

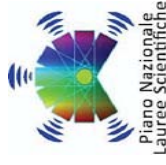
# Alginati e Sferificazione

Roberto Berardi ([roberto.berardi@unibo.it](mailto:roberto.berardi@unibo.it))

Elena Strocchi ([elena.strocchi@unibo.it](mailto:elena.strocchi@unibo.it))

Carla Boga ([carla.boga@unibo.it](mailto:carla.boga@unibo.it))

Dipartimento di Chimica Industriale "Toso Montanari"  
Università di Bologna



PIANO LAUREE SCIENTIFICHE (PLS) 2019-2020 — Area Chimica

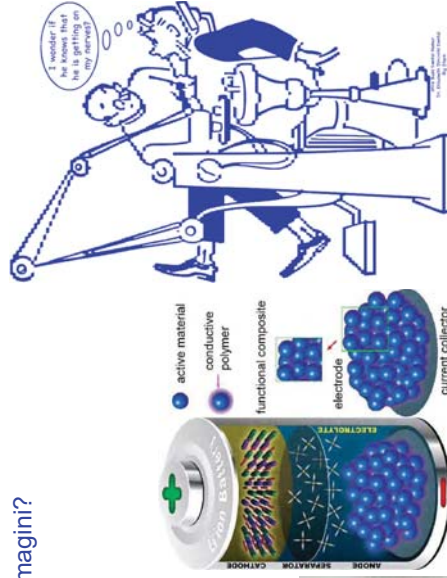
## Sferificazione



[sorgente: "Harvard Science and Cooking", undergrad course]

## Puzzle

Che cosa lega queste immagini?



[sorgenti: Marisa E. Jaconi, "Nanomedicine: Gold nanowires to mend a heart", Nature Nanotechnology, 6, 692-693 (2011), DOI: 10.1038/nnano.2011.195 URL <http://www.nature.com/nnano/journal/v6/n11/full/nnano.2011.195.html>  
BBC Food, "Cream cheese recipes", URL [http://www.bbc.co.uk/food/cream\\_cheese](http://www.bbc.co.uk/food/cream_cheese), Meng Gu, et al., "Mesoscale origin of the enhanced cycling-stability of the Si-conductive polymer anode for Li-ion batteries", Nature Scientific Reports, 4, 3884 (2014), DOI: 10.1038/srep03684 URL <http://www.nature.com/srep/2014/140114/srep03684/full/srep03684.html>  
Elizabeth Dimovski's "Dental Comics" URL <http://www.drelizabehdimovski.com/blog/dental-comics-cartoons-pkcs>]

## Laminaria

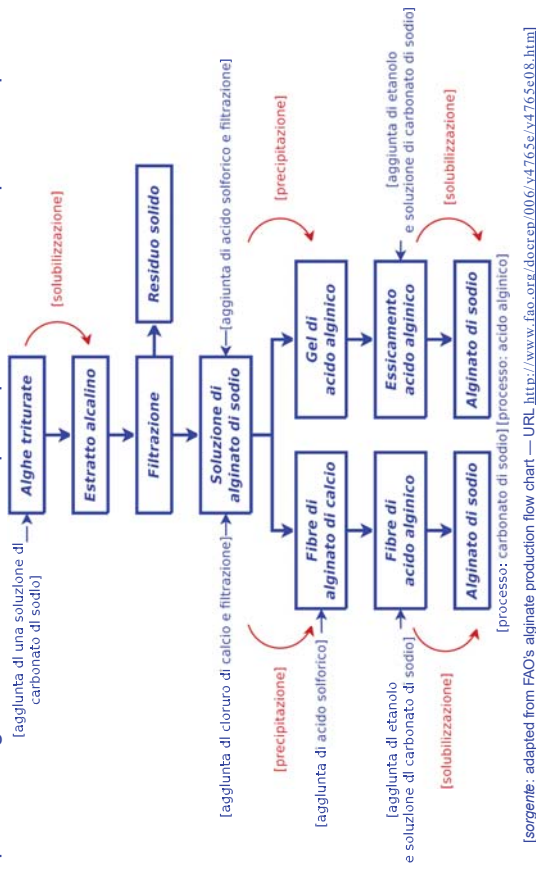
Le pareti cellulari delle alghe brune appartenenti alla famiglia *Laminaria* sono tra le sorgenti naturali più ricche di un (interessante) carboidrato: l'acido alginico



[sorgenti: URL <http://en.wikipedia.org/wiki/Laminaria>, laminaria digitata (cyanotype by Anna Atkins, 1843), URL [http://en.wikipedia.org/wiki/Anna\\_Atkins](http://en.wikipedia.org/wiki/Anna_Atkins), laminaria hyperborea (chronolithography from Hermann Köhler's "Medizinal-pflanzen in naturgetreuen abbildungen mit kurz erläuterndem texte: Atlas zur pharmacopoea germanica", 1887) URL [http://en.wikipedia.org/wiki/Köhler's\\_Medicinal\\_Plants](http://en.wikipedia.org/wiki/Köhler's_Medicinal_Plants)]

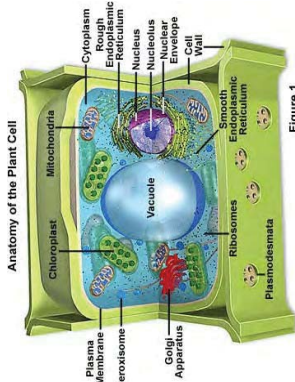
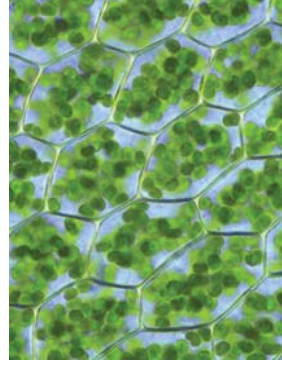
### Estrazione acido alginico

Lo schema del processo industriale di estrazione dell'acido alginico da una poltiglia acquosa di alghe brune triturate è utile per capire la chimica di questo biopolimero



### Pareti cellulari vegetali

I vegetali non possiedono una struttura scheletrica di sostegno e le cellule hanno una parete esterna che funge da struttura autoportante per il tessuto stesso



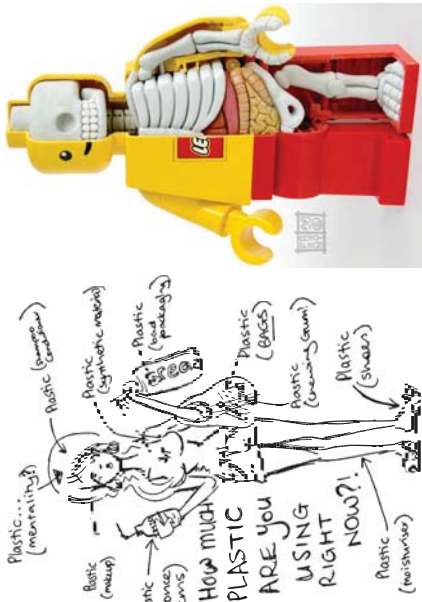
[sources: *Plagiomnium affine* cells with chloroplasts and walls, URL: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plagiomnium\\_affine\\_laminazellen.jpeg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plagiomnium_affine_laminazellen.jpeg), URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Plagiomnium\\_affine](http://en.wikipedia.org/wiki/Plagiomnium_affine), a cartoon of a plant cell, URL: <http://amtlb.files.wordpress.com/2009/12/plant-cell-structure.jpg>]

La parete semirigida è esterna alla membrana fosfolipidica della cellula



## Polimeri

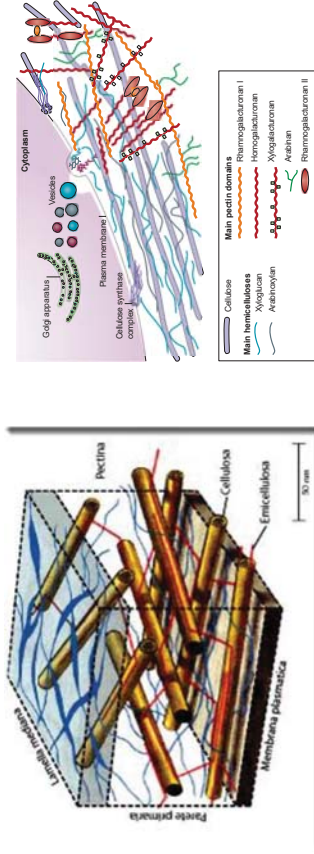
L'acido alginico è una **macromolecola**, ovvero un (bio)polimero I polimeri (artificiali e naturali) sono ubiquitari (ovvero sia fuori che dentro di noi)



[sorgenti: Emily Ehlers's plastic abusers cartoon, URL <http://olivekomblande.com/2012/01/31/aa-for-plastic-abusers>, Jason Freeny's Mini figure sculpt B, URL <http://www.moistproduction.com>]

## Pareti cellulari vegetali

L'acido alginico è un carboidrato che, assieme alla cellulosa ed alle emicellulose, forma le pareti delle cellule vegetali: un esempio di materiale composito



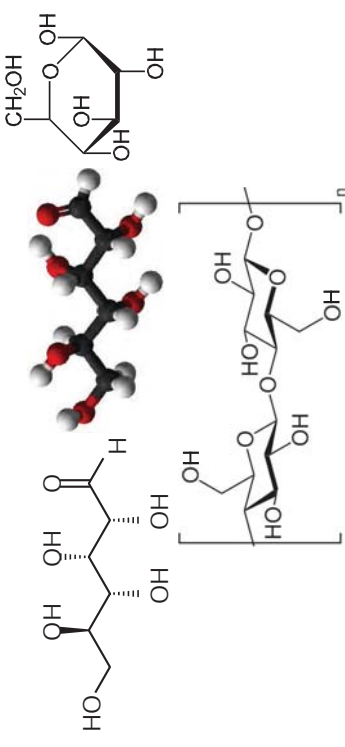
[sources: Mariana Ruiz Villarreal (LadyofHats) "Cartoon of a plant cell wall", URL [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/53/Plant\\_cell\\_wall\\_diagram.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/53/Plant_cell_wall_diagram.svg), D. J. Cosgrove, "Growth of the plant cell wall", *Nature Rev. Molec. Cell Biol.* **6**, 8500-861 (2005), DOI 10.1038/nrm1746, URL <http://www.nature.com/nrm/journal/v6/n11/abs/nrm1746.html>]

