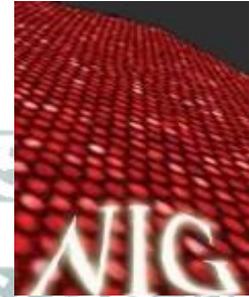




Facoltà di Scienze e Tecnologie
Dipartimento di Chimica



Nanomaterials and
Interfaces Group

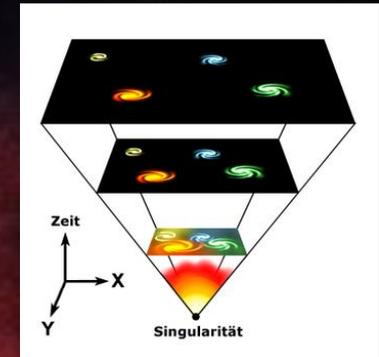
Elementi, numeri e forme. Dall'antichità ad oggi

Prof. Giuseppe Cappelletti

I.T.C.S. "Primo Levi" Bollate, 17 Febbraio 2016

LA NASCITA DELLA MATERIA

Big Bang che segna la nascita dell'Universo, o meglio, l'inizio della sua espansione



Conoscenze attuali:

Età (anni):

Universo:	da 13 700 000 000 a ...
Terra:	4 500 000 000
Vita:	3 600 000 000
Ominidi:	5 000 000
Homo sapiens sapiens:	150 000



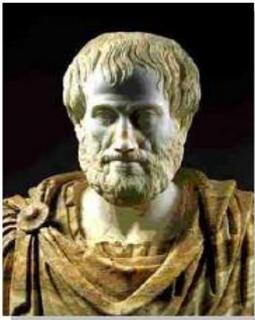
LO STUDIO DELLA MATERIA TRA ...

FILOSOFIA

« Gli uomini hanno cominciato a filosofare, ora come in origine, a causa della meraviglia: mentre da principio restavano meravigliati di fronte alle difficoltà più semplici, in seguito progredendo a poco a poco, giunsero a porsi problemi sempre maggiori: per esempio i problemi riguardanti i fenomeni della luna e quelli del sole e degli astri, o i problemi riguardanti la generazione dell'intero universo.

Ora, chi prova un senso di dubbio o di meraviglia riconosce di non sapere; ed è per questo che anche colui che ama il mito è, in certo qual modo, filosofo: il mito, infatti, è costituito da un insieme di cose destano meraviglia. »

Aristotele (384-322 a.C.)
Metafisica. I. 2



RELIGIONE

« In principio Dio creò il cielo e la terra.
Ora la terra era informe e deserta e le tenebre ricoprivano l'abisso e lo spirito di Dio aleggiava sulle acque.
Dio disse: "Sia luce!". E la luce fu. »

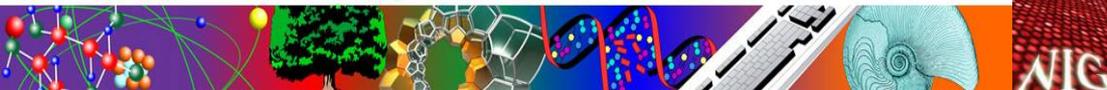
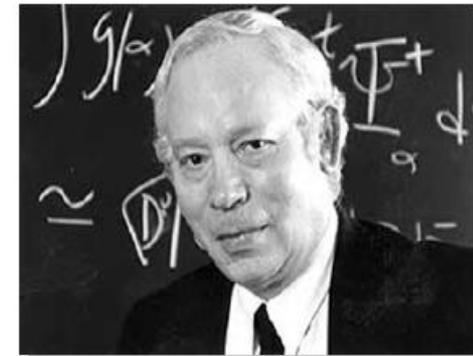
Genesi 1



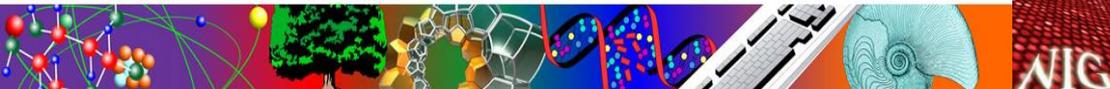
SCIENZA

« In principio ci fu un'esplosione. [...] Dopo circa un centesimo di secondo [...] la temperatura dell'universo si aggirava intorno a cento miliardi di gradi centigradi [...] La materia scagliata in ogni direzione da quest'esplosione primordiale era [...] formata da vari tipi delle cosiddette "particelle elementari", oggetto della moderna fisica nucleare delle alte energie. »

Steven Weinberg
I primi tre minuti (1977)



Elementi, numeri e forme nel mondo antico



IL CONCETTO DI MATERIA E GLI ELEMENTI PRIMORDIALI ...

NEL MONDO GRECO (VII - VI SECOLO A.C.)

Aristotele [384–322 a.C.]

I corpi celesti essendo di **QUINTA ESSENZA O ETERE**, sono rotondi, puri e incorruttibili

Eraclito [544-483 a.C.]

Il mondo era un **FUOCO** semprevivo, e quindi, era un incessante processo di flusso (*panta rei*)

Empedocle [V sec. a.C.]

Aggiunse la **TERRA**. dottrina dei quattro elementi: dall'aggregarsi e dal liberarsi di queste particelle avevano origine tutti i fenomeni

Anassimene [585–528 a.C.]

riteneva l'**ARIA** l'origine di tutte le cose sostanza: principio (*archè*) che persisteva attraverso le trasformazioni (condensazione e rarefazione) della materia. "nulla viene fuori dal nulla",
Idea filosofica quanto scientifica

Talete [624-546 a.C.]

la sostanza originale era una sola: l'**ACQUA**



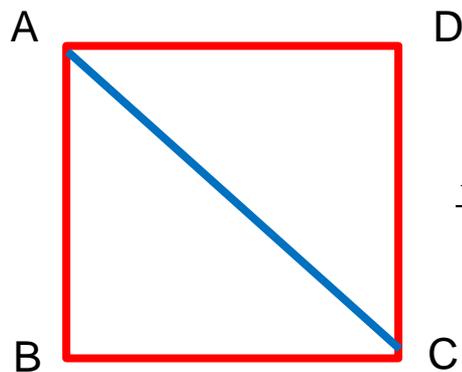
Pitagora [~ 570-490 a.C.]

Tutto è numero...

La tesi fondamentale della dottrina pitagorica è che **“tutte le cose sono numeri”**; l'idea è che le essenze e le strutture di tutte le cose possono essere determinate trovando le relazioni numeriche tra di loro

L'influenza della matematica sulla filosofia **tanto profonda quanto incompresa**

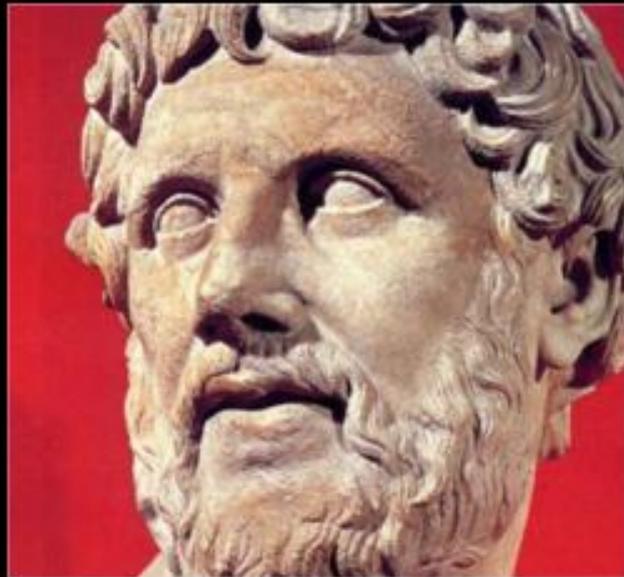
La “fede” di Pitagora nei numeri viene quasi subito drammaticamente smentita dalla scoperta che la diagonale e il lato del quadrato sono **“incommensurabili”**:



$$\frac{AC}{AB} = \sqrt{2} = 1,4142\dots$$

... occorrerà arrivare alla fine del nostro discorso per “rivalutare l'importanza fondamentale dei numeri interi”, con i **“NUMERI QUANTICI”** della Meccanica Quantistica

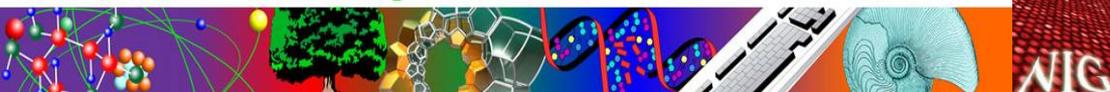




LEUCIPPO

Leucippo (Mileto, inizio prima metà del VI secolo a.C., terzo quarto del V secolo a.C.) è stato un filosofo greco antico.

PRIMA TEORIA ATOMICA: *la materia è costituita da elementi microscopici indivisibili impercettibili, qualificati da forma, posizione, contenuti nello spazio infinito considerato vuoto. Nel vuoto essi si muovono casualmente e rapidamente, e il loro movimento determina le loro combinazioni e la formazione dei corpi materiali.*





DEMOCRITO

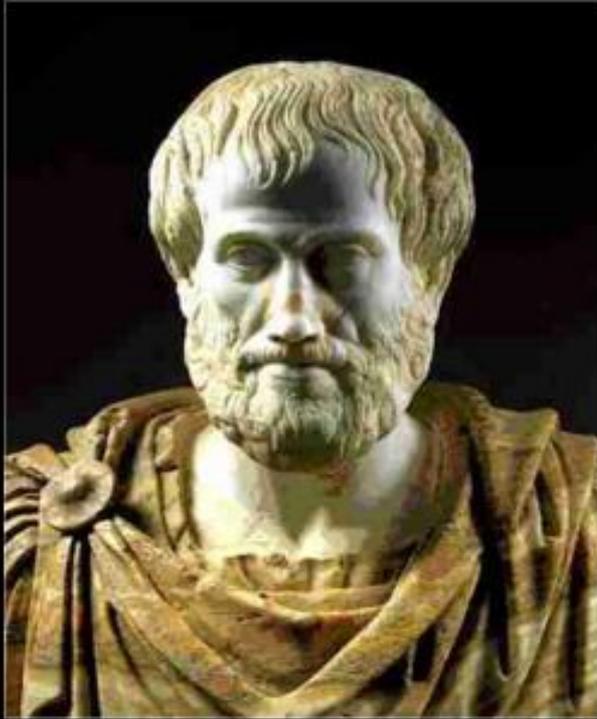
Democrito è stato un filosofo greco antico. Allievo di Leucippo, fu cofondatore dell'atomismo. È praticamente impossibile distinguere le idee attribuibili di Democrito da quelle del suo maestro. Nel V e IV secolo a.C Democrito fece una prima descrizione dell'atomo. Secondo il filosofo l'atomo (l'essere) è indivisibile ed è immerso nel vuoto (il non essere), ed è grazie al movimento di questi che tutto è ed esiste. Per Democrito gli atomi sono il principio primo di ogni realtà e sono eterni ed immutabili: non possono essere distrutti ed esistono da sempre e sempre esisteranno.

