

BIOMIMETICA



La biomimetica e la bionica sono considerati campi scientifici all'avanguardia. Il nome biomimetica così come lo intendiamo nasce negli anni '80. La bionica viene considerata da taluni sinonimo della biomimetica e da altri un'evoluzione tecnologica della prima.

Va precisato che sin dall'origini l'uomo si è ispirato alla natura come si evidenzia in molti dipinti medievali. Ci sono elementi che più di altri hanno attirato la nostra attenzione a partire dal volo. Famose le macchine di Leonardo



Biomimetica: Disciplina che studia i sistemi biologici e i diversi organismi per sviluppare tecnologie e processi ad essa ispirate che sono applicabili in diversi contesti produttivi e della società. Bionica: in senso più ristretto si limita ad osservare e imitare più a sistemi in movimento.

OSSERVAZIONE

Le prime ispirazioni dal mondo vegetali nascono semplicemente osservando le superfici.

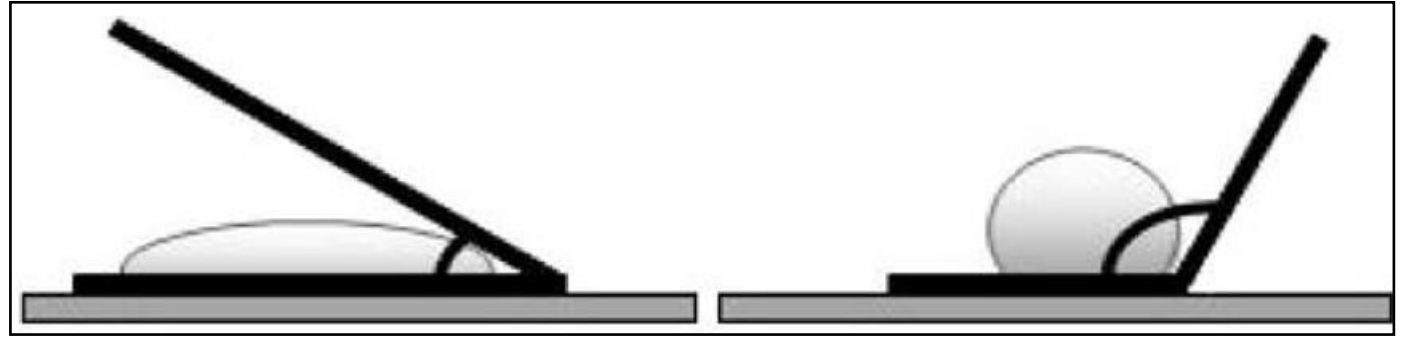
Le notevoli capacità repellenti e autopulenti delle foglie di loto sono menzionate già nel II secolo a.C. nelle poesie cinesi. Nel I secolo d.C., Plinio il Vecchio in *Naturalis Historia* parla delle goccioline su foglie pelose e della loro impermeabilità.



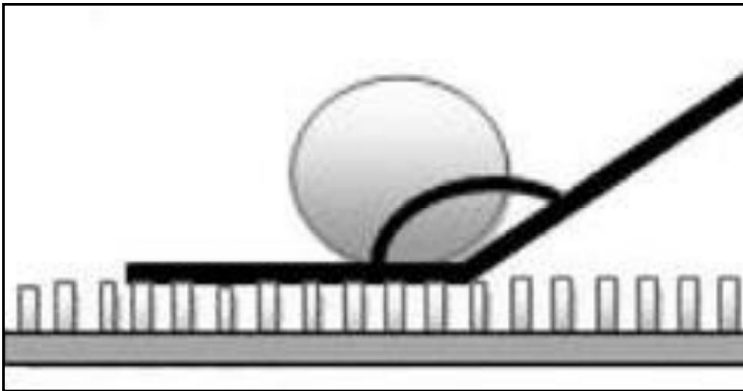
JW von Goethe (1820) è più preciso: Le gocce di pioggia rimangono su certe foglie come sfere perfette, che attribuiamo a un essere essudato... e continua nello stesso contesto: La superficie di una prugna matura. Questa è una descrizione quasi concisa della idrofobicità. Ma nello stesso testo parla anche del colore blu delle bucce. Si entra quindi in un'altra proprietà delle superfici ovvero quella di diffusione e riflessione della luce causata da cere epicuticolari strutturate gerarchicamente.

0 super-Idrofobicità

L' idrofobicità è calcolata dall'angolo di contatto che tra la goccia e la superficie.



Bassi angoli (<math><90^\circ</math>) corrispondono ad alta bagnabilità e sono tipiche di superfici idrofiliche (es. carta e vetri non trattati); al contrario alti angoli di contatto corrispondono a una bassa bagnabilità e si trovano nelle superficie idrofobica. Se gli angoli superano i 150 si parla di superfici superidrofobiche. Questo angolo dipende dalle proprietà di tensione superficiale dell'acqua e da forze esterne che sono connesse alla superficie di contatto.



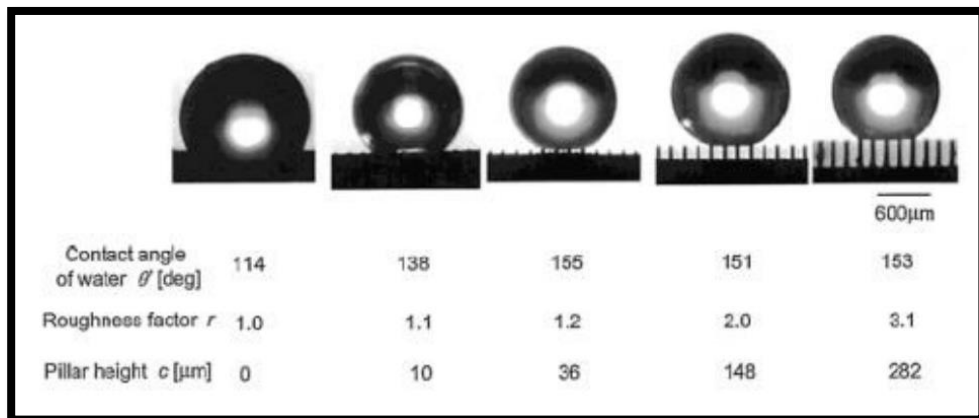
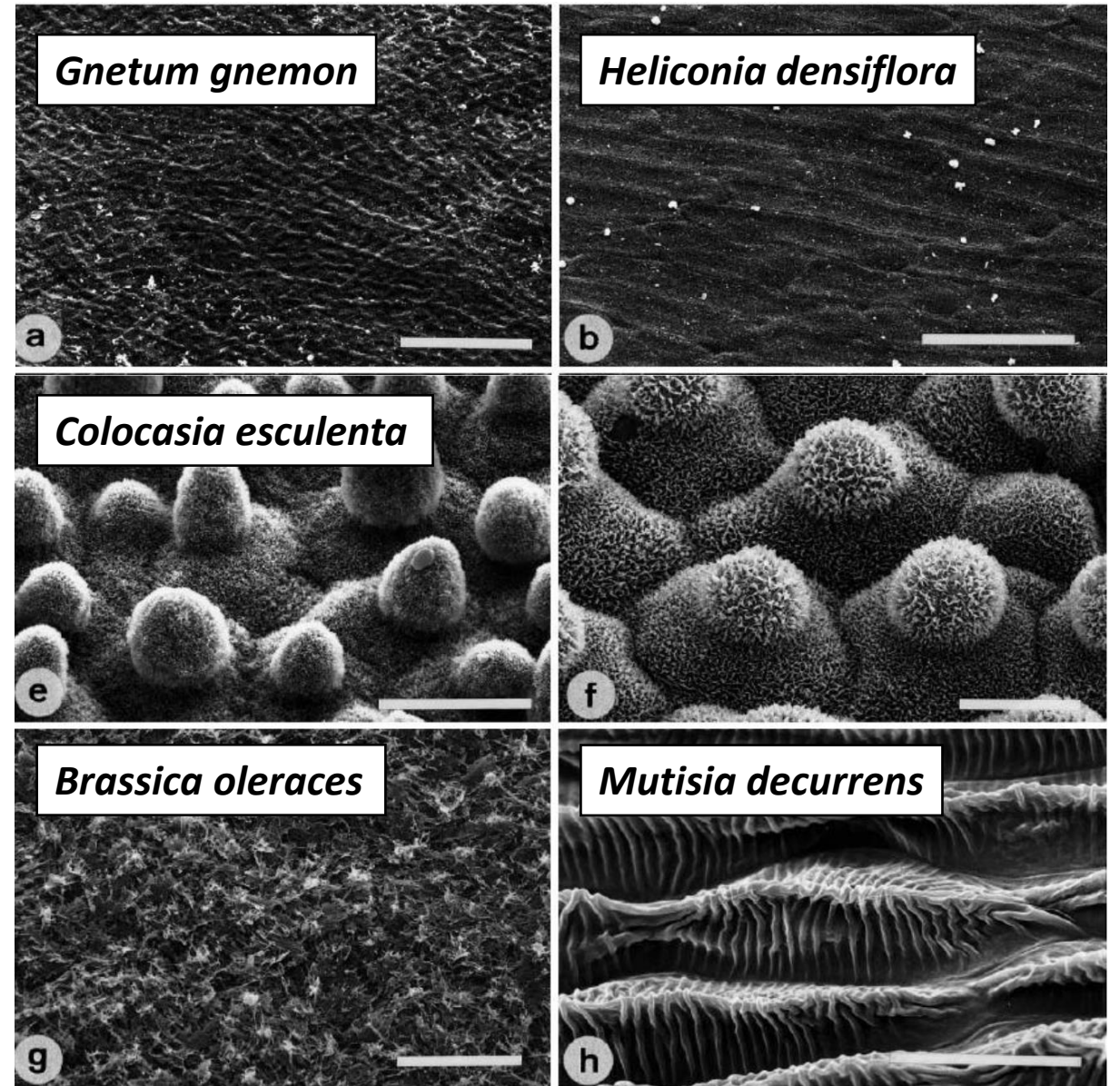
Nelle foglie di loto vi sono cristalli di cere idrofobica di dimensioni nanometriche che rendono la superficie ruvida. Queste ruvidità **RIDUCE** la forza d'interazione tra liquido ed solido (solido=superficie della foglia) che tendono a far appiattare le gocce sulla superficie. Al tempo stesso questa struttura cerosa **SUPPORTA** le forze di coesione della goccia che sono alla base della forma sferica delle gocce d'acqua in assenza di forze esterne. Ecco perché le gocce sulla foglia di loto non si allargano e appiattiscono.