L'acido alginico e le emicellulose fungono da "collanti" flessibili per le microfibrille rigide di cellulosa

L'acido alginico è tipicamente presente come alginato di sodio, calcio, o magnesio

## Polimeri

Esempio: la cellulosa è un **biopolimero** ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> che consiste in una **catena lineare** di decine di migliaia molecole di glucosio  $C_6H_{12}O_6$  legate tra loro



[sorgente: Wikipedia, URLs <http://en.wikipedia.org/wiki/Glucose>, <http://en.wikipedia.org/wiki/Cellulose>]

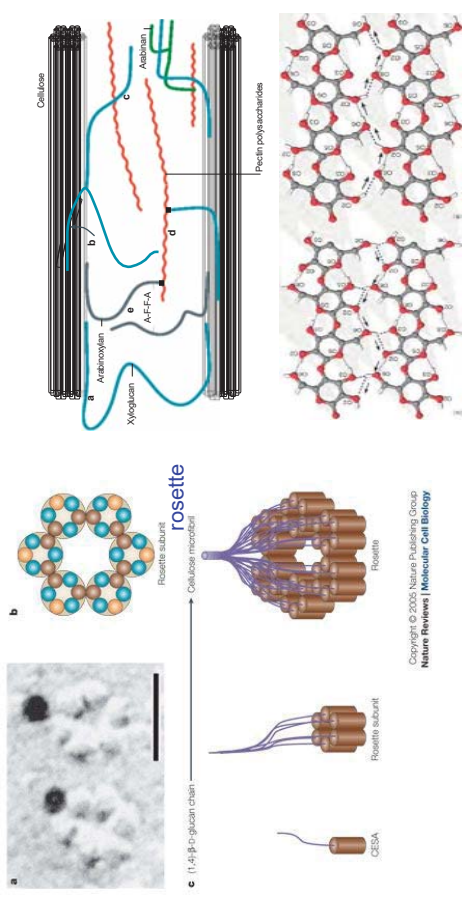
Un polimero è un composto chimico ad alto peso molecolare ottenuto legando in sequenza un grande numero di molecole (**monomeri**) di basso peso molecolare.

La cellulosa è la molecola organica più abbondante sulla Terra!

[also see "Dissemination of IT for the Promotion of Materials Science" (DoITPoMS), URL <http://www.doitpoms.ac.uk/f/ipl/ib/polymerbasics/index.php>]

## Cellulosa

Le cellule vegetali sintetizzano le catene di cellulosa in maniera tale da indurre la loro aggregazione fino a formare strutture cristalline altamente ordinate

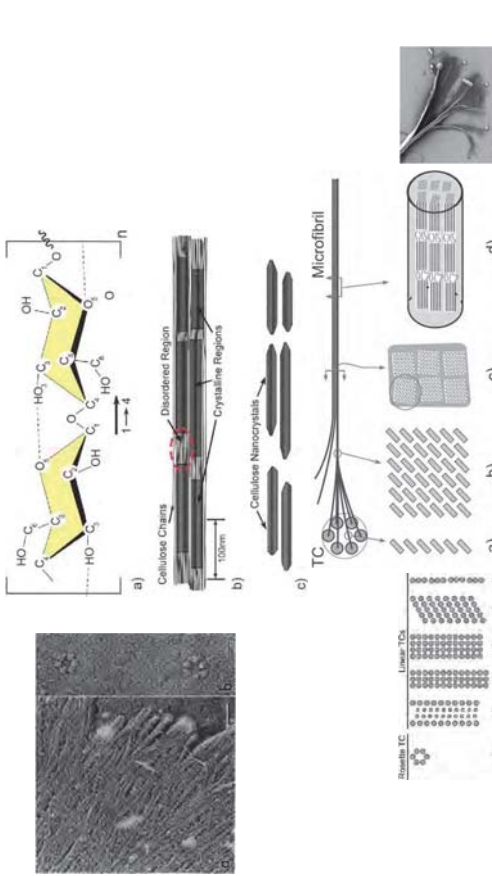


[sorgente: D. J. Cosgrove, "Growth of the plant cell wall", *Nature Rev. Molec. Cell Biol.* **6**, 8500-861 (2005), DOI 10.1038/nrm1746, URL <http://www.nature.com/nrm/journal/v6/n11/abs/nrm1746.html>]

I cristalli di cellulosa sono stabili rispetto alla temperatura grazie all'alto grado di ordine ed una estesa rete di legami ad idrogeno intermolecolari

## Cellulosa

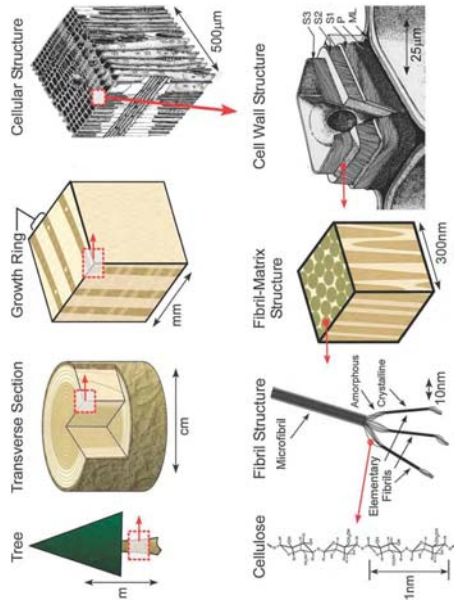
### Struttura cristallina delle microfibrille di cellulosa



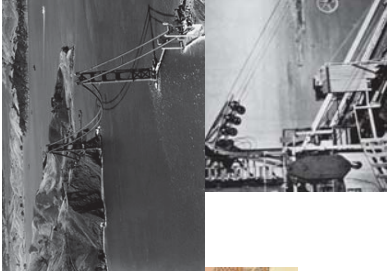
[sorgente: R. J. Moon, A. Martini, J. Nairn, J. Youngblood, *Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites*, *Chem. Soc. Rev.* **40**, 3941–3994 (2011), DOI 10.1039/C0CS00108B, URL <http://pubs.rsc.org/en/Content/Article/Landing/2011/CS/c0cs00108b>]

## Cellulosa

### Dimensioni relative delle strutture gerarchiche vegetali a base cellulosa

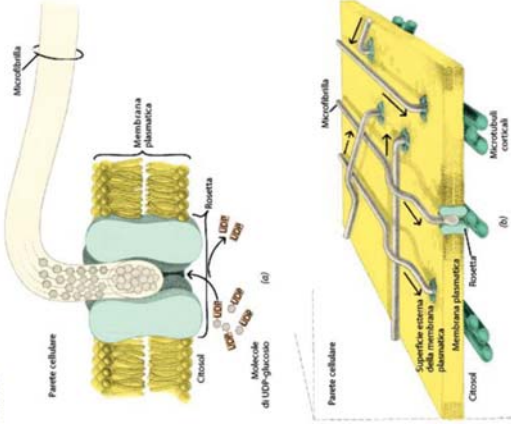


[sorgente: R. J. Moon, A. Martini, J. Nairn, J. Youngblood, *Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites*, *Chem. Soc. Rev.* **40**, 3941–3994 (2011), DOI 10.1039/C0CS00108B, URL <http://pubs.rsc.org/en/Content/Article/Landing/2011/CS/c0cs00108b>]



## Proteine della cellulosa sintasi

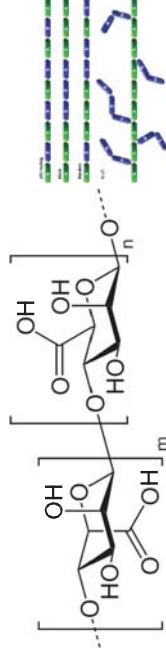
Il cablaggio dei ponti sospesi ricorda come sono assemblate le microfibrille



[sorgente: Andrew Wade, "August 1936: The cables of the Golden Gate Bridge", URL <https://www.theengineer.co.uk/august-1936-the-cables-of-the-golden-gate-bridge>, C.H. Hagler, R.L. Blanton, "New hope for old dreams: evidence that plant cellulose synthase genes have finally been identified", *Proc. Nat. Acad. Sci.* **93**, 12082–12085 (1996), URL <http://www.pnas.org/content/93/22/12082>, Brian E. S. Gunning, Martin W. Steer, "Plant Cell Biology: Structure and Function", (Jones & Bartlett Learning, Burlington 1996), ISBN10: 0867205040 ISBN13: 9780867205046, URL <http://bioeomerd.blogspot.it/2014/09/plant-cell-wall-synthesis.html>]

## Acido alginico

La struttura dell'acido alginico è quella di un copolimero lineare a blocchi formato da monomeri di acido  $\alpha$ -L-guluronico (G) e di acido  $\beta$ -D-mannuronico (M)



[sorgente: alginate acid cartoon — URL [http://en.wikipedia.org/wiki/Alginate\\_acid](http://en.wikipedia.org/wiki/Alginate_acid), "Dissemination of IT for the Promotion of Materials Science" (DoITPoMS), URL <http://www.doitpoms.ac.uk/tiplib/polymers/basics/images/Copolymers.gif>]

Esempio: copolimeri artificiali molto diffusi sono le resine acrilonitrile butadiene stirene (ABS) con cui sono fabbricati i mattoncini Lego [sorgente: URL [http://en.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile\\_butadiene\\_styrene](http://en.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile_butadiene_styrene), URL <http://en.wikipedia.org/wiki/LeGo>]

