POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Materiali strutturali biologici e bioinspirati

Original
Materiali strutturali biologici e bioinspirati / Bosia, F.; Pugno, N. M. - In: Scienza FuturaSTAMPA. - Cagliari : Associazione ScienzaSocietàScienza, 2019. - pp. 28-34

Availability:
This version is available at: 11583/2861413 since: 2021-01-14T22:41:20Z

Publisher:
Associazione ScienzaSocietàScienza

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

12 October 2024

Scienza di Cagliari. Successivamente è entrato nella cinquina dei finalisti del Premio Galileo di Padova. A dimostrazione che c'è una grande sensibilità per questi temi. Una sensibilità che deve aumentare per realizzare quella alleanza tra fisici e cittadini non esperti necessaria per portare a compimento non solo il sogno di Joseph Rotblat – un mondo libero da armi nucleari -, ma anche quello di Albert Einstein, un mondo che metta al bando la guerra e viva in pace.

Fabio Chiarello

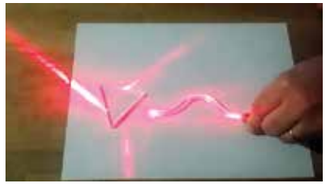
Il progetto PHABLABS 4.0: fablab, fotonica e la quarta rivoluzione industriale

Abstract

Le nostre città si stanno riempiendo di luoghi un po' "magici" dove si incontrano idee, persone, competenze e tecnologie innovative alla portata di tutti. Si tratta dei fablab, piccole "officine" dove chiunque può realizzare le proprie idee grazie a stampanti 3D ed altre tecnologie di fabbricazione digitale. Luoghi in cui è possibile respirare i cambiamenti e le rivoluzioni che, a volte senza neanche accorgercene, stiamo già attraversando. Come l'avvento della fotonica e delle tecnologie basate sulla luce e, più in generale, la cosiddetta quarta rivoluzione industriale. Cambiamenti ricchi di rischi e di opportunità che dobbiamo imparare a conoscere e gestire con consapevolezza, anche grazie a diverse iniziative di sensibilizzazione e divulgazione come il progetto europeo Phablabs 4.0. Siamo pronti?

Un mondo che cambia

Viviamo in un mondo in continuo mutamento. Tutto cambia intorno a noi: la tecnologia, il lavoro, l'industria le idee, i costumi, gli stili di vita e molto, molto altro ancora. Il cambiamento è una costante nella vita degli esseri umani, ma la novità della nostra epoca è la sua impressionante rapidità: negli ultimi dieci anni abbiamo assistito a più cambiamenti di quanti ne abbiano visti i nostri avi attraverso diverse generazioni. E tutto sembra accelerare ancora di più. Solo per fare un esempio, secondo un report del 2016 del World Economic Forum (reports.weforum.org/future-of-jobs-2016) il 65% degli attuali studenti si troveranno a svolgere dei lavori che oggi ancora non sono stati inventati. Possiamo restare confusi e sconcertati da questa rapidità, spaventati dagli enormi pericoli che ne possono derivare e dalla paura di non riuscire a gestirli, oppure possiamo esserne entusiasti. Ma non possiamo restare indifferenti, dobbiamo imparare ad affrontare e gestire in modo intelligente quanto sta avvenendo. Per questo motivo la nostra epoca richiede un grande impegno nella promozione della conoscenza e della cultura, fornendo quegli strumenti che permettono di leggere e comprendere la realtà, di adattarsi rapidamente al cambiamento e, possibilmente, di guidarlo. Un impegno fortunatamente in crescita grazie a programmi, iniziative e progetti di sensibilizzazione ed educazione per tutti i cittadini, in particolare per i giovani. Phablabs 4.0 è uno di questi progetti (www.phablabs.eu). Promosso e finanziato dalla Unione Europea, affronta alcuni dei principali ingredienti del cambiamento che stiamo vivendo: la quarta rivoluzione industriale (la cosiddetta "Industria 4.0"), l'avvento delle tecnologie fotoniche ed il mondo dei fablab. Vediamo brevemente di cosa si tratta.



Proprietà della luce come riflessione e rifrazione sperimentati con semplici forme in plexiglas ed un puntatore laser.