*Per Democrito, nel processo di aggregazione, gli atomi non perdevano la loro identità; essi restavano in contatto, giustapposti. L'impenetrabilità e l'eternità degli atomi democritei rendono perciò **la visione odierna delle molecole impossibile***



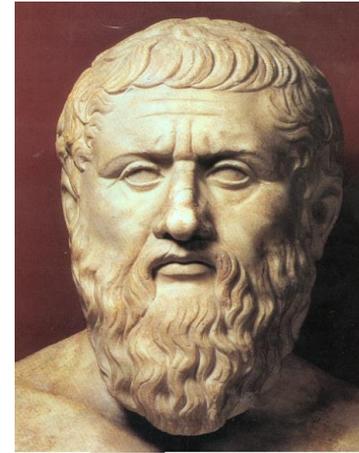
ARISTOTELE

Aristotele (IV secolo a.C.), nella teoria della continuità della materia, sostenne che una sostanza può essere suddivisa all'infinito in particelle sempre più piccole e uguali tra loro. Queste ipotesi rimasero tali in quanto non suffragate da un approccio scientifico e non verificate con metodologie basate sull'osservazione e sull'esperimento.



IL CONCETTO DI SOSTANZA IN PLATONE [427–343 a.C.]

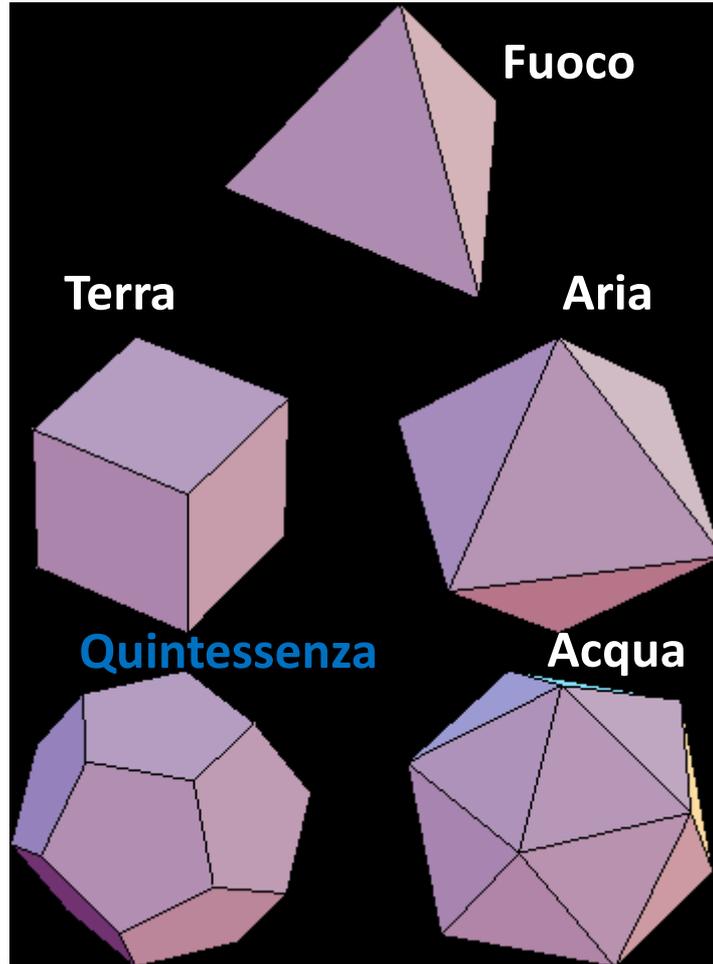
- ❑ La realtà è idealizzabile in **forme perfette**;
- ❑ i veri elementi erano due specie di **triangoli rettangoli**, uno che era la metà di un quadrato, l'altro che era la metà di un triangolo equilatero;
- ❑ per mezzo di questi due triangoli era possibile costruire **quattro dei cinque solidi regolari**, e ciascun atomo di uno dei quattro elementi (*fuoco, aria, acqua e terra*) era un solido regolare. **Questi poliedri alla base di tutto**;
- ❑ Gli atomi della terra erano cubi; del fuoco, tetraedri; dell'aria, ottaedri; dell'acqua icosaedri. Quanto al dodecaedro, Platone diceva solo: "C'era tuttavia una quinta combinazione che Dio usò nel disegnare l'universo". Possono esistere solo **cinque poliedri perfetti**, cioè con tutte le facce uguali



IL CONCETTO DI SOSTANZA IN PLATONE [427–343 a.C.]

Le forme geometriche al posto dei numeri interi...

I poliedri regolari “platonici”



Secondo il **mito del Timeo** era il Demiurgo che, mosso dal desiderio di plasmare la materia amorfa e inerte a somiglianza del mondo ideale, aveva creato il mondo corporeo. Egli aveva, per così dire, frantumata la materia in atomi, dividendo poi questi in quattro gruppi:

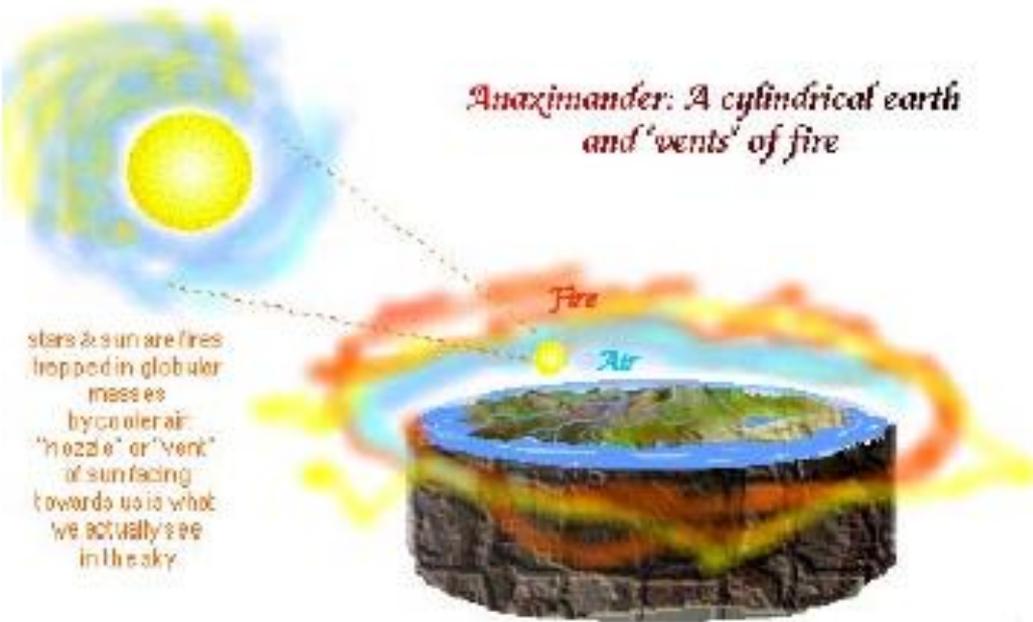
Fuoco, Aria, Acqua: superficie composta da triangoli equilateri, possono reagire tra di loro

Terra: superficie composta da quadrati o triangoli rettangoli, non può reagire con gli altri tre elementi del mondo

superficie composta da pentagoni.
Aristotele: Quintessenza o Etere, materia supralunare



LA TERRA E IL COSMO SECONDO ANASSIMANDRO [610–547 a.C.]



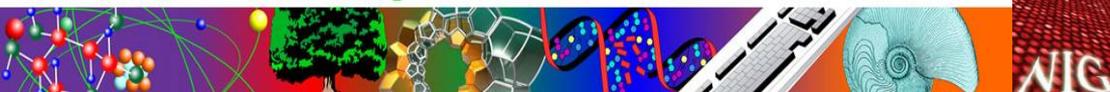
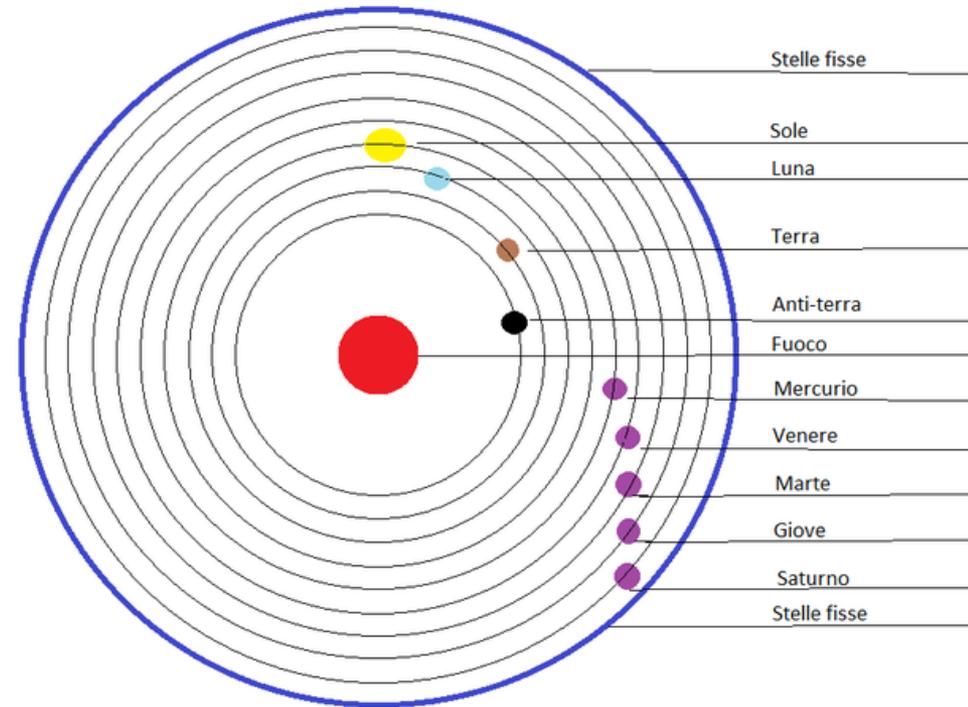
« La [forma della Terra] è simile a quella di un cilindro [...] Noi camminiamo su una delle sue facce piate, mentre l'altra si trova dalla parte opposta. »



LA TERRA E IL COSMO SECONDO PITAGORA [570-490 a.C]

Pitagora fu il primo:

- a concepire la **Terra** come una sfera ruotante con gli altri pianeti attorno ad un fuoco centrale, detto "**HESTIA**" (= focolare o altare dell'universo) che ordina e plasma la materia dando origine al mondo;
- intorno ad esso, si muovono, da occidente ad oriente, dieci corpi celesti: il cielo delle stelle fisse, Saturno, Giove, Mercurio, Venere, Marte, la Luna, il Sole, la Terra e l'Antiterra, pianeta ipotetico che completava il sacro numero del dieci;
- a riconoscere la **rotazione della Terra** intorno al proprio asse;



LA TERRA E IL COSMO SECONDO PITAGORA [570-490 a.C]

