$



*Figura 5: La parte di destra dello specchio è ricoperta con un film sottile che gli conferisce la proprietà di anti appannamento, mentre sulla parte di sinistra del vetro non è stato fatto nessun tipo di trattamento.*



## 4. Ceramici

I materiali ceramici sono rappresentati da tutti quei materiali solidi che non sono metalli e non sono di natura organica. Possono essere sintetizzati come vetri, policristalli, monocristalli ed in altre forme a seconda del loro impiego finale, incluse nanopolveri, monoliti, film sottili e materiali compositi. Spesso sono integrati con altri materiali in strutture e dispositivi complessi.

Gli impieghi spaziano in campi quali l'elettronica, la chimica, la meccanica, i biomateriali e la fisica della materia.

Il notevole sviluppo delle comunicazioni wireless non sarebbe stato possibile senza la miniaturizzazione permessa dall'impiego di filtri e risonatori a microonde in ossidi ceramici. Lo scanning tunneling<sup>20</sup>, l'atomic force microscope, la tecnologia medica ad ultrasuoni, le macchine fotografiche autofocus ed i sistemi di correzione ottica del telescopio Hubble fanno tutti affidamento su tecnologie esistenti grazie alle ceramiche piezoelettriche. Il tasso di espansione esponenziale nella commercializzazione delle batterie al litio ricaricabili è stato possibile grazie allo sviluppo di nuovi elettrodi costituiti da ossidi ceramici. La ricostruzione o la sostituzione di cartilagini, ossa e denti sono possibili grazie al recente sviluppo delle bioceramiche.[7]

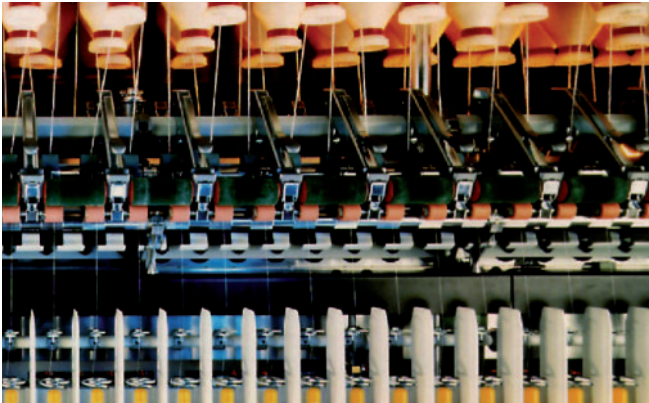
<sup>20</sup> Scanning tunneling microscope – tecnica di microscopia.

La crescente importanza dei materiali ceramici è dovuta al fatto che essi soddisfano specifiche esigenze industriali grazie alla loro superiore resistenza all'usura, alla corrosione ed alle elevate temperature. Oltre a ciò:

- Possiedono superfici molto uniformi - superfici lisce, piane e regolari sono particolarmente apprezzate nei componenti impiegati nell'industria della carta e delle fibre sintetiche;
  - Le loro dimensioni sono molto stabili in ampi intervalli di
-

temperatura - i materiali ceramici sono apprezzati nella fabbricazione di particolari di strumenti di misura;

- Sono caratterizzati da stabilità termica e conduttività elettrica che li rende idonei ad essere impiegati nella fusione dei metalli - un esempio sono gli elettrodi dei forni elettrici per la fusione dell'alluminio;
- Possiedono una elevata conduttività termica - trovano impiego negli scambiatori di calore e nelle batterie di raffreddamento;
- Sono sufficientemente inerti - trovano impiego nei processi di separazione chimica, di filtrazione di metalli fusi, di pulizia e catalizzazione di gas caldi ed esausti.[8]



*Figura 6: macchina per la lavorazione tessile che impiega particolari ceramici. Immagine cortesia di Sulzer Metco Holding AG, Wohlen, Switzerland.*

Le nanotecnologie esaltano le caratteristiche appena citate dei materiali ceramici e ne aggiungono di nuove. Fra tutte si cita la possibilità di ottenere materiali ceramici meno fragili grazie alla dispersione di specifiche nanopolveri nella matrice. L'aggiunta di nanopolveri rende inoltre molto più rapido il processo di lavorazione del pezzo ceramico e fa diminuire i costi ed i tempi necessari a realizzare il prodotto finito.

Nel presente Quaderno si preferisce trattare i materiali ceramici dapprima in termini generali per poi riportare qualche esempio applicativo tratto dagli altri volumi. L'argomento è molto vasto per tale motivo si riportano solo alcune fra le applicazioni più significative.

I materiali ceramici possono essere classificati in 4 macrocategorie, secondo un principio che considera le diverse esigenze delle applicazioni industriali:

- Materiali ceramici refrattari;
- Materiali ceramici monolitici;
- Composti ceramici;
- Ricoprimenti ceramici.

*Figura 7: I materiali ceramici possono far incontrare le esigenze trasversali delle future aziende. [8]*



I materiali ceramici refrattari sono degli isolanti termici per elevate temperature che sono impiegati negli altiforni e nei reattori chimici industriali di processo. Le loro prestazioni vengono continuamente migliorate per poter sopportare temperature sempre più elevate senza danneggiarsi.

I materiali ceramici monolitici (monocristallini) sono materiali con una struttura priva di bordi dei grani. Materiali quali il nitrato di silicio, il nitrato di carbonio e gli ossidi tenacizzati hanno già trovato un ampio impiego nella produzione di componenti molto affidabili. Questi ceramici monocristallini sono stati resi meno fragili grazie alle nanotecnologie ed il loro impiego è insostituibile in tutti quei particolari di piccole e medie dimensioni che richiedono elevata resistenza all'usura, resistenza alla corrosione, basso coefficiente d'attrito e stabilità alle temperature elevate.

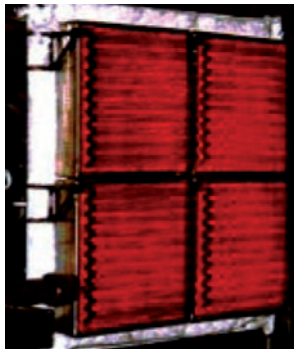
I materiali ceramici composti sono una nuova generazione di

materiali che possono essere progettati per soddisfare esigenze applicative molto specifiche. I materiali compositi ingegnerizzati includono le CFCCs (Continuous Fiber Ceramic Composites) e le ceramiche rinforzate con nanoparticelle e/o nanofibre.

Ricerche in corso vogliono rendere i ceramici compositi ad elevata tenacità più resistenti alla frattura, al fine di ottenere una migliore affidabilità nel tempo. Contemporaneamente si vuole ridurre il loro costo di produzione. Le grandi dimensioni e l'elevata affidabilità richiesta li rende ottimi per realizzare i reattori chimici di processo, i tubi scambiatori di calore e i bruciatori radianti.

I ricoprimenti ceramici nanostrutturati su substrato metallico combinano la superiore resistenza all'usura ed alla corrosione tipica dei ceramici con la duttilità e la tenacità del metallo sottostante. In tale campo sono molto promettenti i ricoprimenti in DLC (Diamond Like Carbon) che hanno dimostrato una riduzione dell'usura di oltre 20 volte in molti componenti meccanici. Molte tecnologie sono state sviluppate nel settore dei ricoprimenti. Fra tutte si citano: il Plasma<sup>21</sup> Spray, l'Electro Beam Physical Vapour Deposition, la Chemical Vapour Deposition e la Ion Implantation. Trattamenti superficiali con plasmii freddi delle tradizionali piastrelle ceramiche per impieghi edili hanno permesso di incrementare la repellenza all'acqua ed ad altri liquidi.[9]

Le ultime ricerche sono rivolte allo sviluppo di nuovi materiali ceramici. Gli esempi includono i singoli cristalli piezoelettrici ad elevato allungamento, i nuovi materiali dielettrici alle frequenze elevate, i fosfori, i composti intercalati, gli strati strutturali di ceramiche duttili e le ceramiche con proprietà termoelettriche.



<sup>21</sup> Plasma – quarto stato della materia.

