

# Inclusione e personalizzazione nell'insegnamento delle STEAM

## Lezione 9: Qualche applicazione particolare Parte V: Scienze dei materiali

**Grzegorz Karwasz**  
**Professor in Experimental Physics**

*- Facoltà di Fisica, Astronomia e Informatica Applicata,  
Universita' Nicolao Copernico, Torun, Polonia*

**karwasz@fizyka.umk.pl**

# Ceramica, vetro

## **Cofanetto da toeletta di Meri**

Nuovo Regno, XVIII dinastia, re  
Amenofi II-III (1428-1351 a.C.)

Legno (sicomoro) con recipienti  
alabastro, vetro e ceramica



# Metalli, leghe

Fe: acciaio, ghisa



Cu: ottone, bronzo



Aluminio, titanio, n



# Modern iron in ancient Egypt (siderurgia)



The 34 centimeter long dagger had a iron-mixture blade with a gold handle with a crystal knob at the end. Artifacts produced with ordinary iron ore quarrying typically display a maximum of 4% nickel, however, Tut's (1341-1321a.C.) weapon contained nearly 11% nickel, and presence of cobalt. This dagger as well as many other iron objects found in ancient Egypt were made from meteorites.



# Ferro, nichel, cobalto

Periodic Table of the Elements

Normal melting points are in °C  
 TP = Triple Point  
 Pressure is listed if not 1 atm  
 Allotrope is listed if more than one allotrope.

Lanthanide Series

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Actinide Series

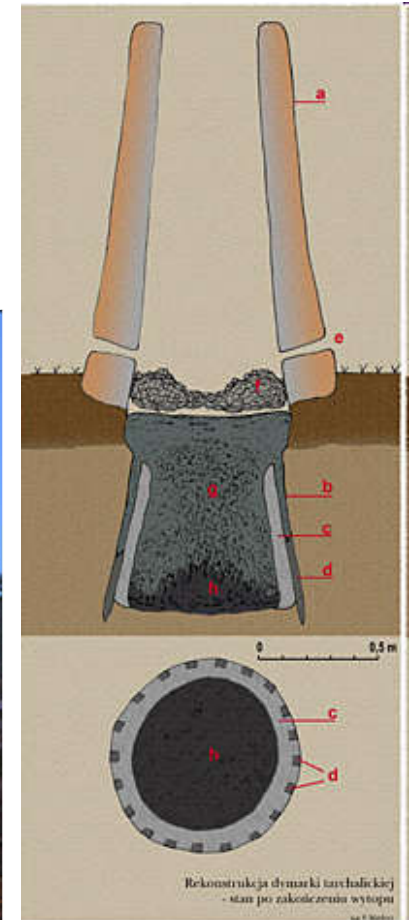
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------

- Alkali Metal
- Alkaline Earth
- Transition Metal
- Basic Metal
- Semimetal
- Nonmetal
- Halogen
- Noble Gas
- Lanthanide
- Actinide

© 2014 Fizzi Multimedia s.p.a. - Milano

# „Età del ferro”

- Storia – forni in argilla, «blumi», lingotti
- Minerali di ferro: limonite, siderite, ...



«Forno a fumare» (nella lingua di pre-Slavi, grandi esportatori di semi-lavorati di ferro per i Romani), o farga catalana, fatta di argilla o creta, permetteva d’ottenere la temperatura di 1200°C - troppo bassa per la fusione del ferro, ma sufficiente alla formazione di una lega spontanea carbone-ferro: venivano prodotti i pezzi (blumi) che successivamente dovevano essere lavorati nelle fucine. I dettagli del processo e la composizione chimica di «blumi» non si conoscono.



# Minerali di ferro



Limonite  $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$



Hematite  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

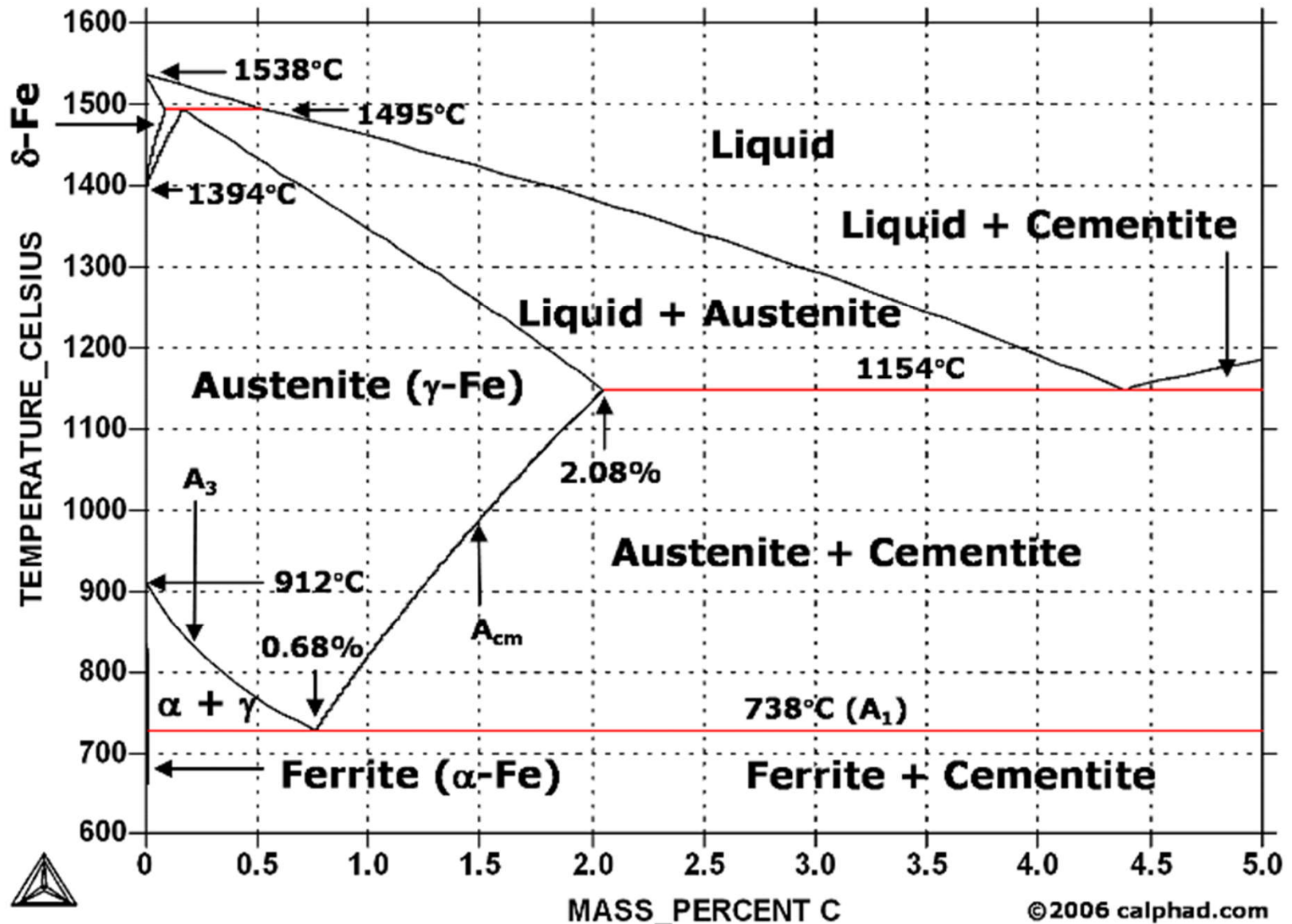


Siderite  $\text{FeCO}_3$



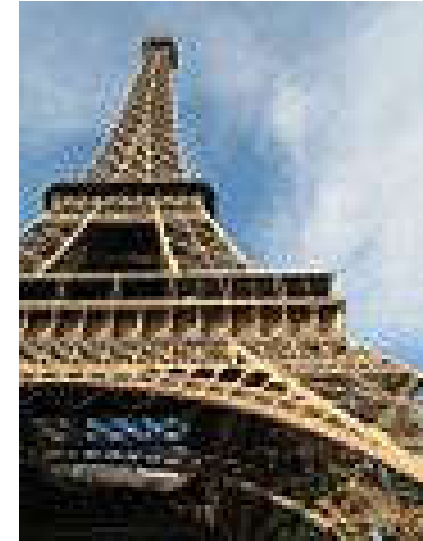
Magnetite  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

# Acciaio: lega di ferro con carbonio (<2.1%)



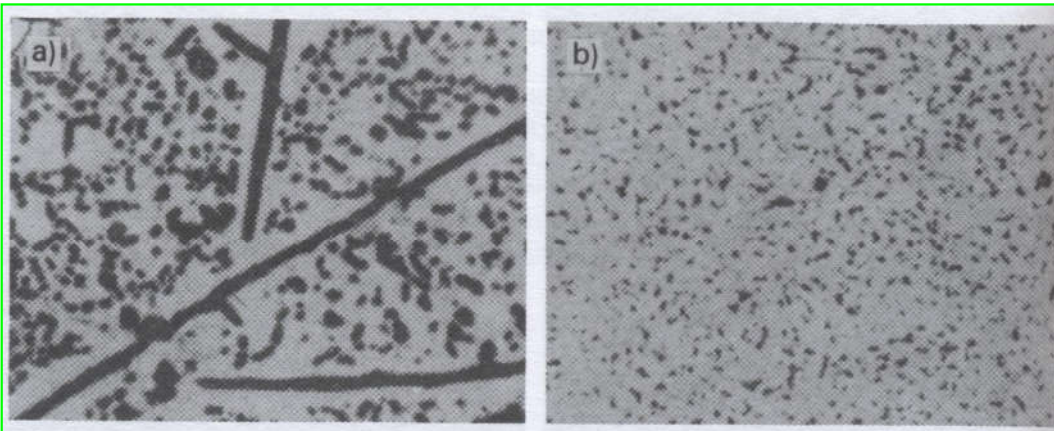


# Ghisa, acciaio, ferro battuto, etc.



[https://en.wikipedia.org/wiki/Wrought\\_iron](https://en.wikipedia.org/wiki/Wrought_iron)

<https://www.supereva.it/ecco-che-aspetto-ha-titanic-oggi-3810-metri-atlantico-39001>