Industria 4.0

Quali sono state le principali tappe del progresso umano? Difficile dirlo con precisione. Probabilmente la prima grande rivoluzione fu quella legata al passaggio dell'uomo dalla condizione di cacciatore e raccoglitore a quella di agricoltore ed allevatore. Con lo sviluppo della conoscenza e della tecnologia l'uomo riuscì ad avere il controllo sul mondo che lo circondava, prima di tutto sulla produzione del cibo. Questo portò a diverse trasformazioni: l'incremento demografico, la maggiore stanzialità, il commercio e gli scambi, la disponibilità di tempo libero, lo sviluppo del pensiero astratto, la scrittura, la matematica, i giochi da tavolo, insomma la nascita della civiltà come noi la conosciamo. Molto tempo dopo, intorno alla fine del 1700, assistiamo alla cosiddetta prima rivoluzione industriale. L'invenzione della macchina a vapore ed il suo crescente utilizzo per la produzione e per i trasporti cambiò completamente il mondo del lavoro e delle persone, iniziando lo svuotamento delle campagne e la lenta, progressiva industrializzazione del mondo. Alla fine del 1800 assistiamo ad una seconda rivoluzione industriale, basata sulla produzione di massa, sull'uso generalizzato delle macchine, sul petrolio usato come fonte energetica, sullo sfruttamento dell'elettricità, sulla crescita delle telecomunicazioni grazie a telegrafo, telefono e radio. Nella seconda metà del 1900 avviene poi la terza rivoluzione industriale, basata sull'uso massiccio dell'elettronica, dell'automazione industriale e dell'informatica, caratterizzata dalla crescita dei servizi e da una sempre maggiore globalizzazione. Ora ci stiamo affacciando a quella che viene definita la quarta rivoluzione industriale, o "Industria 4.0", caratterizzata dall'uso crescente di diversi ingredienti: fonti di energia rinnovabile, tecnologie basate sulla luce e sulla fotonica, fabbricazione digitale, sistemi intelligenti in comunicazione fra loro (il cosiddetto "Internet of Things", IOT), case, città e fabbriche sempre più "smart", intelligenza artificiale, big data e così via. Ogni rivoluzione ha portato sviluppo economico, sociale e culturale ma anche problemi e pericoli, come quelli legati all'inquinamento, ai rifiuti, al consumo delle risorse, alla disuguaglianza sociale. La quarta rivoluzione industriale non fa eccezione. Anzi, forse ci troviamo davanti a sfide ancora più grandi di quelle del passato. Proprio per affrontare queste sfide è necessaria una maggiore consapevolezza ed un maggiore senso di responsabilità, insieme ad una adeguata preparazione.

Studenti impegnati in uno dei laboratori sulle proprietà della luce.

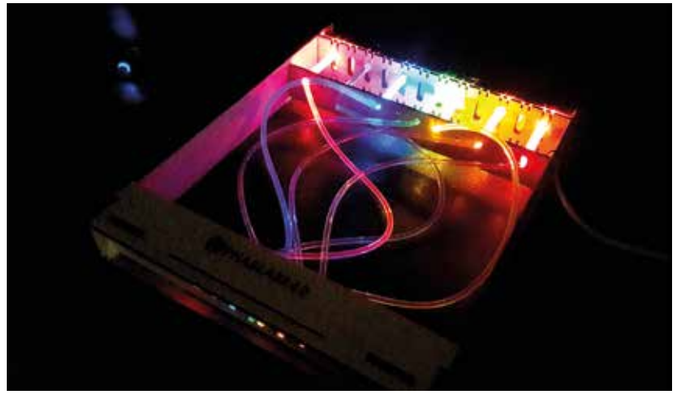
Il mondo dei fablab

Non è facile spiegare cosa siano i fablab. La definizione è piuttosto semplice: si tratta di piccole officine basata su tecnologie digitali per la fabbricazione di prototipi, collegate fra di loro e fortemente improntate alla collaborazione ed alla condivisione di idee e competenze. Nati da un'idea del prof. Neil Gershenfeld del Massachusetts Institute of Technology nei primi anni del 2000, sono una realtà in crescita esponenziale in tutto il mondo, Italia compresa, al punto che è sempre più facile trovarne uno dietro casa (provate a cercare il più vicino su questo sito: www.fablabs.io). Per capire di cosa si tratti veramente è però necessario entrare in uno di questi piccoli mondi. In un ambiente vivace, forse un po' confusionario, troveremo tavoli e banconi pieni di attrezzi, oggetti, computer e macchinari (piccole frese digitali, macchine per il taglio laser, stampanti 3D, plotter) in funzione per fabbricare piccoli prototipi. Ma, soprattutto, troveremo persone. Persone impegnate a lavorare, a progettare, a chiacchierare scambiandosi idee e consigli, a cercare o condividere in rete informazioni ed invenzioni. Troveremo artisti ed artigiani che hanno scoperto il modo di dar forma alle proprie idee, designer, stilisti, collezionisti, ricercatori, insegnanti, studenti, persone fantasiose, disegnatori, musicisti, imprenditori e startupper pronti a sviluppare e lanciare nuove idee sul mercato, e molto altro ancora. Persone con interessi e bagagli culturali molto diversi, acco-

munati dal bisogno e dalla voglia di trasformare idee in oggetti reali e pronti a condividere le proprie esperienze e capacità. I fablab sono luoghi ideali, terreno fertile per sviluppare nuove idee e far crescere l'innovazione, per far incontrare persone e competenze e creare nuove reti. Per questo sono considerati un elemento importante della quarta rivoluzione industriale. E sono anche un luogo perfetto per l'educazione e la didattica, dove gli studenti possono incontrare il mondo della ricerca e del lavoro e sperimentare le nuove tecnologie.