*Figura 8: Matrice CFCC in SiC di un bruciatore piano realizzata tramite chemical vapour infiltration. Immagine cortesia di AlliedSignal Composites, Inc., Newark, Del..*

<sup>22</sup> Sensore – apparecchiatura in grado di rivelare le caratteristiche di una grandezza fisica.

<sup>23</sup> Attuatore – dispositivo che esegue automaticamente una regolazione.

Molte ricerche sono volte ad integrare le ceramiche con altri materiali. Gli esempi includono l'incorporazione di sensori<sup>22</sup> ed attuatori<sup>23</sup> ceramici in MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) basati sulla tecnologia del silicio ed i composti polimero/ceramici in dispositivi elettrochimici. Gran rilevanza stanno avendo gli studi sulle interazioni fra il corpo umano e i materiali ceramici al fine di sviluppare nuovi biomateriali e nuovi sistemi per il rilascio dei farmaci. Successive ricerche porteranno a migliorare le conoscenze nel campo delle proprietà delle superfici e delle interfacce, della chimica, della reattività e delle proprietà fisiche di materiali compositi. [8]

	Chimica	Raffineria	Prodotti Forestali	Acciaio	Vetro	Alluminio	Stampaggio dei metalli
Brucciatori	X	X	X	X	X	X	X
Isolanti alle alte temperature	X	X	X	X	X	X	X
Tempra	X	X	X	X	X	X	X
Sensori di protezione	X	X	X	X	X	X	X
Separatori	X	X	X	X	X	X	X
Maneggio/Trasporto	X	X	X	X	X	X	X
Rulli	X		X	X	X	X	
Iniettori del gas				X	X	X	X
Serrande/Pale/Sigillanti	X	X	X	X	X	X	X
Ventilatori/Agitatori	X	X	X	X	X	X	X
Stampi/Utensili					X		X
Supporti	X	X	X	X	X	X	X
Pompe	X	X	X			X	X
Cuscinetti	X	X	X			X	
Camicie meccaniche	X	X	X	X	X	X	X

Tabella 1: Aree di applicazione dove le industrie possono beneficiare dei materiali a base ceramica.[8]

## 4.1

# Applicazioni varie

Fanno seguito gli esempi applicativi dei materiali ceramici tratti dai volumi precedenti, a cui si rimanda per gli approfondimenti.

### 4.1.1

## Ricoprimenti superficiali

I ricoprimenti ceramici su substrati metallici possono combinare la resistenza all'usura ed alla corrosione tipica dei materiali ceramici con la duttilità e la tenacità dei metalli. Recentemente hanno conosciuto una grande diffusione i ricoprimenti in DLC (Diamond Like Carbon) e in  $\text{SiO}_x$  (differenti ossidi di silicio).

I ricoprimenti in DLC tramite tecniche PECVD sono impiegati per ogni genere di particolare meccanico in movimento che necessiti un'ottima resistenza all'usura ed un basso fattore di frizione. Alcune interessanti applicazioni sono su alberi di trasmissione, particolari di motori a scoppio e di turbine a gas, componenti aeronautiche, giunti, pompe idrauliche e punte degli utensili. Tale ricopertura, inoltre, garantisce la resistenza alla corrosione in particolari ambienti e la biocompatibilità ne permette l'impiego in protesi ed in macchinari per l'imballaggio alimentare e farmaceutico. Viene praticata anche nei dischi ceramici delle cartucce dei miscelatori idrosanitari per migliorarne la finitura ed evitare l'impiego di prodotti a base di silicio o nelle ceramiche in genere per aumentarne la resistenza all'abrasione e la tenacità alla frattura.

Deposizioni DLC vengono anche effettuate su oggetti da cucina. In particolare, i coltelli da cucina risultano più sempli-

ci da pulire e da asciugare, oltre che essere biocompatibili con gli alimenti con cui entrano in contatto.

I ricoprimenti in  $\text{SiO}_x$  vengono impiegati in miscelatori idraulici per conferire proprietà anticorrosive, antigraffio o anallergiche e in componenti in acciaio a contatto con fiamme (bruciatori, cappellotti, griglie) per evitare l'ingiallimento e l'iridescenza<sup>24</sup>.

<sup>24</sup> Iridescenza - fenomeno ottico per cui alcuni corpi, colpiti da un fascio di luce, rifrangono i raggi luminosi in modo da assumere riflessi cangianti simili ai colori dell'iride.

Film sottili di  $\text{SiO}_x$  sono anche impiegati con funzione decorativa o per garantire la resistenza alla corrosione e la biocompatibilità dei materiali (come ad esempio i ricoprimenti  $\text{SiO}_x$  sulle montature degli occhiali o sui gioielli).[10]

I ricoprimenti dei metalli con nanoparticelle di allumina e di YSZ (zirconia stabilizzata con yttria) tramite processi di Plasma Spray hanno di recente acquisito una grossa importanza commerciale. Le nanoparticelle dei due componenti non fondono assieme e la deposizione del film superficiale procede creando strati alternati allumina e YSZ. Tale ricoprimento migliora di molto la conduttività termica e quindi gli scambi termici.

Molto interessanti sono i risultati ottenuti attraverso i trattamenti superficiali con plasmi freddi delle tradizionali piastrelle ceramiche. Le superfici di piastrelle e ceramiche così trattate acquisiscono un elevato comportamento di repellenza all'acqua e ad altri liquidi. Esse possono essere anche ricoperte con nanopolveri di materiale vetroso CZS e  $\text{SiO}_2$ <sup>25</sup> tramite processi di Plasma Spray. In tal modo aumenta notevolmente la resistenza all'abrasione e la tenacità alla frattura rispetto alle convenzionali ceramiche. Presso i laboratori NANOFAB sono in corso ricerche in tale campo.

<sup>25</sup>  $\text{SiO}_2$  – silice.

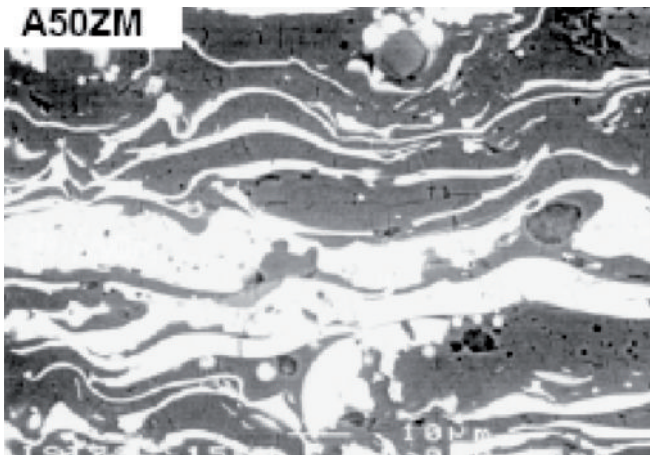
Le superfici polimeriche si prestano bene ai ricoprimenti con nanocomposti ceramici, in special modo con i silicati. I principali vantaggi possono essere così riassunti:

- Migliorano le proprietà meccaniche;
  - Si riduce la permeabilità all'acqua ed ai gas;
-

- Si riduce il coefficiente di espansione termica;
- Aumenta la durezza e la resistenza all'usura;
- Migliora la protezione superficiale. [11]

I ricoprimenti in DLC ottenuti tramite tecniche PECVD su polimeri permettono l'acquisizione di proprietà antiadesive e di buona resistenza all'usura.

Da citare, infine, l'inserimento di nanoparticelle ceramiche all'interno dei ricoprimenti dei film impiegati nel packaging, al fine di migliorarne le proprietà meccaniche e di barriera ai gas.



*Figura 9: Ricoprimento di un metallo con nanopolveri di YSZ e di allumina.[11].*



## 4.1.2

# Nanocompositi polimerici

*<sup>26</sup> Filler – sostanza aggiunta a determinati materiali per migliorare le caratteristiche tecnologiche.*

I nanocompositi polimerici sono costituiti da nanoparticelle inorganiche, comunemente chiamate filler<sup>26</sup>, disperse all'interno di matrici polimeriche. Tali compositi sono caratterizzati da migliori proprietà meccaniche, anche se un moderato aumento della densità limita la lavorabilità in fase di produzione (processabilità). I vantaggi evidenti di utilizzare un nanofiller risiedono nella migliore dispersione nella matrice polimerica che incrementa notevolmente le proprietà del composito. Ad esempio, si evidenziano benefici per la resistenza alla trazione, la permeabilità ai gas, la stabilità termica, il ritardo alla fiamma, la resistenza all'abrasione ed ai solventi., Si registra, inoltre, la modifica delle proprietà elettriche ed ottiche.