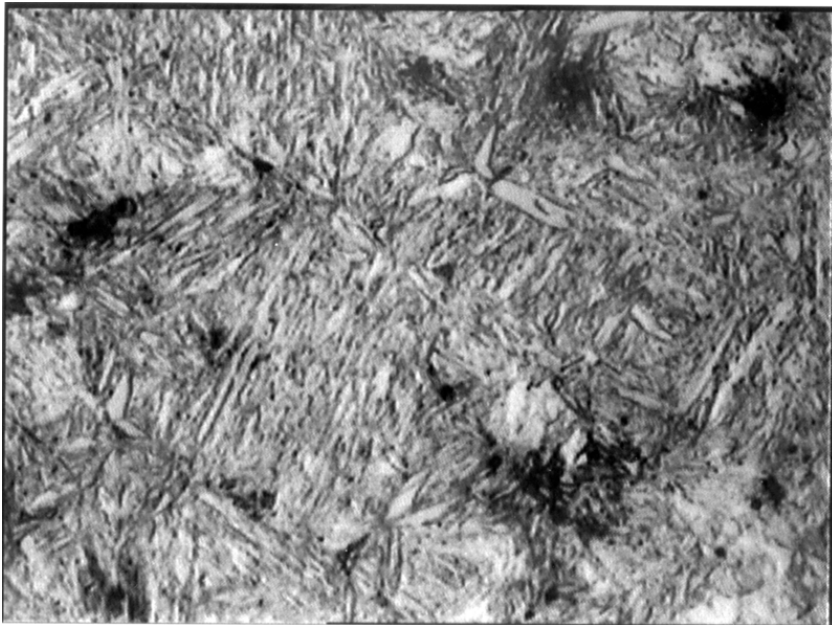


Grafite cristallizzato nella ghisa (lega Fe-C con 4% C)

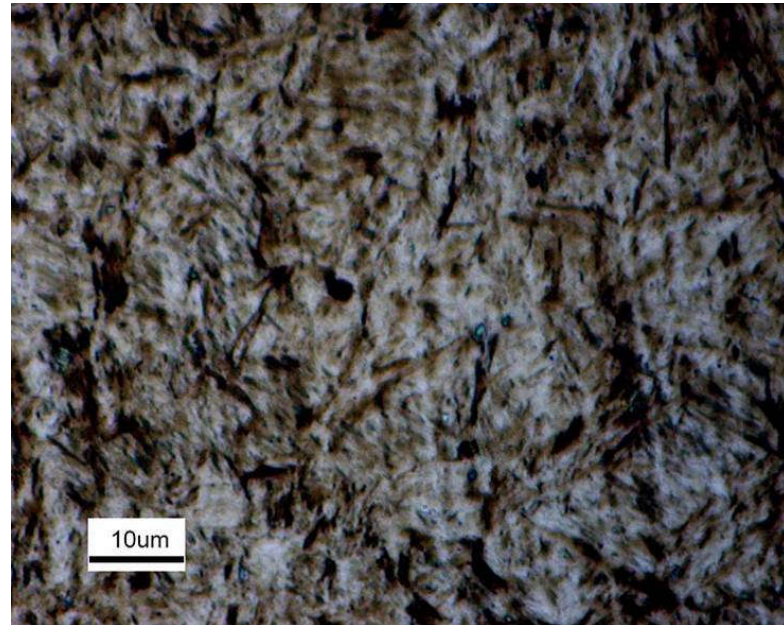
# Acciaio temprato

- The martensite is formed by rapid cooling (quenching) of austenite which traps carbon atoms that do not have time to diffuse out of the crystal structure
- martensite has a body centered tetragonal crystal structure, whereas austenite has a face center cubic (FCC) structure.

Acciaio temprato ha una struttura cristallografica "ad aghi", che assicura la durezza ed elasticità (ma anche fragilità)



Martensite in AISI 4140 steel



0.35%C Steel, water-quenched from 8



# La spada di Damasco



Assedio di Antiochia (1098 d.C.)

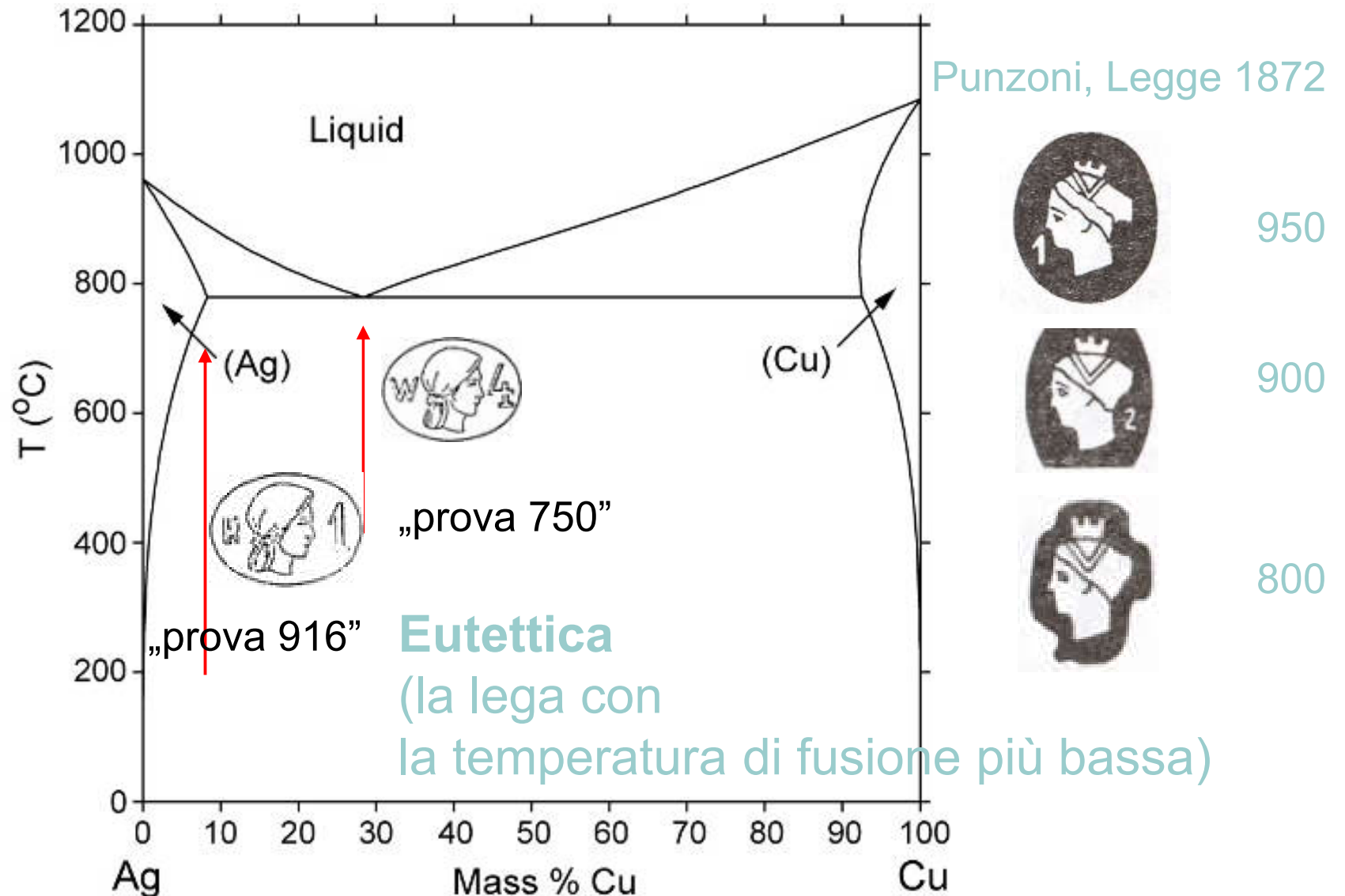
[dott.ssa Claudia

Cepollaro]  
Nella **Forgiatura** la lama era creata modellando il ferro con presse o con maglie inserite nella forgia, una sorta di forno con carboni ardenti alimentati da un mantice. La temperatura non doveva essere troppo elevata per evitare che il ferro diventasse ghisa. **diventasse troppo morbido**. Successivamente la lama, resa arroventata con i carboni della forgia, era lavorata con martello ed incudine. Seguiva la **Tempra** dove il ferro della lama arroventata, divenuto acciaio, veniva immersa in olio o acqua. E per finire il **Rinvenimento**, un trattamento termico con un riscaldamento seguito da un raffreddamento a velocità controllata **(nella urina?)** che dava **durezza e elasticità all'arma**.

<https://lagiovinestoria.blogspot.com/p/le-spade-di-damasco-misteri-del-medioevo.html>



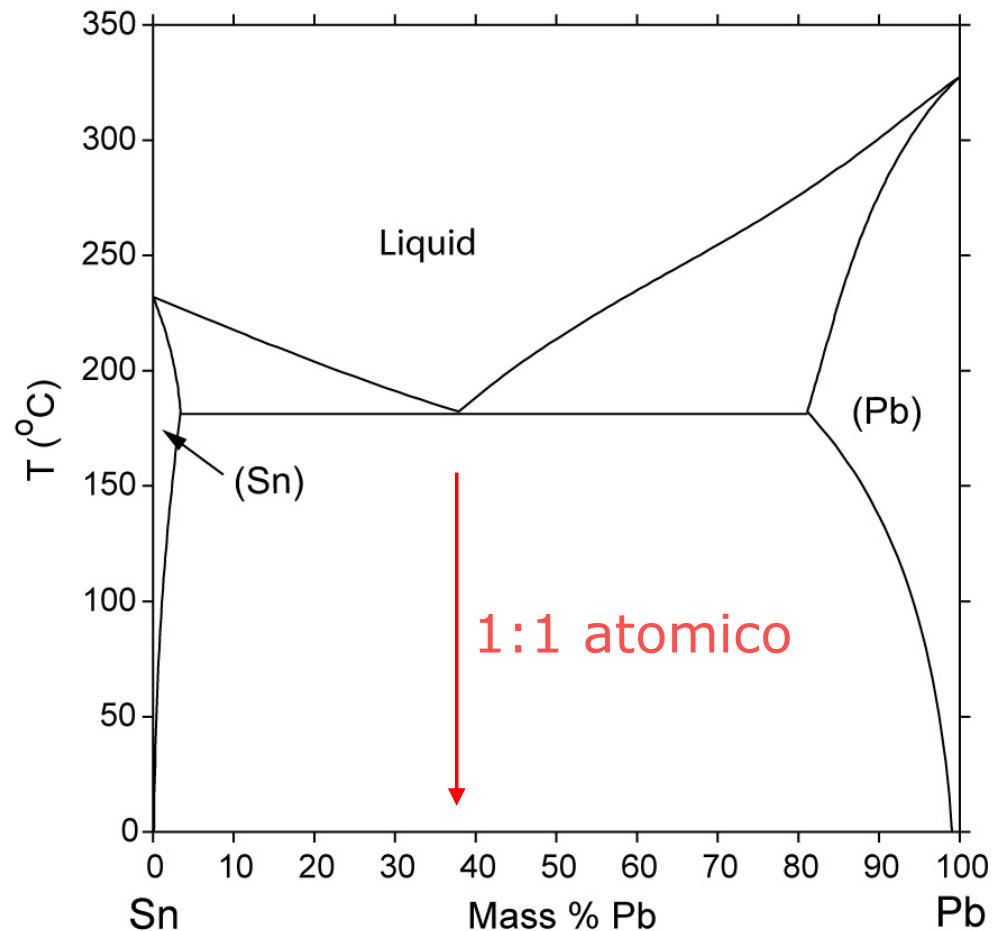
# Lega: una miscela (solida) per migliorare le proprietà meccaniche e di lavorazione



# Diagrammi di fase – lo „stagno” per saldare

**Diagrammi di fase** mostrano, come cambia la temperatura di fusione in funzione del contenuto chimico della lega.

Per esempio, il piombo puro fonde a 325°C e lo stagno puro a 230 °C. Il grafico mostra come cambia la temperatura di fusione per diverse percentuali di massa per la lega Sn↔Pb. La lega con 38%Pb (e 62%Sn) ha la temperatura di fusione più bassa, 182°C. Viene chiamata la **eutettica**.  
Diversi 'triangoli' limitano le determinate 'fasi': il Pb sciolto nello Sn solido, cristalli di lega Sn-Pb galleggianti in liquido Sn (ma di diverse proporzioni, etc.)