La fotonica

Di cosa è fatta la luce? Nella seconda metà del 1600 Isaac Newton formulò la sua ipotesi corpuscolare: la luce è composta da piccole particelle, corpuscoli di diverso colore che, scagliati da una sorgente luminosa, possono viaggiare e rimbalzare sugli oggetti portando informazioni ai nostri occhi. L'ipotesi corpuscolare è semplice ed elegante e permette di spiegare molti effetti come la riflessione e la rifrazione. Ma non è in grado di spiegare tutto ciò che conosciamo sulla luce. Per esempio, non è in grado di spiegare fenomeni di interferenza come i cangianti effetti di colore che si vedono sulle bolle di sapone o sulle superfici dei CD. Fu presto chiaro che per spiegare meglio il comportamento della luce bisognava pensare a delle onde, qualcosa di simile alle onde del mare o alle onde acustiche che compongono il suono.



Il "piano fotonico", uno dei laboratori creati nell'ambito del progetto Phablabs 4.0.

Nella seconda metà del 1800 la natura di queste onde divenne più chiara: si tratta di onde elettromagnetiche, perturbazioni del campo elettromagnetico che si propagano nello spazio, forse difficili da immaginare in modo intuitivo ma perfettamente spiegabili con le equazioni di Maxwell, le quattro equazioni in grado di descrivere tutti i fenomeni dell'elettricità e del magnetismo. Poco più avanti, nei primi anni del 1900, l'ipotesi corpuscolare si ripresentò in modo dirompente: nella maggior parte dei casi la luce si comporta effettivamente come un'onda, per esempio quando si propaga da un punto ad un altro. Ma ci sono situazioni particolari in cui la luce sembra comportarsi come se fosse formata da particelle o quanti, i cosiddetti "fotoni", in particolare quando interagisce con la materia. Per spiegare questa apparente contraddizione cominciò la ricerca che portò alla nascita della Meccanica Quantistica, una delle teorie più rivoluzionarie della Scienza. La realtà è che onde e particelle sono solo due semplificazioni, due approssimazioni che ci permettono di descrivere in modo intuitivo il comportamento di qualcosa che in realtà è più complesso, descrivibile solo in termini matematici. Chiamiamo "fotonica" la scienza che studia in modo approfondito la luce, in particolare l'interazione di questa (dei fotoni) con la materia. Lo studio della fotonica e le sue applicazioni si sta rivelando fondamentale per la nostra epoca. Basti pensare ai LED, che permettono un'illuminazione sempre di più basso impatto energetico, agli impianti fotovoltaici, sempre più efficienti, ai laser e alle loro mille applicazioni, alla diagnostica medica, alle comunicazioni in fibra ottica, alla vicina possibilità di avere strumenti di calcolo basati sulla luce e su singoli fotoni, e così via. Per tutte queste ragioni e per molto altro è opinione sempre più diffusa che la fotonica possa essere per il 21° secolo quello che l'elettronica è stata per il 20°, e che probabilmente molti studenti di oggi si troveranno a lavorare proprio in questo campo. Ancora una volta è importante non farsi trovare impreparati per questo appuntamento.

Una delle sfide lanciate nel progetto Phablabs 4.0 riguarda l'uso della luce nella moda e nel design.

Il progetto Phablabs 4.0

Come mettere insieme il mondo dei fablab e quello della fotonica e delle tecnologie basate sulla luce in vista della quarta rivoluzione industriale? Il progetto europeo Phablabs 4.0 affronta proprio questo problema. L'idea è riunire 11 istituti di ricerca di 10 diversi paesi europei

Ammonite, una lampada a sospensione realizzata dai partecipanti alla Challenge su luce, moda e design

(per l'Italia l'Istituto di Fotonica e Nanotecnologie del CNR) insieme a 14 importanti fablab europei (il fablab del Museo della Scienza MUSE di Trento ed il Fablab Milano per l'Italia) per portare ricercatori in prima linea nel campo della fotonica all'interno del mondo dei fablab, in contatto diretto con chi questo mondo lo anima. Lo scopo è trasferire le tecnologie della luce dentro i fablab e costruire insieme percorsi di sensibilizzazione ed educazione nel campo della fotonica e delle tecnologie digitali per studenti e giovani professionisti, utilizzando proprio i fablab come punto di incontro fra scuola, mondo della ricerca e mondo del lavoro. Per far questo prima di tutto è stato sviluppato e provato un pacchetto di 33 diversi laboratori realizzabili nei fablab per imparare a conoscere e sperimentare in modo pratico le tecnologie basate sulla luce, per esempio i LED, i laser, le celle fotovoltaiche, le fibre ottiche ecc. I laboratori sono modulati su tre fasce d'età (scuole medie, scuole superiori, giovani professionisti) e sono progettati per essere facilmente riproducibili grazie a dettagliate istruzioni scaricabili dal sito del progetto (www.phablabs.eu/photonics-workshops) e alla scelta di materiali di semplice reperibilità. Per fare giusto qualche esempio, in questi laboratori è possibile costruire un "pianoforte fotonico" basato su LED e fibre ottiche, modificare un orsacchiotto per farlo illuminare la notte, sperimentare le proprietà della luce grazie ad un puntatore laser e a semplici forme trasparenti realizzate nel fablab grazie al taglio