Le superfici superidrofobiche si trovano in numerose piante e possono essere misurate con appositi strumenti come il Telescopio-Goniometrico'. Sono sistemi di difesa dagli agenti esterni dall'acqua alla luce e sono determinati da genotipo e fenotipo.

Plant species	CA
<i>Heliconia densiflora</i>	28.4 ± 4.3
<i>Gnetum gnemon</i>	55.4 ± 2.7
<i>Magnolia denudata</i>	88.9 ± 6.9
<i>Fagus sylvatica</i>	71.7 ± 8.8
<i>Nelumbo nucifera</i>	160.4 ± 0.7
<i>Colocasia esculenta</i>	159.7 ± 1.4
<i>Brassica oleracea</i>	160.3 ± 0.8
<i>Mutisia decurrens</i>	128.4 ± 3.6

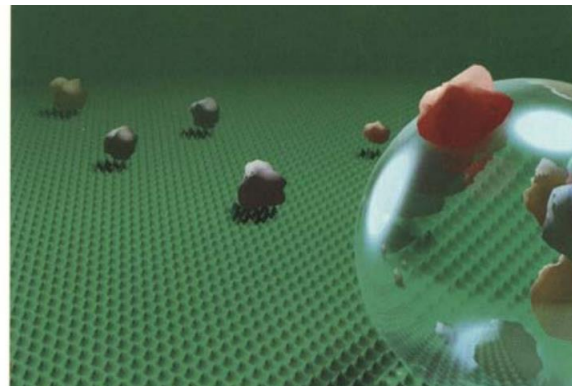
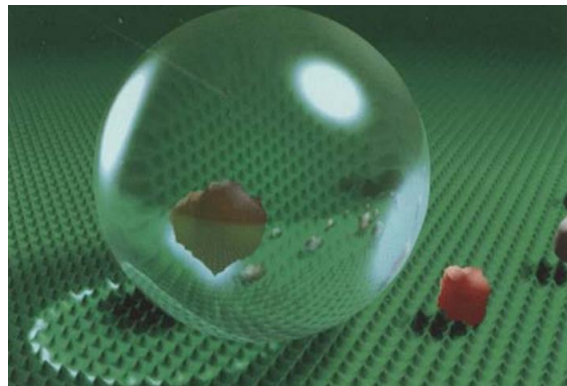
Come si può osservare dalle immagini al ME le foglie delle specie più idrofobiche hanno superfici molto ruvide che minimizzano gli angoli di contatto e mantengono le gocce sferiche. Queste le fa scivolare via velocemente!



Idrofobicità e autopulizia

Il meccanismo di 'scivolamento' delle gocce viene anche aiutato dalla reale superficie di contatto tra la goccia d'acqua e la foglia. Nel fiore di loto si stima sia solo il 3% di quella apparente, per cui il peso della goccia la fa scivolare via.

La ruvidità della foglia è utilissima anche per l'effetto AUTOPULENTE, perché le gocce rotolano lungo la foglia, mentre su una superficie liscia ci sarebbe più un effetto scivolo. Quest'ultimo renderebbe meno efficace l'asportazione dello sporco.



IMITARE LE FOGLIE O USARE LE CERE

Le cere delle piante sono state oggetto di numerosi studi macro e microscopici per capire come rendessero impermeabili superfici 'artificiali'. Un tubo per acqua o una superficie super-idrofobica renderebbe la resistenza di un fluido minima e ridurrebbe i costi energetici per 'spingere' i fluidi.

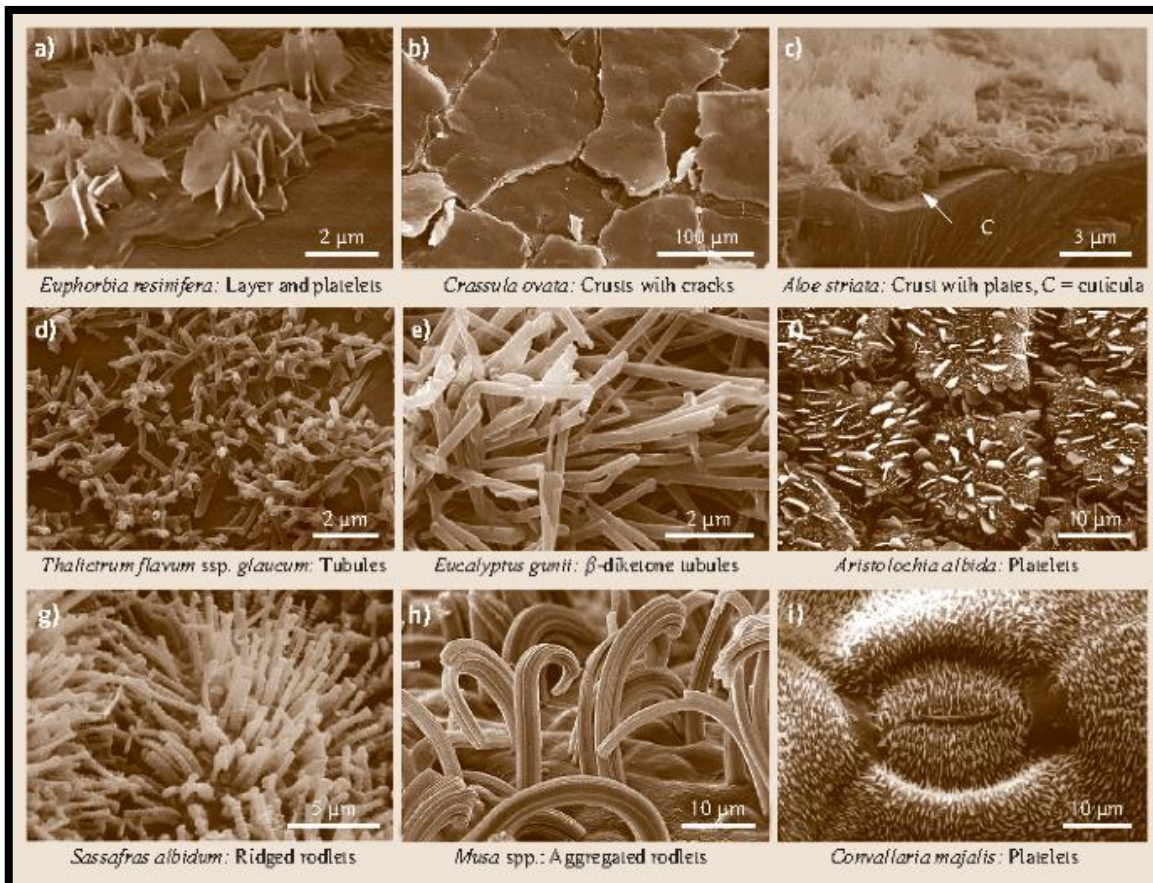
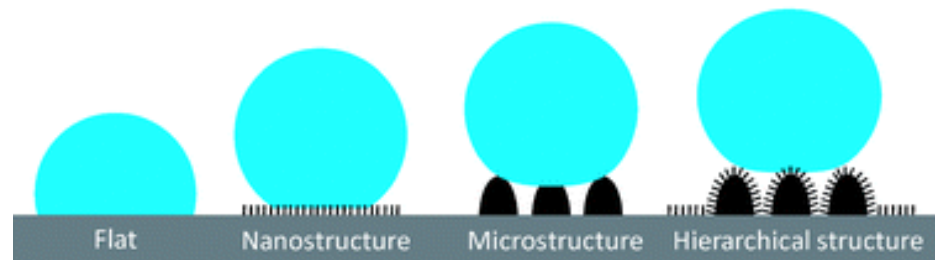
La ricerca ha individuato diverse strategie basate su materiali nano e microstrutturali tuttavia anche per capire come distribuirli è fondamentale valutare come le cere si relazionano alla cuticola delle foglie in natura.

Sono stati eseguiti diverse analisi su specie differenti ed è stato osservato che le cere si presentano in 2 modi:

- a) 'materiale di riempimento' all'interno della rete di base della cutina (intracuticolare)
- B) materiali di superficie ovvero possono essere semplicemente disposte al di sopra della cuticola (epicuticolare).

Questo ha ispirato sia la progettazione delle superfici, sia i meccanismi di trattamento chimico e fisico da adottare che possono essere superficiali o profondi.

Wetting of four different surfaces



Materiali e trattamenti

In generale le cere sono idrocarburi a catena lunga ed in base alla composizione possono avere microstrutture differenti. Analizzando la biodiversità è possibile individuare cere differenti e valutarne le performance.



Una grande produttrice di cere commerciali è la palma a ventaglio *Copernicia prunifera*; questa pianta genera enormi croste di cera epicuticolare, del peso di diversi milligrammi che possono essere estratte anche con procedure green.

Questa cera è molto apprezzata per rendere impermeabili e lucide molti oggetti o per lucidare auto e mobili sino a incapsulare attivi medicali e per fare caramelle.