Source: NIST

<http://www.metallurgy.nist.gov/phase/solder/pbsn.html>

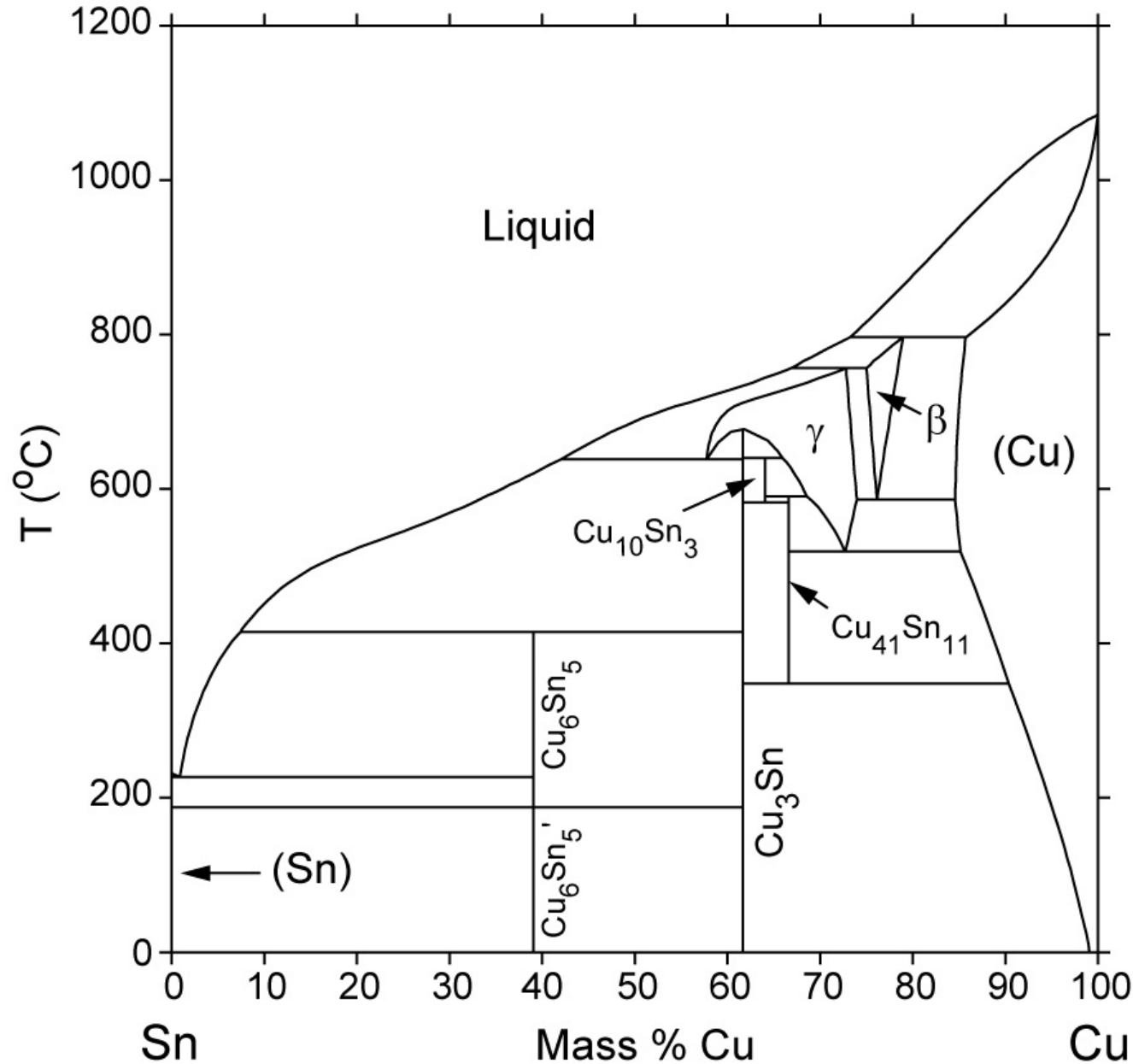
# Età del bronzo 3300-1300 a.C.



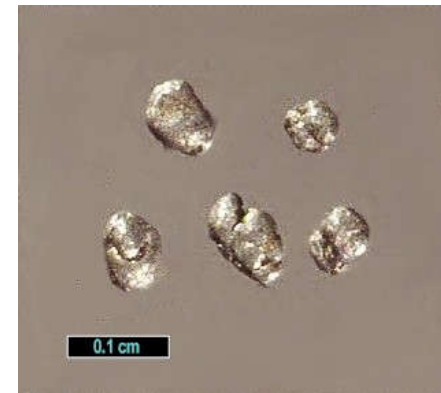
<http://www.metallurgy.nist.gov/phase/solder/cusn.html>  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Bronze\\_Age](http://en.wikipedia.org/wiki/Bronze_Age)  
[http://www.coloradogem.com/images/3507\\_big.jpg](http://www.coloradogem.com/images/3507_big.jpg)  
<http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=2469>  
[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Marek\\_Aureliusz\\_Kapitol.jj](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Marek_Aureliusz_Kapitol.jj)  
<http://www.exceptionalminerals.com/exceptionalroom6.ht>



# à del bronzo (Cu-Sn)



Rame nativo, Michigan, USA



Stagno nativo, NSW Australia

<b>Lega</b>	<b>Applicazione</b>
<b>P- CuZn20Pb</b> <b>P-CuZn35Pb2</b>	<i>Meccanica:</i> Particolari tranciati a freddo, chiavi . <i>Edilizia:</i> Accessori idrosanitari, rubinetteria.
<b>P-CuZn36Pb3</b>	<i>Meccanica:</i> Ingranaggi, pignoni e tutti i particolari a forme complesse che richiedono una impegnativa lavorazione alle macchine utensili ad asportazione di truciolo ad altissima velocità.
<b>P-CuZn36Pb2As</b>	<i>Edilizia:</i> Rubinetteria e raccorderia a contatto con acque potenzialmente atte a determinare il fenomeno della dezincificazione negli ottoni al piombo comuni.
<b>P-CuZn37Pb2</b>	<i>Meccanica:</i> Bilancieri e casse per orologi, parti per orologeria, ingranaggi, ruotismi.
<b>P-CuZn37Pb2Sn</b>	<i>Meccanica:</i> Steli di valvole, viti, dadi e bulloni, particolari per impieghi marini.
<b>P-CuZn38Pb2</b>	<i>Meccanica:</i> Spine, bulloneria, viteria, spilli, occhielli, gancetti, articoli per uso domestico, minuteria metallica, lucchetti, serrature. <i>Edilizia:</i> Rubinetteria cromata, miscelatori termostatici, valvole a sfera, a farfalla, a saracinesca, termostatiche, a quattro vie, organi di intercettazione, regolazione e controllo, valvole per gas.
<b>P-CuZn38Pb4</b>	<i>Meccanica:</i> Piastre, arpionismi e parti metalliche in genere per orologeria.
<b>P-CuZn39Pb1</b>	<i>Meccanica:</i> Viteria e bulloneria ottenute su macchine utensili ad alta velocità.
<b>P-CuZn39Pb2</b>	<i>Edilizia:</i> Accessori per impianti idrosanitari, maniglie per porte e finestre, rubinetti, valvole e loro parti. <i>Meccanica:</i> Lucchetti, serrature, viti, dadi e bulloni.
<b>P-CuZn39Pb3</b> <b>P-CuZn40Pb</b>	<i>Meccanica:</i> Piastre tubiere per scambiatori di calore e condensatori.

# Mega - sbronzi



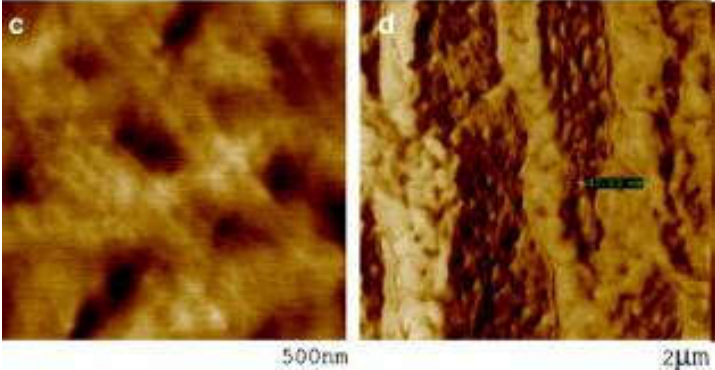
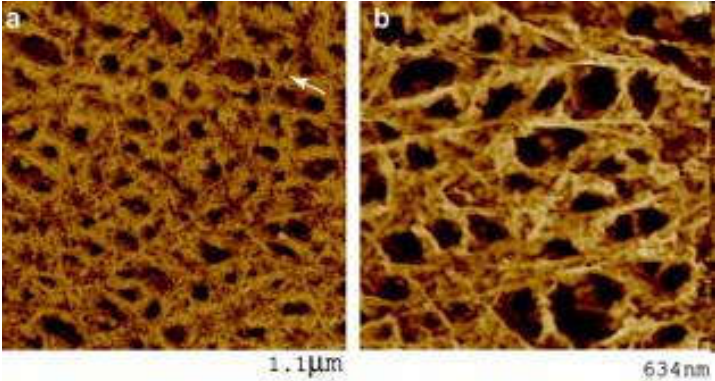
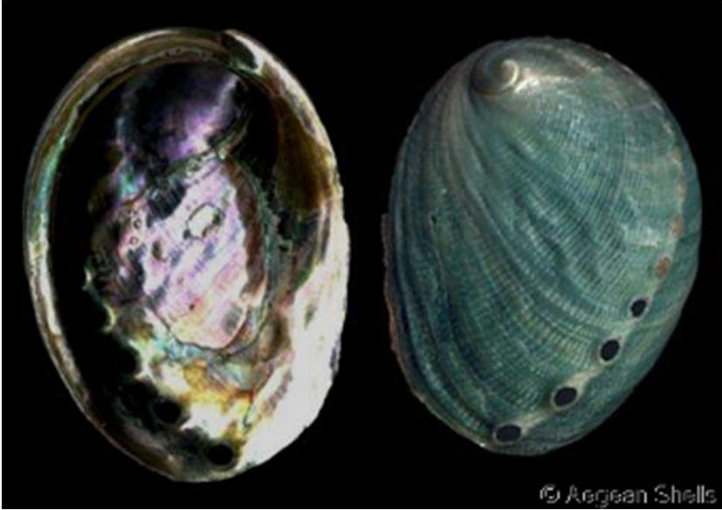
«Колокол цар» – non ha mai suonata  
mai sparato