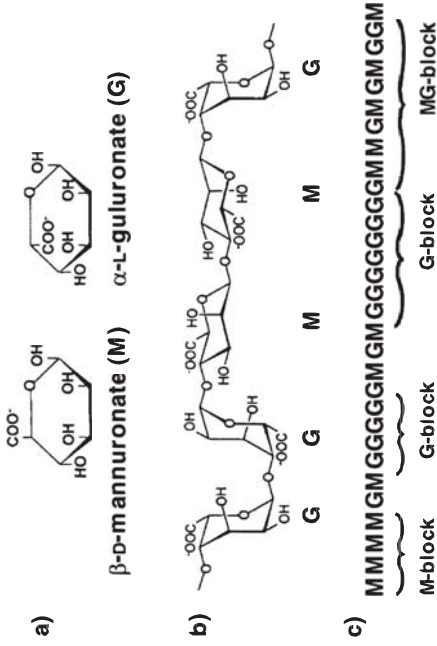
L'acido alginico è **insolubile** in acqua (le catene aggregano per legame ad idrogeno)

L'alginato di sodio è il sale dell'acido alginico in cui gli atomi di idrogeno dei gruppi acidi  $-\text{COOH}$  sono sostituiti da degli ioni sodio  $-\text{COO}^- \text{Na}^+$

L'alginato di sodio è **solubile** in acqua (le cariche negative delle catene si respingono)

## Acido alginico

I monomeri M e G sono presenti come sequenze omopolimeriche di residui di tipo G (blocchi-G) ed M (blocchi-M) e come sequenze alternate M e G (blocchi-MG)



[sorgente: K. I. Draget, O. Smidsrød, G. Skjåk-Bræk, "Alginates from Algae", volume 1, in "Polysaccharides and Polyamides in the Food Industry Properties, Production, and Patents", A. Steinbüchel and S. K. Rhee editors, (Wiley, Weinheim DE, 2005), ISBN: 978-3-527-31345-7, URL <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCDE-3527313451.html>, URL [http://media.1ohnwiley.com.au/product\\_data/excerpt/51/35273134527313451-1.pdf](http://media.1ohnwiley.com.au/product_data/excerpt/51/35273134527313451-1.pdf)]

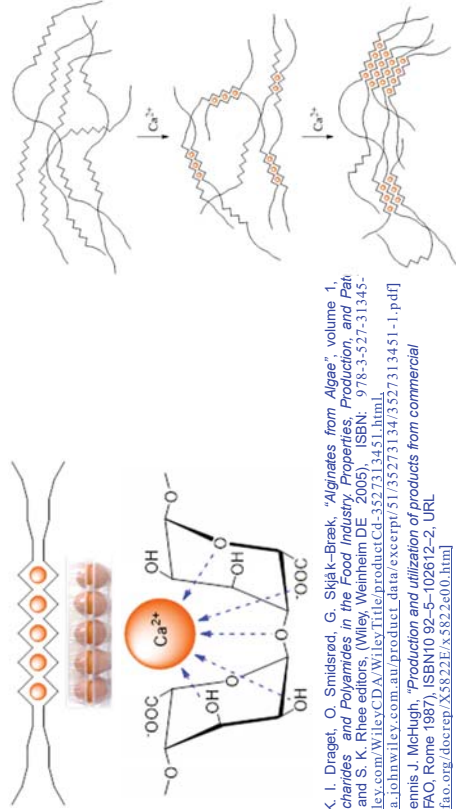
[sorgente: K. I. Draget, O. Smidsrød, G. Skjåk-Bræk, "Alginates from Algae", volume 1, in "Polysaccharides and Polyamides in the Food Industry Properties, Production, and Patents", A. Steinbüchel and S. K. Rhee editors, (Wiley, Weinheim DE, 2005), ISBN: 978-3-527-31345-7, URL <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCDE-3527313451.html>, URL [http://media.1ohnwiley.com.au/product\\_data/excerpt/51/35273134527313451-1.pdf](http://media.1ohnwiley.com.au/product_data/excerpt/51/35273134527313451-1.pdf)]

[sorgente: Dennis J. McHugh, "Production and utilization of products from commercial seaweeds" (FAO, Rome 1987), ISBN10 92-5-102612-2, URL <http://www.fao.org/docrep/X5822E/X5822e00.htm>]

## Alginato di calcio

Uno ione  $Ca^{2+}$  può coordinare selettivamente i doppietti degli atomi di ossigeno di due coppie adiacenti di residui G delle catene di alginato di sodio

Se le coppie di residui G appartengono a due catene distinte si può verificare la gelazione della soluzione attraverso il cosiddetto modello egg-box

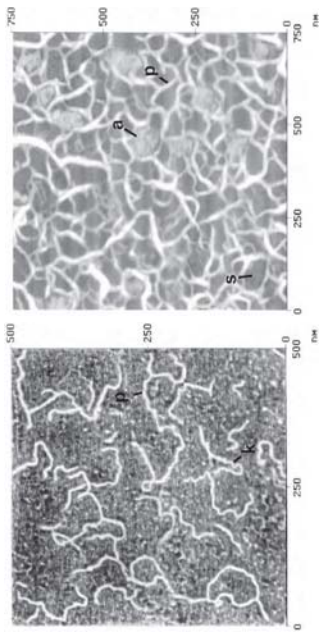


Un complesso di coordinazione è un composto chimico in cui un atomo (o ione metallico) si lega ad un gruppo di altre molecole (o anioni) che lo circondano.

## Alginato di calcio

Per aggiunta di ioni calcio  $Ca^{2+}$  ad una soluzione acquosa di alginato di sodio si osserva l'aggregazione delle catene di copolimero e la formazione una matrice tridimensionale reticolata semirigida

L'alginato di calcio non è solubile in acqua (le catene aggregano per complessazione  $Ca^{2+}$ )



[sorgente: AFM alginic acid gel — A. W. Decho, "Imaging an alginate polymer gel matrix using atomic force microscopy", Carbohydrate Research, 315, 330–333 (1999), URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008621599000063>, DOI 10.1016/S0008-6215(99)00006-3

Sistemi solidi con una struttura tipo "spugna" dispersi in un fluido sono detti gel

## Gel

Un gel è un sistema disperso in cui delle (macro)molecole si aggregano/reticolano per dare una struttura "spugnosa" in cui un liquido resta parzialmente intrappolato

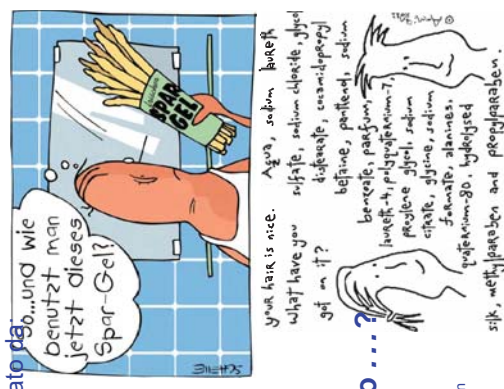
Un gel è un sistema multicomponente caratterizzato da:

- (a) una fase continua liquida
- (b) una fase dispersa solida

Esempio: tipi comuni di sistemi dispersi

nome	fase dispersa	fase continua
schiuma	gas	liquido/solido
aerosol	liquido/solido	gas
emulsione	liquido	liquido
sospensione	solido	liquido/solido
<b>gel</b>	<b>solido (reticolato)</b>	<b>liquido</b>

**Domanda: un gel è un liquido, un solido o ... ?**



[sorgente: Josef Schewe's Spar-Gel (URL [http://www.touropool.com/cartoons/Spar-Gel\\_12746img9](http://www.touropool.com/cartoons/Spar-Gel_12746img9), American Hell URL <http://americahell.com/index.php?I22-your-hair-is-nice>)]

## Gelificanti alimentari

Alcuni agenti gelificanti usati nella preparazione di cibi:

alginati	“formaggi” spalmabili; gelifica in presenza di cationi divalenti
agar agar	dessert, aspic; gelifica per raffreddamento, gel termoreversibile, formazione di doppie eliche
carragenina	miele, birra; gelifica in presenza di proteine
gomma fagioli carrube	dolcificante, sostituto del cioccolato; gelifica in presenza di controioni, in particolare borati
gomma arabica	caramelle gombose; gelifica ad alta concentrazione ed in ambiente acido
gomma xantano	salse, gelati; gelazione termoreversibile, gel shear thinning
gomma guar	vedi gomma xantano
gellan	latte di soia; formazione di doppie eliche termoreversibili
pectina	marmellata; gelifica in ambiente acido e zuccherino o in presenza di ioni divalenti
derivati della cellulosa	medicinali; formazione di gel per rigonfiamento o per effetto capillare
gelatina	dessert, aspic; formazione di gel (proteici) termoreversibili per raffreddamento

[sorgente: Peter Barham, Leif H. Skibsted, Wender L. P. Bredie, Michael Bom Frost, Per Møller, Jens Risbo, Pia Snitkjær and Louise March Mortensen, “Molecular gastronomy: a new emerging scientific discipline”, Chem. Rev., 110 (4), 2313–2365 (2010) — DOI:10.1021/cr900105w — (URL <http://pubs.acs.org/stoken/maa-0910/maa/abs/10.1021/cr900105w>)

Il settore è sterminato e una descrizione specifica va oltre il tempo a disposizione

## Texture

Il libro libero di Martin Lersch è una preziosa fonte di informazioni (e di ricette)

Martin Lersch, “Texture — A hydrocolloid recipe collection” (version 3.0)

URL <http://blog.khymos.org/wp-content/2009/02/hydrocolloid-recipe-collection-v3.0.pdf>