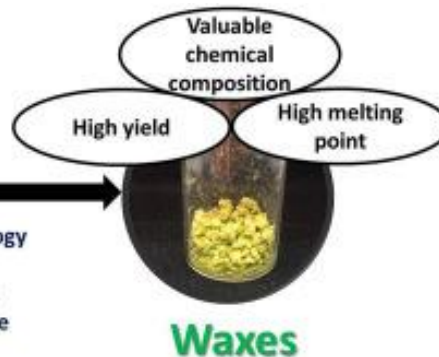
Date palm leaves



Abundant low value agricultural-waste

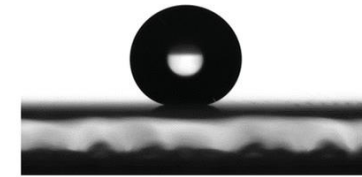
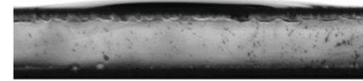
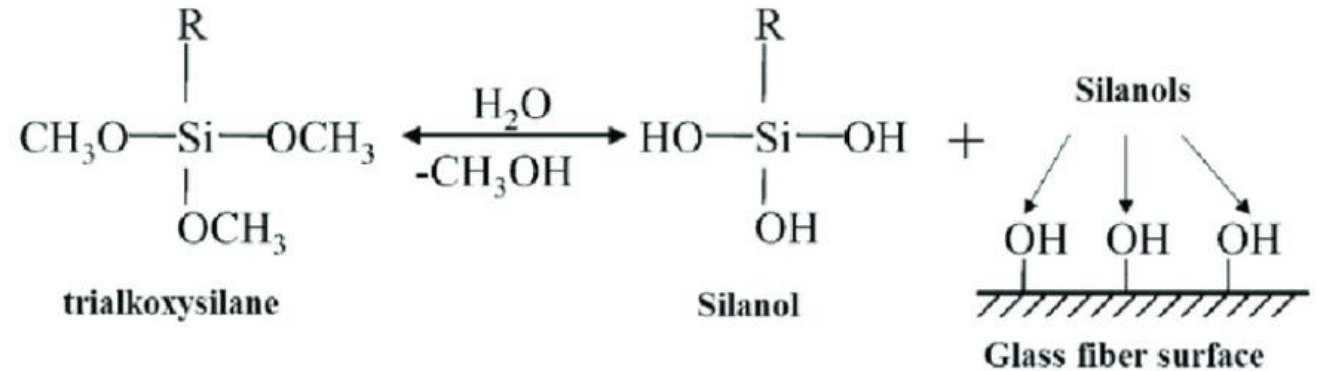
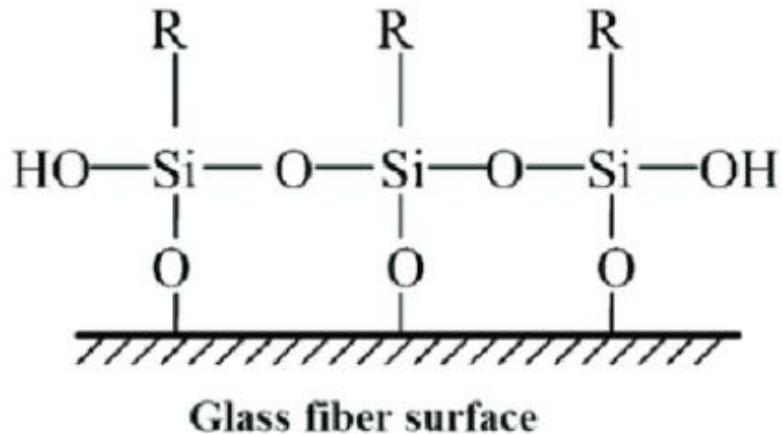
ScCO₂
extraction

- ✓ Green extraction technology
- ✓ Efficient process
- ✓ Selective fractionation
- ✓ Low cost of manufacture



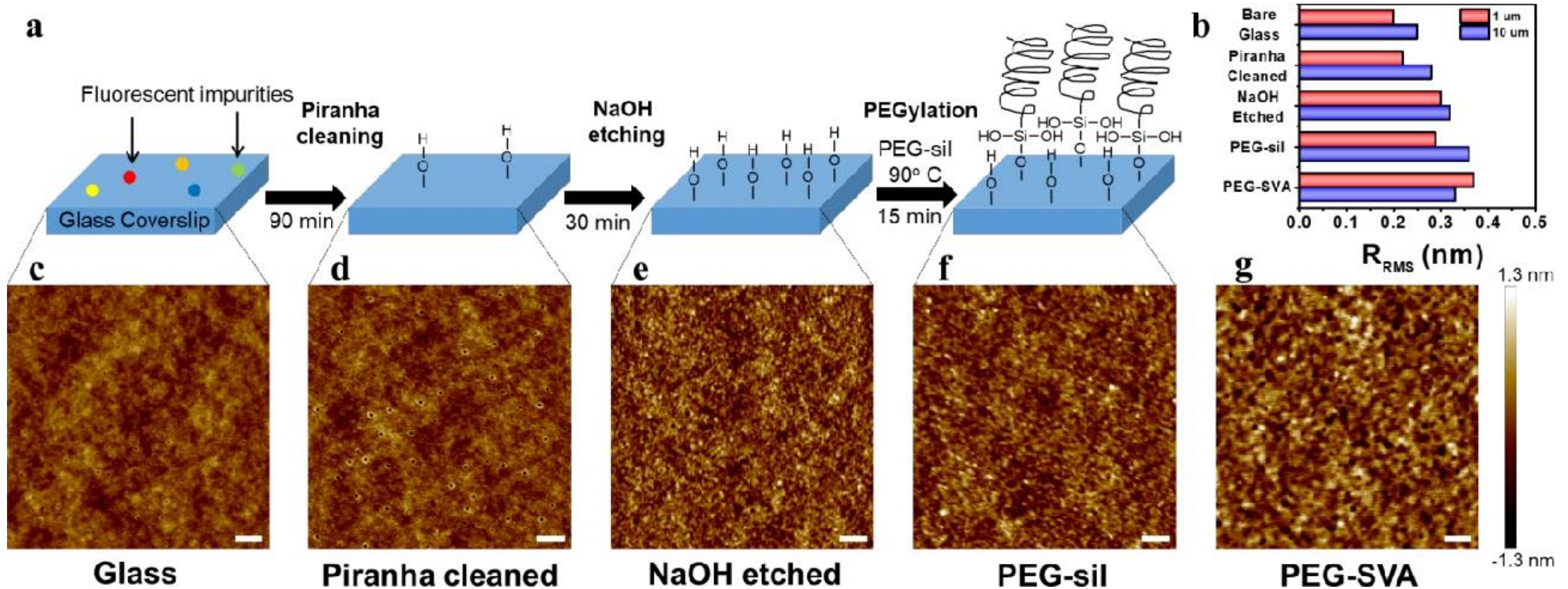
Materiali e trattamenti

Spesso le cere naturali sono costose e poco maneggiabili chimicamente. Si preferisce usare molecole di sintesi come i silani che sono composti a base di silicio che possono essere combinati tra di loro. A volte i sostituiti possono essere atomi di cloro e fluoro. Sfruttando ragioni precise chimiche è possibile ottenere particelle nanometriche di silani da depositare su qualsiasi superficie. Queste particelle formano una sorta di gel vischioso con una matrice densa che una volta asciugata forma uno strato compatto e resistente.



Materiali e trattamenti

La biomimetica e l'ing. Chimica operano per migliorare sia l'efficienza dei trattamenti, sia i processi per ottenere tali superfici. Di seguito si riporta un esempio di combinazione di nanomateriali di silani combinati con PEG. Questo sistema come si vede dalle immagini al ME permette di aumentare la 'ruvidità' delle superfici trattate e le rende quindi super idrofobiche.



Schematic procedure for surface functionalization using PEG-sil. (b) Roughness of surfaces at different stages and areas (1 and 10 μm^2). Atomic Force Microscopy images

Trattamenti FISICI

Per ottenere l'effetto loto campione di metalli possono essere lavorati con un laser pulsato, il quale produce delle microscalanature su cui si formano nanostrutture granulose. La struttura altera la superficie dei tre materiali conferendole proprietà idrofobiche.

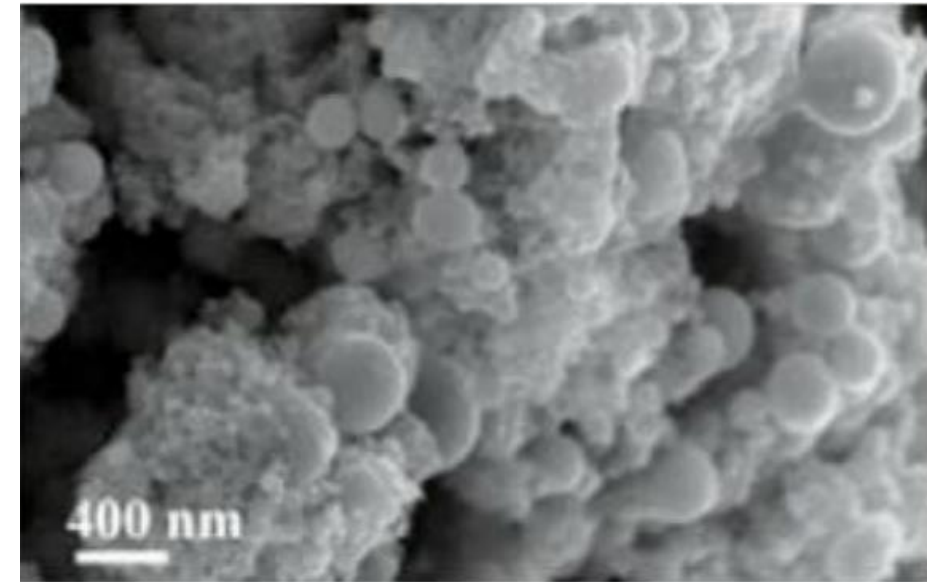
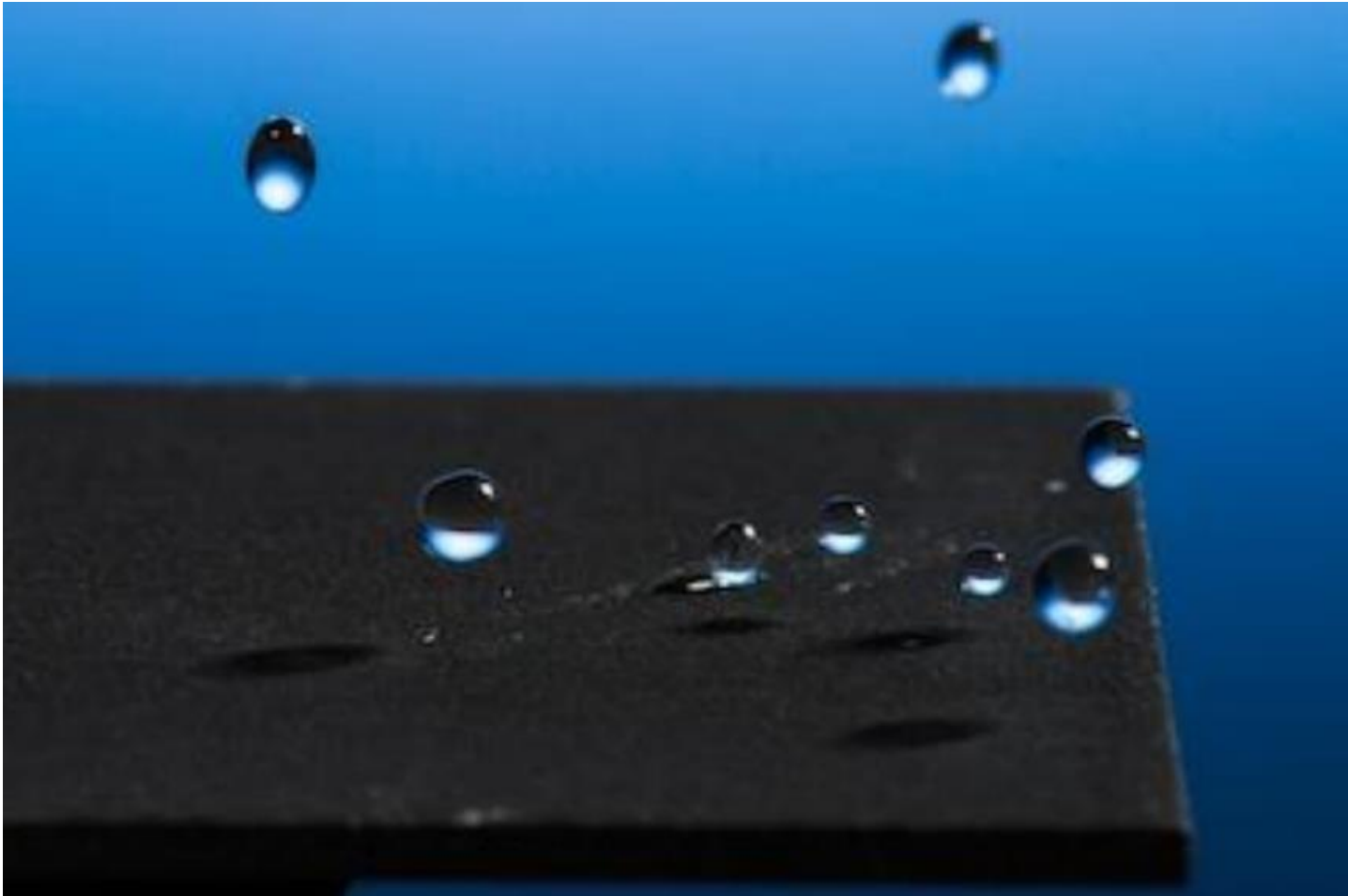