«Пушка цар» - non ho



# L'ingegneria dei materiali: Red abalone



*Haliotis rufescens* ang. Red abalone  
*Orecchia di mare* — fino a 30 cm  
[http://www.gastropods.com/5/Shell\\_965.shtml](http://www.gastropods.com/5/Shell_965.shtml)

# *Haliotis rufescens*

## Macromolecular structure of the organic framework of nacre in *Haliotis rufescens*: Implications for growth and mechanical behavior

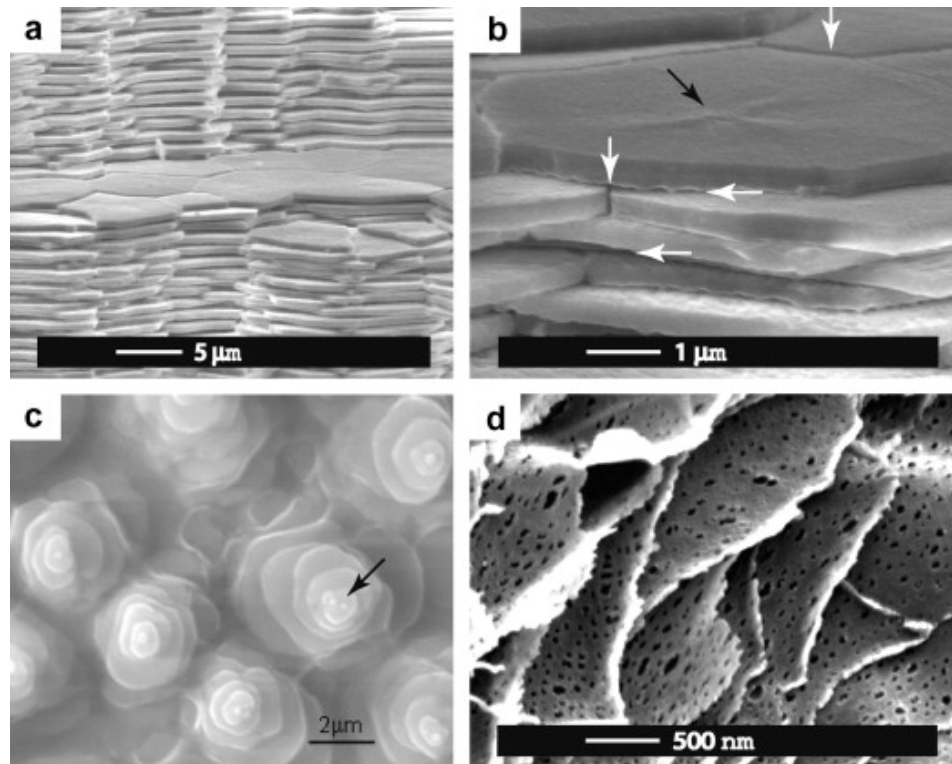


Fig. 1. (a and b) SEM images of fractured nacre from *H. rufescens* illustrating tiles on nearly parallel lamella. The “terrace” consisting of one interlamellar layer of nacre is shown at higher magnification in (b), where the black arrow points to a central region discussed below and referred to in [Mutvei \(1979\)](#). (c) Flat pearls grown on a glass slide inserted into the mantle of a live red abalone (described below). Note the “stack of coins” arrangement with a smaller tile (or tiles) nucleated at the top of each stack. (d) SEM image of a cross section of *H. rufescens* organic matrix, demineralized in EDTA, illustrating individual and apparently porous interlamellar layers

(a, b) La struttura lamellare del guscio, fatta dalle ‘tegole’ di madre perla.

(c) La parte interna è un mosaico di quasi-perle: pile di lamiere

(d) La matrice organica costituisce una rete, tipo filamenti di vetro in ‘vetro-

**Jiddu Bezares<sup>a</sup>, Robert J. Asaro<sup>a, \*</sup> and Marilyn Hawley<sup>b</sup>**

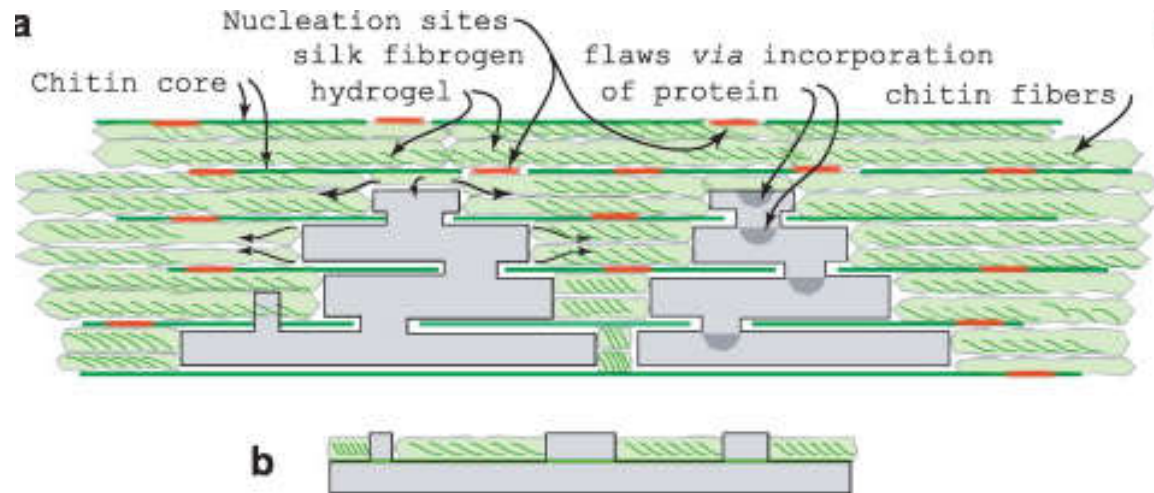
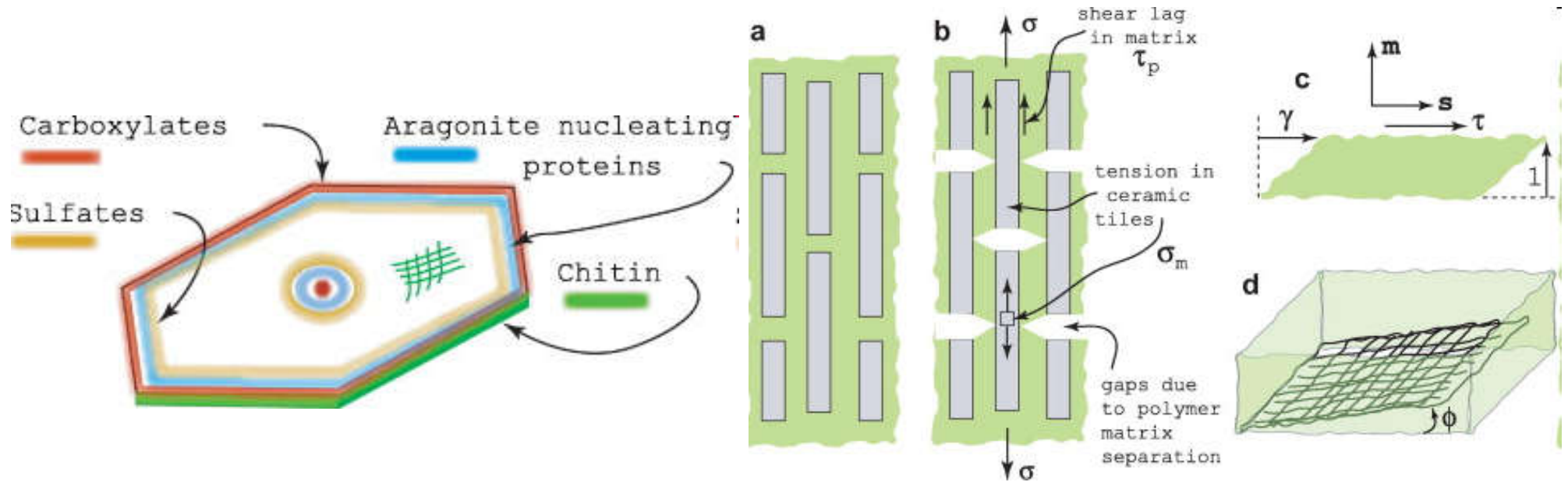
<sup>a</sup> Department of Structural Engineering, University of California, San Diego, CA 92093, USA

<sup>b</sup> Materials Science and Technology Division, Los Alamos National Lab., Los Alamos, NM 87545, USA

**Journal of Structural Biology**

**Volume 163, Issue 1, July 2008, Pages 61-75**

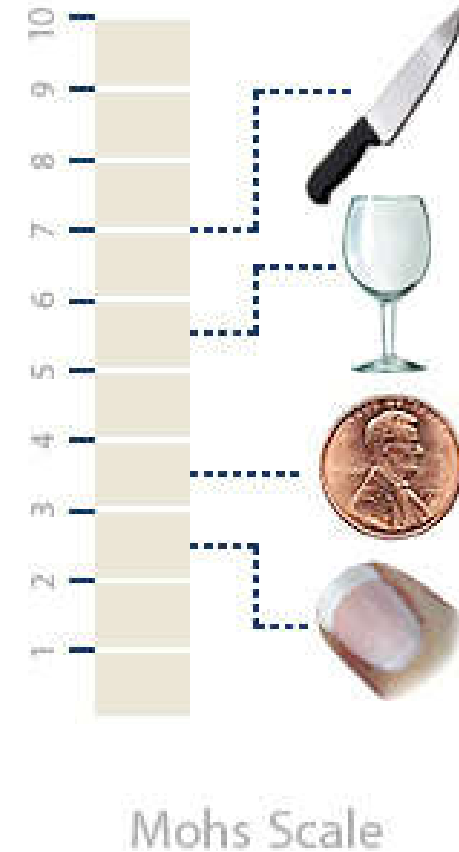
# *Haliotis rufescens*



La struttura somiglia a un muro fatto di mattoni regolari e legati tramite la malta. I cristalli di  $\text{CaCO}_3$  (aragonite) hanno i bordi organici (di chitina), come un telecomando nel suo guscio.



# Scala della durezza (Mohs)



Materiale più duro lascia una traccia sul materiale più morbido.  
La durezza dell'unghia è c.a. 2,5, vetro 5,5, lima (metallica) per le unghie 6,5.