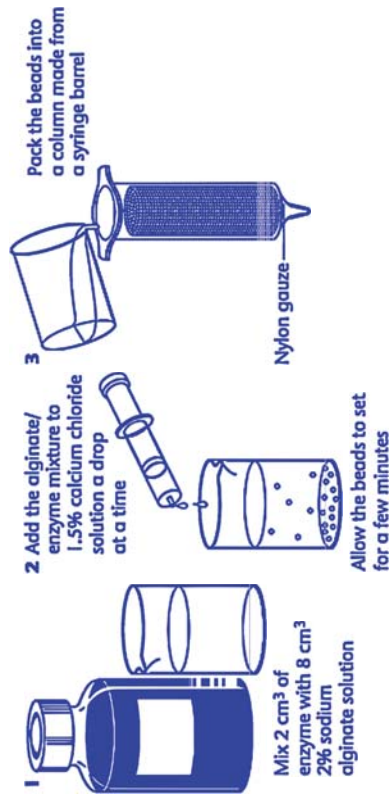


[sorgenti: URLs — <http://blog.khymos.org/tag/hydrocolloid/>, <http://blog.khymos.org/recipe-collection/>, URL <http://www.khymos.com/boards/program/biotek2021/Programme-board/125397028147/>]

Martin Lersch vive in Norvegia ed ha un PhD in chimica organometallica

## Alginati come materiali (5/4)

Enzymatic degradation of lactose in raw milk using immobilised lactase



[source: URL <http://jesslevels.blogspot.it/2015/11/biology-chapter-3-enzymes-immobilizing.html>]

## The big jellyfish scam

Jellyfish is a daring delicacy for the Chinese cuisine and sells at very high prices

In 2015 China police have raided two fake jellyfish workshops in Huzhou

Police estimate that more than 10 tonnes of gel made with water, alginate, calcium chloride and ammonium alum have been sold into local food markets for more than 170,000 yuan (26,100 USD)



[source: Martin Yip, “Chinese police uncover huge fake jellyfish scam”, BBC Chinese, Tue May 10 10:02:03 CEST 2016, URL <http://www.bbc.com/news/world-asia-china-36253779>]

## Alginati e "scultura"

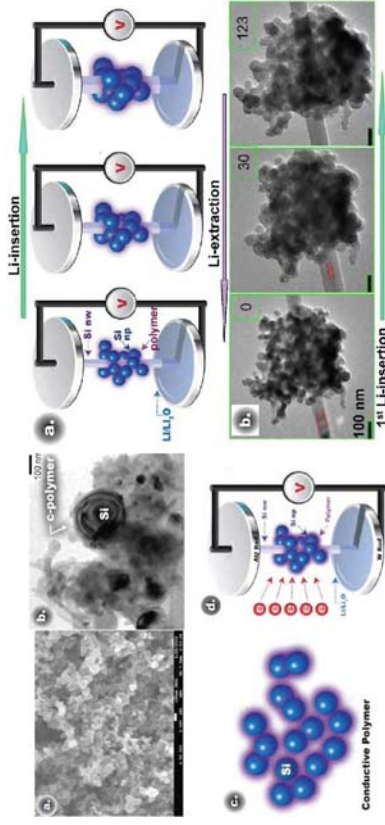
Gli alginati sono usati per tecniche di *lifecasting* [URL <http://en.wikipedia.org/wiki/Lifecasting>]



[*source*]: Edoard Joseph Dantan, "A Casting from Life" (1887)  
 URL [http://en.wikipedia.org/wiki/%C3%89douard\\_Joseph\\_Dantan](http://en.wikipedia.org/wiki/%C3%89douard_Joseph_Dantan),  
 URL [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/25/E.douard\\_Dantan\\_A.Casting\\_from\\_Life.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/25/E.douard_Dantan_A.Casting_from_Life.jpg),  
 Brighton Body Casting, URL <http://www.brightonbodycasting.com/about-brighton-body-casting.php>,  
 URL <http://www.brightonbodycasting.com/images3/alginate.jpg>, Olivier Duhamel, URL <http://www.bodyescape.net.nz>,  
 URL <http://www.bodyescape.net.nz/images/castings/face/face%20casting%2003.jpg>,  
 URL <http://www.bodyescape.net.nz/images/castings/modest/arm%20and%20shoulders%20casting%2021.JPG>]

## Alginati come materiali (2/4)

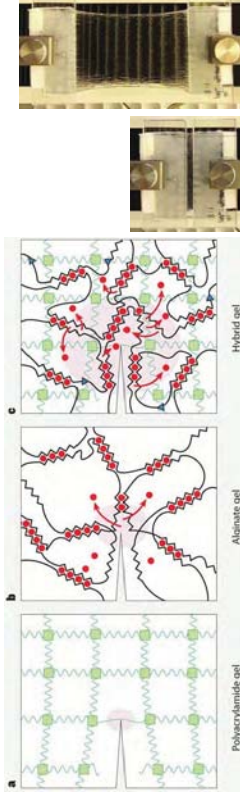
Batterie a ioni litio ad alta capacità potrebbero essere prodotte con nanoparticelle di silicio annegate in un gel di alginati



[*source*]: Igor Kovalenko, et al., "A major constituent of brown algae for use in high-capacity Li-ion batteries", *Science*, 334, 75-79 (2011), DOI: 10.1126/science.1209150, URL <http://www.sciencemag.org/content/334/6052/75.abstract>] [*source*]: Meng Gu, et al., "Mesopore origin of the enhanced cycling-stability of the Si-conductive polymer anode for Li-ion batteries", *Nature Scientific Reports*, 4, 3684 (2014), DOI: 10.1038/srep03684, URL <http://www.nature.com/srep/2014/1/40114/srep03684/full/srep03684.html>]

## Alginati come materiali (1/4)

L'acido alginico ed i suoi derivati non sono usati esclusivamente come prodotti alimentari ma sono importanti anche come componenti di materiali innovativi



[*source*]: J.-Y. Sun, X. Zhao, W. R. K. Illeperuma, O. Chaudhuri, K. H. Oh, D. J. Mooney, J. J. Vlassak, Z. Suo, "Highly stretchable and tough hydrogels", *Nature*, 489, 133-136 (2012),  
 URL <http://www.nature.com/nature/journal/v489/n7414/full/nature11409.html>, DOI: 10.1038/nature11409]

## Alginati come materiali (6/4)

Skipping Rocks Lab develops "Ooho!" an edible water blob they call "bottle"



[*source*]: Skipping Rocks Lab, URL <http://www.skippingrockslab.com>, URL <http://www.oohowater.com>,  
 URL [https://en.wikipedia.org/wiki/Edible\\_water\\_bottle](https://en.wikipedia.org/wiki/Edible_water_bottle),  
 URL <http://www.oohowater.com/images/01b%20background.jpg>]

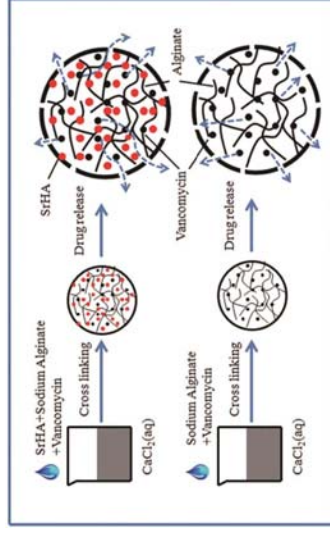
## Applicazioni in ambito farmacologico e medico

Prodotti a base di alginato di sodio (Gaviscon)



<https://youtu.be/thyV0vpx6I>

Prodotti a base di alginato di sodio per il rilascio di farmaci, di probiotici



- <https://pubs.acs.org/action/doSearch?AllField=sodium+alginate>
- [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=\(sodium+alginate\)](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=(sodium+alginate))
- <https://www.nature.com/search?q=sodium%20alginate>

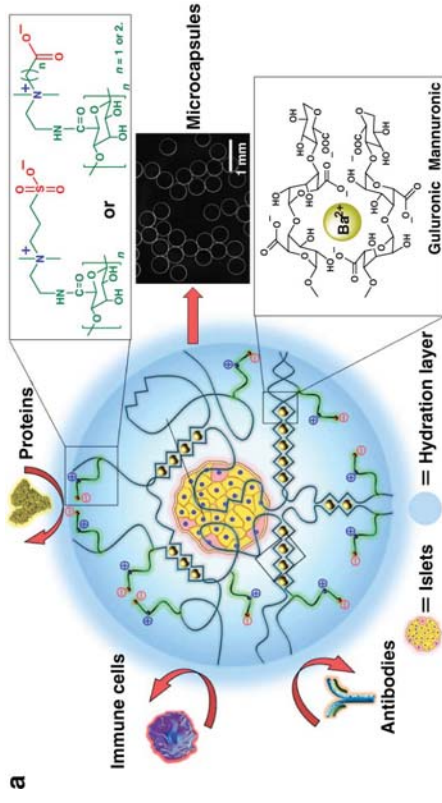
## Alginati come materiali (3/4)

La ricostruzione di tessuti cardiaci danneggiati può essere indotta usando come impalcatura un gel tridimensionale di alginati con all'interno dei nanofili di oro



[sorgente: Tai Dvir, et al., "Nanowired three-dimensional cardiac patches" *Nature Nanotechnology*, 6, 720-725 (2011). DOI: 10.1038/nmat.2011.160. URL <http://www.nature.com/nature/journal/v6/n11/full/nmat.2011.160.html>]

## Incapsulamento di biomolecole dentro a cellule



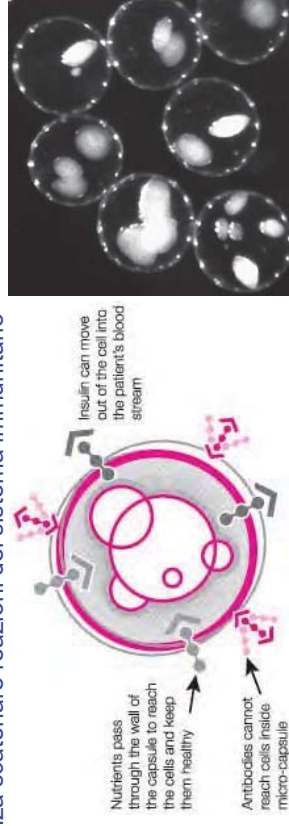
*Nature Communications* volume 10, Article number: 5262 (2019)  
<https://www.nature.com/articles/s41467-019-13238-7>