Fig. 1 A femtosecond laser created detailed hierarchical structures in the metals, as shown in this SEM image of the platinum surface. (Source: The Guo Lab, U. Rochester)

Casi di Successo

Lotusan produce pitture e intonaci a tecnologia Lotus-Effect®. Queste vernici rendono le superfici sia repellenti all'acqua, sia in grado di essere pulirsi autonomamente.



Lot'o'dry è un sistema di trattamento di tessuti (famiglia di brevetti) - proprietario Taiana - che viene ampiamente impiegato soprattutto per abbigliamento tecnico. I tessuti trattati hanno aumentate performance di idrorepellenza e autopulenti.

Lot  *dry*



Casi di Successo

La biomimetica vegetale ha ispirato anche l'arte e l'architettura. Un pioniere è l'architetto Luc Schuiten che osservando il Loto ha pensato ad un modello di città sostenibile con i tetti superidrofobici e sistemi futuristici per incanalare l'acqua.



Ispirati dai Tricomi

I tricomi sono stata un'altra grande fonte di ispirazione per il mondo dell'ingegneria e della biomimetica. Si sottolinea che possono aver forme e densità diverse.

JOURNAL
OF
THE ROYAL
SOCIETY
Interface

rsif.royalsocietypublishing.org

Entrapment of bed bugs by leaf trichomes inspires microfabrication of biomimetic surfaces

Megan W. Szyndler¹, Kenneth F. Haynes³, Michael F. Potter³, Robert M. Corn¹ and Catherine Loudon²

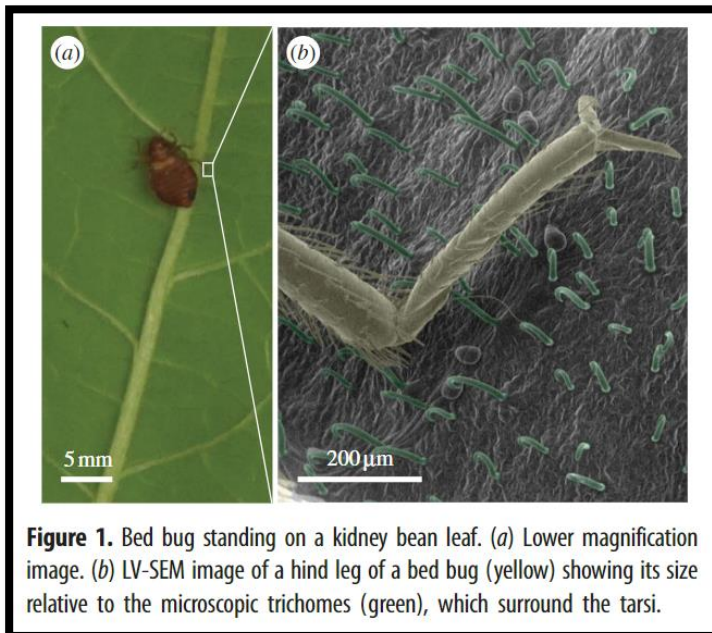


Figure 1. Bed bug standing on a kidney bean leaf. (a) Lower magnification image. (b) LV-SEM image of a hind leg of a bed bug (yellow) showing its size relative to the microscopic trichomes (green), which surround the tarsi.

In questo studio hanno valutato come i tricomi possano essere usati per intrappolare le cimici. E' noto che alcune leguminose hanno questa proprietà ovvero di catturare fisicamente le cimici sulle foglie bloccando e trafiggendo le zampe.