# 1 talco



<http://www.mii.org/Minerals/Minpics1/Talc%202.jpg>

<http://www.microphotonics.com/talc%20powder.jpg>

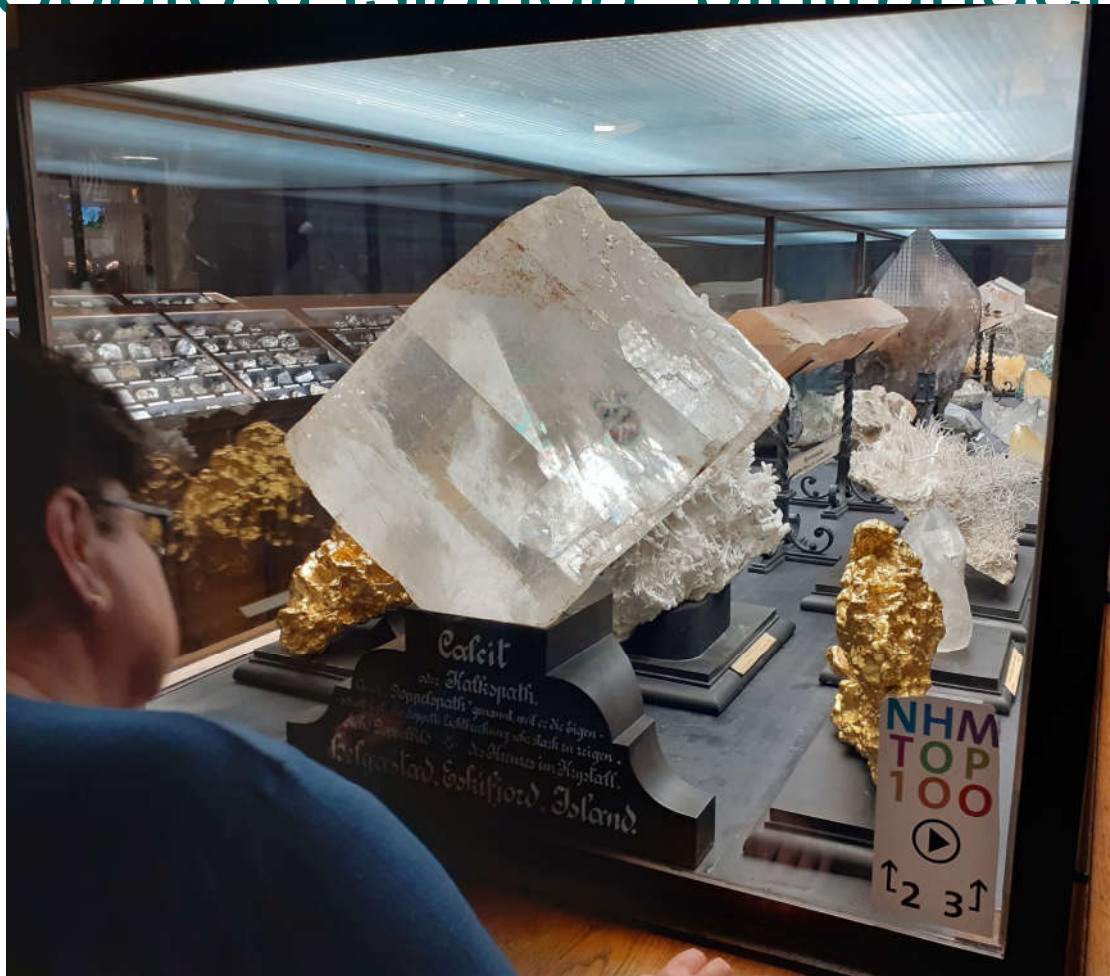
2 gesso (alabastro)  $\text{CaSO}_4$



<http://www.dkimages.com/discover/previews/953/35003342.JPG>

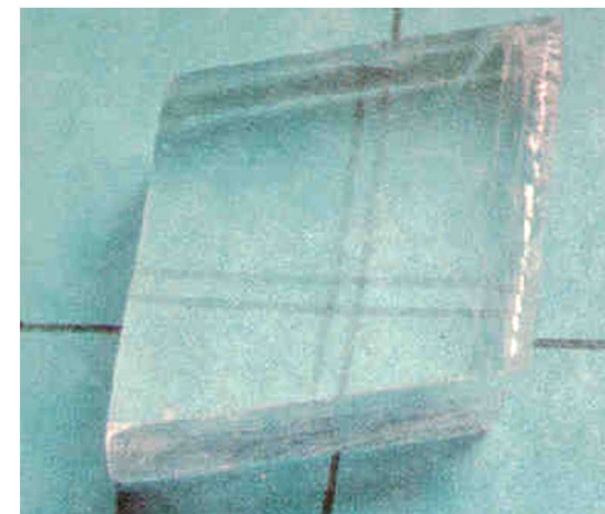
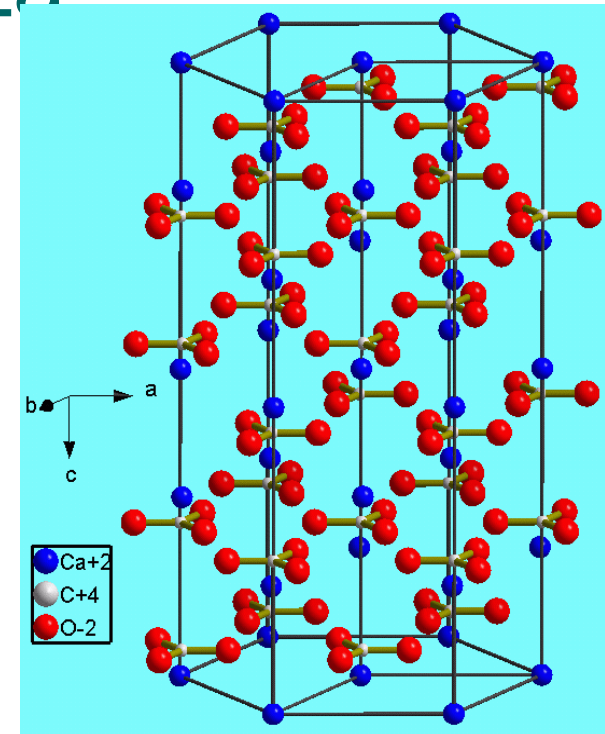


# Spato d'Islanda: birifrangenza



Museo di Vienna

Birifrangenza: nelle direzioni perpendicolari la luce propaga con velocità diverse (Foto GK)



# 4 fluorite $\text{CaF}_2$



[http://www.sciencehelpdesk.com/img/science1\\_5/Fluorite.jpg](http://www.sciencehelpdesk.com/img/science1_5/Fluorite.jpg)  
<http://www.healingcrystals.com/images/cards/Fluorite.jpg>

# 5 apatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$



Gemma semi-preziosa,  
ma anche un fertilizzante



<http://www.rockcutters.us/cut-images/apatite/apatite-green-oval.jpg>  
<http://www.matsminerals.com/apatiteCM-13.jpg>



# 6 ortoclasio $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$



Cristalli rosa/ rossi nel granito



# 7 quarzo ( $\text{SiO}_2$ )

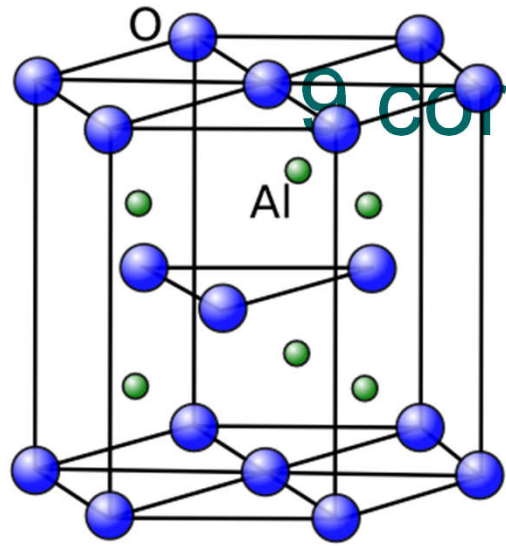


<http://www.pitt.edu/~cejones/GeoImages/1Minerals/1IgneousMineralz/Quartz/QuartzRose.jpg>  
[http://earthnet-geonet.ca/images/dynamic/minerals/smokey\\_quartz.jpg](http://earthnet-geonet.ca/images/dynamic/minerals/smokey_quartz.jpg)  
[http://perso.wanadoo.es/maquinalmatheus/ima/ametiste\\_rectifiee.jpg](http://perso.wanadoo.es/maquinalmatheus/ima/ametiste_rectifiee.jpg)  
[http://perso.wanadoo.es/maquinalmatheus/ima/ametiste\\_rectifiee.jpg](http://perso.wanadoo.es/maquinalmatheus/ima/ametiste_rectifiee.jpg)

# 8 topazio $\text{Al}_2\text{SiO}_4$







9 corindone  $\text{Al}_2\text{O}_3$

$\text{Al}_2\text{O}_3$  – «carta vetrata»



- con gli ioni di Fe: zafiro

- con gli atomi (ioni) Cr: rubino



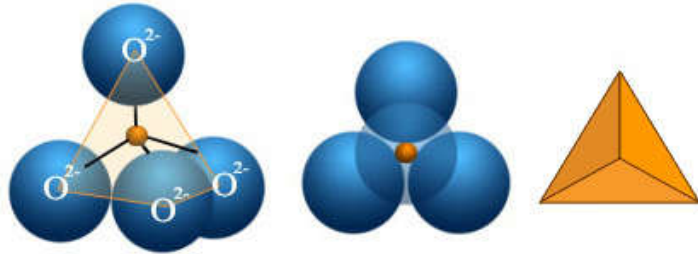
# 10 diamante



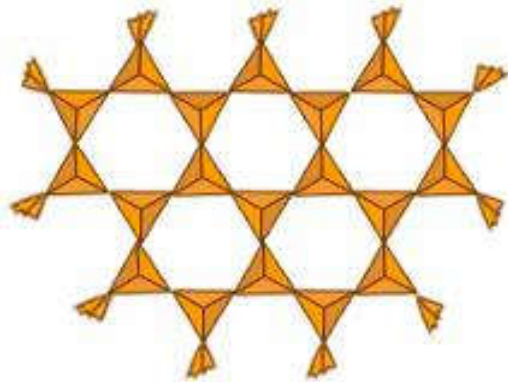
Il taglio sceglie il cliente

<http://loopable.files.wordpress.com/2007/07/diamant.gif>  
<http://www.diamondgeezers.com/diamond-buyers-guide/images/diamond-shape.jpg>  
<http://www.worldwidediamonds.info/oppenheimer%20diamond%20yellow%20crystal.jpg>  
<http://famousdiamonds.tripod.com/steinmetzpinkdiamond.html>

# Silicati: $\text{SiO}_2$

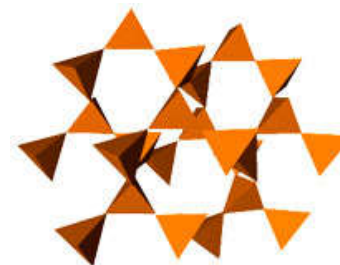


1) Granati: tetraedri  $\text{SiO}_4^{-2}$  con gli ioni  $\text{Fe}^+$ ,  $\text{Al}^+$  etc.