I nanocompositi ottenuti a partire dalla montmorillonite migliorano significativamente alcune delle proprietà dei compositi convenzionali. Di seguito se ne fa un breve elenco.

- **Proprietà di barriera:** migliorano le proprietà di barriera all'ossigeno, all'umidità, ai solventi e ai vapori chimici; trovano impiego nei film per alimenti, nelle bottiglie per bevande gassate, nei serbatoi di carburante, nelle tubazioni per benzina e gasolio;
- **Proprietà meccaniche:** le quantità relativamente modeste (circa il 5%) di nanofiller consentono di ottenere materiali più leggeri rispetto ai tradizionali ottenuti con filler di dimensioni micrometriche. Aumentano, inoltre, la rigidità e migliorano le proprietà di trasparenza del composito. Trovano impiego al posto di componenti usualmente metallici;
- **Stabilità dimensionale:** permettono un'elevata stabilità dimensionale all'interno di ampie escursioni di temperatura;
- **Temperatura di deformazione:** a fronte di piccole quantità di nanofiller aumenta la temperatura di rammollimento;
- **Riciclabilità:** i nanocompositi sono riciclabili a differenza dei

convenzionali polimeri rinforzati con le fibre di vetro che non lo sono;

- **Resistenza alla combustione:** migliora il ritardo alla fiamma con conseguente diminuzione del fumo emesso in fase di combustione;
- **Proprietà reologiche:** risultano semplificati i processi di colorazione mentre la superficie del materiale assume un aspetto più omogeneo e liscio.[12]

L'impiego delle nanoargille Nanomer® prodotte da Nanocor consente di produrre nanocompositi che estendono gli usi delle plastiche convenzionali in nuove aree. Si riporta di seguito una lista parziale dei polimeri con associate le migliori proprietà acquisite grazie alla dispersione di nanoargille :

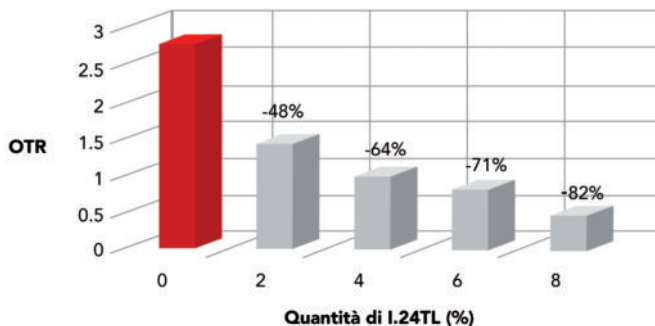


Figura 10: OTR (Oxygen Transmission Rate) di nano-PA6 polimerizzato in situ impiegando I.24 TL. [13]

<sup>27</sup> O<sub>2</sub> – ossigeno.

<sup>28</sup> CO<sub>2</sub> – anidride carbonica.

#### **Nylon 6 (film e bottiglie)**

- Barriera al O<sub>2</sub><sup>27</sup> ed al CO<sub>2</sub><sup>28</sup>
- Barriera al vapore acqueo
- Trasmissione degli UV
- Stabilità termica
- Rigidità
- Trasparenza
- Resistenza al graffio

#### **Nylon 6 (iniezione in stampi)**

- Stabilità termica
- Riduzione del ritiro/deformazione
- Rigidità
- Resistenza ai solventi chimici
- Barriera ai carburanti
- Resistenza alla fiamma
- Riduzione del peso
- Diminuzione delle fibre di vetro
- Barriera sottile
- Anti-bloom

#### **EVA**

- Rigidità
- Barriera al O<sub>2</sub>
- Stabilità termica
- Resistenza alla fiamma
- Resistenza ai solventi chimici
- Anti-bloom

#### **EPOXY**

- Più elevato T<sub>g</sub>
- Rigidità
- Resistenza ai solventi chimici
- Resistenza alla fiamma
- Controllo reologico
- Scratch & mar<sup>29</sup>
- Anti-bloom

#### **PET (ricoprimenti multistrato e bottiglie)**

- Barriera al O<sub>2</sub> ed al CO<sub>2</sub>

#### **Polyolefine (film e bottiglie)**

- Barriera al O<sub>2</sub> ed al CO<sub>2</sub>
- Stabilità termica
- Rigidità
- Aumento dell'indice di fluidità

#### **Polyolefine (iniezione in stampi)**

- Stabilità termica
- Riduzione del ritiro/deformazione
- Rigidità
- Resistenza ai solventi chimici
- Resistenza alla fiamma
- Riduzione del peso
- Diminuzione delle fibre di vetro
- Barriera sottile

#### **TPE**

- Barriera al O<sub>2</sub> ed al CO<sub>2</sub>
- Barriera al vapore d'acqua
- Rigidezza
- Resistenza alla fiamma
- Anti-bloom

#### **UPE**

- Più elevato T<sub>g</sub>
- Rigidità
- Resistenza ai solventi chimici
- Resistenza alla fiamma
- Controllo al ritiro
- Resistenza al graffio

<sup>29</sup> Scratch & mar – test di resistenza al graffio.

Tabella 2: Alcuni polimeri con associate le migliori proprietà acquisite grazie alla dispersione di nanoargille Nanomer. [13]

Il settore dei nanocompositi ha ancora notevoli potenzialità di sviluppo, che si prevede interesserà in maggior misura le industrie automobilistiche e del packaging.

---

## 4.1.2.1 Polimeri biodegradabili

L'incremento dell'uso delle materie plastiche negli ultimi 20 anni ha evidenziato il problema dello smaltimento dei rifiuti. Il crescente interesse per l'impatto ambientale ha sviluppato plastiche che si degradano più velocemente nell'ambiente mineralizzandosi completamente e divenendo quindi bioassimilabili. Le plastiche per l'imballaggio, la conservazione ed il trasporto dei cibi, realizzate con polimeri biodegradabili offrono un'eccellente soluzione, in particolar modo per le applicazioni di breve durata.

Fra i biomateriali presenti nel mercato, gli amidi sono fra i più diffusi ed economici. Purtroppo essi presentano degli svantaggi dovuti allo scarso effetto di barriera all'umidità e alle scarse proprietà meccaniche; non possono dunque essere utilizzati nel settore del packaging alimentare. Attraverso l'applicazione delle nanotecnologie questi due inconvenienti vengono risolti. La dispersione omogenea di nanoparticelle di montmorillonite (argilla) nel polimero rende infatti possibile ottenere film nanocompositi biodegradabili a base di amido/argilla con buone proprietà meccaniche ed effetti di barriera all'umidità conformi a quanto richiesto dalle normative europee.[14]

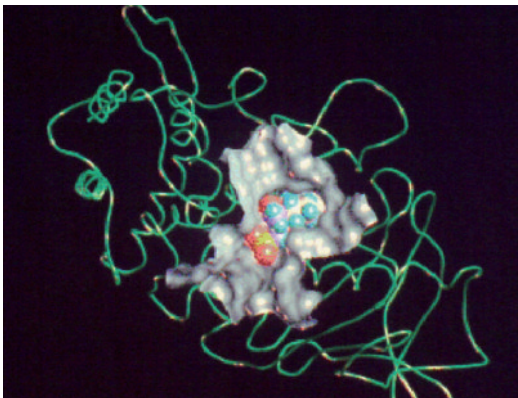


Figura 11: Immagine di biopolimero. Immagine cortesia di [www.icm.edu.pl](http://www.icm.edu.pl).