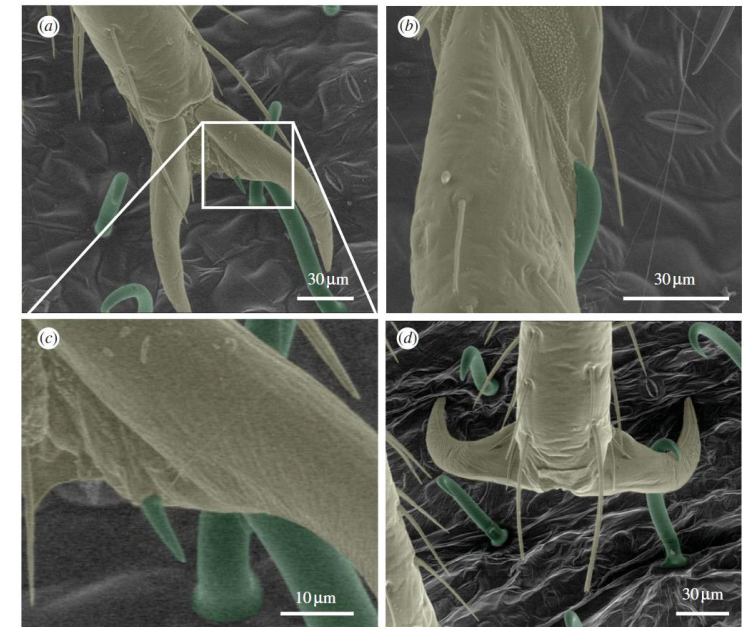
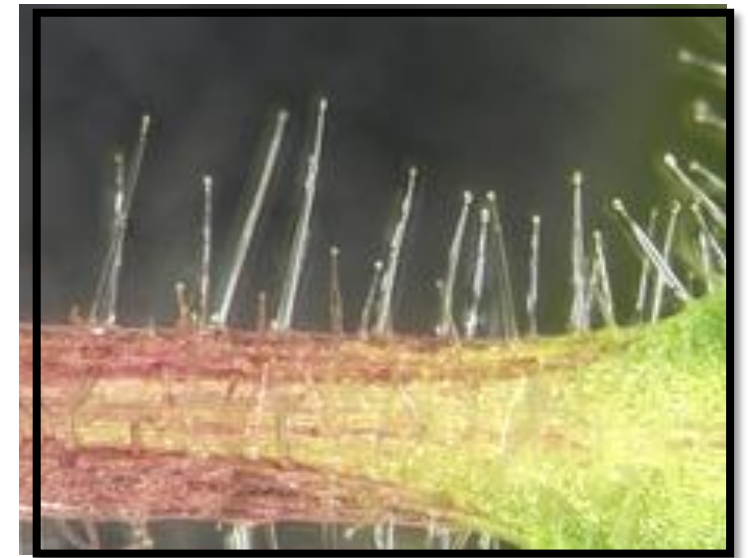
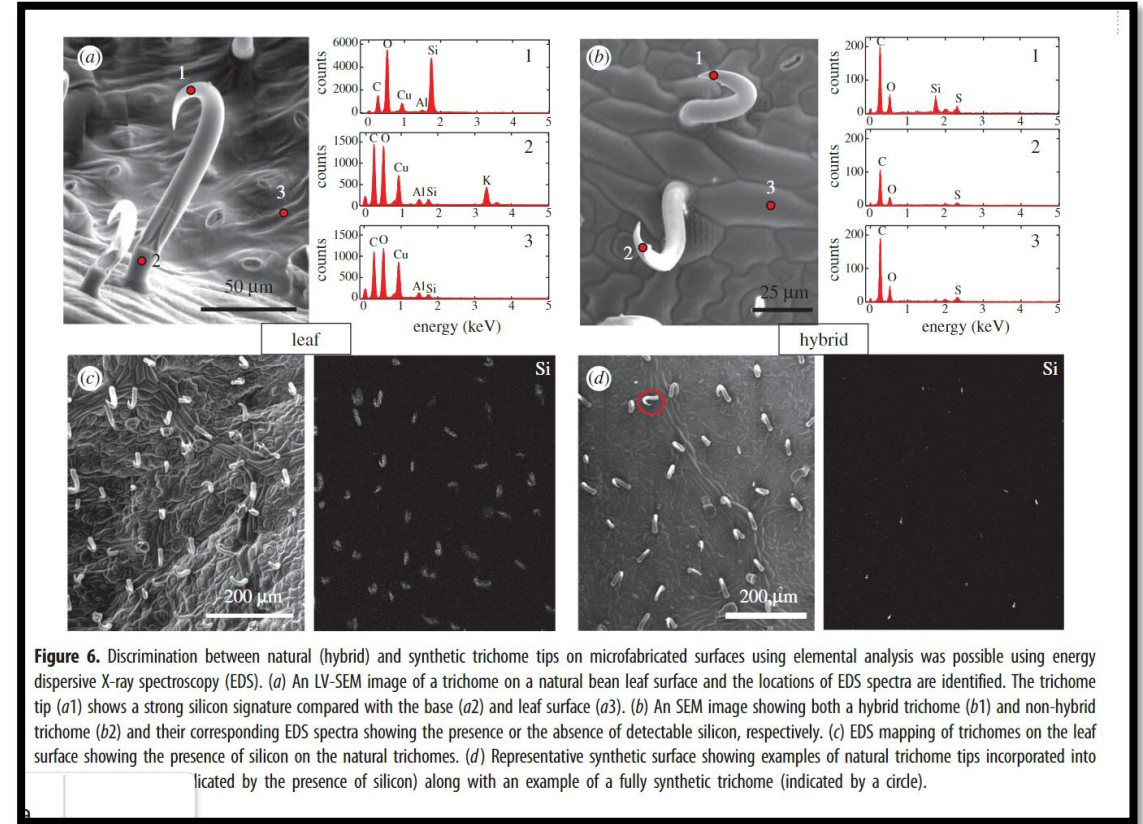
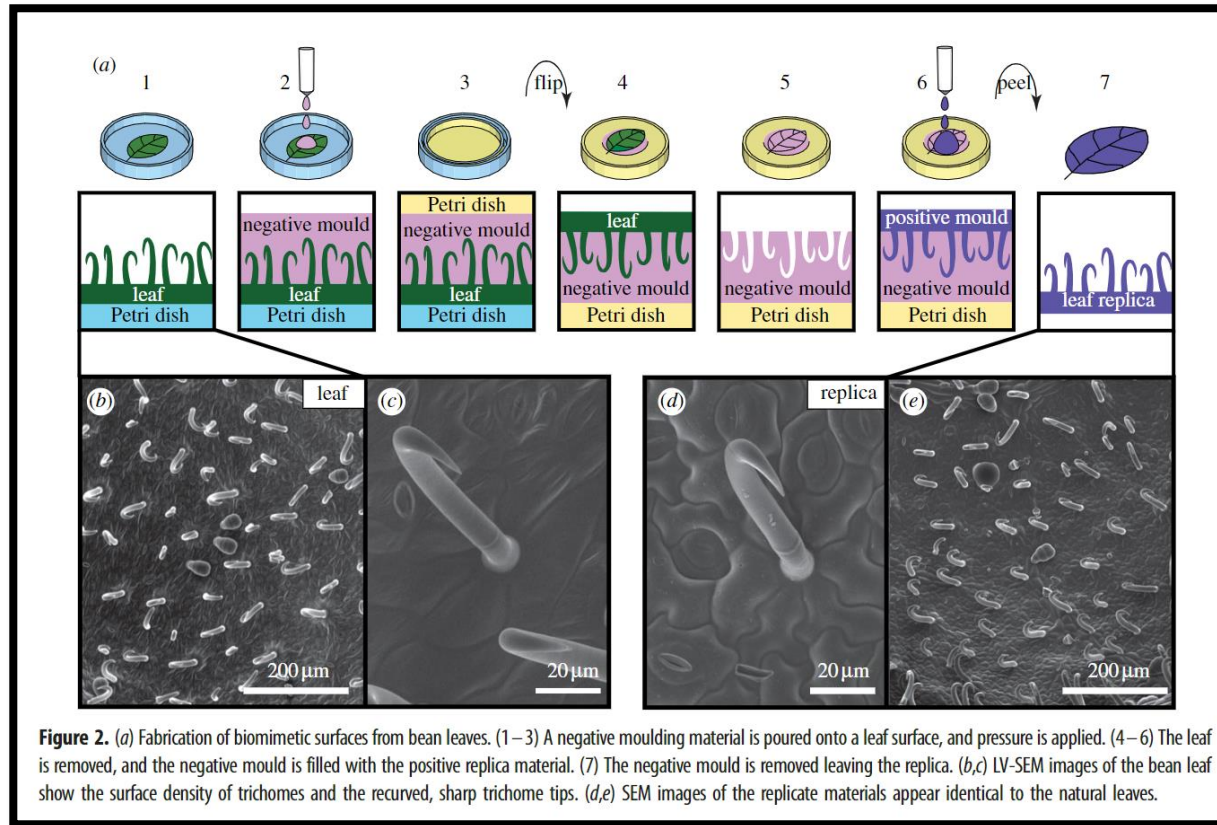


Figure 3. LV-SEM images of bed bug legs (yellow) on bean leaf surfaces with hooked trichomes (green). (a) Piercing under a pretarsal claw leads to entrapment of a bug by a leaf. (b) Piercing occasionally occurs at a tarsal intersegmental membrane, also causing entrapment of a bug. (c) Higher magnification of piercing from (a). (d) In contrast, hooking causes momentary snagging of a bug leg.

I ricercatori hanno provato a generare dei polimeri con proprietà simili ai tricomi. Hanno sperimentato le proprietà e hanno dimostrato che le superfici sintetiche catturano temporaneamente le cimici ma non ostacolano la loro locomozione con la stessa efficacia delle foglie vere.



Sono stati usati sia dei siliconi che delle silici e anche sistemi ibridi. Sebbene non vi siano risultati ancora efficienti e risoluti vi sono buone prospettive per creare superfici capaci di ostacolare la diffusione di questi infestanti in ambienti urbani piuttosto che in ambienti di coltivazione controllata come le serre.

Tricomi assorbenti

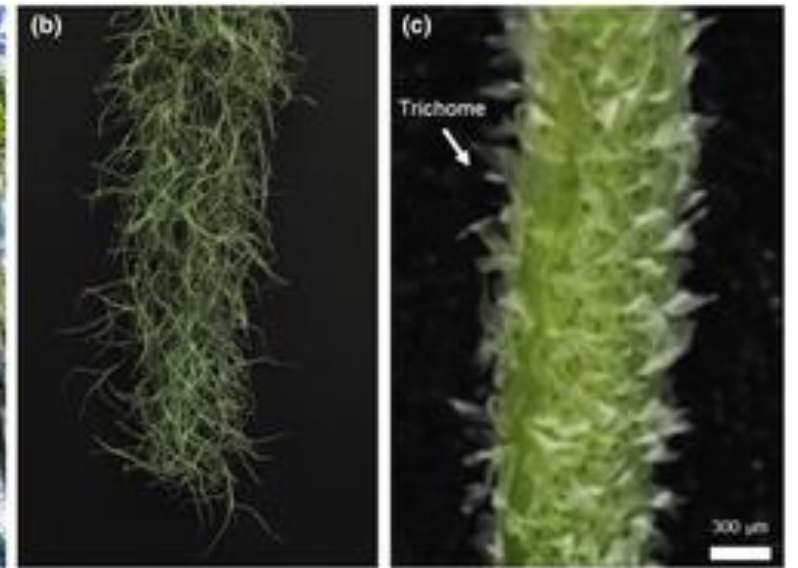


New Phytologist

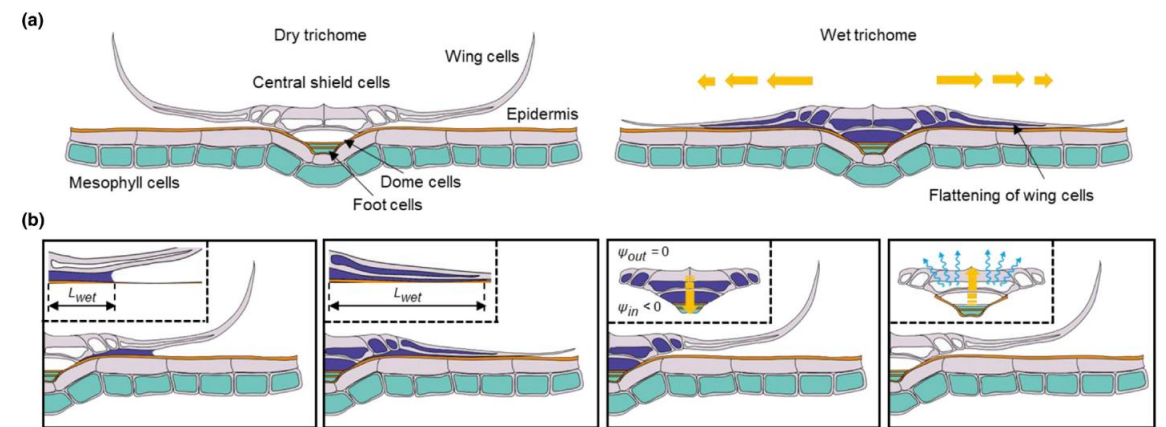
Full paper | [Free Access](#)

Domino-like water transport on *Tillandsia* through flexible trichome wings

Nami Ha, Jooyoung Park, Sung Ho Park, Eunseok Seo, Jae Hong Lim, Sang Joon Lee



Le tillanzie appartengono alla famiglia delle Bromeliaceae e sono delle angiosperme epifite e come tali hanno imparato ad assorbire acqua dall'atmosfera. I ricercatori hanno indagato come fanno i tricomi di queste piante a favorire l'assorbimento di acqua. I dai suggeriscono che vi sia un ruolo variabile tra i tricomi secchi e quelli umidi. Come si vede nello schema in figura le ali dei tricomi sono flesse in posizione verticale allo stato secco, mentre sono appiattite allo stato umido



Operando sulle due fasi (secco/ umido) la pianta trasporta prima l'acqua sulla superficie epidermica. Quest'acqua viene assorbita dalle cellule del mesofillo grazie al fatto che i tricomi umidi si gonfiano e aprono il canale di assorbimento. Una volta assorbita l'acqua le ali quindi si alzano (posizione secca) nuovamente e attendono umidità per recuperare nuova acqua. Dal punto di vista fisico le ali sono in grado di giocare con due interfacce: aria e acqua a seconda che siano idratati o no!