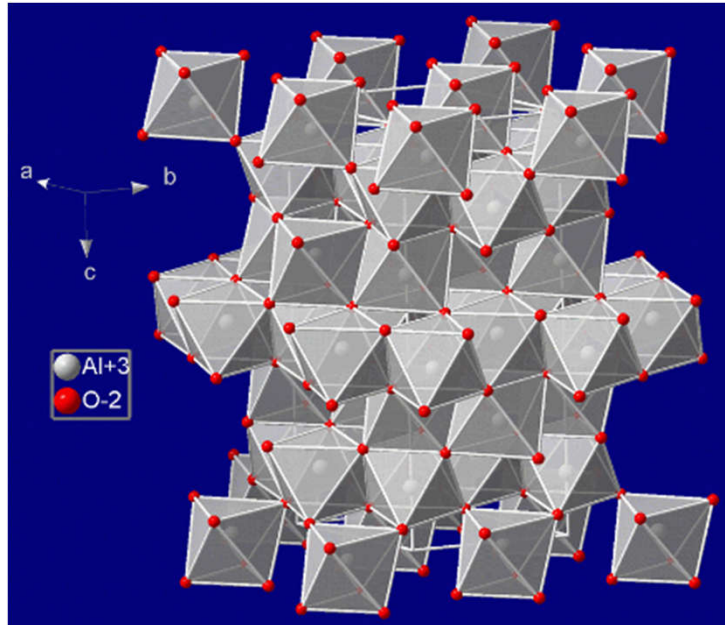
2) Struttura 2D (mica, argilla)

3) Struttura 3D (quarzo)



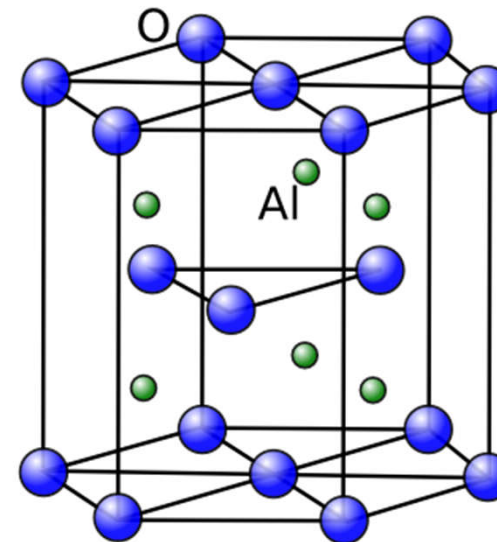


# Corindone (topazio, rubino) = $\text{Al}_2\text{O}_3$

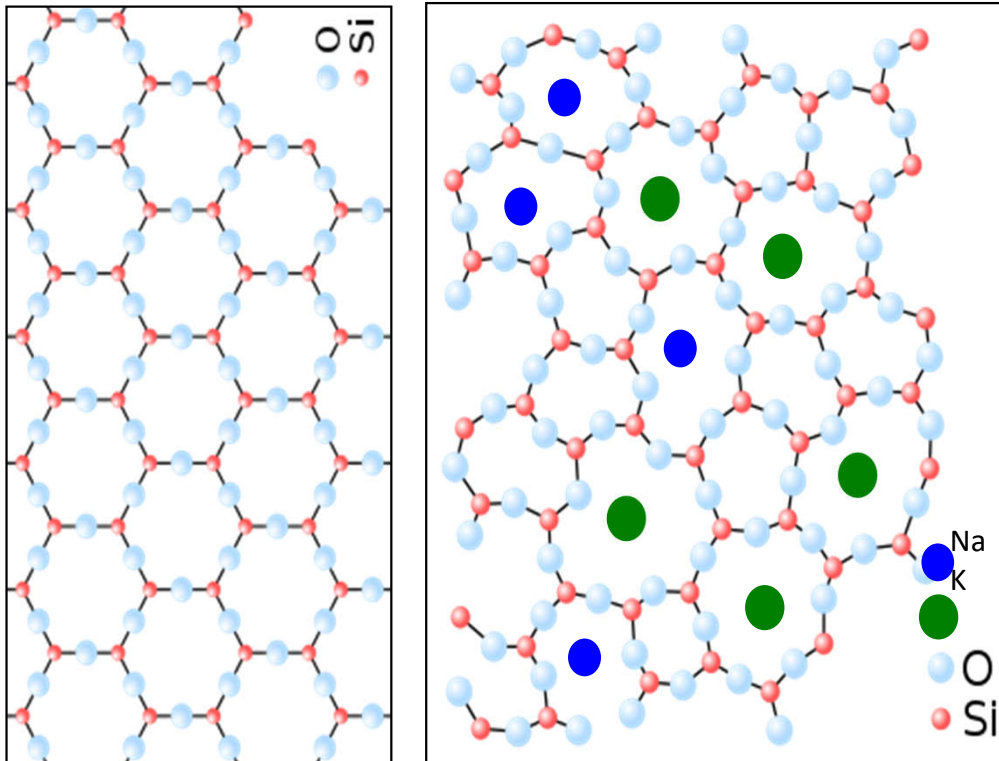


Struttura  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : esagonale di ioni  $\text{O}^{2-}$  con ioni  $\text{Al}^{3+}$  a  $2/3$  delle lacune

Durezza di Mohs 9  
Temp. di fusione  $2044^\circ\text{C}$



# Il vetro – un solido o un liquido molto raffreddato?



Il reticolo di  $\text{SiO}_2$  'gonfiato' dalla presenza di atomi 'ingombranti': Na e K

Una vetrata medioevale:  
Hotel de Cluny, Paris (foto M



# Il vetro di Murano



<https://www.theitaliantouch.org/it/volume3/miti/miti-e-status-symbol/il-vetro-di-murano/>

<https://it.latuaitalia.ru/made-in-italy/il-vetro-artistico-di-murano/>





## duomo di Murano

Fondata forse nella metà del VII secolo (dal 999 è una promissione del pievano Michele Monetario al vescovo di Torcello), la chiesa fu inizialmente dedicata a Santa Maria. Ad essa, nel 1125, fu associato San Donato martire, vescovo di Evorea, quando il corpo del santo fu trasportato da Cefalonia, dopo che la città fu conquistata da parte dell'armata navale comandata dal Doge di Venezia Domenico Michiel.

[https://it.wikipedia.org/wiki/Duomo\\_di\\_Murano](https://it.wikipedia.org/wiki/Duomo_di_Murano)

<https://www.flickr.com/photos/rhugo/4011716592/>



# Porcellana

## Componenti:

kaolino  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  – „Kao-Lin”

*Componente principale = legante*

argille (kaolino con aggiuntivi, e.g.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

Feldspato (ted. Feldspat, ing. feldspar,

e.g.. ortoclasio  $(\text{K}, \text{Na})_2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$

o plagioclasio  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  )

- *aiuta la fusione*

quarzo  $\text{SiO}_2$  - assicura la vetrificazione

Influence of macroscopic residual stresses on the mechanical behavior and microstructure of porcelain tile–

**Journal of the European Ceramic Society**

Volume 28, Issue 13, September 2008, Pages 2463-2469

Agenor De Noni Jr.<sup>a</sup>, Dachamir Hotza<sup>b</sup>, Vicente Cantavella Soler<sup>c</sup> and Enrique Sanchez Vilches<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Instituto Maximiliano Gaidzinski (IMG), 88845-000 Cocal do Sul, SC, Brazil

<sup>b</sup>Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 88040-900 Florianópolis, SC, Brazil

<sup>c</sup>Instituto de Tecnología Cerámica (ITC), 12006 Castellón, Spain

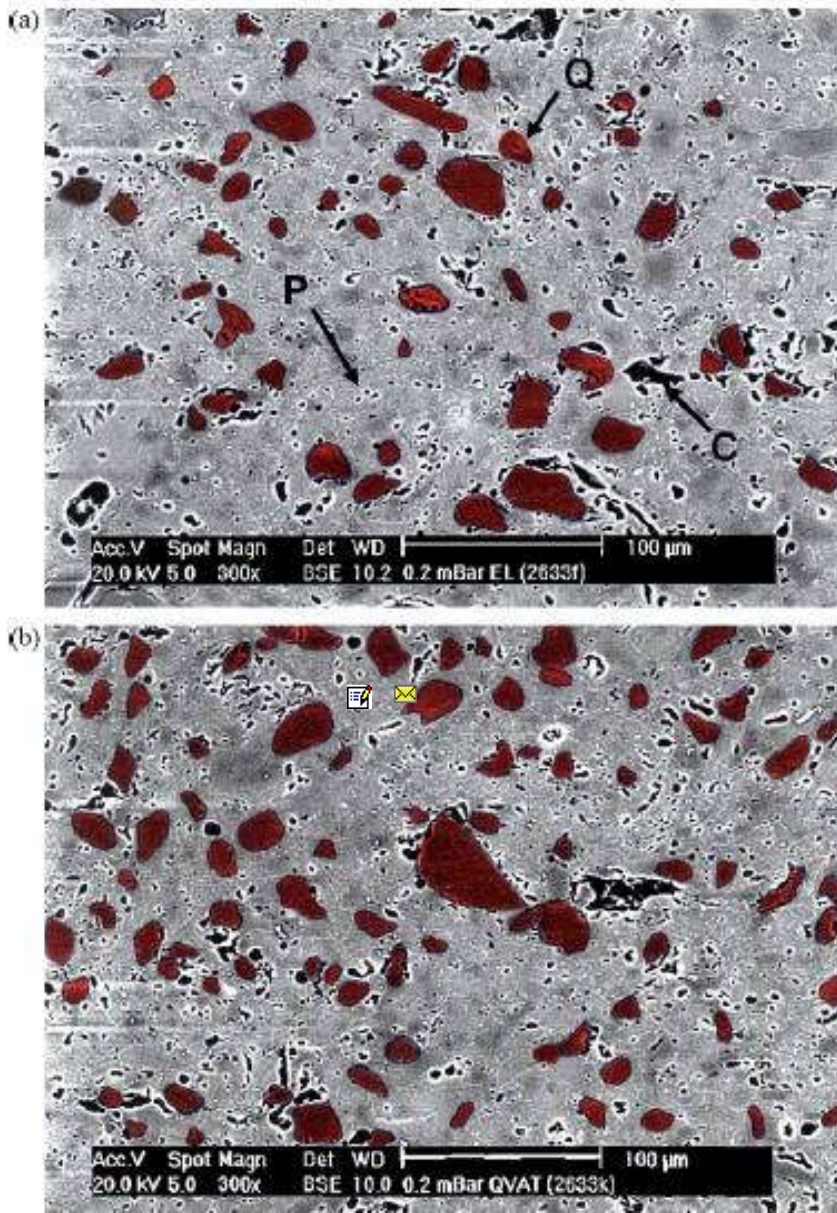
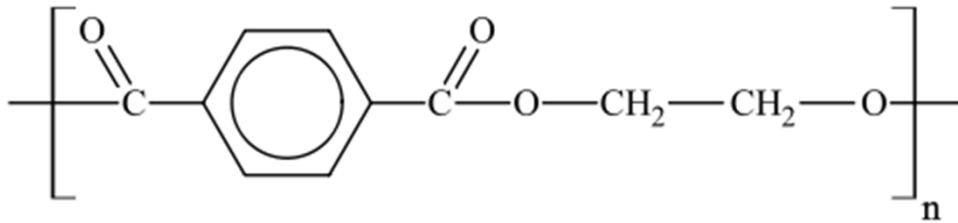