Capsule di Alginati per il trasporto di cellule vive

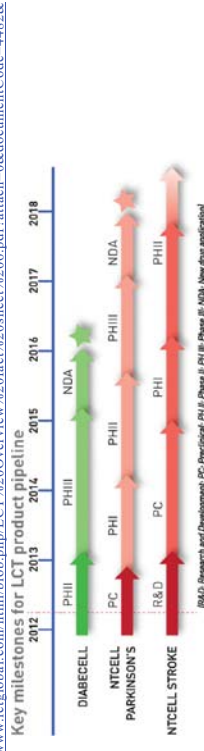
<https://www.youtube.com/watch?v=zCB2bPhFoCI>

## Alginati come materiali (4/4)

Capsule di alginati sono utilizzate per racchiudere cellule sane che possono essere impiantate su pazienti per riparare tessuti danneggiati e/o fornire principi attivi senza scatenare reazioni del sistema immunitario



[sorgente: LCT's Immupel, URL <http://www.lctglobal.com/Products-and-Services/Encapsulation>, URL <http://www.biocisnstitute.org/research/biomic-hearing/Pages/scene-therapy-implants.aspx>, URL <http://www.lctglobal.com/html/blob.php/LCT%20Overview%20fact%20sheet%206.pdf?attach=0&documentCode=4482&>]





## Scopo

Eseguire un esperimento di sferificazione e usarlo come pretesto per discutere di

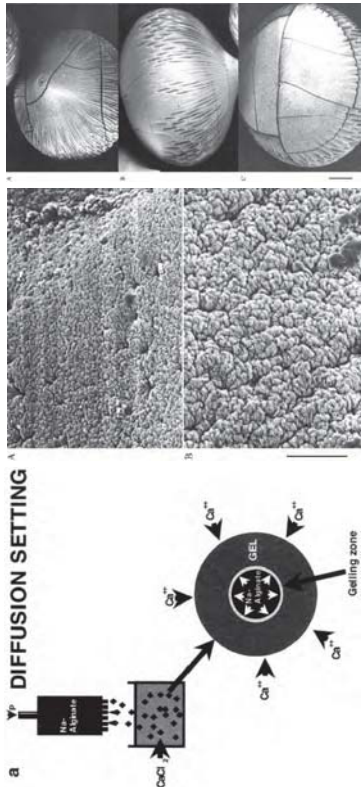
- polimeri
- carboidrati
- gel
- complessi di coordinazione
- forze intermolecolari
- energia ed entropia
- equilibrio chimico
- diffusione



[sorgente: IBM's [Word Cloud Generator](#) — build 32]

## Gel di alginato di calcio

Gocciolando una soluzione di alginato di sodio in una contenente ioni calcio è possibile creare sfere gelificate di alginato di calcio



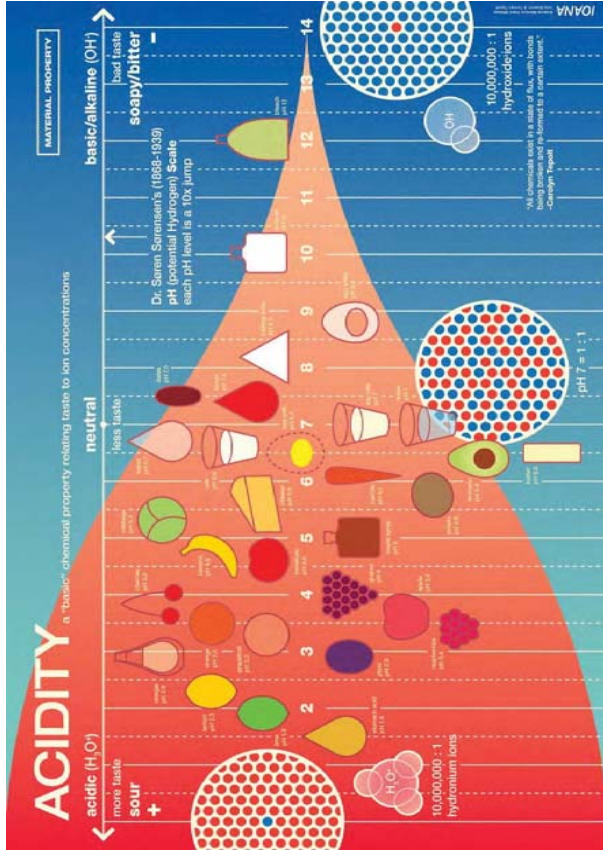
[sorgente: K. I. Draget, O. Smidsrød, G. Skjåk-Braek, "Alginates from Algae", volume 1, in "Polysaccharides and Polyamides in the Food Industry Properties, Production, and Patents", A. Steinbüchel and S. K. Rhee editors, (Wiley, Weinheim DE, 2005), ISBN: 978-3-527-31345-7, URL <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-3527313451.html>, URL [http://media.johnwiley.com.au/product\\_data/excerpt/51/35273134/3527313451-1.pdf](http://media.johnwiley.com.au/product_data/excerpt/51/35273134/3527313451-1.pdf)]  
 [sorgente: TEM Ca-alginate microdrops — G. Fundueanu, C. Nastuzzi, A. Carpo, J. Desbrieres, M. Rinaudo, "Physico-chemical characterization of Ca-alginate microparticles produced with different methods", *Biomaterials*, 20, 1427–1435 (1999), URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142961299000502>, DOI 10.1016/S0142-9612(99)00050-2]

La gelazione procede dall'esterno verso l'interno con regime diffusivo

## Ioana Urma's pH poster

Ioana Urma is an architect and a terrific graphic designer

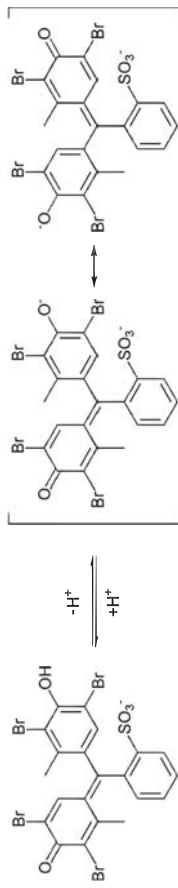
[sources: ioana Urma URL <http://ioanacolor.com>,  
 URL <http://www.pstnut.biz/ioanaUrmaL.jpg>,  
 Visualizations of Science Concepts URL <http://science.fare.org/visualizations-science-concepts/>]



## Indicatori di pH

Gli indicatori sono molecole che cambiano colore al variare del pH; ad esempio:

pH  $\leq 3.8$ , giallo      verde bromocresolo (pK<sub>a</sub> = 4.9)      pH  $\geq 5.4$ , blu

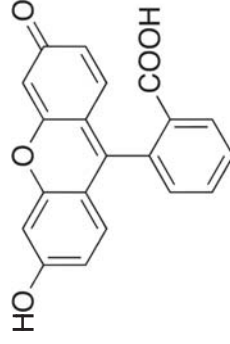


[sorgente: Friends of the Earth, Litmus paper billboard (1991), URL <http://www.foe.co.uk>, URL [http://en.wikipedia.org/wiki/Bromocresol\\_green](http://en.wikipedia.org/wiki/Bromocresol_green),]



## Coloranti fluorescenti

La fluoresceina è un colorante fluorescente

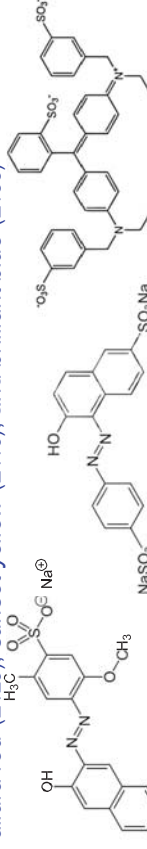


[sorgenti: URL <http://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescein>,  
Doug Savage's *Savage Chickens*, URL <http://www.savagechickens.com/2009/02/theyre-watching.html>]

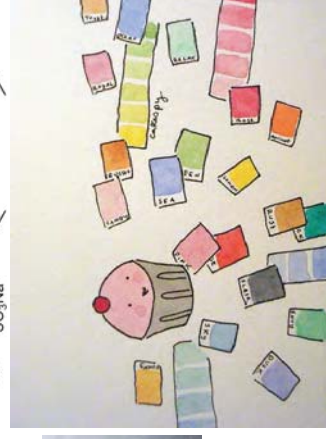
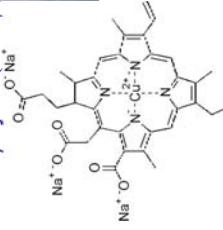
## Coloranti alimentari

I codici europei E per gli additivi includono anche i coloranti alimentari; ad esempio:

**allura red** (E129), **sunset yellow** (E110), and **brilliant blue** (E133)



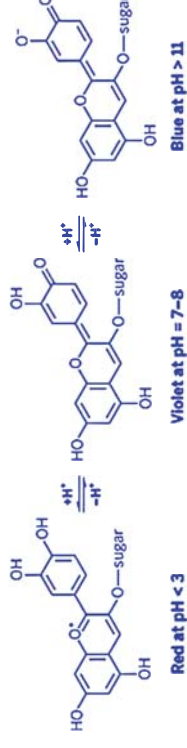
**chlorophyllin** (E141)