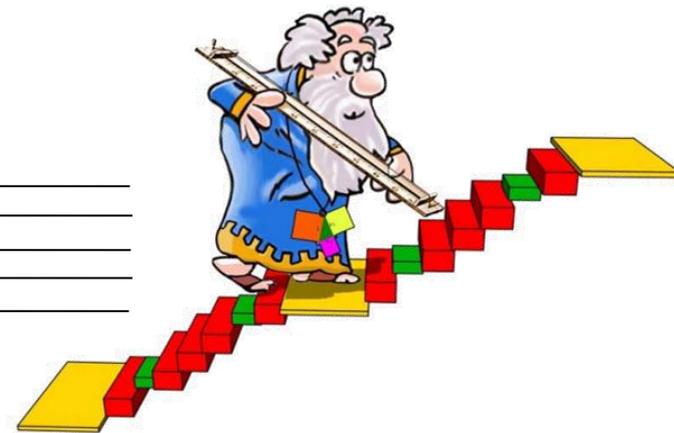
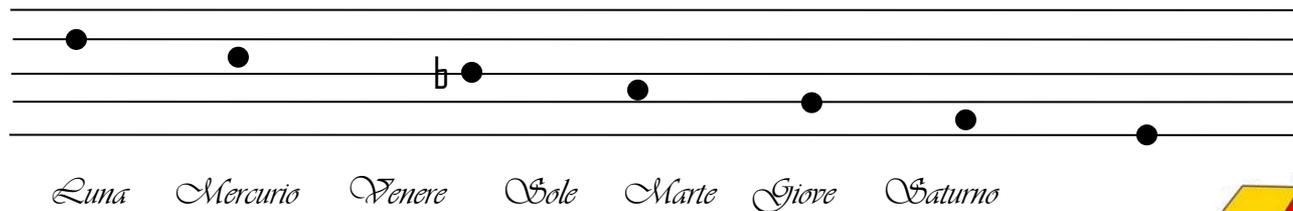
Tutto è numero ... e tutto è **musica**

“**Armonia delle sfere**”, detta anche musica universale celestiale: l'universo come un enorme sistema di proporzioni numeriche;

I movimenti dei corpi celesti (Sole, Luna e pianeti), inoltre, avrebbero prodotto una sorta di musica, non udibile dall'orecchio umano, ma consistente in concetti armonico-matematici;

il mondo è armonia e numero, e tutto è ordinato secondo proporzioni che corrispondono ai tre intervalli fondamentali della musica: 2:1 (ottava), 3:2 (quinta) e 4:3 (quarta)

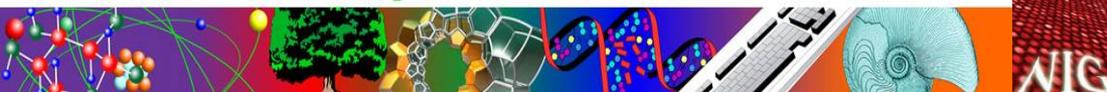
“Scala galattica”
della Scuola Pitagorica:
Nascono le Musiche Celesti



LA TERRA E IL COSMO SECONDO COPERNICO [1473-1543]

Con **Copernico** cambia il modello dell'Universo ...

- Il **Sole sta immobile** vicino al centro del sistema solare e dell'universo;
 - Tutti i **planeti ruotano** intorno al Sole su orbite circolari;
 - il centro della **Terra non è il centro dell'universo**, ma solamente dell'orbita della Luna;
 - La Terra ha inoltre un moto di rotazione giornaliera da Ovest a Est attorno al proprio asse;
- L'universo ha dimensioni finite, ed è delimitato della sfera delle stelle fisse (volta celeste)



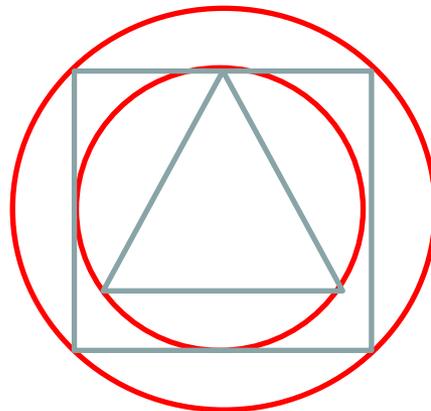
LA TERRA E IL COSMO SECONDO KEPLERO [1571-1630]

Keplero (copernicano) (1571-1630) cerca ancora di spiegare le orbite planetarie mediante **“FORME GEOMETRICHE”**:

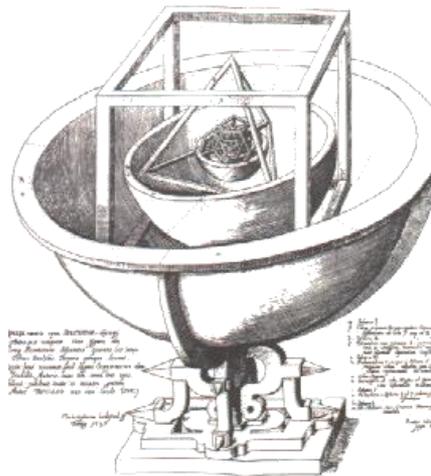
... e tornano anche le
“musiche celesti” di Pitagora:

“I moti celesti altro dunque non sono che un perenne concerto (razionale, non vocale)... per cui non è più meraviglia che la regola del canto polifonico, ignota agli antichi, sia stata infine inventata dall’Uomo...”

(Keplero)



Orbite planetarie **piane**



... poi **tridimensionali**:
6 orbite distanziate
dai 5 poliedri regolari “platonici”!





Galileo
fonda il nuovo metodo scientifico
sperimentale...

“provando e riprovando...”

E' nata la “laicità” della scienza

La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi agli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere, se prima non s'impara a intendere la lingua e conoscer i caratteri ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro labirinto.

È forza confessare che il voler trattar le questioni naturali senza geometria è un tentar di fare quello che è impossibile ad esser fatto.

*"Frammenti e Lettere", II^a ed. , Sansoni, Firenze 1939, frammento VI, 231-2, p. 6.
e "Il Dialogo sui Massimi Sistemi", giornata II (1632)*



dopo Galileo continua a crescere una
scienza “laica” :
fenomeni naturali spiegati **ESCLUSIVAMENTE** con
PRINCIPI verificabili
e
LEGGI dimostrabili rigorosamente,
validi sia nell’Universo che sulla Terra,
senza ipotesi esterne alla scienza,
come “**musiche celesti**” o speciali **interventi divini**



ISAAC NEWTON [1643 – 1727]



Newton

*Molte cose mi inducono a credere che tutti i fenomeni dipendono da certe forze per opera delle quali le particelle dei corpi per cause non ancora note o si attraggono a vicenda e stanno unite secondo **figure regolari** oppure si respingono e si allontanano a vicenda.*

“Principi matematici di filosofia naturale” (1687)



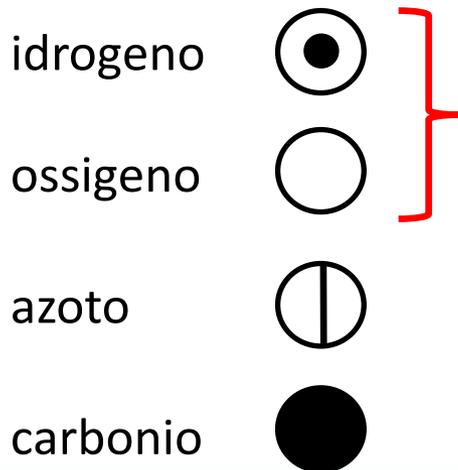
JOHN DALTON [1776 – 1848]



Materia: **atomi** piccolissimi, indivisibili e indistruttibili.

Atomi di un elemento:

- (a) tutti **identici e sferici**;
- (b) non diventano mai atomi di un altro elemento;
- (c) possono combinarsi con **numeri interi** di atomi di altri elementi;
- (d) non possono essere né creati né distrutti, ma si trasferiscono **interi** da un composto ad un altro.



acqua (composto HO, non molecola H₂O!)

- i gas non solidificano perché avvolti da un **involucro sferico** di **calorico** 1000-2000 volte più grande dell'atomo stesso;
- quando due o più gas, che non reagiscono fra loro, sono contenuti in un recipiente, **la pressione totale del loro miscuglio è uguale alla somma delle pressioni** che ogni gas eserciterebbe se occupasse da solo tutto il recipiente



A. AVOGADRO [1776 – 1856]



1811:

“Volumi uguali di gas, a uguale T e p, contengono lo **stesso numero** di **MOLECOLE**”

S. CANNIZZARO [1826 – 1910]

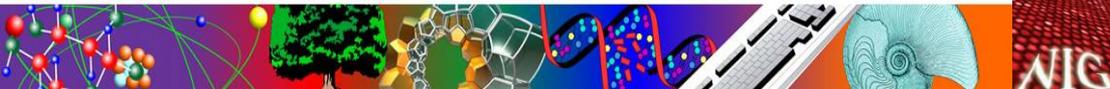


1858:

- Ripropone la teoria molecolare di Avogadro, rimasta fino allora quasi sconosciuta;
- “Il peso atomico di un elemento si identifica con il **numero** che rappresenta la più piccola quantità in peso di tale elemento contenuta in una quantità in peso pari al peso molecolare di ognuno dei suoi composti”



Elementi, numeri e forme nella chimica-fisica moderna



FORME spiegate da **meccanica quantistica**

Elettroni: “particelle – **onde stazionarie**” sono particelle descritte matematicamente come da onde stazionarie

- “onde stazionarie” più ampie dove è più probabile che si trovi l’elettrone.
- due “onde stazionarie” possono rinforzarsi tra loro formando un legame chimico ...

ELEMENTI CHIMICI



caratterizzati da **NUMERI INTERI**
(**Numeri Quantici**)



che determinano delle **FORME**
(gli **orbitali elettronici**, dai quali derivano le forme delle molecole e la struttura dei cristalli, etc.)



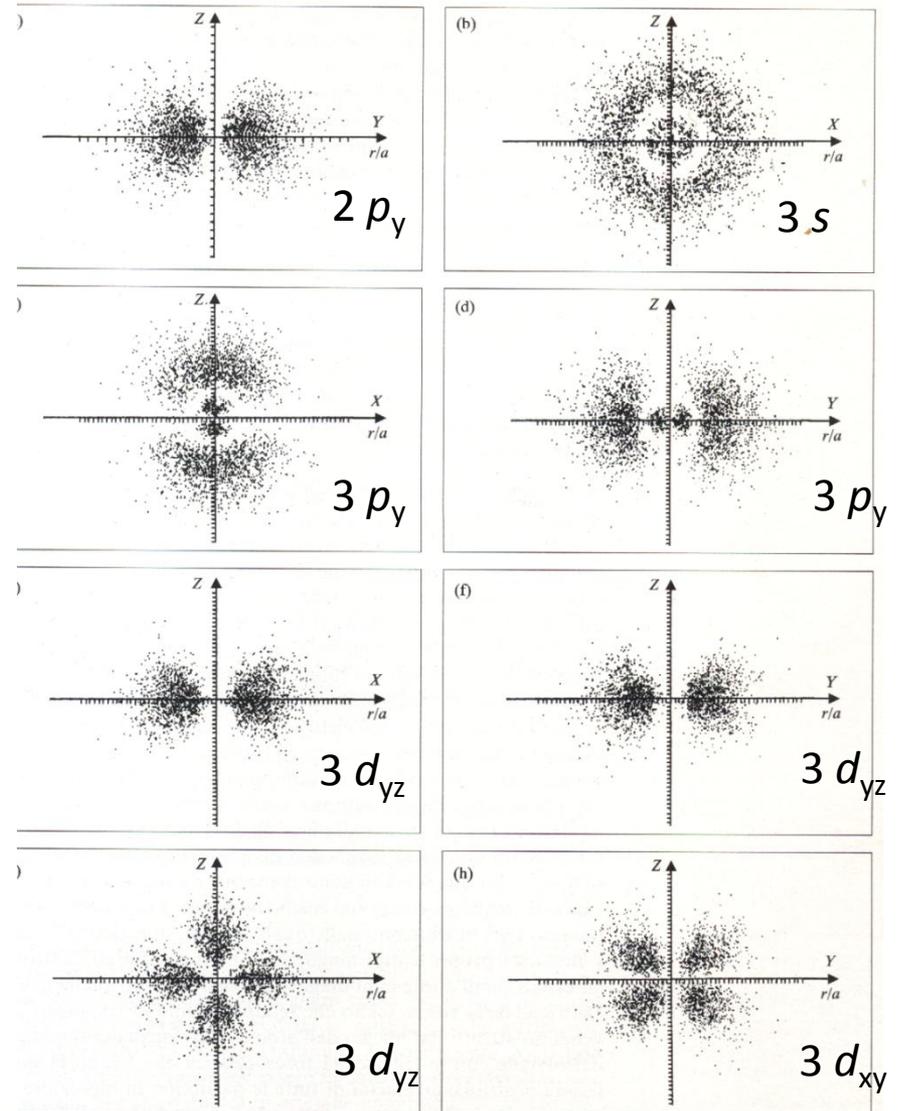
MECCANICA QUANTISTICA – MAX BOHR [1882-1970]