laser. Oltre i laboratori sono state lanciate diverse "challenge" in tutta Europa, sfide tecnologiche a tema in cui i partecipanti, con il supporto dei fablab e degli istituti di ricerca, sono chiamati ad inventare soluzioni originali basate sulla luce per affrontare diverse problematiche. Per esempio l'Italia ha lanciato due diverse sfide, una su moda e design, un'altra su musica, suono e luce (www.photonicschallenge.it). Le risposte sono state particolarmente interessanti. Giusto per fare un esempio, un gruppo di studentesse del Liceo Musicale A. Manzoni di Latina ha vinto la competizione italiana 2019 sviluppando "Magic Dress", un abito da concerto che si illumina in sintonia con la voce della cantante. Tirando le somme, il progetto Phablabs 4.0 è stato particolarmente efficace nel raggiungere i suoi obiettivi, rivelandosi un importante volano per lanciare nuove attività indipendenti che legano insieme mondo della ricerca e fablab.

In conclusione

In un mondo che cambia in modo rapido e spesso imprevedibile abbiamo bisogno di alcuni punti di riferimento e di strumenti fondamentali come cultura, conoscenza, sensibilità, preparazione. Abbiamo bisogno di guardare avanti, cominciare a comprendere le direzioni del cambiamento ed acquisire familiarità con i suoi diversi aspetti come l'Industria 4.0, il mondo dei fablab e le tecnologie della luce. E dobbiamo soprattutto cominciare a preparare le nuove generazioni, in modo che possano arrivare preparate al loro appuntamento.

Bibliografia

Massimo Temporelli, 2015, *Innovatori: Come pensano le persone che cambiano il mondo (Breve storia del futuro)*, Hoepli Editore.

Annalisa Magone, Tatiana Mazali, 2016, Industria 4.0. *Uomini e macchine nella fabbrica digitale*, goWare & Guerini e Associati SpA.

Fabio Chiarello, 2014, *L'Officina del meccanico quantistico, dal gatto di Schrödinger al Quantum Computing*, Maggioli CNR.

Piero Bianucci, 2015, *Vedere, guardare: dal microcosmo alle stelle, viaggio attraverso la luce*, Utet.

Federico Bosia, Nicola Pugno

Materiali strutturali biologici e bioinspirati

Abstract

I materiali sviluppati dall'uomo e utilizzati per applicazioni tecnologiche, in generale non sono multifunzionali, né tolleranti ai difetti, né auto-riparanti, né auto-pulenti, né gerarchici. Il contrario è vero per i materiali naturali, che manifestano queste proprietà nonostante siano "costruiti" usando un numero limitato di componenti di base estremamente comuni. Una comprensione approfondita del perché sia così potrebbe fornire la chiave per accelerare l'avvento di una nuova era basata su nuovi materiali. Questo è l'obiettivo della ricerca sui materiali bioispirati, che è in continua evoluzione e ha già fatto passi significativi verso questa meta.

I principi della bioispirazione

I vari esempi di strutture microscopiche dei materiali naturali sono una sorgente costante di ispirazione per la realizzazione di nuovi materiali artificiali per risolvere una serie di sfide tecnologiche nell'architettura, ingegneria meccanica, scienza dei materiali, e in molti altri campi. Questo approccio viene generalmente denominato "bioispirato", ed è basato sullo studio di materiali naturali per trarne delle analogie da applicare nella progettazione di nuovi materiali artificiali. Questa strategia è da sempre stata adottata dall'uomo nella storia per risolvere problemi tecnologici complessi, ma ultimamente si sono aperte nuove opportunità grazie alle nuove tecnologie e a nuovi nanomateriali quali i nanotubi di carbonio e il grafene. I nostri gruppi di ricerca all'Università di Torino e di Trento si occupano di questo tema ormai da più di 10 anni.