## 4.1.2.2

### Polimeri conduttori

La dispersione di nanoparticelle ceramiche in una matrice polimerica permette al materiale di esibire proprietà di conduttività termica. Gli impieghi sono principalmente nel campo delle applicazioni elettriche ed elettroniche. Ad esempio possono venire impiegati per realizzare i componenti degli hard disk, le custodie delle "media drive cartridge", componenti di stampanti, aspiratori, filtri, impianti di verniciatura elettrostatica, computer, nastri trasportatori, chip, dissipatori termici o dispositivi elettronici. Le plastiche termicamente conduttive sono impiegate in quei dispositivi elettrici dove non è possibile dissipare il calore tramite ventilatori.

Non di inferiore importanza risultano gli impieghi di polimeri conduttori con nanoparticelle di semiconduttori disperse nella matrice. Essi vengono utilizzati nel campo energetico per la realizzazione di celle fotovoltaiche innovative e di batterie apprezzabili anche per la loro leggerezza.[15]

## 4.1.2.3

### Industria automobilistica

Se i vetri delle automobili fossero di policarbonato ridurrebbero il peso del veicolo ed, essendo infrangibili, aumenterebbero la sicurezza dei passeggeri in caso di urto. Tale materiale possiede infatti una superba resistenza all'impatto, un'ottima trasparenza ed un'ottima formabilità; di contro presenta una scarsa resistenza all'abrasione, una scarsa repellenza all'acqua e un'elevata degradazione se esposto alle intemperie (in particolar modo se esposto ai raggi UV). Per ovviare a questi inconvenienti è necessario trattare la superficie del polimero applicando uno strato sottile di  $\text{SiO}_2$  tramite tecnica PECVD.

Sempre maggior importanza stanno assumendo i polimeri funzionalizzati con nanoparticelle ceramiche per conferire miglior resistenza meccanica, agli urti, all'usura e al calore.[16]

## 4.1.2.4 Packaging

I film polimerici nanostrutturati con particelle di argilla, come il Durethan® prodotto da Bayer, sono in grado di fornire un'ottima barriera agli scambi di ossigeno, di anidride carbonica e di umidità, prolungando la freschezza dei cibi conservati. Il film si presenta trasparente, più leggero, più resistente alla rottura e alle alte temperature rispetto ad un film tradizionale. In principio esistevano problemi dovuti alla scarsa fluidità del polimero in fase di filatura ma oggi giorno essi sono stati praticamente risolti. La fluidità della seconda generazione di Durethan Easy Flow è migliorata del 22% rispetto alla prima generazione mentre le proprietà meccaniche e termiche sono rimaste invariate.[17]

La presenza di nanocristalli Nanocor® nella matrice polimerica delle bottiglie di plastica per birra consente di prolungare la conservazione della bevanda fino a 18 mesi garantendo l'integrità dell'aroma. La minor quantità di polimero richiesta per realizzare le bottiglie rende inoltre meno costoso il trasporto.[18]

Molto promettenti sono gli usi delle argille nel campo del packaging intelligente, di cui fa seguito una tabella riassuntiva.

Prodotto	Descrizione	Uso
Film attivi tramite nanoparticelle di argille	Tipicamente sacchetti in polietilene con nanopolveri di argille (allumino silicati) disperse nella matrice polimerica. Possibile riduzione della concentrazione di etilene, facilitata dall'espulsione per diffusione all'esterno del sacchetto	Variabile
Film reattivi alle variazioni della temperatura (Landec Labs)	I film aumentano la loro permeabilità ai gas in risposta all'aumento della temperatura che a sua volta causa un aumento della respirazione. Stabilizza l'atmosfera modificata che in tal modo resta invariata alle varie temperature.	Specifico per ogni prodotto
CO <sub>2</sub> ScavengersFreshLock (Mitsubishi Gas Chemical Co.), Verifrais (Codimer Tournessi, Gujan-Mestras)	Prodotti imbustabili che vengono confezionati direttamente nel sacchetto e che assorbono sia diossido di carbonio e sia ossigeno	Frutta e verdura, caffè
Ethysorb (Stayfresh Ltd), Ageless C (Mitsubishi gas Chemical Company), Freshkeeper (Kurarey), Acepack (Nippon Greener), Peakfresh (Klerk Plastic Industries, Chantler Packaging Inc.)	Prodotti che sono imbustabili direttamente nel sacchetto e che assorbono l'etilene. Sono composti da una varietà di prodotti come l'ossido di alluminio, il permanganato di potassio, i carboni attivi e il diossido di silicio	Frutta e verdura

Tabella 3: Alcuni dei sistemi intelligenti di packaging che controllano l'atmosfera attualmente disponibili in commercio.

[19]

## 4.1.3 Vernici

Le vernici nanocomposite sono costituite da nanopolveri disperse al loro interno al fine di migliorarne le proprietà funzionali e strutturali.

Nel settore dell'automotive sono state sviluppate vernici contenenti nanoparticelle ceramiche o nanotubi di carbonio con migliorate prestazioni di resistenza al graffio e all'usura. L'incremento è valutabile nel 40% rispetto a quelle tradizionali.

## 4.1.4 Adesivi

Il nuovo adesivo per protesi dentali fisse prodotto da 3M consente una solida adesione all'arcata dentale senza l'ausilio del dentista. Le nanoparticelle di silica consentono l'efficace adesione della protesi senza creare altri inconvenienti. Secondo un'indagine condotta da Forbes/Wolfe è fra uno dei primi 10 prodotti nanotecnologici di massimo successo del 2004. [20]



Figura 12: Adesivo per protesi dentali nanostrutturato 3M. Immagine cortesia di [www.nano-newsnet.ru](http://www.nano-newsnet.ru).

## 4.1.5 Composti metallo ceramici

I composti metallo ceramici uniscono le proprietà dei materiali ceramici alle proprietà dei materiali metallici. Sono costituiti da una componente metallica che incrementa la tenacità alla frattura e da una componente ceramica che fornisce pro-



prietà di rinforzo. Come sarà specificato di seguito, le nanoparticelle disperse al loro interno possono essere sia metalliche che ceramiche a seconda degli impieghi.

Essi possono essere classificati nel modo seguente:

- **Composti a matrice ceramica (CMC)**

Nei CMC le nanoparticelle metalliche vengono disperse nella matrice ceramica porosa tramite varie tecniche. Le nanoparticelle metalliche incluse nella matrice sono in grado di compiere il lavoro plastico necessario ad incrementare la tenacità alla frattura. Ad esempio, si possono incorporare nella matrice fibre di  $\text{SiC}^{30}$  o nanoparticelle metalliche del diametro di 5 nm - 200 nm. Il materiale maggiormente impiegato come matrice è l'allumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), in cui vengono disperse nanoparticelle che possono essere composte da molibdeno, da leghe di nickel-zirconio, da cromo-alluminio o da carbonitridi di titanio.

In alternativa, i materiali che fungono da substrato ceramico possono essere ricoperti da film sottili metallici. In tal caso migliorano le proprietà meccaniche superficiali del CMC.

- **Composti a matrice metallica (MMC)**

Nei MMC le nanoparticelle ceramiche vengono disperse nella matrice metallica per rinforzarla.

I principali composti MMC a base di titanio sono  $\text{Ti}+\text{SiC}^{31}$  e  $\text{Ti}+\text{Si}_3\text{N}_4$  e trovano maggior impiego come sostituti delle superleghe di titanio nelle pale delle turbine dei motori a getto aeronautici.

I principali composti MMC a base di alluminio sono  $\text{Al}+\text{SiC}$ ,  $\text{TiB}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e trovano maggior impiego nei blocchi motore delle automobili.

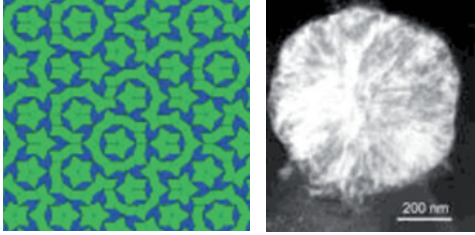
I composti a matrice metallica possono essere ingegnerizzati per ottenere la lega desiderata a seconda dell'impiego applicativo. Fra i molti vantaggi acquisibili possiamo citare:

- La buona conduttività elettrica e termica;
- La minore espansione termica rispetto ai metalli leggeri;

<sup>30</sup>  $\text{SiC}$  – Carburo di Silicio.