I numeri quantici permettono di quantificare le proprietà di una particella, ovvero le OSSERVABILI che la caratterizzano

"FORME" DEGLI ATOMI

Sezioni piane di orbitali atomici dell'elettrone di H

CHIMICA E NUMERI



*What we are finding, in a whole torrent of surprising new knowledge, is that the way which explains them more clearly, more fully and more naturally than any other is the **mathematical way**, the explanation in terms of mathematical concepts.*



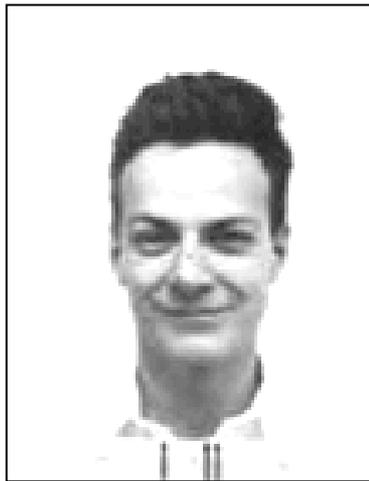
James Jeans (1877-1946) in:
“The Mysterious Universe”, Cambridge
University press **(1930)**



*To those who **do not know mathematics** it is difficult to get across a real feeling as to the beauty, the deepest beauty, of nature.*

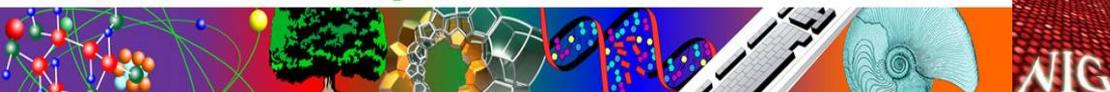
*All the intellectual arguments that you can make will not communicate to deaf ears what the experience of **music** really is.*

You can recognize truth by its beauty and simplicity.



Richard Feynman (1918-1988)

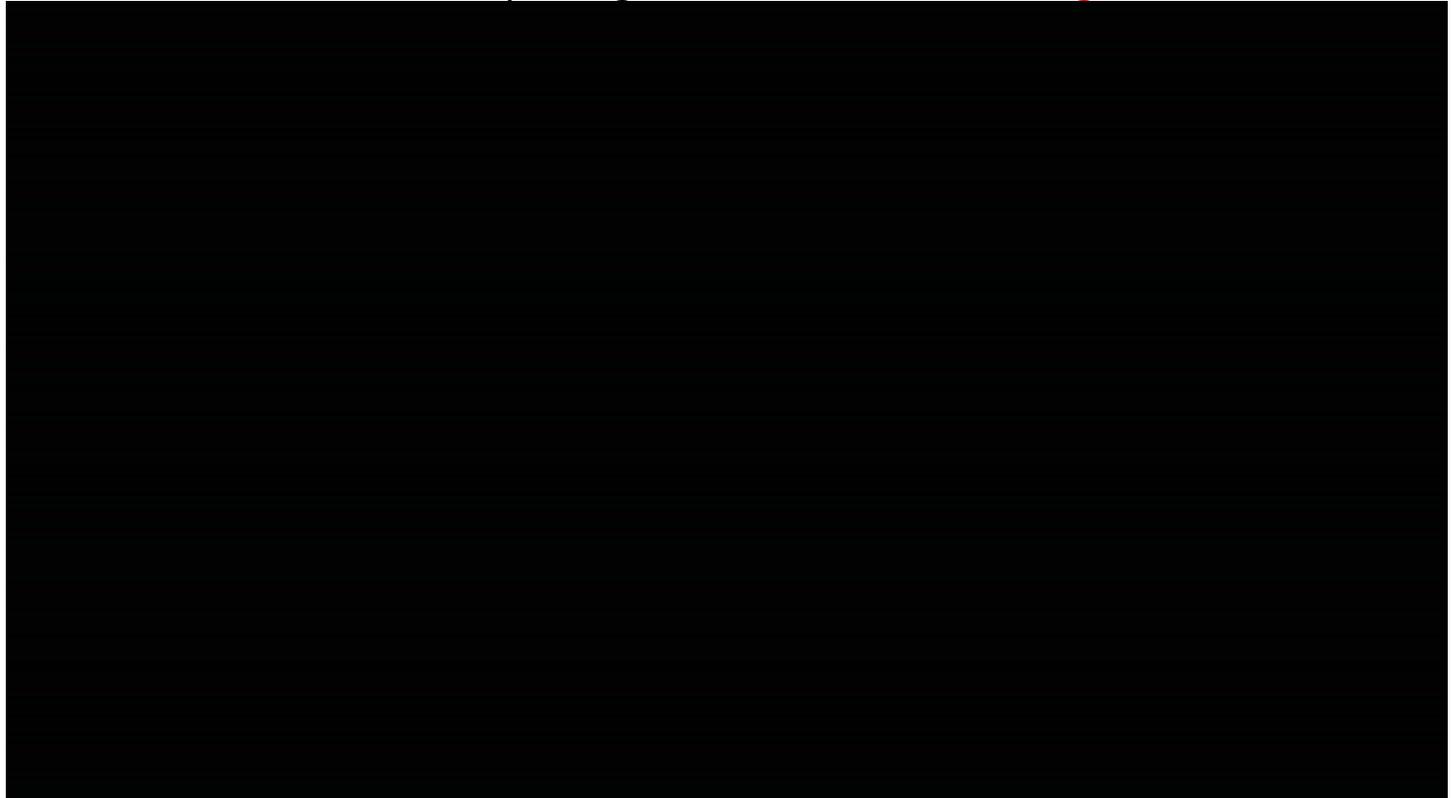
Nobel per la Fisica nel 1965, in:
"The Character of Physical Law", The
M.I.T. Press **(1983)** pp.58; 171



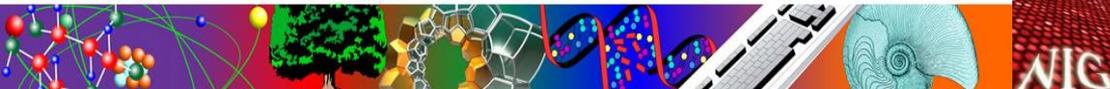
ERNST CHLADNI [1756-1827]



Chladni dimostrò una volta per tutte che il **suono** di fatto influisce sulla materia fisica e che ha la prerogativa di creare **schemi geometrici**

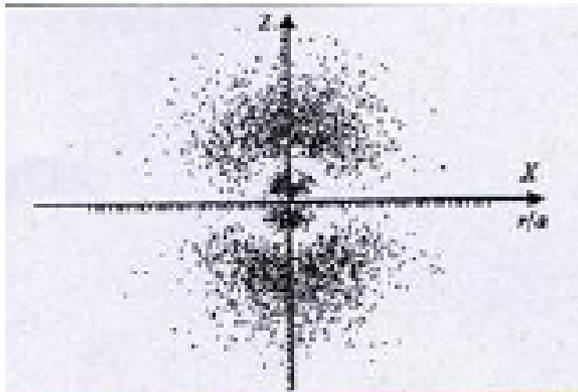
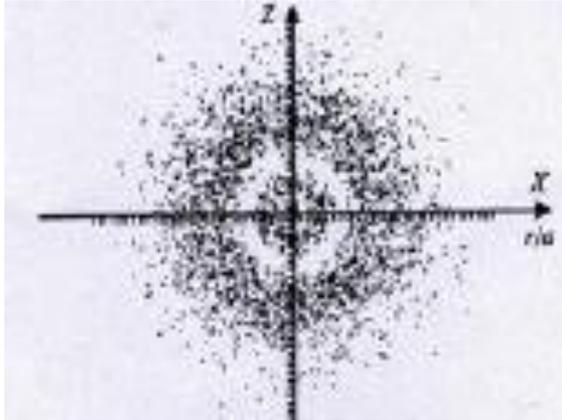


La piastra è cosparsa di **granelli di sabbia** e, una volta fatta vibrare a varie frequenze entra in risonanza ed i granelli si dispongono dove la piastra non vibra (nei punti nodali)



ANALOGIA TRA CHIMICA E MUSICA

massima "densità elettronica"



massima "densità di sabbia"

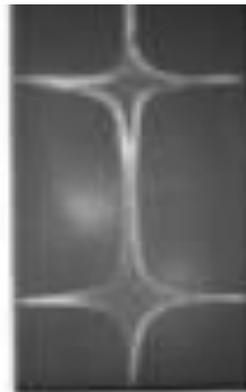
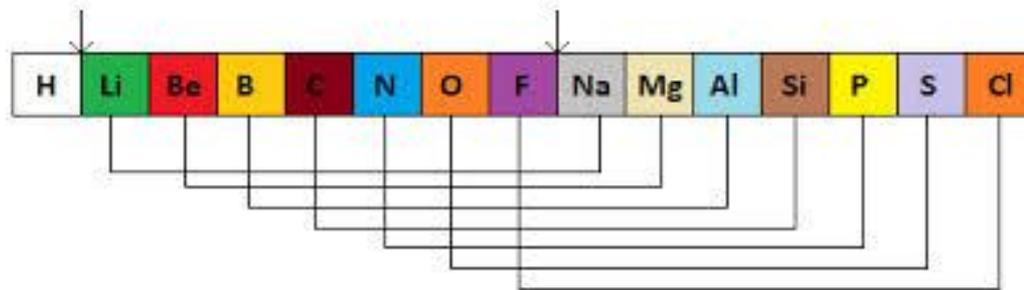
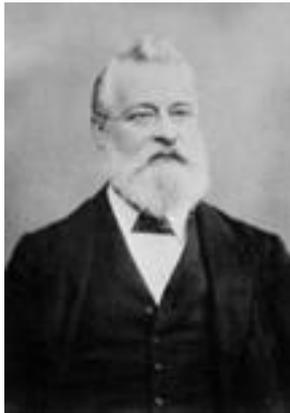


TAVOLA PERIODICA DEGLI ELEMENTI

JOHN NEWLANDS [1864]

disposti gli elementi in ordine crescente di pesi atomici in gruppi di otto elementi. Il primo e l'ottavo elemento condividono proprietà simili (**legge delle ottave musicali**)



Periodicità 7 come le note!