Tra i primi casi di bioispirazione documentati c'è la progettazione di Leonardo da Vinci delle ali per macchine volanti, partendo dallo studio dei volatili. Un altro esempio noto è quello del Velcro, inventato dall'ingegnere svizzero George de Mestral che osservò al ritorno da una passeggiata che il suo cane aveva dei fiori di bardana impigliati nel pelo: riproducendo con un materiale polimerico la forma delle brattee uncinate del fiore, ottenne il famoso sistema di chiusura a strappo utilizzato universalmente. Altri esempi sono il treno veloce giapponese Shinkkansen, la cui forma è modellata su quella del Martin pescatore, che conferisce al treno un profilo aerodinamico che permette di raggiungere velocità superiori a 300 km/h; i costumi LZR Racer della Speedo, con cui furono vinte il 98% delle medaglie alle olimpiadi di Beijing (prima di essere vietati, per cosiddetto "doping tecnologico"), che imitavano la struttura a scaglie della pelle di squalo per una riduzione

dell'attrito idrodinamico ed una maggiore galleggiabilità; o l'Eastport Building a Harare, Zimbabwe, che replicando la struttura interna di un termitaio permette una regolazione termica naturale dell'edificio con variazioni massime di 1°C, in presenza di variazioni esterne di temperatura dai 3 ai 42 °C.

Il motivo per cui un approccio bioispirato è desiderabile appare evidente: la natura ha avuto a disposizione milioni di anni di processi evolutivi per ottimizzare i suoi materiali per determinate funzioni. Il compito dello scienziato dei materiali (o del fisico, o dell'ingegnere...) è dunque di capire quale (o quali) proprietà fisiche o meccaniche siano state ottimizzate, e in presenza di quali condizioni esterne (disponibilità di materie prime, condizioni climatiche, ecosistema, ecc). In genere, infatti, i materiali biologici sono multifunzionali, ovvero sono costruiti specificamente per svolgere molteplici funzioni. Le penne di un volatile servono per volare, ma anche per mimetizzarsi e per fornire isolamento termico. Le ossa forniscono rigidità strutturale, ma servono anche a generare globuli rossi del sangue e proteggere gli organi interni. La citata pelle di squalo è strutturata a micro-scaglie e permette proprietà idrodinamiche ottimizzate, ma anche un'elevata resistenza meccanica pur rimanendo flessibile, o delle proprietà anti-parassitarie, minimizzando l'area a cui i microorganismi possono aderire.

Fig. 1: Progetto di un'ala artificiale di Leonardo da Vinci.

Materiali strutturali naturali

In generale, i criteri di "fabbricazione" dei materiali naturali sono diversi da quelli comunemente utilizzati dall'uomo per i materiali artificiali. In natura, vengono utilizzati pochi elementi costitutivi per sintetizzare una varietà di polimeri e minerali. Al contrario, la storia dell'uomo è segnata dall'uso di molti elementi che sono relativamente rari in natura (basti pensare alle età del rame, del bronzo, del ferro, o alla rivoluzione industriale basata sull'acciaio, e quella digitale basata sul silicio), per i quali sono in genere necessarie elevate temperature di fabbricazione, impossibili per organismi biologici. I materiali biologici crescono secondo una "ricetta" scritta nei geni, mentre quelli naturali sono fabbricati secondo un progetto esatto. Di conseguenza, nei materiali biologici nasce spontaneamente una strutturazione di tipo gerarchico a vari livelli di scala, un adattamento della forma e struttura alla funzione, una capacità di modellamento (e ri-modellamento) in funzione

di condizioni esterne che variano, combinata spesso a delle capacità di autoriparazione. Queste caratteristiche sono difficili da riprodurre artificialmente, ma sono degli obiettivi a lungo termine che la scienza dei materiali si pone adottando un approccio bioispirato: creare delle strutture adattabili agli stimoli esterni, multifunzionali e autoriparanti. Più modestamente, degli obiettivi più a breve termine sono di avvicinarsi ad alcune caratteristiche fisiche e meccaniche eccezionali di alcuni materiali naturali.

Una delle caratteristiche più notevoli di alcuni materiali naturali è di coniugare un'elevata resistenza meccanica (la capacità di resistere a forze elevate senza rompersi) con una notevole tenacità (la capacità di dissipare molta energia elastica prima di rompersi). I materiali artificiali attualmente sono o resistenti ma fragili (come le ceramiche) o tenaci ma poco resistenti (come i metalli). Anche i materiali compositi rinforzati con fibre di vetro o carbonio, considerati materiali di punta nell'aeronautica o nell'automotive, hanno delle performance limitate da questo punto di vista.

Consideriamo ad esempio la tela di ragno: vi sono numerosi tipi di tela, con caratteristiche e funzioni diverse (i fili radiali o circonferenziali nella ragnatela per la cattura di prede, gli ancoraggi per sostenere la ragnatela, altri per avvolgere e proteggere le uova, o per permettere la mobilità di un ragno sospeso…), e ogni specie di ragno è in grado di produrne sino a 7 tipi diversi usando delle ghiandole specializzate. La tela radiale in una ragnatela (*dragline*) ha una resistenza paragonabile all'acciaio, ma è in grado di deformarsi almeno 10 volte tanto prima di giungere a rottura. Questo è dovuto alla sua struttura gerarchica, che parte al livello molecolare con delle catene polipeptidiche legate con legami idrogeno, continua alla nanoscala con cristalli "beta sheet"

Fig. 2: Tela di Caerostris darwini (credit: Gabriele Greco@UniTn).

immersi in una matrice amorfa polipeptifica, alla microscala con domini poliamorfi e cristallini nel singolo filo di tela e successivamente in intrecci multipli di fili, sino alle dimensioni di millimetri e centimentri della ragnatela stessa. Questa struttura gerarchica è responsabile per il comportamento elastico nonlineare della tela macroscopica, il che dà luogo a grandi deformazioni ed una elevata resistenza agli impatti.