[sorgenti: URL [http://en.wikipedia.org/wiki/E\\_number](http://en.wikipedia.org/wiki/E_number), URL [http://en.wikipedia.org/wiki/Allura\\_Red\\_AC](http://en.wikipedia.org/wiki/Allura_Red_AC),  
URL [http://en.wikipedia.org/wiki/Sunset\\_Yellow\\_FCF](http://en.wikipedia.org/wiki/Sunset_Yellow_FCF), URL <http://en.wikipedia.org/wiki/Chlorophyllin>,  
URL [http://en.wikipedia.org/wiki/Bright\\_Blue\\_FCF](http://en.wikipedia.org/wiki/Bright_Blue_FCF), URL <http://www.craftsy.com/blog/2013/10/press-of-food-coloring/>]

## Cavolo Rosso

La pianta di cavolo rosso cambia colore in base al pH del terreno, a causa di un pigmento (cianidina glucoside) appartenente alla famiglia degli antociani



Red at pH < 3

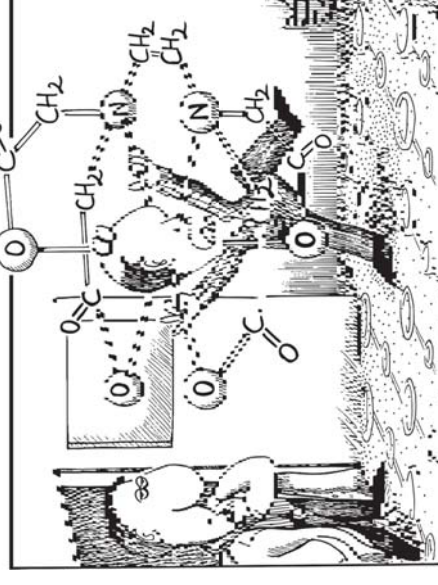
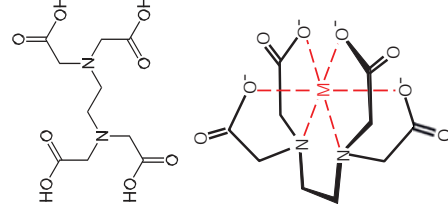
Violet at pH = 7-8

Blue at pH > 11

[sorgenti: URL [https://en.wikipedia.org/wiki/Red\\_cabbage](https://en.wikipedia.org/wiki/Red_cabbage), URL <https://en.wikipedia.org/wiki/Cyanidin>,  
URL [https://pubs.acs.org/en/\\_mg/86/5/0850bus111b-2](https://pubs.acs.org/en/_mg/86/5/0850bus111b-2),  
Jennifer Wolf, URL <https://jenniferwolfchemistry.wordpress.com/2012/11/21/ph-indicator-from-red-cabbage/>,  
URL [http://images.fatworldknowledge.com/axenilf8k/axenilf8k-fig16\\_013.jpg](http://images.fatworldknowledge.com/axenilf8k/axenilf8k-fig16_013.jpg)]

## EDTA

L'anione dell'acido etilendiamminotetraacetico (EDTA — E385) è un chelante di ioni metallici



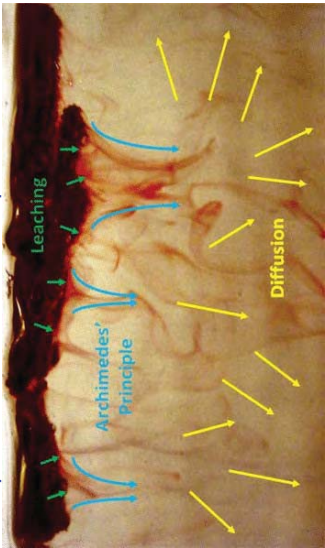
[sorgenti: URL [http://en.wikipedia.org/wiki/Ethylendiamminotetraacetate\\_acid](http://en.wikipedia.org/wiki/Ethylendiamminotetraacetate_acid),  
Strange Matter URL [http://www.lab-initio.com\\_URL](http://www.lab-initio.com_URL) <http://www.lab-initio.com/2500pi/nz248.jpg>]

## Diffusione

**I gel di alginato assomigliano a spugne bagnate:** sono caratterizzati da nano o micro canali e cavità riempiti di liquido, in grado di far fluire piccole molecole attraverso di loro. Modificando il valore di pH del mezzo esterno e usando un indicatore di pH, si può verificare che il pH della parte interna della sfera cambi.

Il cambiamento di colore non si verifica istantaneamente, proprio come quando una bustina di tè modifica lentamente il colore dell'acqua calda durante il periodo di infusione del tè, anche se, per le sfere gelificate, l'indicatore inizia a cambiare colore dall'esterno e raggiunge lentamente l'interno

**Esempio:** l'infusione del tè comprende vari fenomeni fisici, tra cui la diffusione



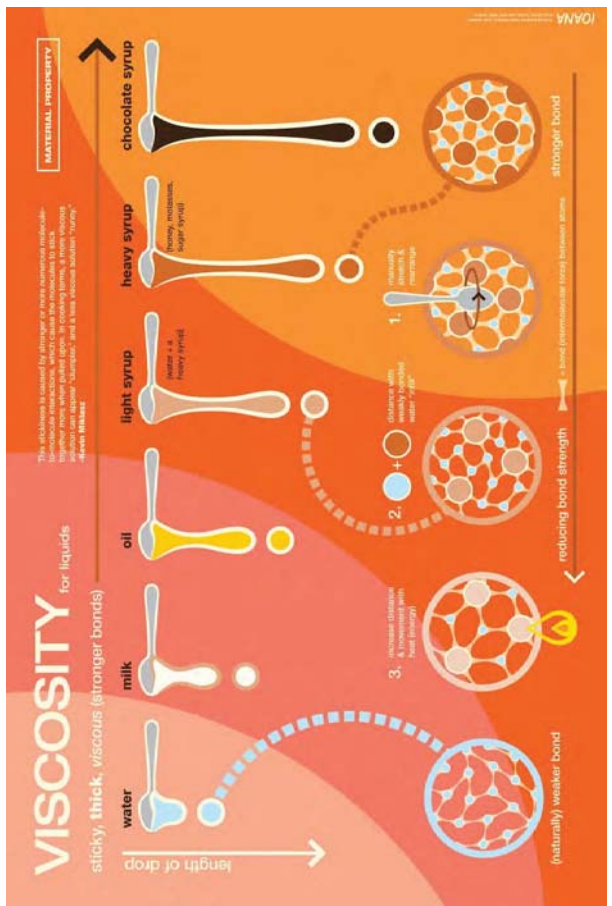
[sources: Fundamental Photographs, URL <http://iphoto.com>, URL <http://photo.photostelter.com/image/10000/D/Bust/Mp/XA.M>, Daniel Ives, "Tea time: flow physics involved in brewing tea", URL <http://www.colorado.edu/MCNEL/flovvvis/galleries/2009/Get-Wet/Reports/Ives.pdf>.

G. Lian, C. Astill, "Computer simulation of the hydrodynamics of teabag infusion", Food Bioprod. Process., 80, 155–162 (2002). DOI 10.1205/096030802760309179, URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960308502703155>

## Ioana Urma's Viscosity poster

Ioana Urma is an architect and a terrific graphic designer

[sources: ioana Urma URL <http://ioanaicolor.com>, URL <http://www.petrut.biz/IoanaUrmaLink>, Visualizations of Science Concepts URL <http://science.fare.org/visualizations/science-concepts>]



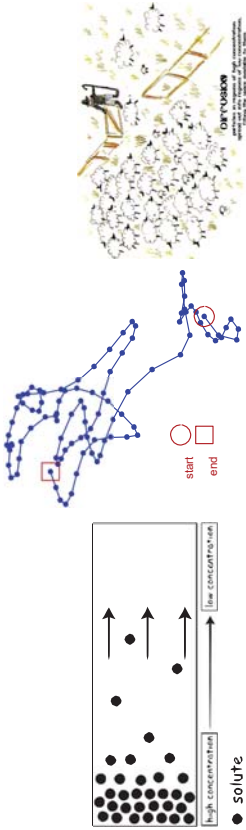
## Diffusione

La diffusione è un fenomeno di trasporto di massa che è originato dal moto termico casuale delle molecole e/o particelle in fase fluida condensata

Il moto diffusivo è presente anche in assenza di gradienti di concentrazione

**Esempio:** moto browniano di particelle colloidali (esempio polline, argilla, caseina)

[Nota: le molecole di solvente, molto più piccole delle particelle colloidali, non sono disegnate]



[sources: diffusion sheep URL [http://www.owlnet.rice.edu/~eng402/proj02/stanchan\\_diffusion\\_membrane\\_URL](http://www.owlnet.rice.edu/~eng402/proj02/stanchan_diffusion_membrane_URL) [http://www.biologyguide.net/biol1/3b\\_exchange.htm](http://www.biologyguide.net/biol1/3b_exchange.htm),]

La traiettoria di una particella colloidale originata dagli urti casuali con il solvente è modellata in maniera probabilistica (stocastica)

## Esperimento di sferificazione (1/6)

Materiali:

- 1 contenitore per lavaggi, 2 bacinelle, 5 vaschette da pesata, 1 colino, 1 becher, 4 pipette, 2 cucchiari, 1 spruzzetta, carta, indicatore universale

Reagenti:

- (a) cloruro di calcio (E509), soluzione al 2%<sub>w</sub>
- (b) alginato di sodio (E401), soluzione al 2%<sub>w</sub>
- (c) acido cloridrico HCl (E507), soluzione 0.1 mol dm<sup>-3</sup>
- (d) idrossido di sodio NaOH (E524), soluzione 0.1 mol dm<sup>-3</sup>
- (e) acido EDTA (E385), cristallino
- (f) carbonato di sodio Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (E500), cristallino
- (g) acqua distillata
- (h) indicatori di pH e fluoresceina (o coloranti alimentari)

[sources: Wikipedia — URL [http://en.wikipedia.org/wiki/E\\_number](http://en.wikipedia.org/wiki/E_number)

Science Fare UK Food Standards Agency — URL <http://www.food.gov.uk/policy-advice/additivesbranch/enumbertlist>