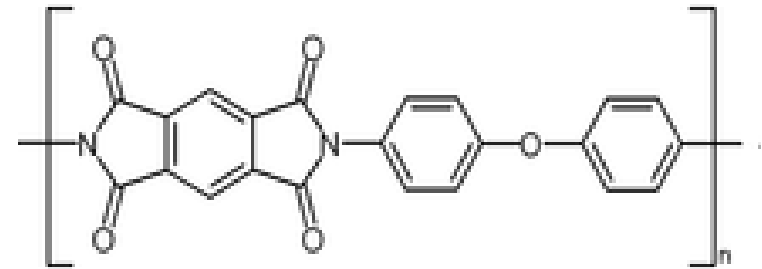
Fig. 9. Microstructural regions quantified by image analysis. (Q) Quartz particles, (P) porosity, (C) chipping. (a) E1 slow cooling and (b) E5 rapid cooling. Magnification 300 $\times$ .

Nella struttura cotta si vedono gli agglomerati di quarzo (scuri)

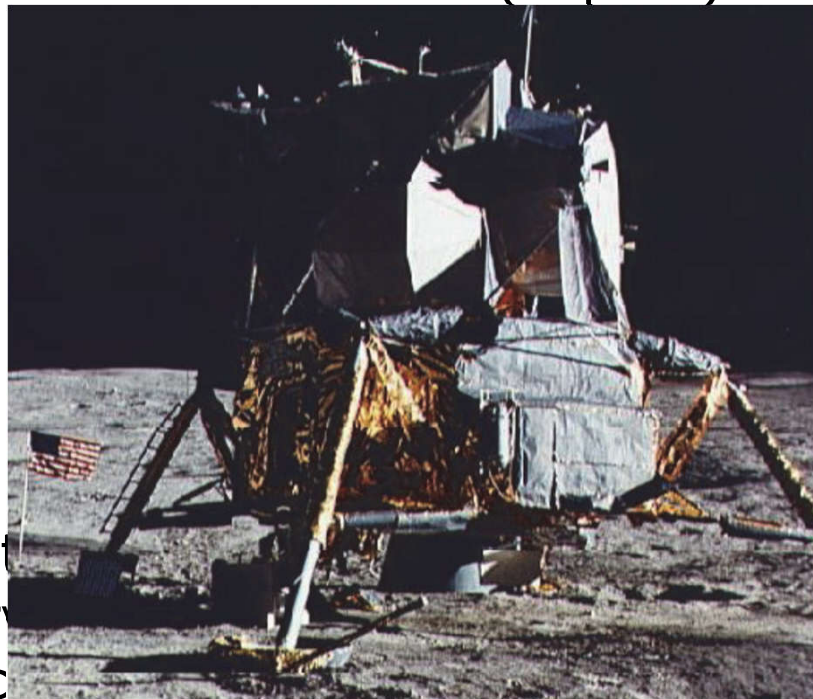
# Mylar, kapton, etc.



Polyethylene terephthalate (mylar)

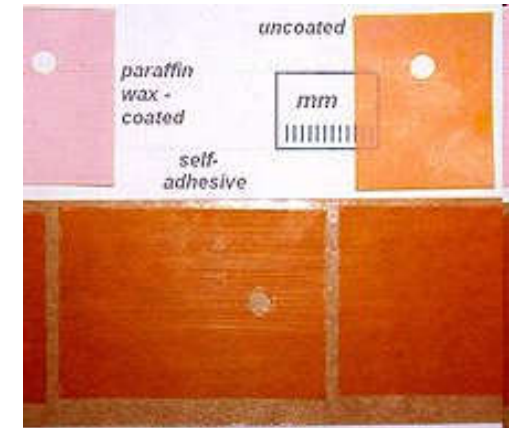


poly-oxydiphenylene-pyromellitimid (kapton)



Contenitori per alimenti  
Metallizzato con Al serve  
come copertura termica

<http://en.wikipedia.org/wiki/BoPET>



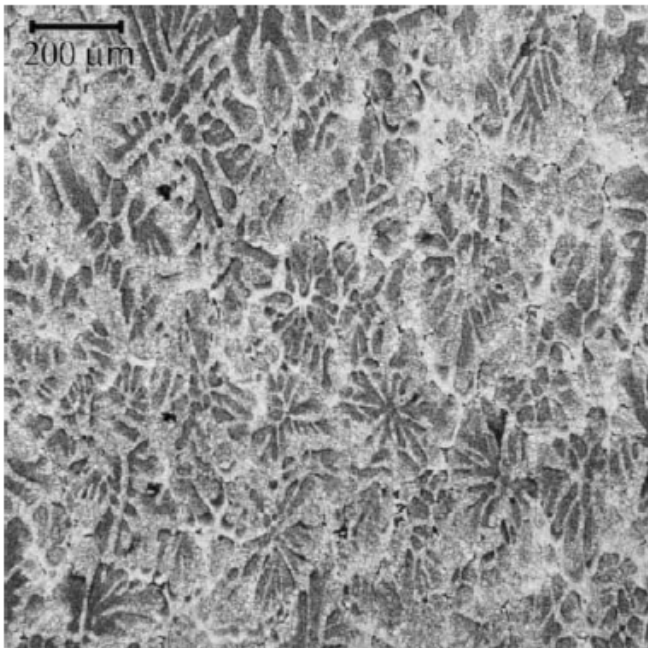
Isolante di cavi ad  
alta tensione, per  
basse temperature (0  
700K) e per alto  
vuoto



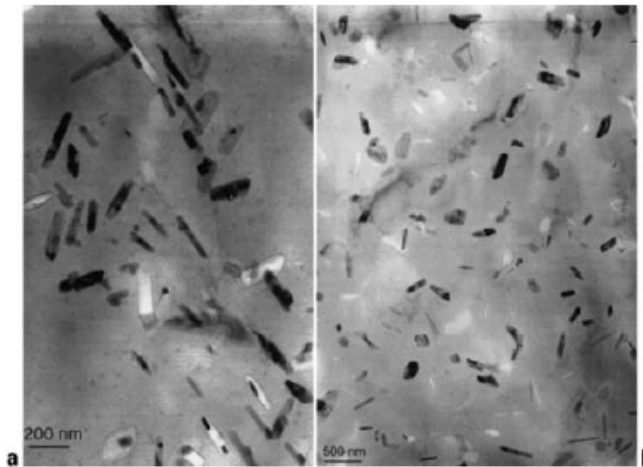
# Leghe per gli aerei Al-Zn-Mg

- la fase inter-metallica  $Al_7Cu_2Fe$  e i residui di  $Mg_2Si$
- la rete dendritica di  $Al_3Zr$
- la durezza aumenta dopo la tempra
- la resistenza elastica (modulo di Young) aumenta col carico
- compromesso tra la resistenza meccanica e fragilità

Dumont et al. Precipitation microstructures in Al alloys 7040 and 7050 3



1 Microstructure of alloy 7050 after a slow quench: optical micrograph after orthophosphoric etching revealing the distribution of quench-induced particles. These particles are located in the high density regions of  $Al_3Zr$  particles, i.e. in the former dendrite interiors of the solidification microstructure, flattened by the rolling process



2 Bright field TEM micrographs of the microstructure of alloys a 7040 and b 7050 after a slow quench. Alloy 7040, which has a low quench sensitivity, shows narrow bands of coarse precipitates. Alloy 7050 is largely covered by wide bands of particles. The particle size is similar in both materials

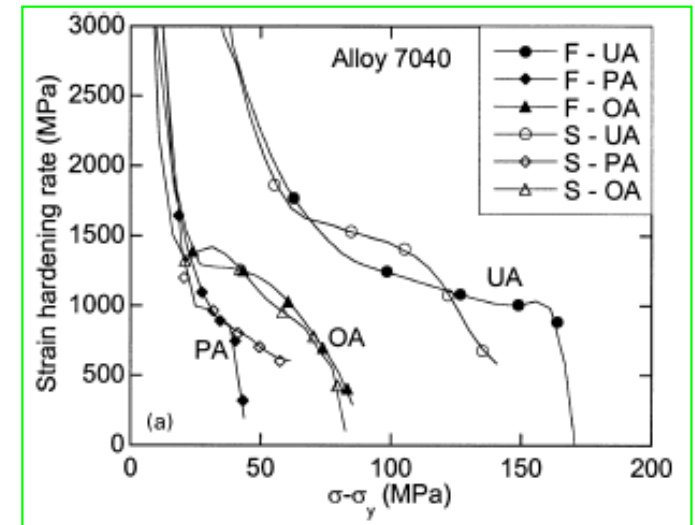
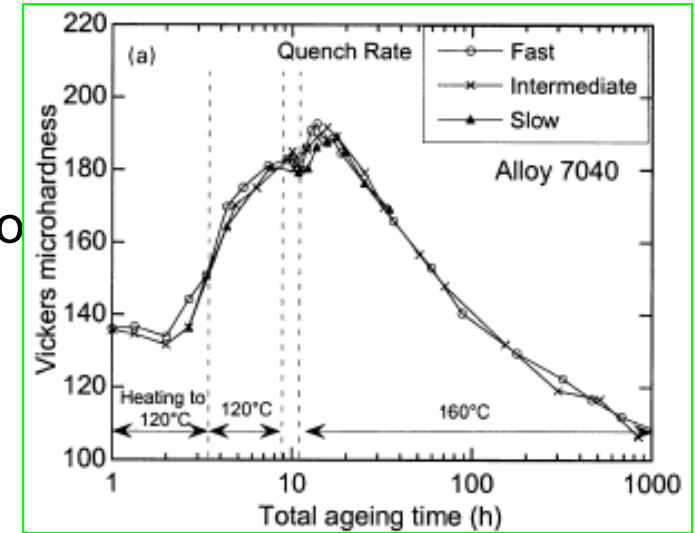
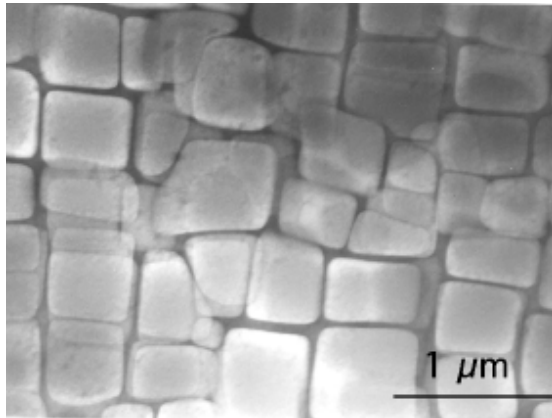