UNA COPIA AUTENTICA


La BIOMIMETICA dei vegetali suggerisce chiaramente che le microstruttura hanno un ruolo chiave per fornire una determinata funzione. Va tuttavia detto che non è semplice imitare queste strutture soprattutto se c'è una interazione attiva tra queste e un agente esterno, un organismo, un materiale. Gli ingegneri ed i fisici stanno lavorando per capire come replicare fedelmente una superficie vegetale!

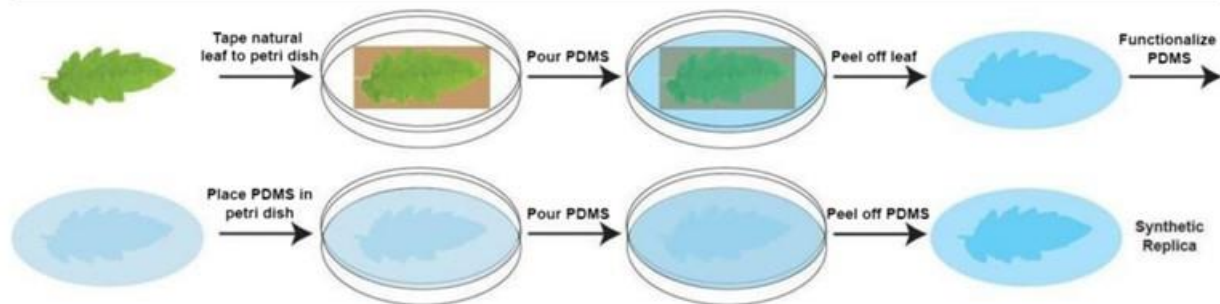
Plant Soil (2020) 447:157–168
<https://doi.org/10.1007/s11104-019-04390-6>

REGULAR ARTICLE



A biomimetic platform for studying root-environment interaction

Pallavi Kumari · Neta Ginzburg · Tali Sayas · Sigal Saphier · Patricia Bucki ·
Sigal Brown Miyara · Denise L. Caldwell · Anjali S. Iyer-Pascuzzi · Maya Kleiman 

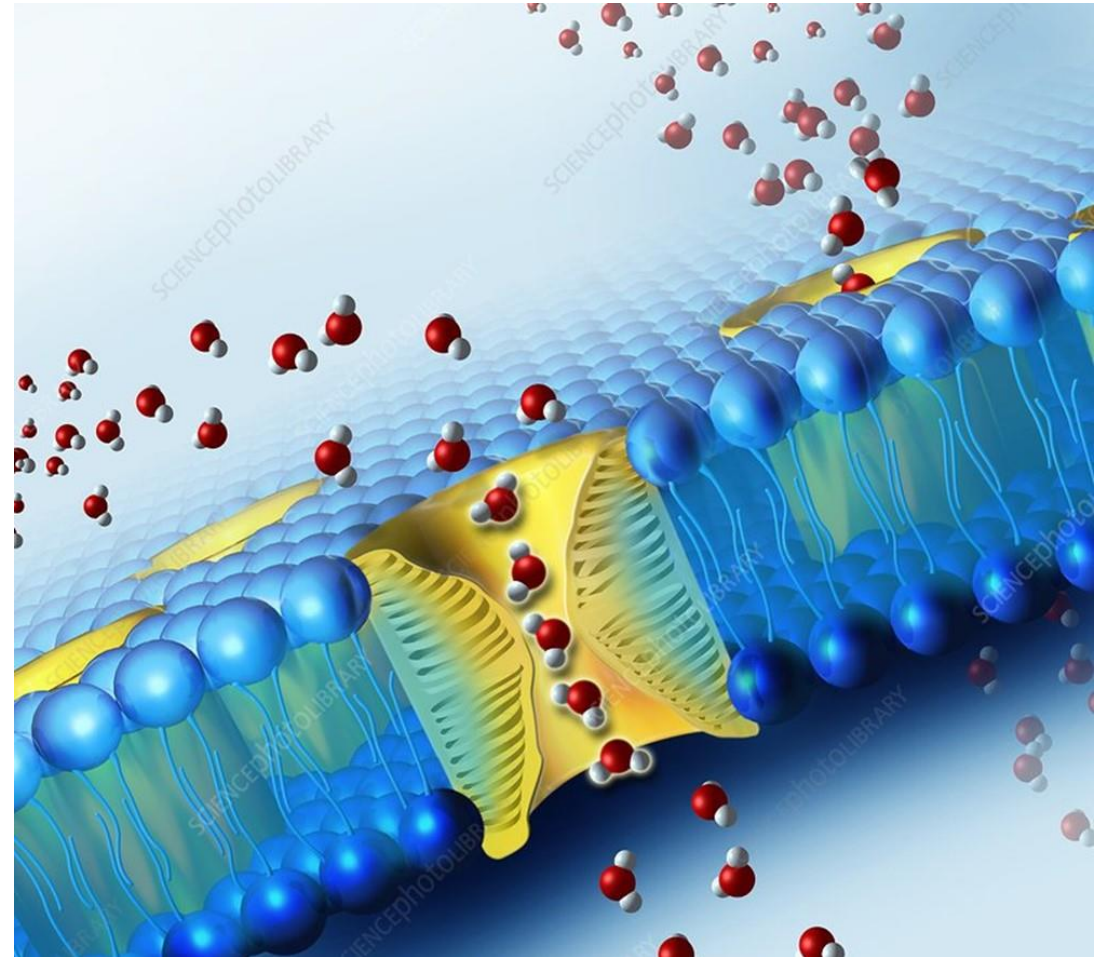


In questo lavoro i ricercatori hanno cercato di ispirarsi alla natura ed in particolare usano una piastra Petri in cui versano del polidimetilsilossano liquido (PDMS). Questo composto si indurisce nella notte e genera un calco perfetto della foglia e degli elementi microstrutturali. Si può poi generare con lo stesso materiale la foglia usando il calco come stampo!

ISPIRAZIONI FUNZIONALI

A livello fisiologico una delle funzioni di maggiore ispirazione del mondo vegetale riguarda la relazione con l'acqua. Non solo i processi osmotici ma un elemento che ha sicuramente attirato l'attenzione in biomimetica sono i sistemi di 'filtrazione' e di ingresso selettività dell'acqua. L'idea di realizzare per esempio delle membrane 'attive' e semipermeabili magari con prodotti di origine naturale e non di sintesi chimica è molto interessante.

Alcuni gruppi di ricerca si sono per esempio interessati alle acquaporine vegetali e le hanno inserite in membrane polimeriche artificiali per migliorare il flusso d'acqua e bloccare ioni e molecole indesiderate. Il meccanismo di base è legato alla 'forma' di queste proteine che è quella di clessidra che riduce lo spazio di passaggio a molecole molto piccole come l'acqua. Inoltre le acquaporine sono dotate di vestiboli extracellulari e intracellulari selettivi e distinti a ciascuna estremità. Questi vestiboli selettivi, insieme alla forma a clessidra delle acquaporine, sono la forza motrice dietro l'esclusione delle specie ioniche e il rapido passaggio delle molecole d'acqua secondo un modello unifilare



I dettagli molecolari sono fondamentali per poter creare 'nuove acquaporine selettive. Indagini biochimiche e strutturali hanno permesso di sapere che la dimensione e la selettività di carica nelle acquaporine è legata ad alcune catene laterali sporgenti di fenilalanina, istidina e arginina. Il centro della forma a clessidra, che costituisce la costrizione del canale, ha un diametro di circa 0,28 nm. L'arginina vicina al punto centrale del canale è carica positivamente e crea una barriera energetica che impedisce la permeazione di ioni e molecole cariche

Tratto da: L Sen Gupta, R., Padmavathy, N., & Bose, S. (2021). The Journey of Water Remediation through Biomimetic Strategies: A Mechanistic Insight. *Advanced Sustainable Systems*, 5(12), 2100213.