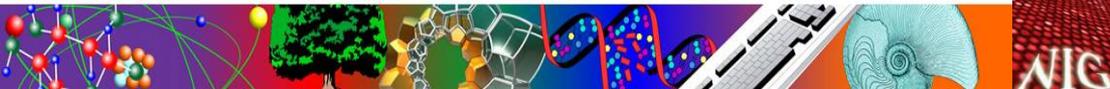
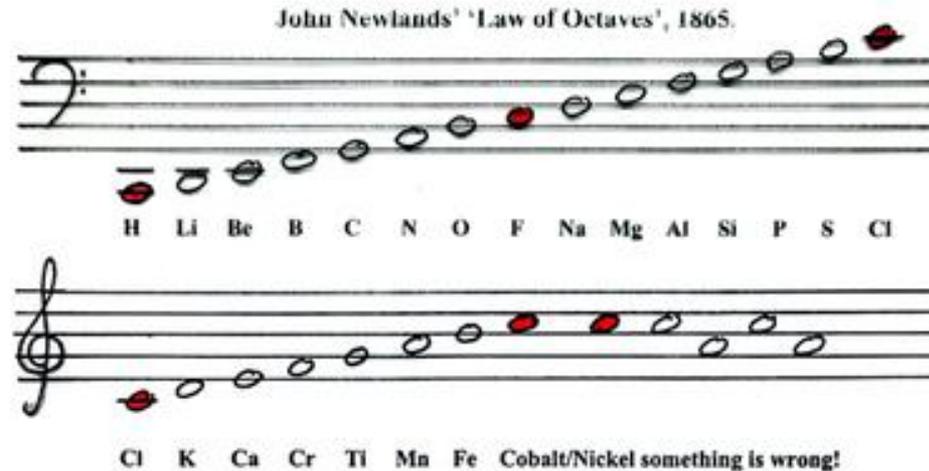


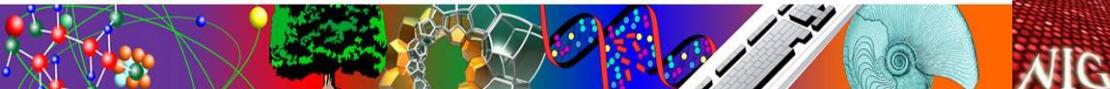
TAVOLA PERIODICA DEGLI ELEMENTI

DMITRI MENDELEEV [1869]

disposti gli elementi in ordine crescente di massa atomica, lasciando una serie di lacune riservate per scoprirne altri. Il padre della moderna tavola periodica



I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
H 1.01									
Li 6.94	Be 9.01	B 10.8	C 12.0	N 14.0	O 16.0	F 19.0			
Na 23.0	Mg 24.3	Al 27.0	Si 28.1	P 31.0	S 32.1	Cl 35.5			
K 39.1	Ca 40.1		Ti 47.9	V 50.9	Cr 52.0	Mn 54.9	Fe 55.9	Co 58.9	Ni 58.7
Cu 63.5	Zn 65.4			As 74.9	Se 79.0	Br 79.9			
Rb 85.5	Sr 87.6	Y 88.9	Zr 91.2	Nb 92.9	Mo 95.9		Ru 101	Rh 103	Pd 106
Ag 108	Cd 112	In 115	Sn 119	Sb 122	Te 128	I 127			
Ce 133	Ba 137	La 139		Ta 181	W 184		Os 194	Ir 192	Pt 195
Au 197	Hg 201	Tl 204	Pb 207	Bi 209					
			Th 232		U 238				

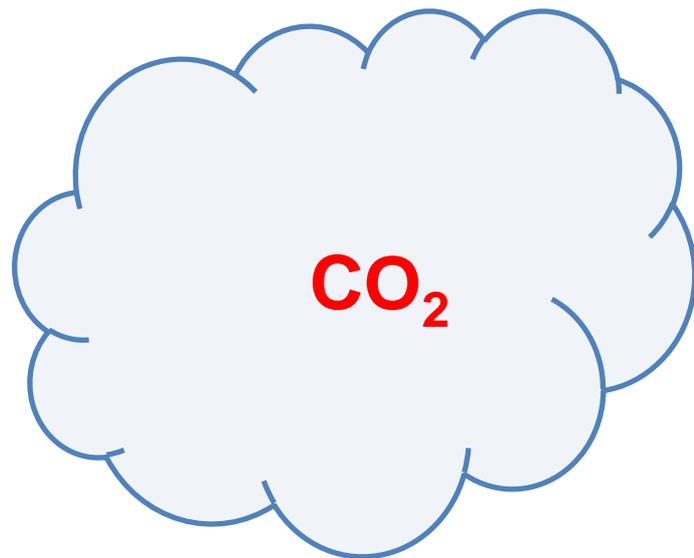


PROPRIETA' DEGLI ELEMENTI

confronto tra C e Si

n	1	2
l	0	0,1
n. el.	2	2,2

n	1	2	3
l	0	0,1	0,1
n. el.	2	2,6	2,2

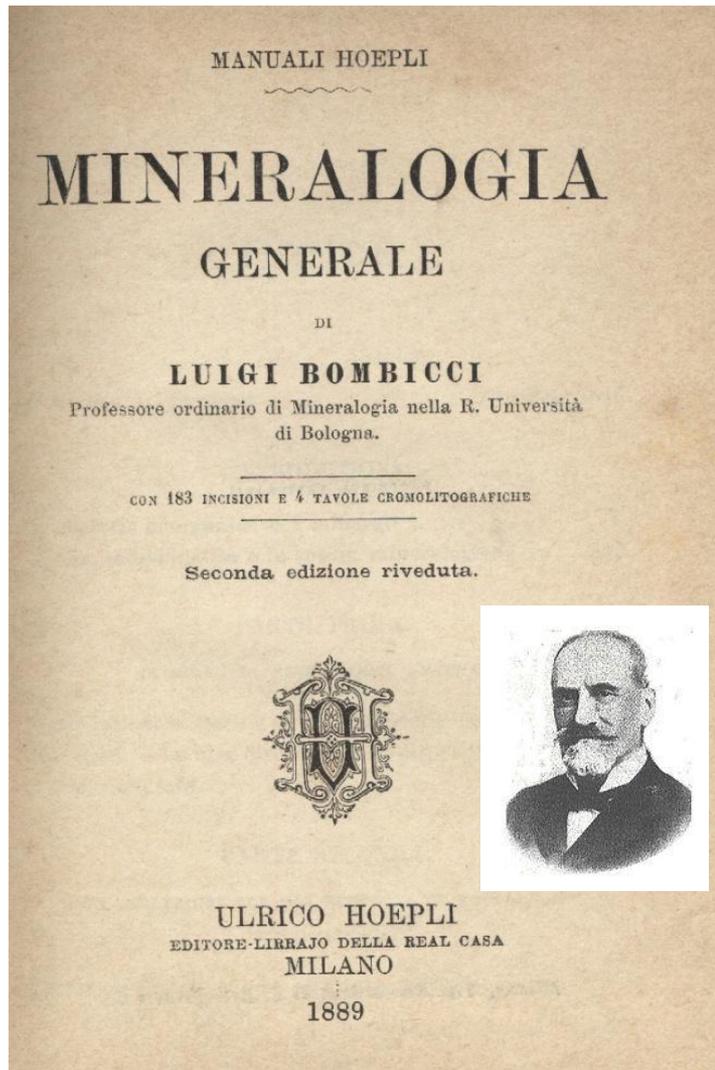


cristallino privo di
impurezze e difetti:
QUARZO incolore

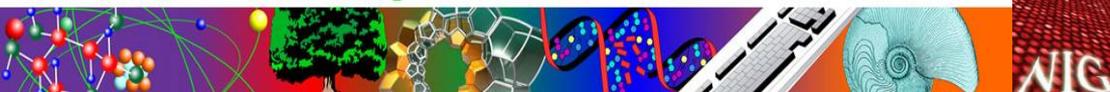
SiO₂



NASCITA DELLA MINERALOGIA



“armonia di forme”
***dei cristalli e delle pietre preziose, e la
suggestività dei fenomeni fisici che in
essi avvengono, come la scomposizione
della luce nei suoi colori...***



NASCITA DELLA MINERALOGIA

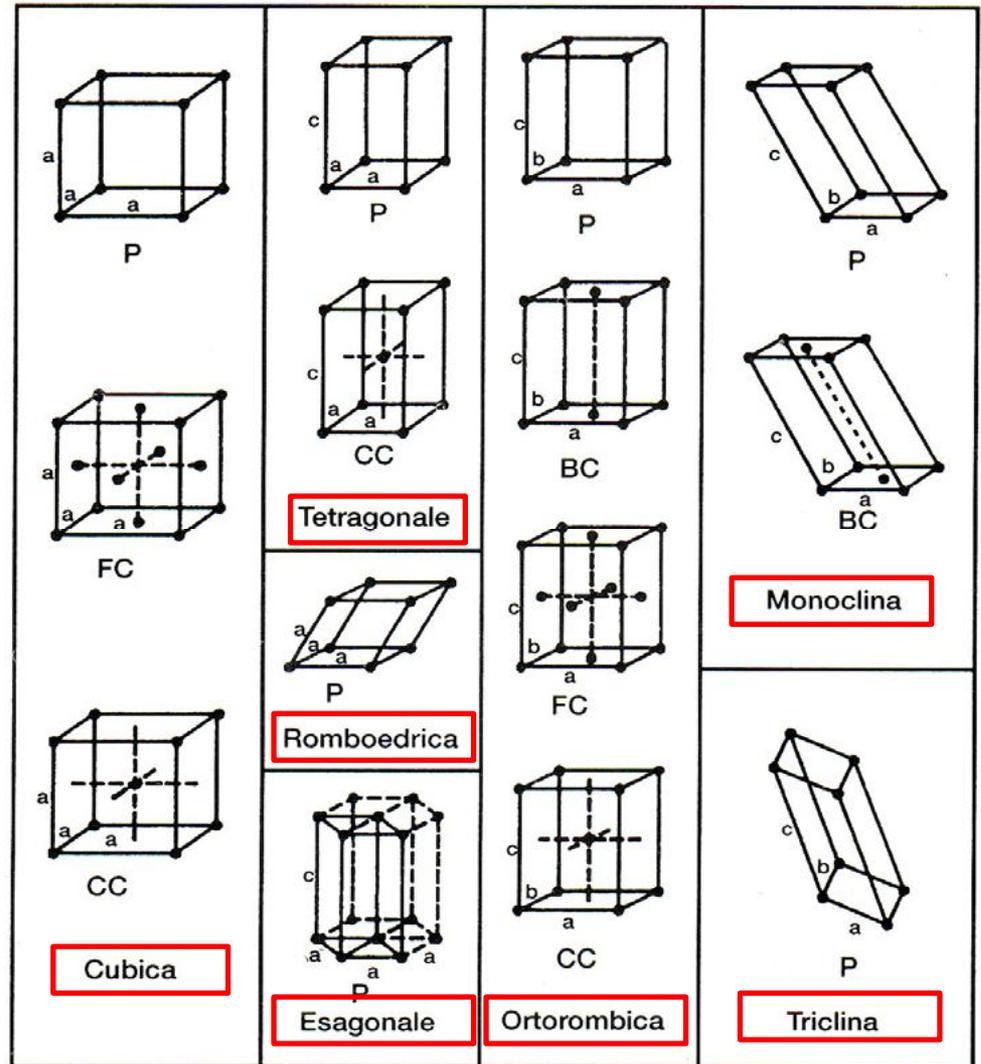


BRAVAIS [1811-1863]