Un altro esempio di materiale nano-composito naturale sono i denti di Patella (*Patella vulgata*), un mollusco marino comune in Europa: questo si aggancia alle rocce con una "radula" fornita di varie file di denti; ogni dente è lungo circa 100 micron, ed è costituito da una matrice di chitina rinforzata da nanofibre di goethite (un minerale di idrossido di ferro) di lunghezza di 3 micron e diametro di 20 nm, orientate in maniera variabile lungo il dente. Abbiamo dimostrato recentemente che questo materiale è il più resistente in natura, con valori vicini a quelli delle migliori fibre di carbonio attualmente disponibili.

I denti di Patella superano in durezza le conchiglie di madreperla, una delle strutture biologiche più note ed imitate. Essa ha una microstruttura a "mattoni" minerali sottili e lunghi di 0.5 micrometri di aragonite, separati da un "cemento" biopolimerico di chitina, con struttura sovrapposta che allungano il "tragitto" delle fratture all'interno del materiale, conferendogli un'elevata tenacità e resistenza agli impatti.

Anche la struttura del cranio di un picchio è un notevole esempio di adattamento strutturale in natura, nel caso specifico per risolvere il problema di attutire gli impatti e le vibrazioni che ne derivano. Il picchio martella la superficie dura di un tronco dalle 18 alle 22 volte al secondo con una decelerazione all'impatto di 1200 volte l'accelerazione di gravità, senza evidenza di alterazione dei riflessi o di danneggiamento del cervello (a titolo di esempio, un uomo perde conoscenza a circa 5g). Questo è dovuto alla particolare struttura del tessuto osseo spugnoso nella parte frontale del cranio del picchio, che attenua buona parte delle alte frequenze di vibrazione (quelle più energetiche) iniziali, agendo come un filtro passa basso.

Il geco è uno degli esempi più noti di adesione ottimizzata in natura: questo animale è in grado di aderire efficacemente a vari tipi di superficie, sostenendo anche 10 volte il suo stesso peso per ore, e senza usare colle. La sua adesione è puramente dovuta a forze elettrostatiche (cosiddette di van der Waals) ed è pienamente reversibile, ovvero il

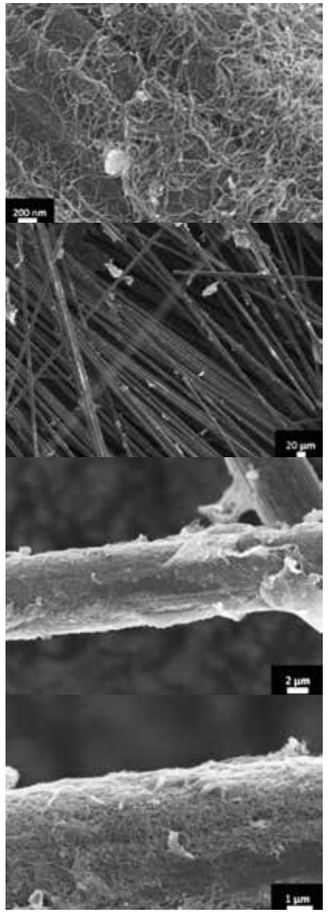


Fig. 3: Immagini al microscopio elettronico della superficie di microfiber in un composite gerarchico a diversi ingrandimenti: a) 2500 X b) 10000 X c) 25000 X d) 200000 X.

geco attacca e stacca ripetutamente le zampe senza perdere efficacia (al contrario ad es. di un nastro di scotch). Questo è dovuto alla micro- e nano-struttura gerarchica della superficie delle zampe, che si divide ripetutamente via via in contatti sempre più piccoli, sino agli oltre 3 miliardi di contatti a forma di sottili nastri (setae e spatulae), della dimensione di qualche centinaio di nanometri. Controllando l'angolo di contatto di questi ultimi, il geco può controllare la forza di adesione, ottenendo se necessario un distacco facilitato.