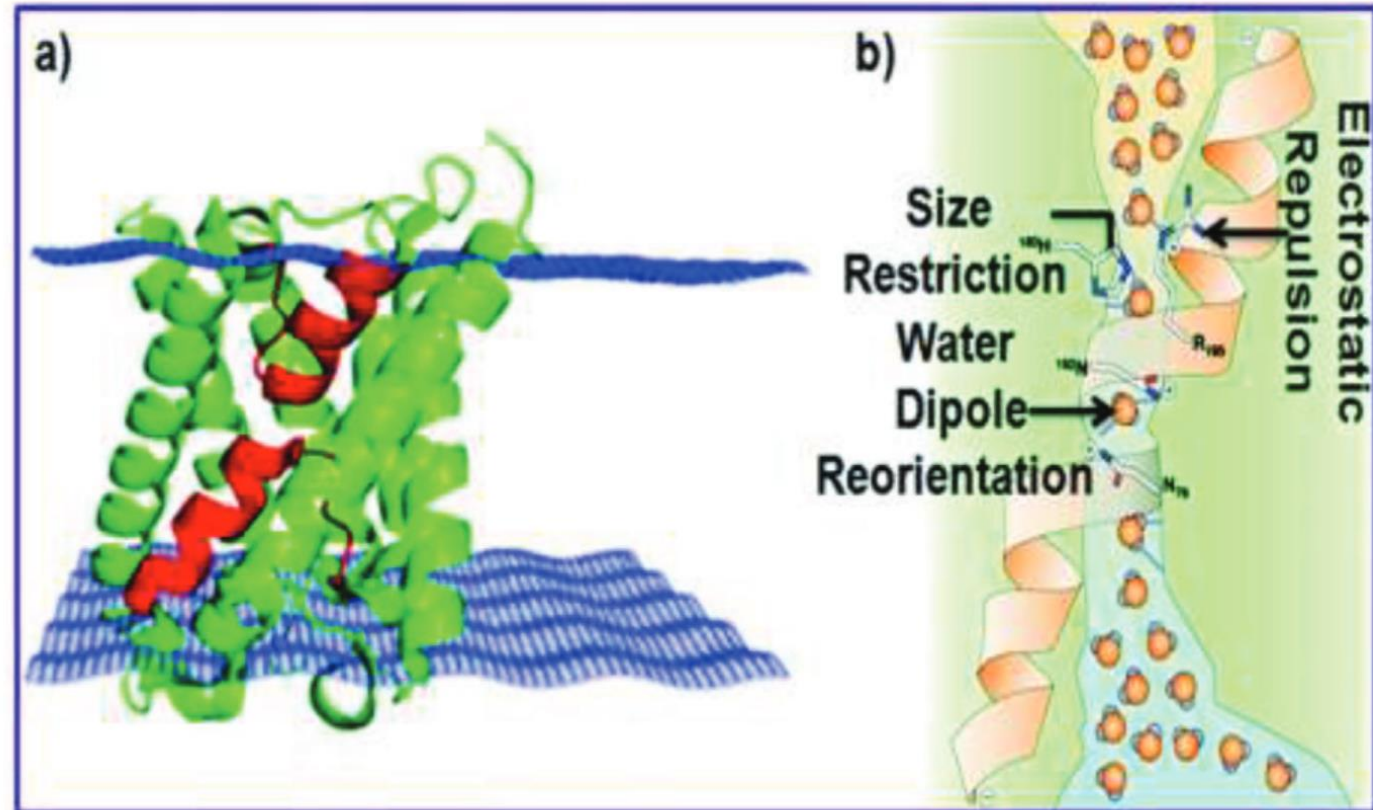
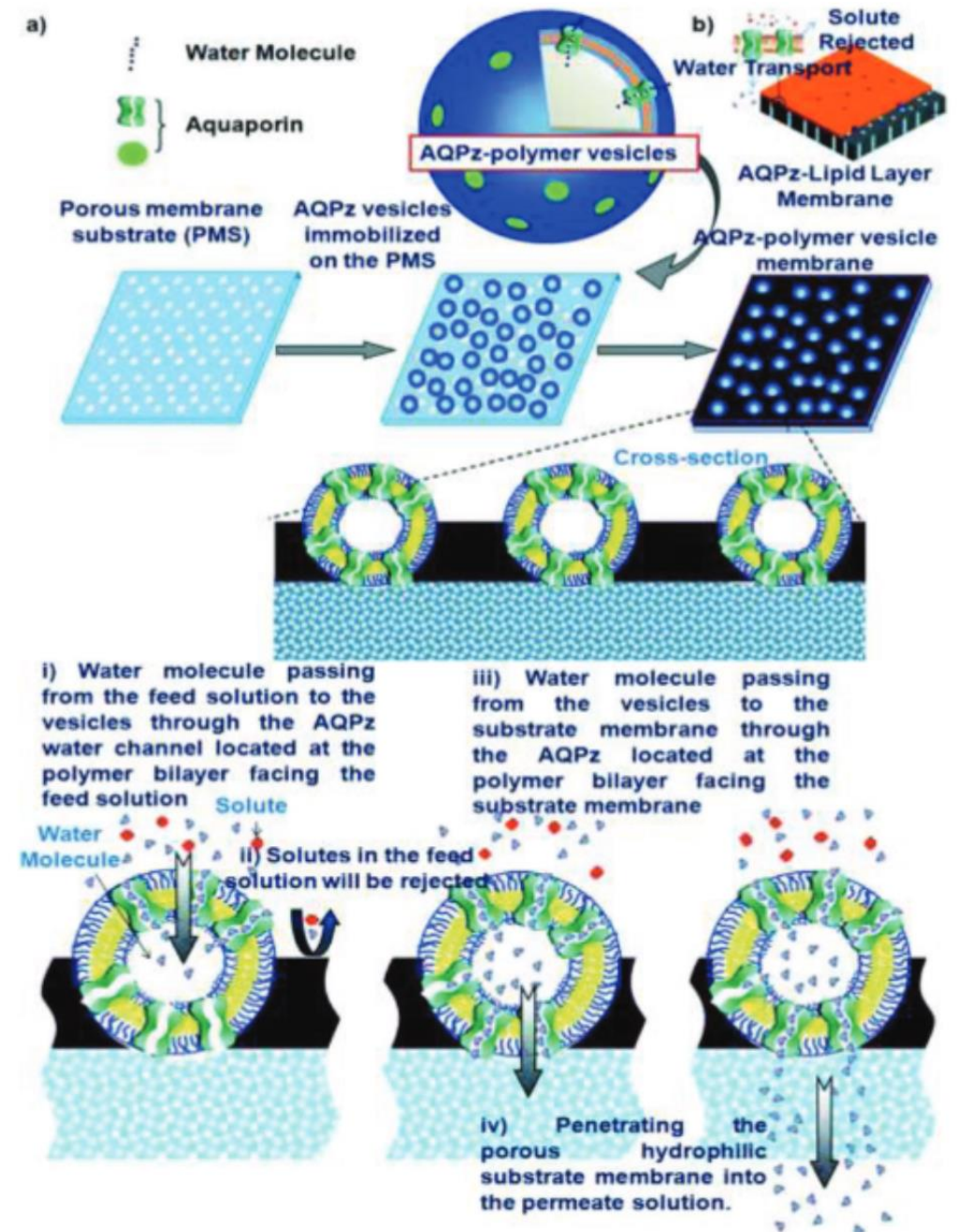


Figure 1. a) AQPz (*E. coli*) secondary structure. The re-entrant region is marked with red. The blue meshes are representative of the membrane borders, and b) the longitudinal section of the AQP1 water channel. Reproduced with permission.^[25] Copyright 2017, Royal Society of Chemistry.

Membrane artificiali contenenti acquaporine sono state realizzate. Queste proteine sono state inglobate in liposomi o in polimerosoni artificiali. Queste 'sfere contenenti acquaporine sono state poi adagate su superfici membranose. Sono state valutate diverse tecnologie per tenere insieme i liposomi in modo che l'acqua NON potesse passare esternamente ad essi.

Diversi gruppi di ricerca hanno puntato su quella tecnologia ed hanno dimostrato che il sistema è molto selettivo per esempio nei confronti delle grosse molecole come gli zuccheri. Questo processo permette quindi di lasciarli fuori!

Una linea di attività molto rilevante intende sfruttare questi sistemi per dissalare l'acqua proprio per la selettività verso molecole cariche. Alcuni test hanno dimostrato un'efficacia superiore al 50% nell'eliminazione del sale dall'acqua di mare!



Mangrovie che lasciano fuori il sale

Rhizophora stylosa, una specie di mangrovie (*Bruguiera*) sfrutta un meccanismo particolare per NON assorbire il sale e questo può essere sfruttato sempre per i dissalatori. L'analisi della radice ha dimostrato che vi sono tre strati diversi di corticale: uno esterno più permeabile, uno interno più lasso ed il secondo che invece ha una struttura microporosa simile a una membrana con diametro in regime nanometrico. Questa membrana era alla base della capacità di escludere ioni sodio e cloro! Sotto il modello sintetico.

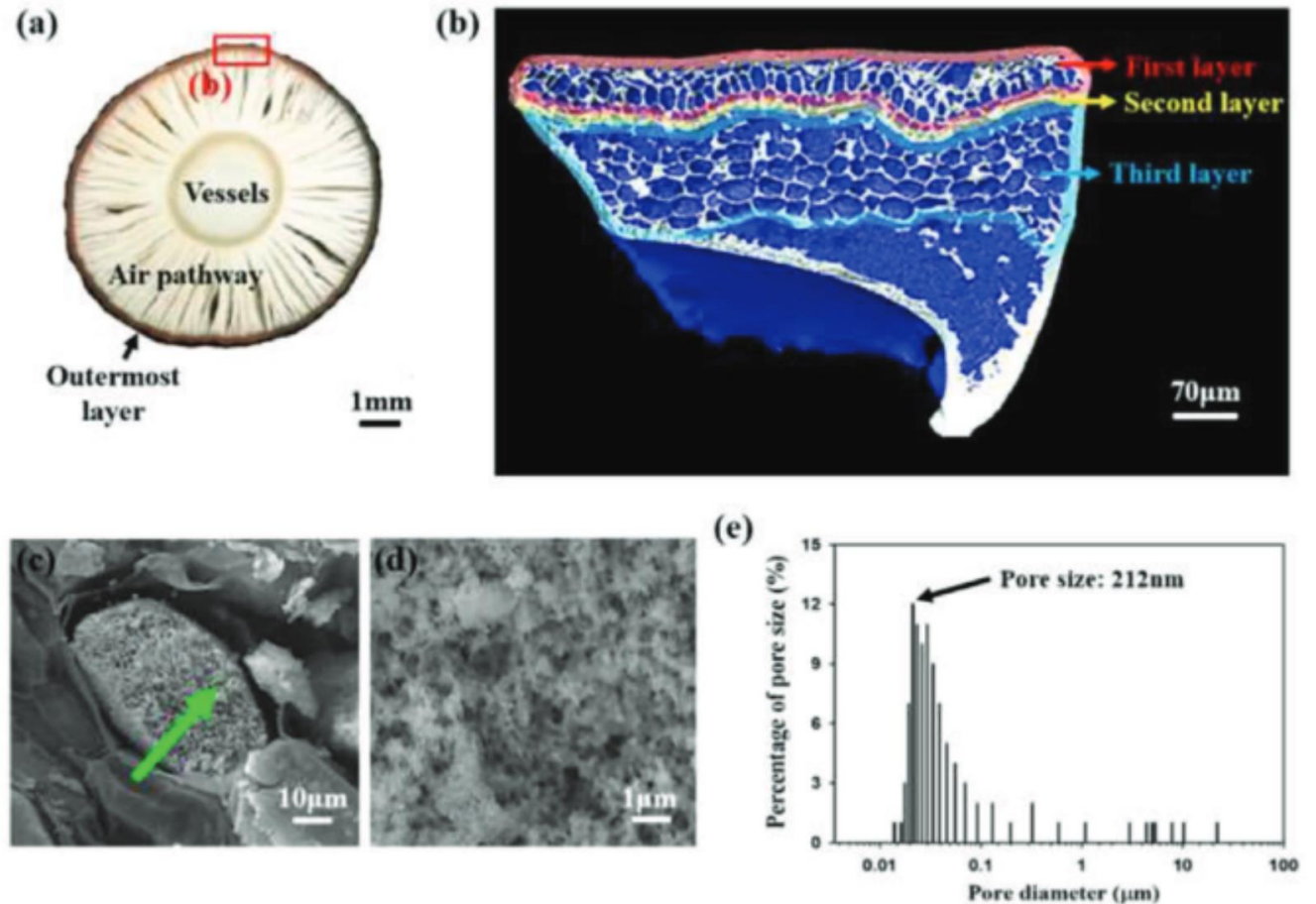
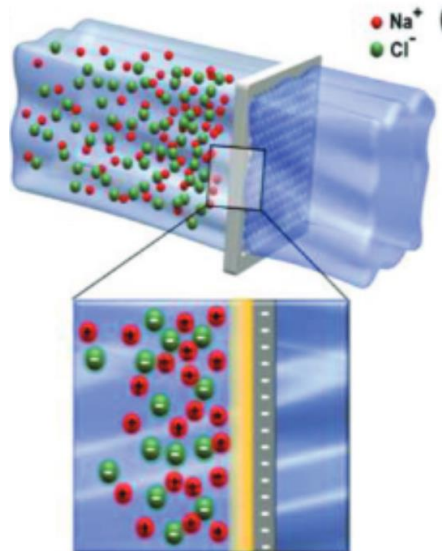


Figure 4. Three-layered structure of mangrove roots. a) Cross-sectional image, exhibiting all the three parts. b) Recreated X-ray image showing the internal morphologies. c) A porous membrane is contained in the second layer with a nanometric pore size distribution. d) Amplified view of a selected portion of the membrane (green arrow). e) Percentage pore size distribution, calculated from mercury porosimetry. Reproduced with permission.^[52] Copyright 2016, Springer Nature.