Tutte le **“forme”** cristalline sono raggruppate in

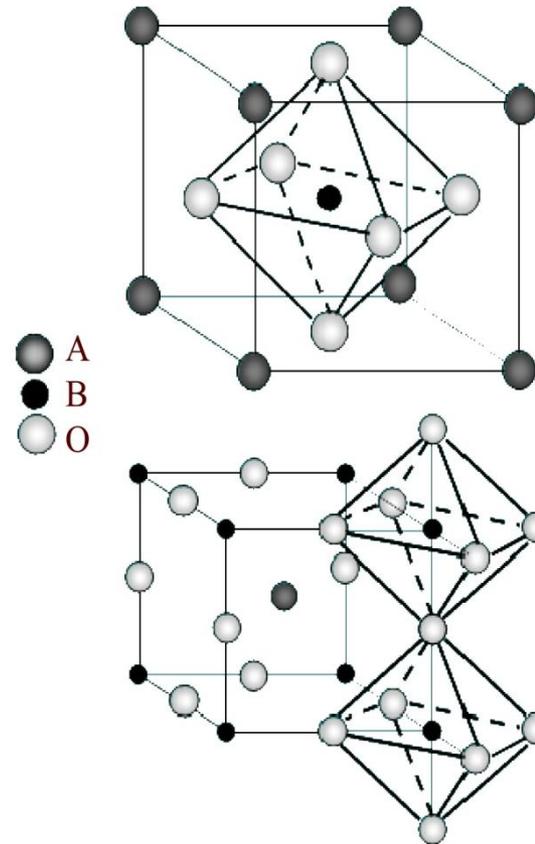
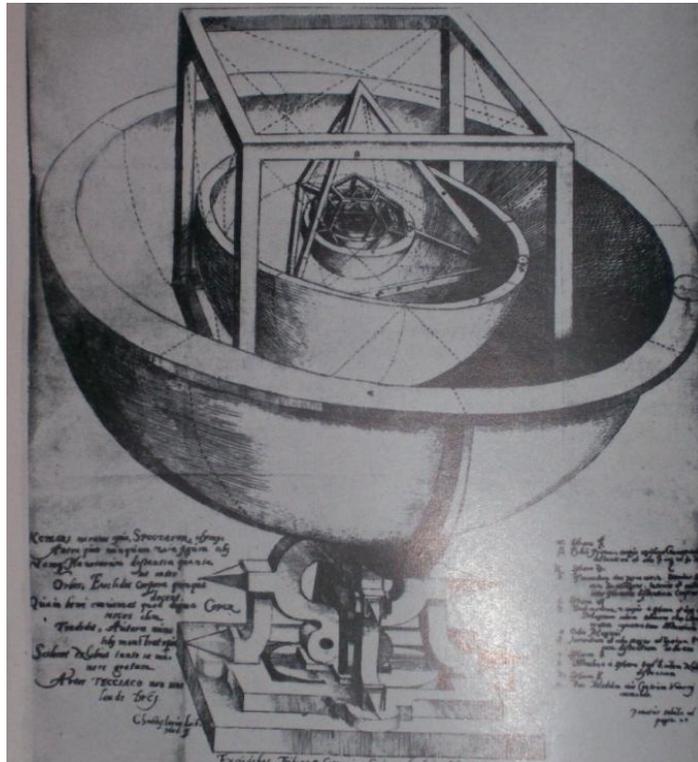
7 (!) gruppi Cristallografici

14 “reticoli di Bravais”



ESEMPIO DI STUDIO DEI CRISTALLI

dove sono finiti i **poligoni regolari di Platone?**

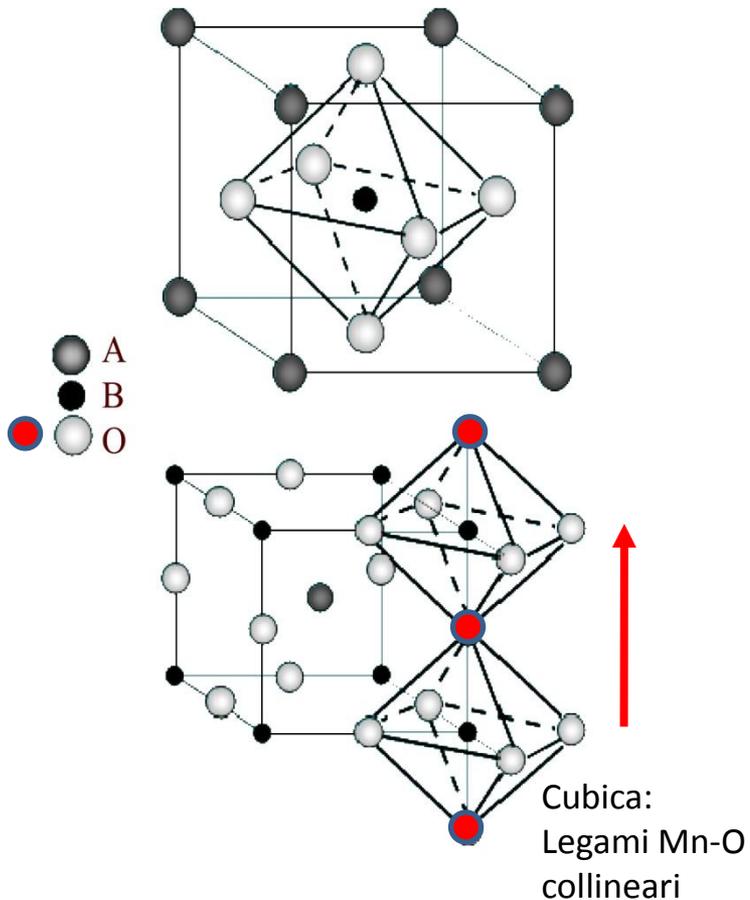


Es.: **Perovskiti** (tipo CaTiO_3): la natura riserva infinite sorprese, ma quello che più interessa qui sono proprio i “difetti”, le “distorsioni”, le “deviazioni dall’idealità”...

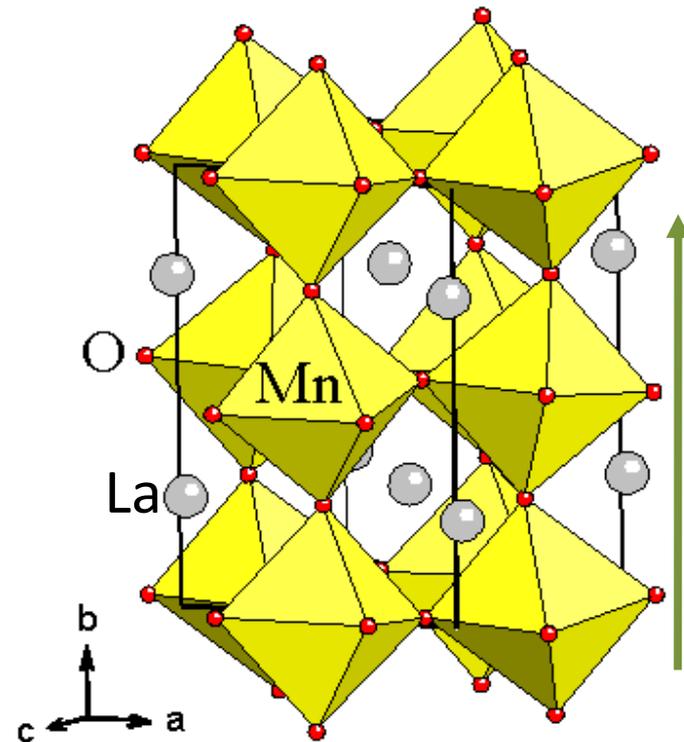


ESEMPIO DI STUDIO DEI CRISTALLI: PEROVSKITI

La struttura ideale delle perovskiti
è **CUBICA**:



La struttura delle perovskiti LaMnO_3 è poi
veramente così “perfetta”? ...

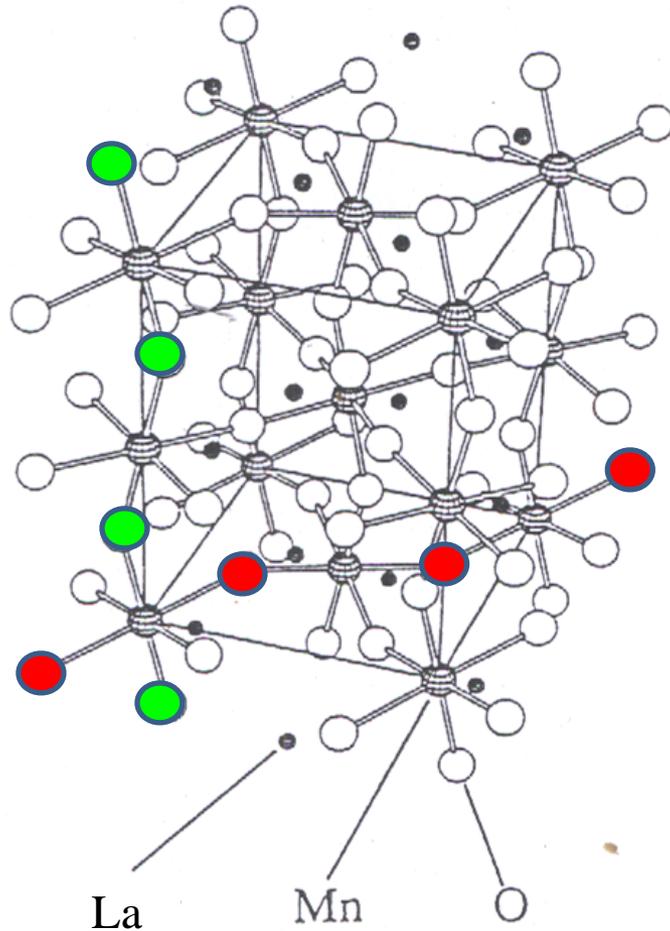


No: appena preparate sono
ORTOROMBICHE perché distorte



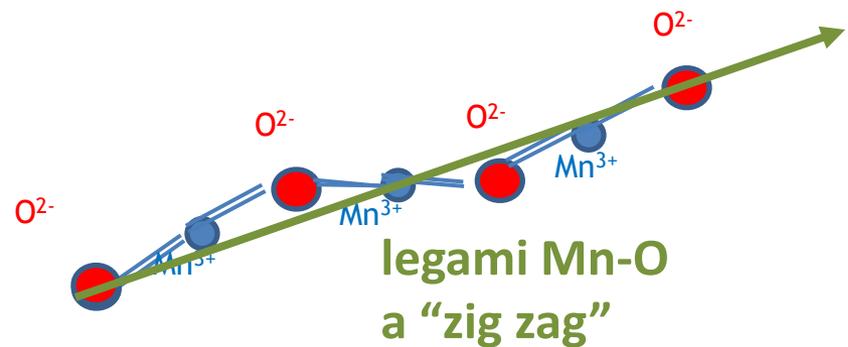
ESEMPIO DI STUDIO DEI CRISTALLI: PEROVSKITI

Struttura ORTOROMBICA



un asse degli ottaedri MnO_6 è allungato.