Materiali artificiali bioispirati

I materiali artificiali normalmente considerati più appropriati per applicazioni ad alte performance sono i materiali compositi, costituiti generalmente da una matrice polimerica rinforzata da microfibre di carbonio o vetro, le quali forniscono rigidità strutturale. Negli ultimi anni si sono aperte nuove opportunità per i materiali compositi con l'introduzione di nanomateriali quali i nanotubi di carbonio o il grafene, che presentano i valori più elevati di resistenza meccanica registrati in assoluto finora, insieme al diamante (tra i 60 e i 120 GPa, 100 volte più dell'acciaio). La loro introduzione nei materiali compositi, tuttavia, ha finora prodotto risultati deludenti, con proprietà meccaniche inferiori mediamente di 10 volte a quelle attese. È nata dunque l'idea di imitare alcune delle strutture osservate in natura per organizzare opportunamente questi nuovi nano-materiali nei compositi, in modo da sfruttare a pieno le loro caratteristiche. Questo implica l'utilizzo di approcci bioispirati.

Un'idea che è stata introdotta da vari gruppi è quella di materiali compositi gerarchici, in cui vengono utilizzate per rinforzo sia microfibre di carbonio convenzionali che nanotubi di carbonio. Il tipo di organizzazione di tali fibre all'interno della matrice polimerica è però essenziale: se i nanotubi sono dispersi in maniera casuale all'interno di essa, le proprietà macroscopiche del composito non migliorano. Se invece i nanotubi sono fatti crescere ("grafted") sulla superficie delle microfibre di carbonio, in modo da formare su di esse un ricoprimento uniforme (una sorta di tappeto peloso), aumentano notevolmente le proprietà di interfaccia con la matrice e di conseguenza la tenacità complessiva del materiale composito.

Un'altra strategia bioispirata per migliorare le proprietà meccaniche di materiali fibrosi o di tessuti, è quella di introdurre dei nodi di scorrimento nelle fibre. Se queste vengono ora sottoposte a sforzi di trazione, i nodi scorrono su con attrito (dissipando energia) sino a sciogliersi. Questo fa sì che le fibre abbiano praticamente le stesse proprietà di resistenza alla frattura, ma una tenacità enormemente superiore. Questa strategia è già stata applicata con successo su microfibre di vario genere (ad es Kevlar), ma anche a livello nanometrico su fasci di nanotubi di carbonio, ottenendo valori record di resistenza e tenacità.

La nuova frontiera nei materiali bioispirati è considerata da molti essere lo sviluppo di materiali autoriparanti, in grado di rallentare l'avanzamento del danno e in alcuni casi di ripristinare il materiale integro, come avviene ad esempio per la pelle o le ossa. Esistono già varie strategie per realizzare questo processo nei materiali artificiali. La prima consiste nell'integrazione nel materiale di capsule contenenti dell'agente riparante (tipicamente una colla); in presenza di una frattura, una o più capsule si rompono, rilasciando l'agente che viene in contatto con un catalizzatore nella matrice, e reagisce solidificandosi e riparando almeno parte della zona danneggiata. Per ottenere una riparazione ripetuta negli stessi siti, sono in seguito stati sviluppati sistemi vascolari, in cui fare scorrere in modo continuo l'agente riparante, e nel caso degli elastomeri (polimeri soffici), viene sfruttata la reversibilità del legame ad idrogeno fra le molecole del materiale. In presenza di caratteristiche di autoriparazione, è possibile allungare il tempo di vita di un materiale soggetto a danneggiamento, ma anche la sua resistenza e soprattutto la sua tenacità.

Per il controllo di vibrazioni negli ultimi anni sono stati sviluppati i cosiddetti metamateriali, ovvero materiali compositi con strutture tipicamente periodiche, che permettono di ottenere effetti di riflessione collettiva delle onde elastiche o di risonanza locale di elementi singoli, raggiungendo dei livelli di attenuazione eccezionali. È stato osservato che questo genere di organizzazione periodica compare anche in natura, ad es. nella struttura interna delle diatomee, ma a diversi livelli di scala, con organizzazione gerarchica. È stato dunque preso in prestito questo principio di costruzione per sviluppare dei metamateriali gerarchici, che hanno come vantaggio il controllo e attenuazione di onde elastiche a varie scale di frequenze anziché in una sola, come normalmente accade per i metamateriali convenzionali. Data la scalabilità dei risultati ottenuti, è possibile pensare ad un utilizzo di queste strutture