Cactus che recuperano acqua dall'aria!

Osservando i cactus nei deserti è stato possibile sia comprendere come fanno a ridurre evapotraspirazione (ad esempio trasformando foglie in spine!) ma anche come riescono a raccogliere e trasporta l'acqua attraverso i microcapillari. Per esempio *Opuntia microdasys* sarebbe in grado di raccolta acqua nell'atmosfera grazie a piccole barbe su spine di forma conica. Inizialmente, la raccolta di goccioline d'acqua avviene sulle piccole punte e, alla fine, man mano che le goccioline crescono, si spostano nella parte centrale. Qui ci sono dei tricomi che favoriscono l'assorbimento di acqua nel mesofillo.

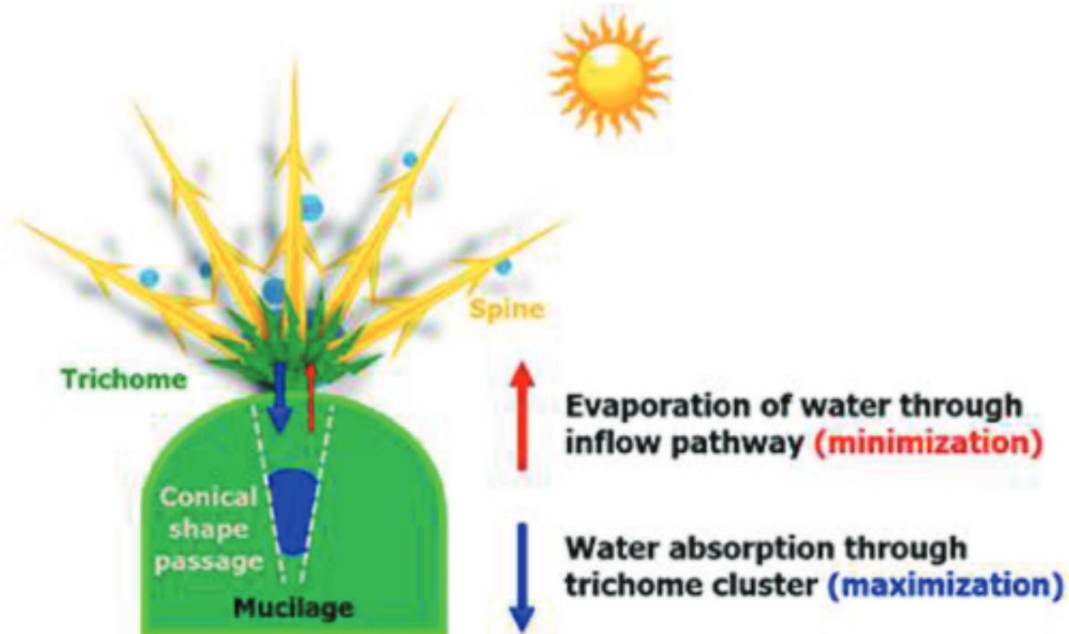


Figure 6. Schematics depicting the water-absorbing mechanism of the cactus. Reproduced with permission.^[59] Copyright 2017, Frontiers.

I ricercatori hanno progettato e realizzato un sistema che imita il cactus. Si tratta di una serie di fili zinco corti collegati a fili più grandi. Le forme coniche sono state formate da questi fili impilandoli in modo tale che i diametri alla fine aumentassero dalla punta alla radice. Questo gradiente di diametro ha indotto una forza capillare che ha spinto le goccioline di acqua condensata dalla punta del filo alla radice. L'efficienza di raccolta dell'acqua di queste strutture artificiali è risultata migliore di quelle dei cactus!

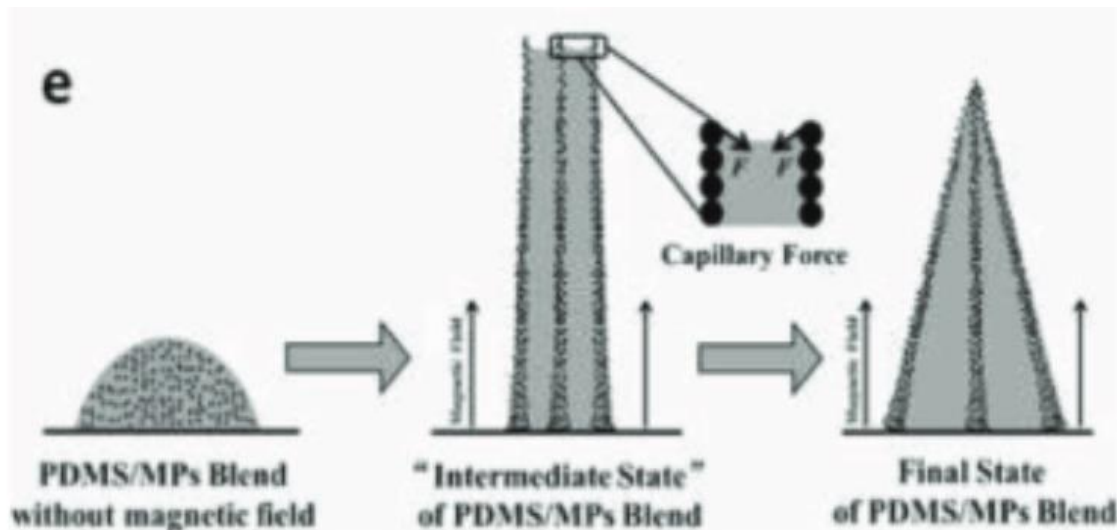
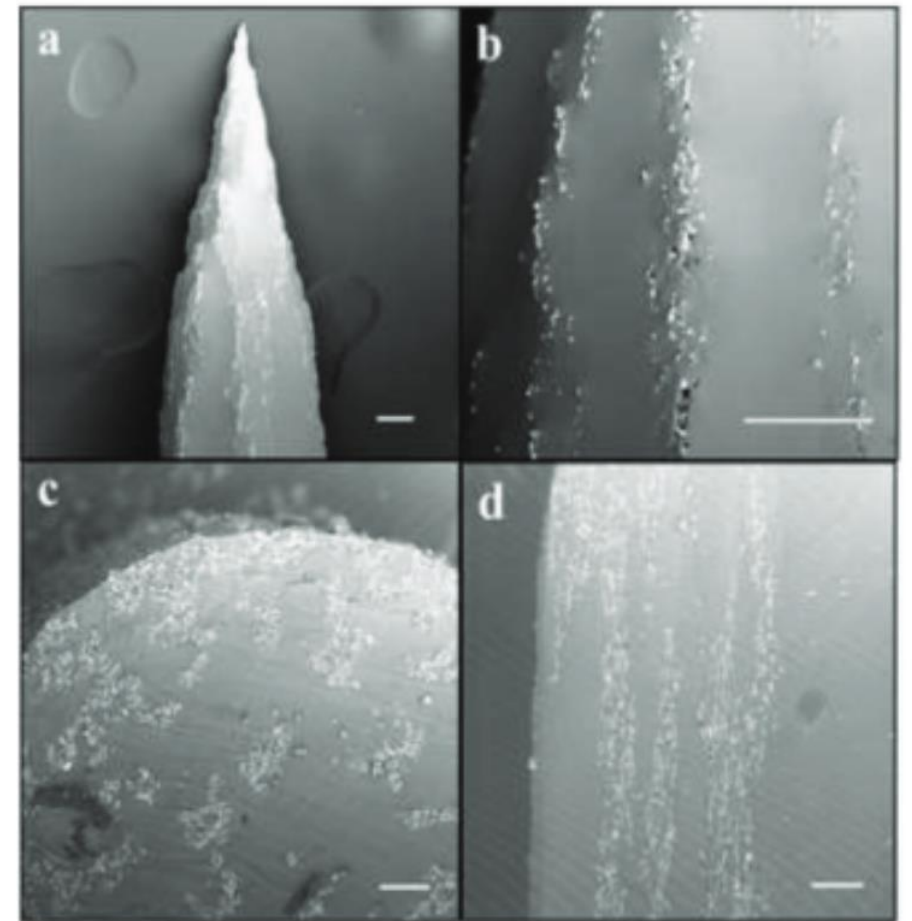


Figure 7. Schematics showing the mechanism adopted by the resultant micro-tip and the ESEM images. a) Tip-site morphology and b) micro-tip showing "ridge-structure." c) Cross-section and d) the longitudinal section of the micro-tip.^[6] Copyright 2014, Wiley-VCH GmbH.



Strutture analoghe sono state realizzate anche con materiali polimerici come una miscela di polidimetilsilossano (PDMS) e particelle magnetiche (MP). Applicando campi magnetici esterni si riescono a modellare le forme dei materiali finali. Anche in questo caso le punte funzionavano bene ed in collettore di acqua alla base raccogliere l'acqua atmosferica.