<sup>31</sup>  $\text{Ti}+\text{SiC}$  – matrice di  $\text{Ti}$  + nanoparticelle di  $\text{SiC}$ .

- La moderata densità e la buona resistenza;
- La moderata rigidità e tenacità;
- La resistenza all'usura anche a temperature elevate;
- La buona affidabilità anche in ambienti umidi. [21]



*Figura 13: Nella foto di sinistra reticolo cristallino non periodico bidimensionale di atomi di alluminio. Nella foto di destra struttura tridimensionale di una particella icosaedra quasicristallina in un nanocomposito di alluminio a rapida solidificazione. Immagini cortesia di "New aluminium quasicrystalline nanocomposites to compete with titanium", Ocamacnews, Issue 22 winter 2004.*

## 4.1.6 Materiali con un gradiente funzionale

I materiali con un gradiente funzionale (chiamati FGM – Functionally Graded Materials) sono costituiti da materiali diversi che vengono accoppiati. Tali materiali possono presentare fra le interfacce sia un gradiente spaziale di composizione sia un gradiente spaziale di struttura. Ad esempio, i polimeri si possono accoppiare con i metalli migliorando in tal modo la risposta agli stress meccanici. Oppure, i metalli si possono accoppiare con le ceramiche per migliorare la risposta agli stress termici.

Tipicamente tali materiali presentano una maggiore resistenza alla frattura grazie all'azione di fenomeni introdotti dal gradiente. Di conseguenza, materiali con gradiente funzionale vengono impiegati in tutti quei elementi nei quali è richiesta l'elevata resistenza a stress termici (temperature d'esercizio che possono raggiungere i 1600 °C) come le pale delle turbine dei motori aeronautici a getto e le strutture aerospaziali (piattaforme, satelliti, navette spaziali). Sono altresì impiegati

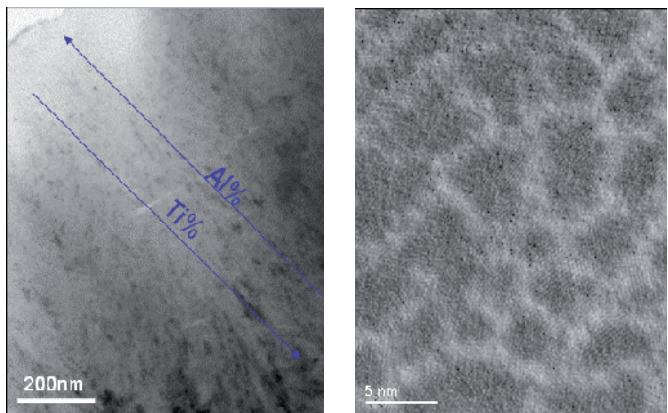
in celle a combustibile, sistemi di conversione energetica che impieghino materiali termoelettrici o termoionici, reattori nelle centrali nucleari, apparecchi termoelettrici e piezoelettrici, nei CD/DVD ad elevata densità di registrazione magnetica, negli impianti dentali ed ortopedici, nelle strutture delle porte tagliafuoco e nei materiali impiegati per realizzare blindature e giubbotti antiproiettile. [21]

FGM si ottengono generalmente per infiltrazione di un metallo all'interno della porosità del materiale di partenza o per sinterizzazioni ripetute di strati di materiali con caratteristiche gradualmente differenti.

Anche per i ricoprimenti con film sottili si è introdotto il gradiente funzionale nella dimensione dei grani, nella porosità e nella densità del ricoprimento. Questo migliora le proprietà di resistenza all'usura e di resistenza alla frattura del substrato.

Nella tabella seguente si riassumono le proprietà, i processi produttivi e le applicazioni di alcuni FGM.

Figura 14: Nell'immagine a sinistra ricoprimento a nanogradiente; nell'immagine a destra ricoprimento nanocomposito. [22]



<b>FGM</b>	<b>Proprietà</b>	<b>Processo Produttivo</b>	<b>Applicazioni</b>
Ricoprimenti ceramici su un substrato metallico	Rilassamento dello stress termico; resistenza alle temperature elevate ed all'usura; elevata resistenza meccanica	Spark Plasma Sintering Process	Componenti altamente efficienti dei motori
Leghe di titanio con densità e porosità che varia secondo un gradiente	Combinazione di buone proprietà meccaniche e leggerezza	Additivazione, processo di layer-wise: sinterizzazione diretta di polveri metalliche (DMLS)	Strutture leggere per aerei e l'industria aerospaziale, impianti protesici
Utensili d'acciaio contenenti gradienti di C, V, Cr; acciaio e superleghe di nichel con gradienti di particelle ceramiche (ossidi, carburi)	Combinazione di tenacità e durezza o resistenza all'usura	Additivazione; processo di layer-wise: sinterizzazione diretta di polveri metalliche (DMLS)	Utensili, strumenti medici, impianti protesici e industria aerospaziale
Carburi cementati con un gradiente funzionale: ricoprimenti di ceramica su substrati di titanio, noccioli in duri carburi cementati e strati intermedi con gradienti di composizione	Resistenza all'usura, resistenza alla rottura, resistenza alle cricche termiche	Sinterizzazione <sup>32</sup>	Inseri nei taglienti
Combinazioni ferritiche ed austenitiche come 316L e 17-4PH; combinazioni di acciaio-ceramica	Proprietà magnetiche, duttilità e rigidezza	Stampaggio per co-iniezione e co-sinterizzazione	Industria automobilistica, sensori; strumentazione medica
Metalli preziosi come Pt, Ag (catalita) ed ossidi metallici (ad esempio SnO <sub>2</sub> impiegato nei sensori) con porosità che varia secondo un gradiente	Il gradiente di porosità combina una ottima adesione al substrato (grossi pori) con un'elevata funzionalità (nano pori)	PVD (Physical Vapour Deposition) combinata con la vaporizzazione e la condensazione di gas inerti.	Sensori di gas e strati cataliticamente attivi

Tabella 4: La tabella riassume le proprietà, i processi produttivi e le applicazioni di alcuni FGM. [21]

<sup>32</sup> Sinterizzazione – processo che utilizza il calore e la pressione per consolidare tra loro le particelle di un determinato materiale.

## 4.1.7 Fibre

<sup>33</sup> Filler – sostanza aggiunta a determinati materiali per migliorarne le caratteristiche tecnologiche.

<sup>34</sup> Coating – rivestimento.

<sup>35</sup> Nanotubi - Particelle la cui forma ricorda un tubo di diametro nanometrico.

<sup>36</sup> Montmorillonite - argilla.

Nel mondo del tessile le nanoparticelle possono essere introdotte come fillers<sup>33</sup> nelle fibre (in questo caso si parla di fibre composite) o applicate attraverso diverse tecniche di rivestimento, quali lo spray coating<sup>34</sup> o la deposizione elettrostatica, nella fase di finitura dei tessuti al fine di conferire loro particolari proprietà funzionali e migliorarne le proprietà meccaniche. Tale tecnologia viene utilizzata, ad esempio, per ottenere tessuti anti-macchia: alla superficie del tessuto viene applicato un finissaggio in grado di riempire con nanoelementi le intercapedini, impedendo alle macchie di penetrare tra le fibre e di aderirvi saldamente. Le particelle di sporco rimangono quindi in superficie e scivolano via facilmente o possono essere rimosse con il solo uso di un panno ed eventualmente di poca acqua, senza l'utilizzo di detersivi.[11] Le nanoparticelle impiegate nella finitura impediscono, inoltre, la sbavatura dei colori e mantengono inalterata la luminosità dei substrati tessili. Tra le nanocariche più utilizzate vi sono le nanoparticelle (ceramiche, ossidi di metalli e carbon black), nanofibre di grafite e nanotubi<sup>35</sup> di carbonio.

Le nanoparticelle ceramiche più comuni sono quelle a base di alluminosilicati e tra esse quella più largamente utilizzata è la montmorillonite<sup>36</sup> modificata. Esse conferiscono ai tessuti resistenza chimica, termica ed elettrica oltre ad aumentarne la capacità schermate ai raggi UV. Accrescono inoltre la tangibilità e la resistenza a flessione e a trazione di fibre polimeriche a base di nylon e polipropilene.