[sources: The Swedish Chef from Jim Henson's The Muppet Show as sketched by Roger Langridge, URL [http://en.wikipedia.org/wiki/Jim\\_Henson](http://en.wikipedia.org/wiki/Jim_Henson), URL [http://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Swedish\\_Chef](http://en.wikipedia.org/wiki/The_Swedish_Chef), URL [http://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Muppet\\_Show](http://en.wikipedia.org/wiki/The_Muppet_Show), URL [http://en.wikipedia.org/wiki/Roger\\_Langridge](http://en.wikipedia.org/wiki/Roger_Langridge), URL <http://www.fairfield.edu.com/oblog/foodandfun/recipes/season-rabbit-season-rabbit-season-conventi>

Sarah L Taylor URL <http://sarahl.taylor.fairfield.edu/~sarl1021/1021-fairfield-season-rabbit-season-conventi>, URL <http://downdetubes.net/?p=10197>, URL <http://i124.photobucket.com/albums/p17/paulforegan/Sketches/Chef.jpg>]



## Esperimento di sferificazione (2/6)

Operazioni preliminari:

- (1) indossare un camice, un paio di guanti, e gli occhiali di protezione



[sorgente: Rich Byrnes: "Boil's Laws": "Orientation — personal protective equipment"; hosted at CHEnacted — Where Chemical Engineers Mix Up. URL <http://enacted.athens.edu/wp-content/uploads/2010/10/BoilsLaws-FPEVhtiesmaliv2.jpg>, Victor Poiré's "Stripped Science", URL [http://www.sciogs.com/striped\\_science/why-to-wear-a-labcoat-cartoon/](http://www.sciogs.com/striped_science/why-to-wear-a-labcoat-cartoon/)]

- (2) prendere 4 pipette in polietilene e tagliare la punta
- (3) preparare/misurare le soluzioni di cloruro di calcio e alginato di sodio

## Esperimento di sferificazione (4/6)

Preparazione della soluzione al 2%, di alginato di sodio:

- (1) prelevare con becher 40 cm<sup>3</sup> di soluzione al 2%, di alginato di sodio
- (2) controllare il pH con indicatore universale

Preparazione di 3 + 1 soluzioni di alginato di sodio con indicatore e/o colorante:

- [a] senza indicatore/colorante (effetto sorpresa)
  - [b] blu bromotimolo (giallo–blu, pH 6.0–7.6)
  - [c] verde bromocresolo (giallo–blu, pH 3.8–5.4)
  - [d] fluoresceina
  - [e] colorante alimentare (opzionale)
- (1) versare in una vaschetta da pesata pulita 12 cm<sup>3</sup> circa (un quarto) di soluzione di alginato di sodio
  - (2) aggiungere 5 gocce di un indicatore/colorante
  - (3) mescolare bene con un cucchiaino pulito
  - (4) lavare ed asciugare il cucchiaino
  - (5) annotare il tipo di indicatore/colorante aggiunto
  - (6) ripetere i punti (1)–(5) con altro indicatore/colorante

[sorgenti: Jim Henson's Swedish Chef as sketched by Roger Langridge. URL [http://en.wikipedia.org/wiki/Jim\\_Henson](http://en.wikipedia.org/wiki/Jim_Henson), URL [http://en.wikipedia.org/wiki/Roger\\_Langridge](http://en.wikipedia.org/wiki/Roger_Langridge)]

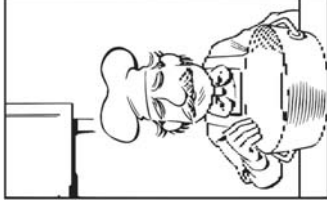
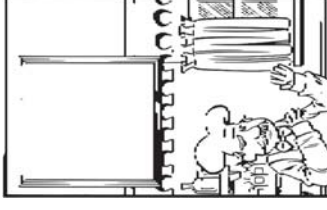
Børk! Børk! Børk! The Swedish Chef  
<https://www.youtube.com/watch?v=A4J1B8QV0g&list=PLD9J5A8OGw3&index=2>  
<https://www.youtube.com/watch?v=ND7Hk5Up8l8&list=PLD9J5A8OGw3&index=3>

## Esperimento di sferificazione (3/6)

Preparazione della soluzione al 2%, di cloruro di calcio:

- (1) pesare 10 g di cloruro di calcio CaCl<sub>2</sub> in una vaschetta
- (2) versare il cloruro di calcio CaCl<sub>2</sub> in una bacinella
- (3) versare il con becher 500 cm<sup>3</sup> di acqua distillata nella bacinella
- (4) mescolare con il cucchiaino e sciogliere cloruro di calcio CaCl<sub>2</sub>
- (5) controllare il pH con un pezzettino di indicatore universale
- (6) lavare ed asciugare il cucchiaino e la vaschetta

[sorgenti: Jim Henson's Swedish Chef URL [http://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Swedish\\_Chef](http://en.wikipedia.org/wiki/The_Swedish_Chef), Roger Langridge URL [http://en.wikipedia.org/wiki/Roger\\_Langridge](http://en.wikipedia.org/wiki/Roger_Langridge), [https://muppet.fandom.com/wiki/The\\_Swedish\\_Chef\\_\(The\\_Swedish\\_chef\)](https://muppet.fandom.com/wiki/The_Swedish_Chef_(The_Swedish_chef)) <https://www.youtube.com/watch?v=VN1h9cm7s0> <https://www.youtube.com/watch?v=B7UmUX68kTE> <https://www.youtube.com/watch?v=9GfSABOGw3c>

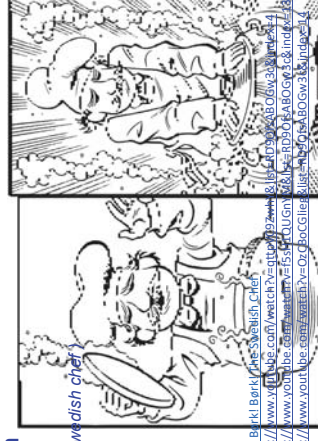


## Esperimento di sferificazione (5/6)

Preparazione delle sfere di gel di alginato di calcio in sequenza [a]–[e]:

- (1) prelevare con una pipetta pulita 2 cm<sup>3</sup> circa (ovvero due tacche) di soluzione di alginato/indicatore evitando/espellendo le bolle d'aria
- (2) gocciolare, con attenzione ed in punti diversi, da una distanza di 2–3 cm dalla superficie del liquido il contenuto della pipetta nella bacinella di soluzione di cloruro di calcio CaCl<sub>2</sub>
- (3) ripetere (1)–(2) fino ad usare tutta la soluzione di alginato/indicatore
- (4) lavare ed asciugare la vaschetta
- (5) separare le sfere di gel di alginato di calcio travasando la soluzione da una bacinella all'altra attraverso il colino
- (6) lavare le sfere con acqua distillata, poi asciugarle su carta e trasferirle in una vaschetta pulita
- (7) dichiarare "Børk, Børk, Børk!" (the Swedish chef)
- (8) ripetere (1)–(7) con la successiva soluzione di alginato/indicatore

[sorgenti: Jim Henson and Roger Langridge. URL [http://muppet.wikia.com/wiki/The\\_Swedish\\_Chef](http://muppet.wikia.com/wiki/The_Swedish_Chef), URL <https://www.google.com/7911-xx-bork>, URL <http://www.es.atexis.edu/%7F/bc/home/chef.html>, URL <http://www.almae.co.uk/chef/chef.html> <https://www.youtube.com/watch?v=B7UmUX68kTE> <https://www.youtube.com/watch?v=VN1h9cm7s0>



Børk! Børk! Børk! The Swedish Chef  
<https://www.youtube.com/watch?v=A4J1B8QV0g&list=PLD9J5A8OGw3&index=2>  
<https://www.youtube.com/watch?v=ND7Hk5Up8l8&list=PLD9J5A8OGw3&index=3>

## Esperimento di sferificazione (6/6)



### Attenzione:

prestare attenzione ai cambiamenti di morfologia e/o colore che possono avvenire abbastanza rapidamente

Prendere le vaschette con indicatore [b] e [c], poi aggiungere:

- (1) alla vaschetta [b], blu bromotimolo, 5 cm<sup>3</sup> di idrossido di sodio NaOH
- (2) alla vaschetta [c], verde bromocresolo, 5 cm<sup>3</sup> di acido cloridrico HCl

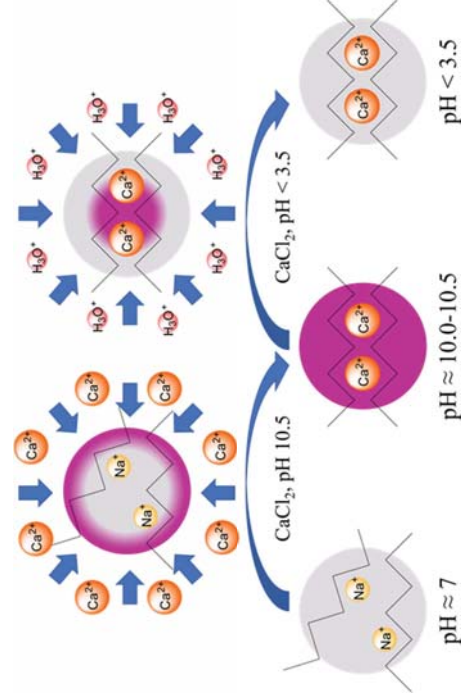
Prendere le vaschette con fluoresceina [d] e incolore [a], poi aggiungere:

- (3) alla vaschetta [d] una mezza spatola di carbonato di sodio cristallino Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, poi 5 cm<sup>3</sup> di acqua distillata, ed mescolare per sciogliere il solido
- (4) alla vaschetta [a] una mezza spatola del sale acido EDTA cristallino, poi 5 cm<sup>3</sup> di idrossido di sodio NaOH, ed mescolare per sciogliere il solido