Conseguenza:

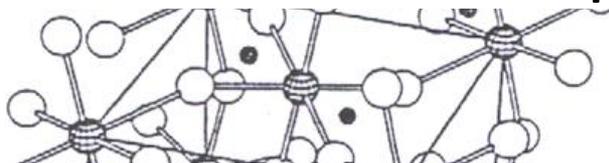


ESEMPIO DI STUDIO DEI CRISTALLI: PEROVSKITI

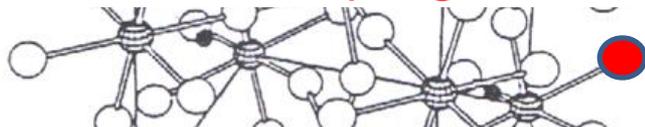
ORTOROMBICA

ROMBOEDRICA

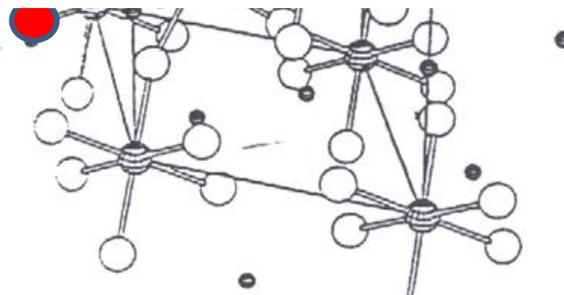
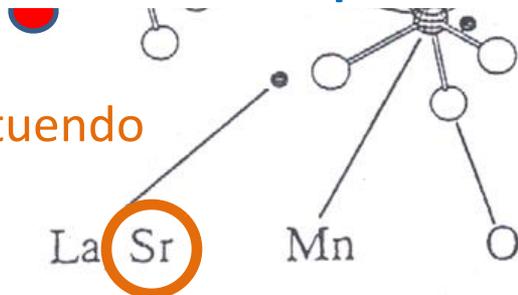
A questi fenomeni sono correlabili le fantastiche proprietà chimico-fisiche di questi materiali quali:



**Resistenza elettrica dipendente dal campo magnetico
(Magnetoresistività Gigante)**

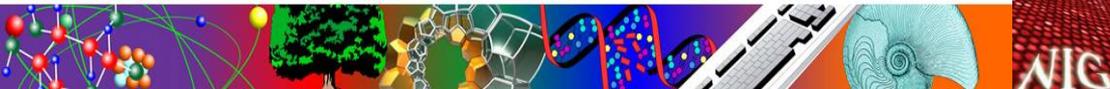


**Capacità di far avvenire la combustione del metano senza
produrre gli inquinanti NOx**



si riducono queste distorsioni...

e si ha anche: $\text{Mn}^{3+} \rightarrow \text{Mn}^{4+} + e^-$



DIFETTIVITA' vs. PERFEZIONE NEI CRISTALLI

Quarzo
(struttura perfetta)



SiO_2



granito



$72\% \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \dots$



DIFETTIVITA' vs. PERFEZIONE NEI CRISTALLI

Giallo

Limonite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + n\text{H}_2\text{O}$)

Rosso

Ematite (Fe_2O_3)

Grigio
Blu
Bruno

Particelle carboniose

Violetto

Ossidi di Mn or Fe

Rosa

Ossidi di Ti, materiali organici

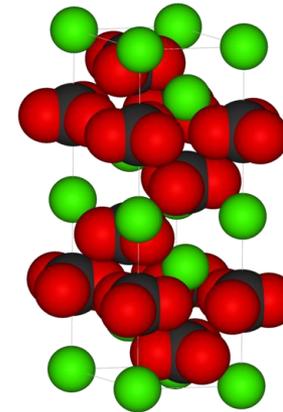
Nero

Idrocarburi fossili

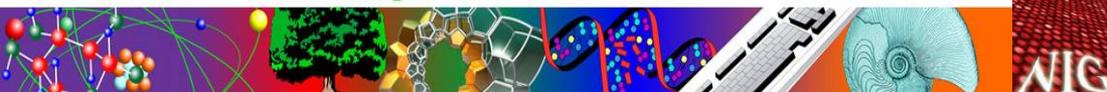
Il più antico in Belgio: 375-328 milioni di anni

MARMI (Carbonato di calcio)

Rocce "metamorfiche"

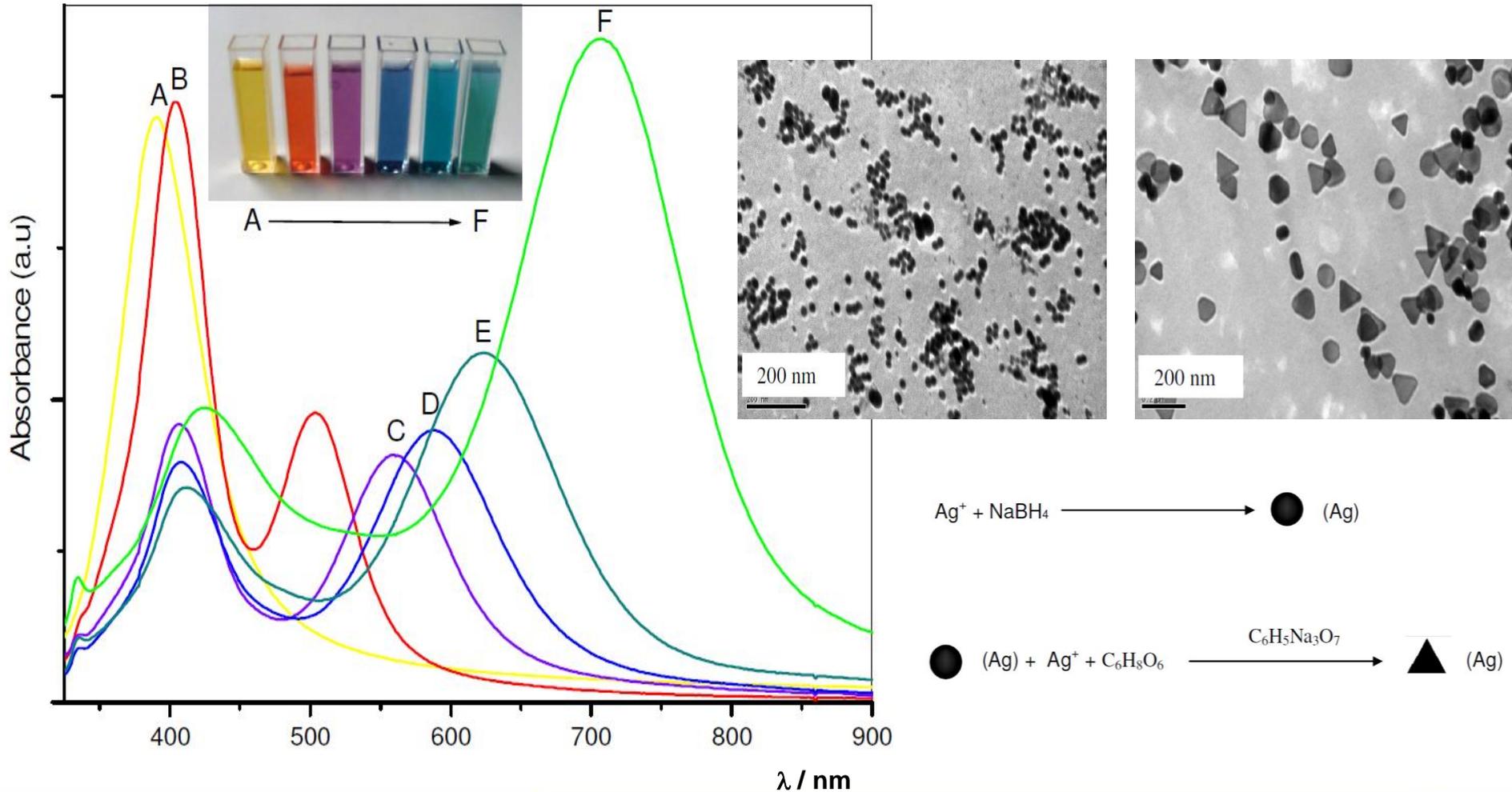


Bianco se puro. Colorato da impurezze, tracce di argilla (plasmabile), di limo (non plasmabile), sabbia, gusci o scheletri fossili...

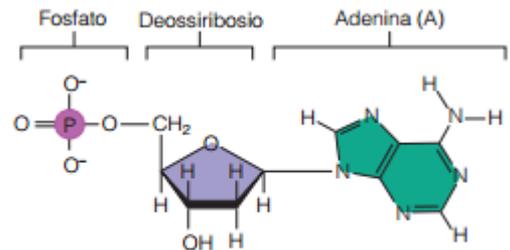


DA CRISTALLI VISIBILI A NANOPARTICELLE INVISIBILI

Relazione tra forma e colore : **sol di nanoparticelle di argento**



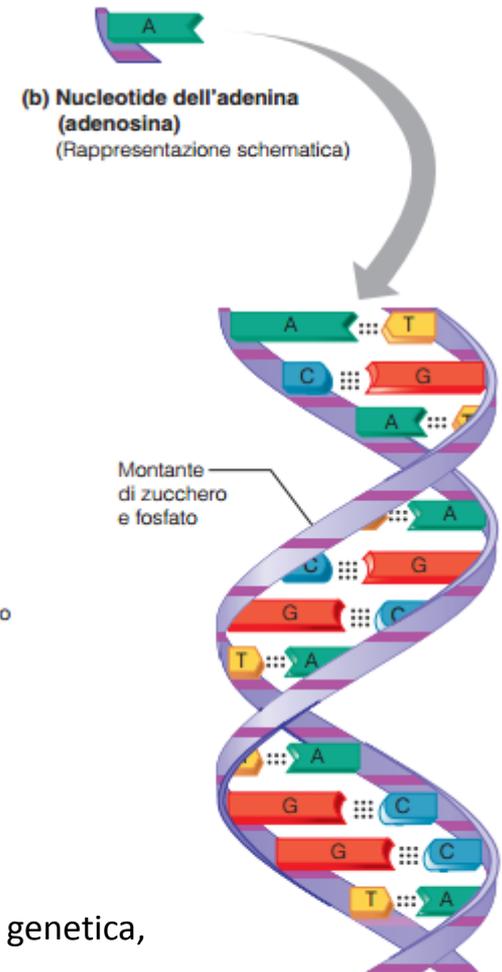
FORME ALL'ORIGINE DELLA VITA



(a) Nucleotide dell'adenina (adenosina)
(Struttura chimica)

LEGENDA:

	Timina (T)		Deossiribosio
	Adenina (A)		Fosfato
	Citosina (C)		Legame a idrogeno
	Guanina (G)		



(b) Nucleotide dell'adenina (adenosina)
(Rappresentazione schematica)