Nanoparticelle a base di ossidi di metallo, quali  $\text{TiO}_2$  (diossido di titanio),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (allumina),  $\text{ZnO}$  (ossido di zinco),  $\text{MgO}$  (ossido di magnesio) o le nanoparticelle d'argento permettono di ottenere fibre con proprietà anti-microbiche, anti-batteriche, auto-decontaminanti e auto-disinfettanti.

---

In particolare le nanoparticelle di diossido di titanio sono usate per conferire proprietà anti UV, per ridurre l'elettricità statica e per conferire capacità fotossidante contro specie chimiche e biologiche (tessuti e fibre autopulenti).

Le nanofibre di carbonio conferiscono ai tessuti una migliorata resistenza all'abrasione e all'usura oltre che una maggiore resistenza chimica e conducibilità elettrica. Nanotubi di carbonio, seppur in via del tutto sperimentale, hanno permesso l'ottenimento di fibre composite dalle straordinarie proprietà meccaniche ed elettriche che potrebbero essere utilizzate nella produzione di giubbetti anti-proiettile, scudi elettromagnetici e teli di protezione alle esplosioni.[23], [24]

<i>Fibre utilizzate</i>	<i>Funzioni/Proprietà</i>	<i>Nanotecnologia</i>	<i>Applicazioni</i>
<b>Fibre sintetiche:</b> poliammide, poliestere, acrilico	Capacità autopulente	Nanoparticelle TiO <sub>2</sub>	Abbigliamento, barriere per riduzione dell'inquinamento
	Resistenza alla fiamma	Nanoparticelle ceramiche	Tessuti automotive
	Anti UV	Nanoparticelle ceramiche o di ossidi di metallo	Abbigliamento civile e militare
<b>Fibre naturali:</b> cotone, lana, lino, seta	Anti-microbiche, anti-batteriche	Nanoparticelle TiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ZnO, Ag	Abbigliamento, automotive, arredamento, tessuti medicali e filtranti
	Tingibilità	Nanoparticelle ceramiche	Abbigliamento, arredamento
	Resistenza all'impatto/abrasione	Nanoparticelle di carbonio, nanotubi di carbonio	Abbigliamento, militare
	Funzioni intelligenti	Nanotubi di carbonio, nanoparticelle piezoelettriche	Medicale, celle solari indossabili

Tabella 5: Nanoparticelle nel tessile.[24]

## 4.1.8 Allumina e derivati

L'allumina nanostrutturata ed i suoi derivati hanno molteplici applicazioni:

- Funge da rinforzo strutturale nei materiali compositi bio-compatibili impiegati in ambito medico;
- Con essa si realizzano filtri che riescono a trattenere particelle nanometriche di materiali organici, metalli così come batteri, catene di DNA e virus. Questi filtri vengono impiegati nei settori chimico, microelettronico, farmaceutico, alimentare, ecc.. Viene anche usata nella fabbricazione di prefiltri impiegati nei processi biologici di laboratorio;
- E' impiegata negli elementi di bonifica di scarichi industriali con elevata presenza di metalli pesanti (come i refrigeranti nelle lavorazioni meccaniche) o con tracce di radioisotopi;
- E' impiegata nei processi di rimozione di tracce<sup>37</sup> di inquinanti organici presenti nell'acqua potabile;
- E' impiegata per la realizzazione di piattaforme di cultura cellulare e di separatori di proteine;
- Si utilizza negli isolanti elettrici e nelle barriere termiche;
- Favorisce i processi di sinterizzazione se usata come additivo per le polveri dei materiali ceramici;
- Sotto forma di nanoparticelle, risulta un ottimo rinforzo strutturale quando dispersa nella matrice di metalli, plastiche, ceramiche e membrane. [25], [26]

<sup>37</sup> Tracce – parti per miliardo.

L'azienda americana Argonide è stata premiata nel 2005 dallo "Space Foundation Hall of Fame Award" per aver creato le prime nanofibre di allumina Nanoceram® (AlOOH). Si tratta di fibre dalle dimensioni paragonabili ad una molecola di DNA del diametro di circa 2 nm. Esse sono ideali per essere impiegate nei catalizzatori come chemioassorbenti di metalli pesanti (quali il mercurio, l'oro, l'argento, il cadmio, il piombo e l'uranio).

---

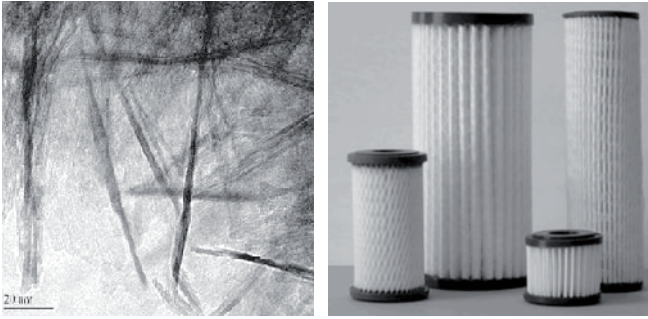


Figura 15: Nell'immagine di sinistra fibre di Nanoceram®. Nell'immagine di destra filtri a cartuccia plissettati contenenti nanoceram® [26]

## 5. Materiali per costruzione

Le nanotecnologie possono anche migliorare le prestazioni dei materiali impiegati nelle costruzioni civili rendendo le abitazioni più confortevoli e sicure, prolungando la durata degli arredi e facilitando le operazioni di pulizia.

Si riportano di seguito gli esempi più significativi di impiego.

- Cementi e malte con disperse all'interno nanoparticelle di  $\text{SiO}_2$  per rinforzarne la tenuta;
- Cementi con disperse nanoparticelle fotocatalitiche che garantiscono l'effetto autopulente della superficie e che abbattano l'inquinamento;
- Intonaci nanostrutturati con proprietà di isolamento termico;
- Acciai strutturali nanostrutturati con migliorate proprietà meccaniche;
- Pannelli isolanti termoacustici da applicare sulle pareti o sui solai;
- Isolanti espansi nanostrutturati spruzzabili;
- Finestre e vetri isolanti termoacustici, autopulenti, anti radiazioni solari ed anti raggi UV;



<sup>38</sup> Geopolimeri – sono materiali inorganici di sintesi che dimostrano proprietà e consistenza simili alle rocce.

- Pitture murali con effetto autopulente e che abbattano l'inquinamento;
- Vernici nanostrutturate degli elementi in metallo;
- Vernici antigraffio su porte e pavimenti in legno;
- Trattamenti al plasma su elementi in legno che conferiscono proprietà antifiama, rendono la superficie idrorepellente e migliorano l'aspetto estetico e la durata nel tempo;
- Tegole, pannelli costruttivi e mattonelle a base geopolimerica<sup>38</sup>.
- Spray con proprietà idrorepellenti da applicare su materiali da costruzione ;
- Trattamenti superficiali delle piastrelle dei pavimenti o dei rivestimenti con plasmi contro l'assorbimento di acqua e di unto;
- Piastrelle che abbattano l'inquinamento;
- Moquette ignifughe;
- Rubinetti, maniglie delle porte, arredi metallici con ricoprimenti nanostrutturati antiusura, antigraffio, antialone, ecc..

Figura 16: La Chiesa Dives in Misericordia (Roma) ha delle vele alte fino a 26 metri realizzate in calcestruzzo ad elevate prestazioni di colore bianco di impareggiabile luminosità. Il calcestruzzo è stato fornito da Italcementi ed è commercializzato con il marchio TX Active®. E' un prodotto ad azione fotocatalitica, che mantiene inalterate nel tempo le qualità estetiche degli edifici, grazie alle proprietà di auto pulizia della superficie. Immagine cortesia di <http://www.romeguide.it>



## 6. La ricerca nel Veneto

In Veneto si effettuano programmi di ricerca presso gli Atenei, gli Enti di Ricerca ed Istituti collegati, che riguardano gli argomenti trattati nel presente Quaderno.