Table 1 Composition of alloys 7040 and 7050 in wt-%, balance Al

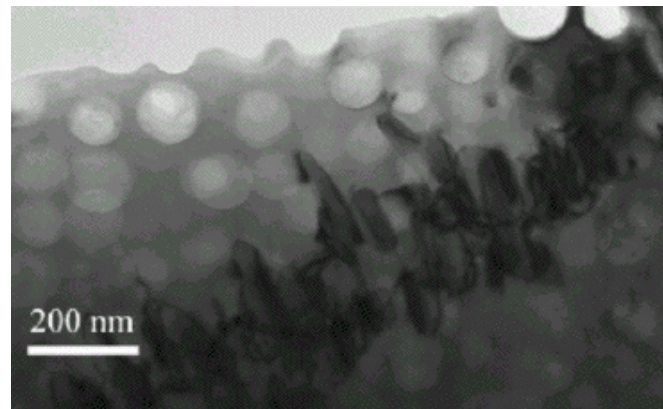
	Zn	Mg	Cu	Zr	Fe	Si
7040	6.51	2.01	1.64	0.11	0.08	0.05
7050	6.33	2.46	2.2	0.11	0.1	0.08

# Super-leghe di nichel

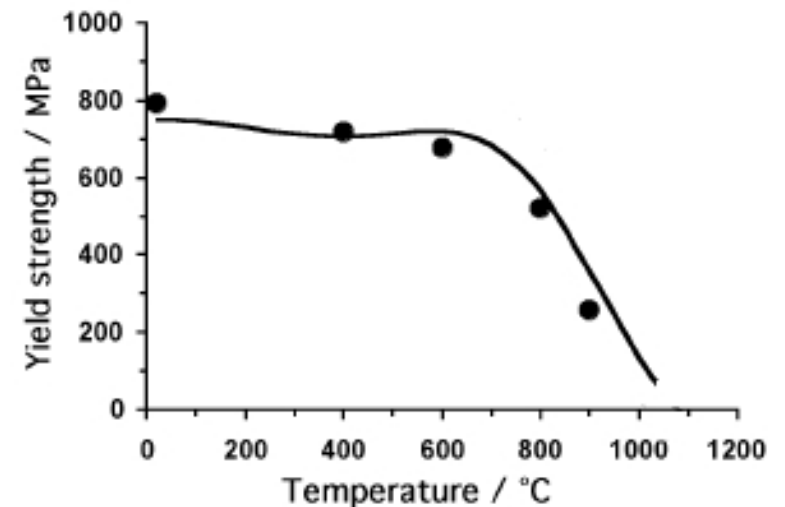
Per motori a reazione, turbine a gas etc.



Transmission electron micrograph showing a large fraction of cuboidal  $\gamma'$  particles in a  $\gamma$  matrix. Ni-9.7Al-1.7Ti-17.1Cr-6.3Co-2.3W at%. Hillier, Ph.D. Thesis, University of Cambridge, 1984.



Transmission electron micrograph showing a small fraction of spheroidal  $\gamma'$  prime particles in a  $\gamma$  matrix. [Ni-20Cr-2.3Al-2.1Ti-5Fe-0.07C-0.005 B wt%.](#) Also illustrated are  $M_{23}C_6$  carbide particles at the grain boundary running diagonally from bottom left to top right.



# Leghe dentistiche: sembra arte astratta

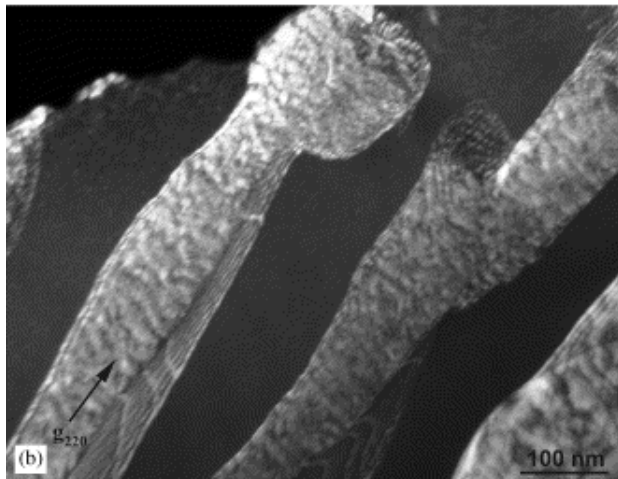
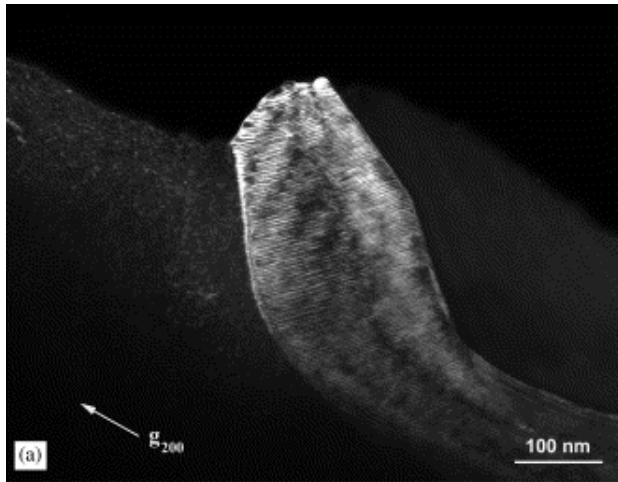


Fig. 1. Dark-field micrographs showing the morphologies of a dendrite (a) and the eutectic structure (b) in as-cast Super Star. For the two-beam condition used to obtain (b), the fct lamellae of the eutectic structure have a bright appearance and the fcc lamellae (i.e., the dark regions between the fct lamellae) are not imaged.

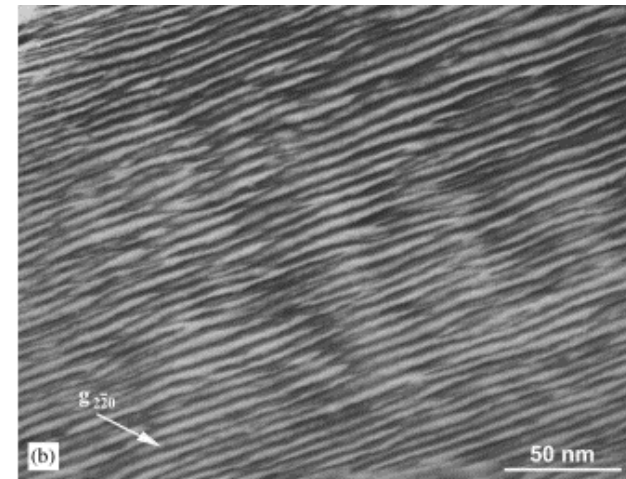
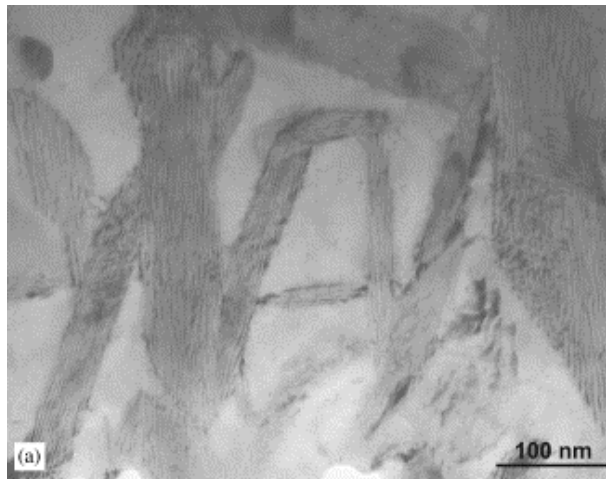


Fig. 2. Morphology of fct precipitates in the fcc palladium solid solution matrix of as-cast S-S. (a) Bright-field micrograph. (b) Higher-magnification bright-field micrograph of the striations within the precipitates.

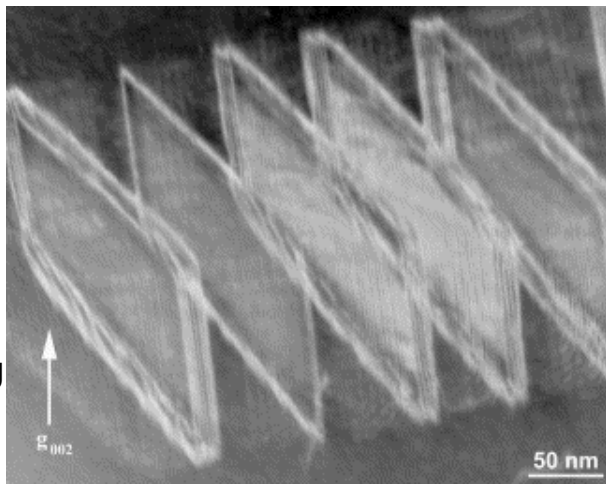
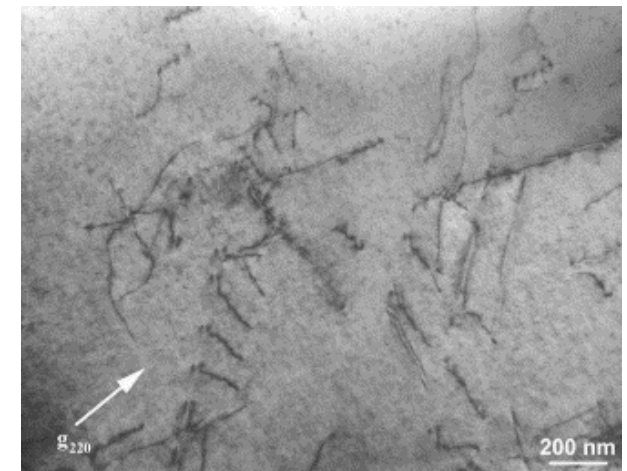


Fig. 3. Dark-field micrograph of heat-treated Super Star, showing discontinuous fct precipitates, which have rectangular platelet morphology. Dislocations are present in both the adjacent fcc palladium solid solution

Fig. 4. Bright-field micrograph showing dislocations in the palladium solid solution matrix of Super Star after heat treatment simulating the firing cycles for a dental porcelain.





# Infiniti altri materiali



Altare in ambra, Chiesa S. Brigida, Danzica, foto Maria Karwasz