Controllare e annotare il pH finale in tutti i 4 campioni

**Domanda:** cosa succede alle sferette di gel nei quattro casi? Perché?

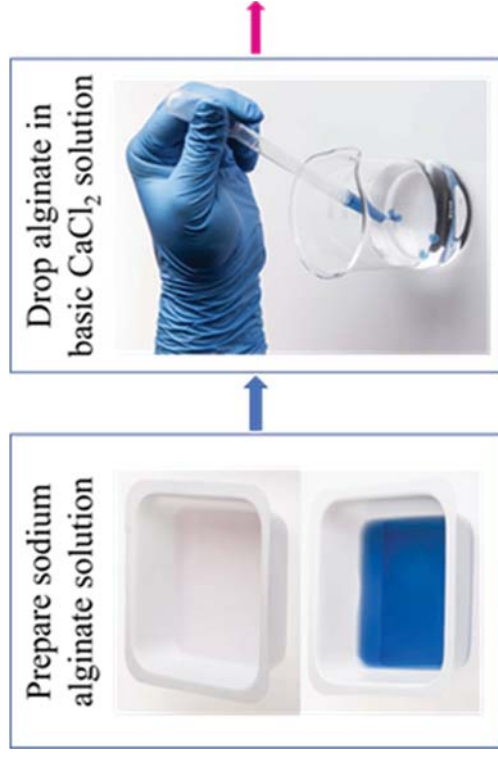
Source: My Safety Sign, URL <http://www.mysafetysign.com>, Jim Henson's Beaker URL [http://en.wikipedia.org/wiki/Beaker\\_\(Muppet\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Beaker_(Muppet)), URL <http://muppet.wikia.com/wiki/Beaker>, URL <http://colorbook.fortunecity.ws/coloring2/muppets1.gif>



rappresentazione schematica dei processi diffusivi che si

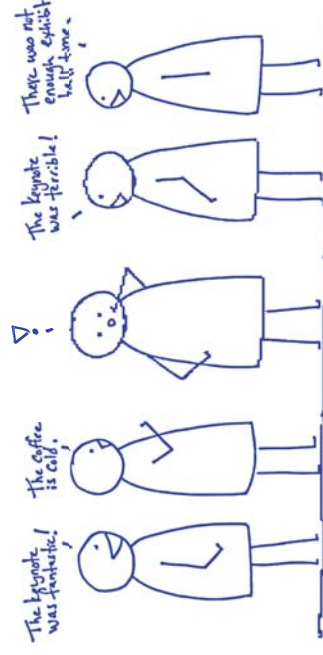
svolgono nelle goccioline nelle varie fasi dell'esperimento.

- goccia di alginato di sodio neutro iniziale, processo di gelificazione dopo la caduta in una soluzione CaCl<sub>2</sub> di base (pH ≈ 10,5).
- goccia gelificata di base a pH ≈ 10,5.
- diffusione di ioni H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + dopo l'immersione della gocciolina in una soluzione acida di CaCl<sub>2</sub> (pH <3,5).
- gocciolina acida gelificata a pH <3,5.



Please, rate us

Per favore, valutate l'esercitazione!



[source: Amanda Kaiser "Getting Feedback" (31Oct2014), URL <http://www.smoothiepath.net/2014/10/31/member-feedback-cartoon>, URL <http://www.smoothiepath.net/wp-content/uploads/2014/10/getting-feedback-2.jpg>]

URL <http://www.p.l.s.unibo.it/it/chimica>

Studenti

<https://survey.unibo.it/fs.aspx?surveyid=6863bf57a29466e85e685ce93f9b9b1>

Insegnanti

<https://survey.unibo.it/fs.aspx?surveyid=4a64433597ba4577bb86ce9da12fac429>

## Coda (1/4)

Non esiste la chimica *buona* (molecole naturali) e quella *cattiva* (molecole artificiali), ma concentrazioni alte o basse rispetto alle soglie di tossicità

[esempio: selenio, vedi URL [http://en.wikipedia.org/wiki/Selenium\\_in\\_biology](http://en.wikipedia.org/wiki/Selenium_in_biology)]

## We love chemicals

love chemicals | eat chemicals | live chemicals



**Ingredients:** water, vegetable oils, sugar, starch, calcium ascorbate (E301), riboflavin (E101), nicotinic acid, pantothenic acid, biotin, folic acid, ascorbic acid (E300), palmitic acid, stearic acid (E570), oleic acid, linoleic acid, maleic acid (E296), oxalic acid, salicylic acid, purines, sodium, potassium, manganese, iron, copper, zinc, phosphorus, chloride, colours, antioxidants.  
**Produced in nature.** Store in a cool, dry place.

[source: Klaas Wynne's *We love chemistry*, URL <http://www.chem.gla.ac.uk/~SHF1/WYNNE/gallery.html>, Jen Sorenson's *Slowpoke*, URL <http://www.slowpokecomics.com>, URL <http://www.bonkersinstitute.org/bonkers%20images/home.lockBIG.gif>]

## Coda (3/4)

The *ComiPoJund Interest* blog created by Andy Brunning is a treasure trove of infographics about the everyday exploration of chemical compounds

## “THE DOSE MAKES THE POISON”

APPLE SEEDS   PEARS   POTATOES   COURGETTES



CONTAIN AMYGDALIN   CONTAIN FORMALDEHYDE   CONTAIN SOLANIN   CONTAIN CLUCURBITACIN E

-0.65/kg of seeds   -0.06g/kg   -0.2g/kg   Variable

(higher in green potatoes)   (higher in bitter courgettes)

ALL OF THE FOOD ITEMS ABOVE CONTAIN NATURAL CHEMICALS THAT ARE TOXIC TO HUMANS. HOWEVER, THEY ARE USUALLY PRESENT IN VERY SMALL AMOUNTS, FAR BELOW THE HARMFUL DOSE.

JUST BECAUSE A CHEMICAL IS PRESENT, DOES NOT MEAN THAT IT IS HARMFUL IN THE AMOUNT PRESENT.

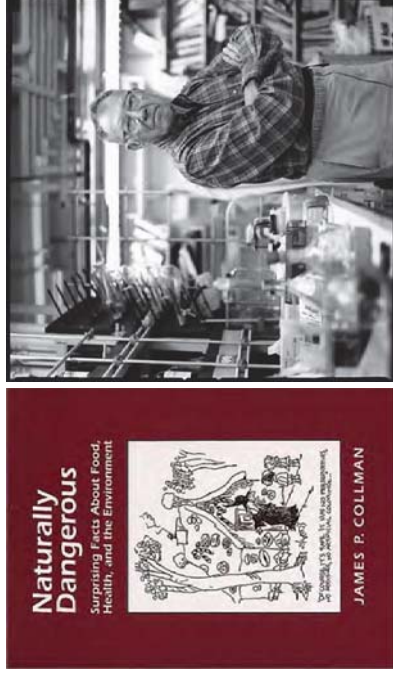


[source: URL <http://www.compoundinterest.com>,

URL <http://www.compoundinterest.com/wp-content/uploads/2014/05/SAS-Doses-Makes-The-Poison-FINAL.png>, *Chemical and Engineering News*, URL <http://cen.acee.org/articles/0912/CE/EN-Talks-Andy-Brunning.html>]

## Coda (2/4)

James P. Collman (1932) is professor emeritus of chemistry at Stanford University and has written a thought provoking book about food, health, and environment



[sources: URL <http://www.stanford.edu/%7Ejpc/>, URL <http://stanfordprofso.com/images/collman.jpg>]

James P. Collman, "*Naturally Dangerous: surprising facts about food, health, and the environment*" (University Science Books, 1st edition, May 2001) ISBN-10: 1891389092, ISBN-13: 978-1891389092 [constantly updated on the web at the URL <http://www.stanford.edu/group/collman/jpc/>]

ALS — Dip. *Chimica Industriale "Enzo Montanari"* (CHIMIND) — 2018/2019, Sferificazione, page 48/51

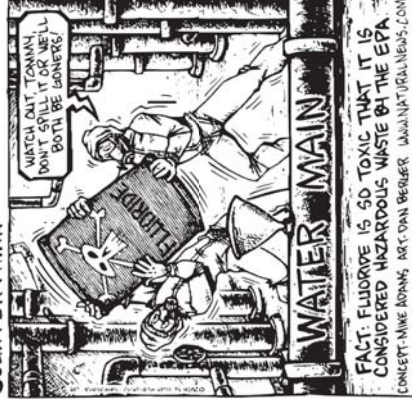
## Coda (4/4)

Lignoranza chimica provoca valutazioni erronee del cosiddetto “rischio chimico”

2/3/2009 6:19 PM BELLAIRE, Ohio (AP)

"Water service for thousands of residents returned to normal Tuesday, a day after the system was flushed to remove hydrochloric acid accidentally added to the village's supply. No illnesses were reported. Forty pounds of the acid were added to Bellaire's water Sunday after a supplier shipped the wrong chemical and the filtration system crew mistook the containers for fluoride..." [Source: USA Today, URL [http://usatoday30.usatoday.com/news/health/2009-02-03-water-acid\\_N.htm](http://usatoday30.usatoday.com/news/health/2009-02-03-water-acid_N.htm)]

## COUNTERTHINK



[source: Mike Adams, URL [http://www.naturalnews.com/021115-Fluoridation\\_fluoride.html](http://www.naturalnews.com/021115-Fluoridation_fluoride.html), URL [http://www.naturalnews.com/News\\_000716\\_Fluoride\\_water\\_supply\\_accident.html](http://www.naturalnews.com/News_000716_Fluoride_water_supply_accident.html)]

ALS — Dip. *Chimica Industriale "Enzo Montanari"* (CHIMIND) — 2018/2019, Sferificazione, page 49/51

ALS — Dip. *Chimica Industriale "Enzo Montanari"* (CHIMIND) — 2018/2019, Sferificazione, page 50/51