Veneto Nanotech ha effettuato una mappatura di tali progetti e di seguito se ne riportano alcuni<sup>39</sup>:

<sup>39</sup> I dati riportati vogliono essere un esempio della ricerca in Veneto e l'informazione non ha carattere esaustivo, considerata l'evoluzione costante della materia e della ricerca stessa.

Associazione	CIVEN
Titolo della Ricerca	Sviluppo di processi per la nanofabbricazione di materiali per l'industria micromeccanica e biomedica attraverso tecniche di deposizione e rimozione locale a fascio ionico
Settori di interesse	Industria elettronica
Titolo della Ricerca	Nanostrutture per sensori chimici e biochimici
Settori di interesse	Aziende che utilizzano dispositivi e sensori per il controllo della qualità ambientale, per la diagnostica clinica e per l'automotive
Titolo della Ricerca	Metodi e tecniche per la realizzazione e la caratterizzazione di film sottili e nanostrutturati su matrice metallica
Settori di interesse	Tutti quei settori in cui vengono utilizzati metalli (acciai, alluminio, magnesio, ecc.) in cui è richiesta una resistenza alla corrosione
Titolo della Ricerca	Messa a punto di coating su polimeri od altri materiali per conferire proprietà funzionali
Settori di interesse	Produzione di particolari in polimeri stampati per iniezione, estrusione e termoformatura per utilizzi in ambienti esterni. Gli usi sono indicati per vari ambiti: sport, automotive, giardinaggio, edilizia, accessori moda
Titolo della Ricerca	Sviluppo di nanocompositi polimerici con funzionalità mirate
Settori di interesse	Automotive, industria della gomma e della plastica in generale, industria del packaging alimentare e tecnico
Titolo della Ricerca	Nano-metrologia e preparazione di standard per attivare una procedura di certificazione degli strati depositati
Settori di interesse	Tutti quei settori in cui si depositano dei ricoprimenti superficiali sottoforma di film sottili
Titolo della Ricerca	Monitoraggio e risk assessment delle nanotecnologie in ambiente produttivo
Settori di interesse	Tutti i settori produttivi che impiegano le nanotecnologie
Ateneo	Università degli Studi di Venezia Cà Foscari
Argomento	Caratterizzazione chimica di materiali nanostrutturati e nanopolveri mediante tecniche analitiche avanzate
	Preparazione, caratterizzazione e studio delle proprietà funzionali di

Ateneo  
Argomento

materiali nanostrutturati: vetri, vetroceramici, catalizzatori, materiali porosi e ceramici  
Vetri drogati con metalli per applicazioni magnetiche e fotoniche  
Termodinamica statistica di miscele colloidali, proteine globulari e cristalli liquidi  
Sintesi e caratterizzazione di nanoparticelle d'oro su differenti supporti  
Nuovi processi di ossidazione ecocompatibili basati sulla sintesi dell' $H_2O_2$  (perossido d'idrogeno) sulle membrane catalitiche  
Nanomateriali per sensori chimici in membrane nanoporose  
Ricoprimenti superficiali con film sottili tramite tecniche PECVD  
Materiali nanostrutturati su base vetrosa per applicazioni fotoniche e sensoristiche  
Università degli Studi di Padova  
Tecnologia Genechip per comprendere le malattie  
Nuovo sviluppo della metodologia sol-gel per la protezione e conservazione di vetrate storiche  
Inclusione di coloranti organici ed inorganici in nanocanali. Proprietà fotofisiche e prodotti paramagnetici di fotochimica  
Rilascio dei farmaci  
Design ed ottimizzazione di AWG (Arrayed Waveguides Gratings)  
Nanostrutture a base di ossido per sensori chimici innovativi  
Realizzare un microarray specifico per il cDNA dei tessuti: il dispositivo verrà impiegato per detectare le malattie dei muscoli e del cuore nell'uomo  
Microsistemi innovativi basati sul silicio per analisi delle sequenze genetiche  
MicroCribi: "microarrays service"  
Sintesi e studio di strutture molecolari p-coniugate  
Sintesi di nanoparticelle metalliche tramite ablazione laser e funzionalizzazione in soluzione. Caratterizzazione delle loro proprietà ottiche lineari e non lineari  
Spettroscopia Raman di nanotubi al carbonio single e multi wall pristini e funzionalizzati. Caratterizzazione delle loro proprietà ottiche lineari e non lineari  
Materiali nanostrutturati per applicazioni optoelettroniche e sensoristiche  
Bagnabilità delle superfici micro e nano strutturate  
TPU riempiti con nanotubi di carbonio per applicazioni di elevata conduttività elettrica  
Un approccio variazionale per la simulazione dei dispositivi a semiconduttore  
Materiali per l'immagazzinamento dell'idrogeno  
Incrementare le proprietà ottiche non lineari di fibre microstrutturate con innovativi nanomateriali droganti  
Non linearità ottiche del secondo ordine in strutture dielettriche periodiche  
Microstrutture nelle rocce metamorfiche: dalla nucleazione alla deformazione – nuove vedute basate su tecniche analitiche avanzate SEM (EBSD, OC, XRM)  
Sensori di fluorescenza basati su nanoparticelle di silica  
Sviluppo di una interfaccia neuro-semiconduttore con canali sodio ricombinanti  
Optica adattativa e specchi deformabili per applicazioni scientifiche ed industriali  
Consorzio Interuniversitario Nazionale "La Chimica per l'Ambiente"  
Nuovi protocolli catalitici basati su un sistema multifase e su un agente che trasferisce la fase

Consorzio  
Argomento

*Fullereni anfifilici per dispositivi opto elettronici*

*Crescita dei cristalli durante i cambiamenti di fase catalizzati gas-liquido*

*Reazioni chimiche su catalizzatori solidi*

**Istituto** Istituto CNR per l'Energetica e le Interfasi - IENI Padova (Italy)

**Argomento** Elettrochimica di nanostrutture funzionali organizzate sulle superfici degli elettrodi

**Ateneo** Università degli Studi di Verona

**Argomento** Celle solari a film sottili di  $\text{CuInGaSe}_2$  e  $\text{CdTe}$

*Sintesi, caratterizzazione e proprietà strutturali di nuovi solidi inorganici*

*Spettroscopia ottica di ioni lantanidi in vetri e vetroceramiche a base di ossidi*

*Crescita e spettroscopia ottica di monocristalli attivati con ioni lantanidi per applicazioni laser*

*Preparazione e caratterizzazione di ossidi semplici o misti in forma nanocristallina*

*Materiali biocompatibili innovativi*

## 7. Veneto Nanotech S.c.p.A.

Il Veneto è la sede del Distretto tecnologico per le nanotecnologie in considerazione della presenza di forti competenze scientifiche e produttive, nonché di grandi potenziali applicativi. Il Veneto, infatti, vanta uno dei più elevati indici di imprenditorialità a livello nazionale ed un'alta concentrazione di imprese nei settori maggiormente interessati alle nanotecnologie, che sono risultati elementi fondamentali nella scelta della Regione quale sito ideale per lo sviluppo di questa realtà.

Il Distretto è stato promosso dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR); partecipano all'assetto societario numerosi enti pubblici ed aziende, fra cui le Università di Padova, Venezia (Cà Foscari e IUAV) e Verona, la Regione Veneto ed altre amministrazioni ed enti locali.

Nel 2003 è stata costituita Veneto Nanotech società consortile per azioni che ha l'obiettivo di coordinare le attività del Distretto, creare eccellenza a livello internazionale nell'ambito della ricerca, favorire l'applicazione delle nanotecnologie e lo sviluppo di nuove imprese nel settore di focalizzazione e diffondere una cultura "nanotecnologica".

Si pone, quindi, come interlocutore a livello istituzionale e come referente per gli istituti di ricerca e le aziende interessate ad innovare per creare prodotti ad elevato contenuto tecnologico.

La missione di Veneto Nanotech è di sovrintendere all'intera organizzazione e coordinamento del Distretto delle nanotecnologie, tramite:

- l'elaborazione delle linee strategiche di indirizzo per tutte le attività del Distretto;

- lo sviluppo delle capacità di previsione sulle principali linee evolutive della ricerca scientifica in ambito nanotecnologico;
- l'identificazione dei settori a più alto potenziale di sviluppo imprenditoriale nel settore delle nanotecnologie;
- la promozione ed il sostegno di programmi di progetto, di studio e di ricerca di interesse del comparto industriale del territorio;
- l'attivazione di iniziative di diffusione delle nanotecnologie e della formazione specifica in tale ambito scientifico.