(c) Molecola del DNA

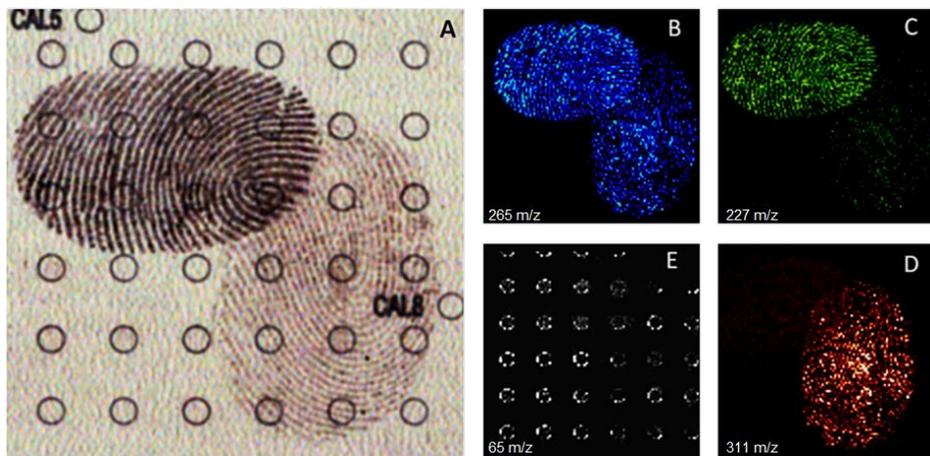
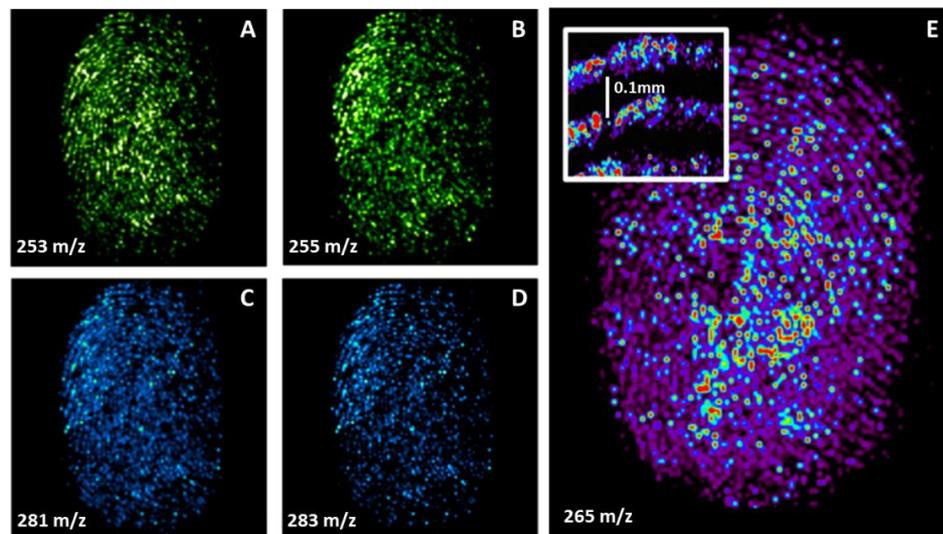
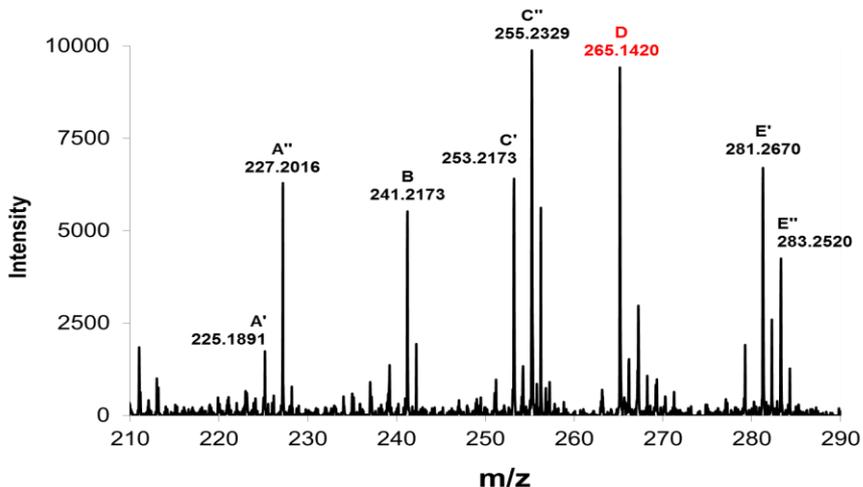
DNA (Acido DesossiriboNucleico)

*James D. Watson e Francis Crick
Nobel per la Medicina nel 1962*

L'ordine nella disposizione sequenziale dei **nucleotidi** costituisce l'informazione genetica, la quale è tradotta con il codice genetico negli **amminoacidi** corrispondenti. Tali basi azotate che possono essere utilizzate nella formazione dei nucleotidi da incorporare nella molecola di DNA sono quattro: adenina, guanina, citosina e timina.

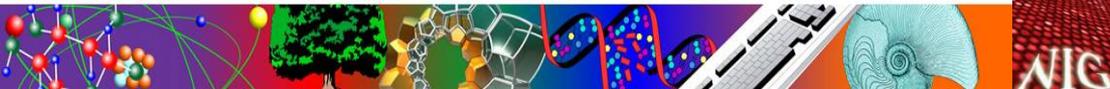


MEDICINA FORENSE (IMAGING)

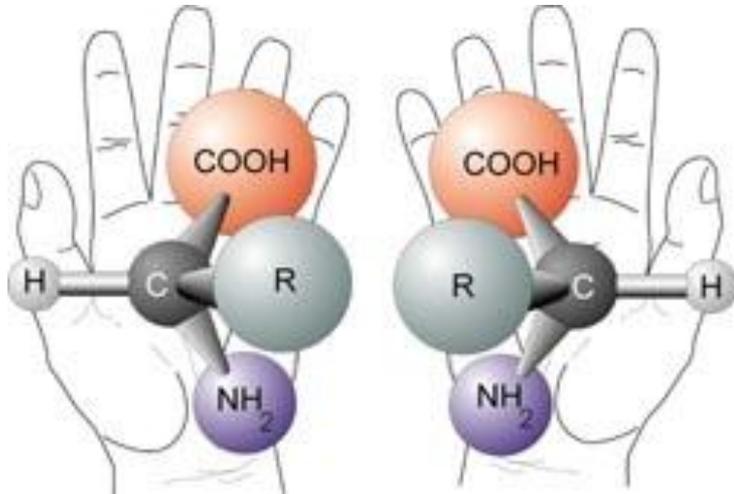


fingerprinting genetico

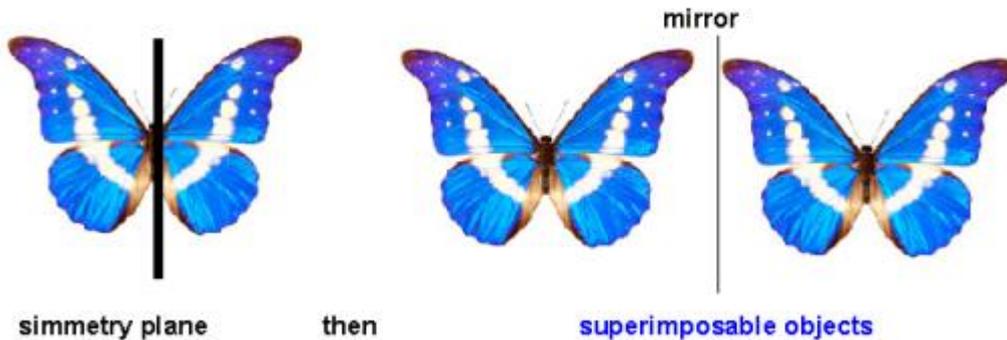
distinzione due impronte differenti



FORME E CHIRALITA'



MOLECOLE CHIRALI: sono molecole speculari, non sovrapponibili.

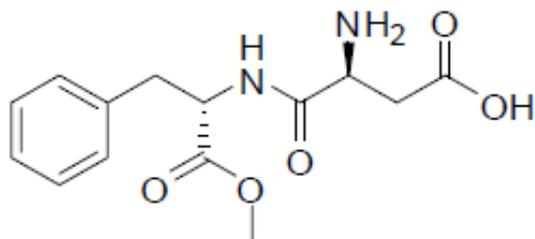


Molecole speculari, sovrapponibili, non sono chiralì

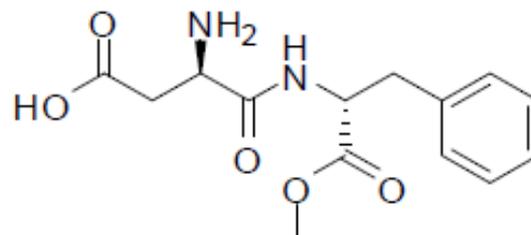


CHIRALITA' IN CUCINA E IN MEDICINA

Aspartame

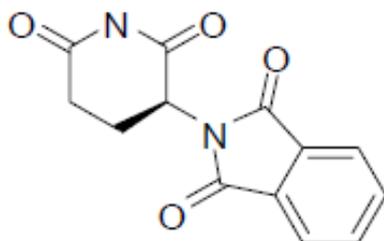


160 volte più dolce dello zucchero

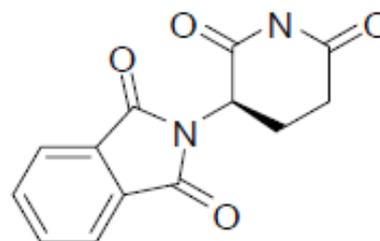


amaro

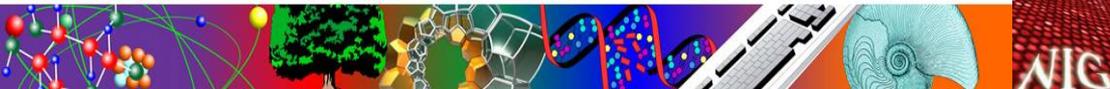
Talidomide



teratogeno



sedativo

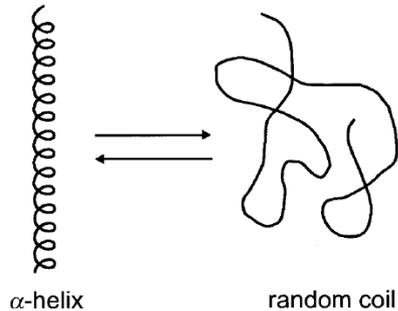


FORME IN CUCINA

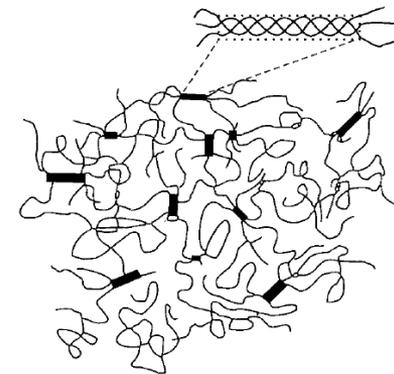
collagene: prodotto di partenza per formare la gelatina tre filamenti intrecciati



struttura a superelica distrutta in soluzioni
scaldate a 40°C

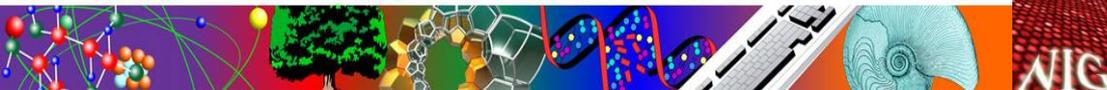


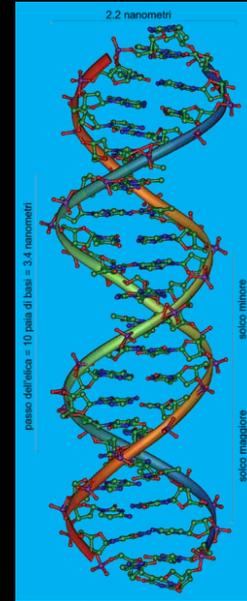
sotto raffreddamento libertà di
movimento limitata



La **gelatina** è utilizzata nell'industria alimentare per aumentare la consistenza o la viscosità di diversi alimenti; nella preparazione di dolci, l'acqua molto calda si aggiunge per gonfiare e sciogliere la gelatina in polvere; poi la gelatina viene poi raffreddata, per ottenere la consistenza voluta.

La gelatina è un componente essenziale delle caramelle gommose





Grazie
dell'attenzione



**Spesso la CHIMICA
risulta indigesta ...**

**... la si può rendere
più dolce e gustosa?**

**... magari associandola
a queste forme ...**