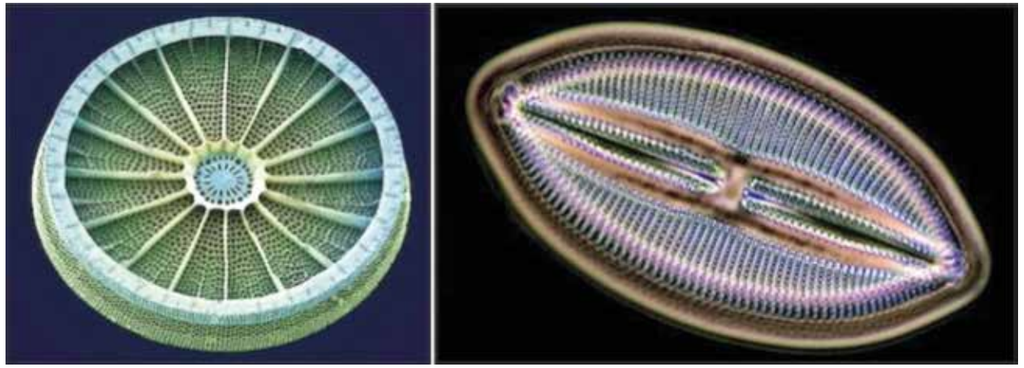


Fig. 4: Esempio di strutture gerarchiche che compaiono nelle Diatomee

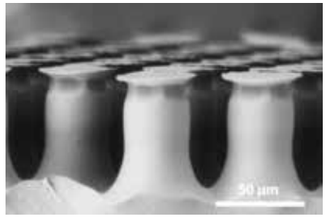


Fig. 5: Un adesivo bioispirato è una superficie dotata di microstrutture che imitano i peletti sulle zampe di geco (Immagine tratta da: © Emre Kizilkan)

per controllare vari tipi di onde elastiche con varie lunghezze d'onda caratteristiche; persino per abbattere l'energia delle onde sismiche (con lunghezze d'onda di centinaia di metri) e proteggere siti distribuiti come piccoli borghi o infrastrutture critiche.

Lo studio del geco e di altri organismi che ottimizzano l'adesione e l'attrito ha portato alla comprensione dei loro meccanismi fondamentali e alla formulazione ad esempio di nuove teorie sull'adesione di contatti multipli. Questo ha portato alla realizzazione di adesivi bioispirati basati sulle forze di van der Waals, costituiti da un gran numero di strutture a forma di fungo di dimensioni micrometriche distribuite sulla superficie, che venendo a contatto con un substrato funzionano come i peletti del geco, e assicurano una forte e reversibile adesione. In questo modo potranno forse essere realizzate in futuro delle applicazioni fantascientifiche, ad es. dei guanti superadesivi, finora viste solo nei fumetti dell'uomo ragno o nei film della serie "Mission impossible".

Gian Nicola Cabizza

Dante, Beatrice e la natura delle macchie lunari, prime luci sul rinascimento

Abstract

Nel poema dantesco i riferimenti alla Luna hanno finalità diverse: più frequentemente sono didattici, funzionali a chiarire concetti di astronomia sferica, in qualche caso sono squisitamente poetici, ma nel canto II del Paradiso la discussione tra Dante e Beatrice sulla natura delle macchie lunari entra nel merito degli aspetti fisici del nostro satellite.

In questi versi vediamo il percorso culturale di Dante che, dalla interpretazione di Averroè sulla natura delle macchie lunari, passa al più recente punto di vista di Tommaso D'Acquino. Di grande interesse l'esperimento ideale dei tre specchi proposto da Beatrice, metodo di indagine che poi vedremo ampiamente sviluppato in Galileo. Possiamo dire che in questi versi appare un raggio di luce che si proietta nel Rinascimento.

Sappiamo oggi che, circa 4,5 miliardi di anni fa, un pianeta delle dimensioni di Marte, chiamato Teia, è entrato in collisione con la Terra venendone in gran parte inglobato. Una parte del mantello terrestre è stata strappata via e si è successivamente aggregata in un corpo minore, la nostra Luna.

Circa mezzo miliardo di anni dopo, la Luna ha subito un lungo e imponente bombardamento. La prima fase era caratterizzata da grandi impatti di corpi di grosse dimensioni che, fondendo ampi tratti della superficie lunare, hanno generato le strutture più scure chiamate "mari". La fase successiva, durata fino a circa un miliardo di anni fa, costituita dalla caduta di corpi di dimensioni minori, ha generato la miriade di crateri che osserviamo al telescopio. Nella figura 1, i crateri Tycho in basso, Copernico a sinistra, caratterizzati da strutture radiali chiare prodotte dal materiale eiettato nell'impatto (Figura 1), sono relativamente recenti, con un'età dell'ordine di 100 milioni di anni (Tycho) e di 800 milioni di anni (Copernico).

La Terra ha subito lo stesso bombardamento, ma la crosta terrestre, a causa dei movimenti tettonici, si rinnova in circa 200 milioni di anni, per cui si sono conservati solo gli sporadici crateri più recenti.

Quattro secoli fa, è con Galileo Galilei che le nebbie sulla natura delle macchie lunari si dipanano. Galileo ha modo di osservare "le molte eminenze e cavità che si vedono mercé del telescopio" (*Dialogo sopra i massimi sistemi del mondo*, prima giornata) e di constatare come le macchie siano dovute alla diversa natura del suolo lunare, caratterizzato da ampie pianure, chiamate "mari", e zone più chiare e accidentate, disseminate di numerosi crateri e montagne. Inoltre, sempre nella prima giornata del *Dialogo*, Galileo dimostra, senza fare uso del telescopio, che la Luna ha una superficie scabra e rocciosa al pari della Ter-