Veneto Nanotech gestisce un budget iniziale di 58-60 milioni di Euro su un periodo di 5 anni e nel medio termine ha l'obiettivo di generare un circolo virtuoso di istituti di ricerca, aziende innovative ed investitori pubblici e privati che promuovono lo sviluppo di imprenditorialità nel settore delle nanotecnologie nel territorio.

Nell'ambito di Veneto Nanotech operano due istituzioni:

- **CIVEN** (Consorzio Interuniversitario Veneto per le Nanotecnologie) è un'associazione costituita tra le Università di Padova, Venezia e Verona, che opera nel campo della ricerca di base ed applicata e nel campo della formazione (organizza il Master in Nanotechnologies). Attualmente il CIVEN sta sviluppando alcuni progetti di ricerca a lungo termine che interessano ampi settori delle nanotecnologie.
- **NANOFAB**, Nanofabrication Facility, situata presso il Parco Scientifico Tecnologico di Marghera (Venezia). I laboratori sono attrezzati con avanzatissimi macchinari per la ricerca applicata e il trasferimento di prodotto e di processo. Nanofab è uno dei primi laboratori europei progettato per promuovere il trasferimento tecnologico e favorire l'introduzione delle nanotecnologie nella produzione industriale.

Fra le varie iniziative promosse a favore dell'attrazione di talenti ed a supporto delle start up altamente tecnologiche

nella Regione, Veneto Nanotech organizza “**Nanochallenge Business Plan Competition**”. E’ una competizione internazionale che mette in palio un premio finale di 300.000 Euro da investire per la creazione di start up che sviluppino l’idea imprenditoriale vincente. E’ la prima competizione europea dedicata alla nanotecnologia ed è aperta a partecipanti di tutto il mondo.

A Veneto Nanotech è stato assegnato, inoltre, il compito di identificare le tematiche di ricerca, raccogliendo le esigenze di innovazione delle aziende locali. In tal modo, Veneto Nanotech è il principale collegamento fra il Ministero dell’Università e della Ricerca e le aziende interessate ad ottenere parte dei fondi necessari per le attività di ricerca e sviluppo altamente tecnologiche, garantendo che tali fondi siano impiegati per incrementare progetti di sviluppo nel tessuto socioeconomico locale. In questo senso, il MIUR provvede ad emanare appositi bandi tematici, il cui contenuto tiene conto dei suggerimenti e delle proposte provenienti dalla Regione del Veneto e da Veneto Nanotech.

## 8. Bibliografia e fonti

- [1] "La Nanotecnologia – Innovazione per il mondo di domani", Commissione Europea, 2004,  
[http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/index\\_fr.html](http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/index_fr.html)
- [2] "Glass surfaces: old, new and engineered", C.G.Pantano, Department of Materials Science and Engineering Materials Research Institute University Park, Pa 16802
- [3] [www.pilkington.com](http://www.pilkington.com)
- [4] "Learning from the Lotus Flower – Selfcleaning coating on glass", Martin Baumann, Lutz Poth, Gerhard Tunker, Fero Color Glass & Performance material
- [5] "Sol-gel Process", lectures Prof. Brusatin & Prof. Martucci, University of Padova, 2005
- [6] [www.af-info.or.jp/eng](http://www.af-info.or.jp/eng) "Presentation of Foundation-assisted research findings 2001, new applications for glass nano-composite materials"
- [7] "Fundamental research needs in ceramics", Y.M. Chiang, K Jakus, NSF Workshop Report, April 1999
- [8] "Opportunities for advanced ceramics to meet the needs of industries of the future", D.W. Freitag, D.W. Richerson, U.S. Advanced Ceramics Association and Oak Ridge National Laboratory for the Office of Industrial Technologies Energy Efficiency and Renewable Energy U.S. Department of Energy
- [9] "Advanced ceramics in glass production: needs and opportunities", U.S. Advanced Ceramics Association and Oak Ridge National Laboratory for the Office of Industrial Technologies Energy Efficiency and Renewable Energy U.S. Department of Energy, 1999
- [10] "Thin film deposition methods: chemical methods (PE-CVD)" lectures Prof. G. Moretti, University of Venice, 2005
- [11] "Mechanical and thermal properties of nanostructured materials" lectures Prof. T. Valente, Rome University "La Sapienza", 2005
- [12] "Nanocompositi: non è fantascienza!", A.Carati,



- F.Gagliardi, C.Rizzo ENI Tecnologie, TPoint 4/2002
- [13] [www.nanocor.com](http://www.nanocor.com)
- [14] "Biodegradabile starch/clay nanocomposite films for food packaging applications", M.Avella, J.J.d.Vlieger, M.E.Errico, S.Fischer, P.Vacca, M.G.Volpe Elsevier, Food Chemistry 93 (2005) 467-474
- [15] "Conductive plastics for electrical and electronic applications", J. Amarasekera GE Advanced Materials, Reinforced Plastics, Sept. 2005
- [16] "High durable coatings for automotive polycarbonate glazing", D.Katsamberis, K.Browall, C.Iacovangelo, M.Neumann, H.morgner Elsevier, Progress in organic coatings 34 (1998) 130-134
- [17] <http://presse.lanxess.de>
- [18] [www.azonano.com](http://www.azonano.com)
- [19] "Microbiological safety of controlled and modified atmosphere packaging of fresh and fresh-cut produce", J.N.Farber, L.J.Harris, M.E.Parish, L.R.Beuchat, T.V.Suslow, J.R.Gorney e.H.Garrett, F.F.Busta, Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, vol.2 (supplement), 2003
- [20] [www.forbesinc.com](http://www.forbesinc.com)
- [21] [www.kmm-noe.org](http://www.kmm-noe.org)
- [22] <http://www.minitoolscoating.com>
- [23] "Application of nanotechnology for high performance textiles", Lei Qian, Juan P. Hinestroza, JTATM – Journal of Textile and Apparel, Technology and Management, Volume 4, Issue 1, Summer 2004
- [24] "Nanotec IT" Newsletter, AIRI, Giugno 2005
- [25] "Nano Alumina Fiber – Product Launch", Argonide Nanomaterials Corporation, [www.memsnets.org/news](http://www.memsnets.org/news)
- [26] "Nanoceram® Filters", presentation of Argonide Nanomaterials Corporation, [www.argonide.com](http://www.argonide.com)
- [27] "Film polimerici nanostrutturati", NIS Università di Torino
- [28] "Self assembled nanostructures for antireflection optical coatings", Yang Zhao, Guangzhao Mao, Jinsong Wang, Wayne State University, U.S.A.
- [29] "L'allumina e le sue applicazioni", A.N. Cancelli, A.Chiechi, Tesi presso L'università degli Studi di Lecce, facoltà di Ingegneria A.A. 2002-2003
-

[30] "Tecnologie costruttive", Sportello Bioedilizia, Regione Piemonte environment Park

[31] [www.demauroparavia.it](http://www.demauroparavia.it)

[32] <http://it.wikipedia.org>

[33] [www.siloxo.com](http://www.siloxo.com)

Ci si scusa se, per cause del tutto indipendenti dalla nostra volontà, si fosse omessa o erroneamente citata qualche fonte.



*per informazioni*

**Veneto Nanotech ScpA**

via S. Crispino, 106

35129 Padova (Italy)

tel +39 049 7705500

fax +39 049 7705555

[www.venetonanotech.it](http://www.venetonanotech.it)

[info@venetonanotech.it](mailto:info@venetonanotech.it)

Finito di stampare nel mese di aprile 2007

---



**Veneto Nanotech scpa**

via S. Crispino, 106

35129 Padova (Italy)

tel +39 049 7705500

fax +39 049 7705555

[www.venetonanotech.it](http://www.venetonanotech.it)

[info@venetonanotech.it](mailto:info@venetonanotech.it)