

# Fondamenti chimici e molecolari delle strutture cellulari

# Tavola Periodica degli Elementi

1 1A <b>H</b> Idrogeno 1.00794	2 2A <b>He</b> Elio 4.002602											13 IIIA <b>B</b> Boro 10.811	14 IVA <b>C</b> Carbonio 12.0107	15 VA <b>N</b> Azoto 14.00674	16 VIA <b>O</b> Ossigeno 15.9994	17 VIIA <b>F</b> Fluoro 18.9984032	18 VIIIA <b>Ne</b> Neon 20.1797
3 <b>Li</b> Litio 6.941	4 <b>Be</b> Berillio 9.012182											13 <b>Al</b> Alluminio 26.981538	14 <b>Si</b> Silicio 28.0855	15 <b>P</b> Fosforo 30.973761	16 <b>S</b> Zolfo 32.066	17 <b>Cl</b> Cloro 35.453	18 <b>Ar</b> Argon 39.948
11 <b>Na</b> Sodio 22.989770	12 <b>Mg</b> Magnesio 24.3050	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIII	9 VIII	10 VIII	11 IB	12 IIB	13 <b>Ga</b> Gallio 69.723	14 <b>Ge</b> Germanio 72.64	15 <b>As</b> Arsenico 74.92160	16 <b>Se</b> Selenio 78.96	17 <b>Br</b> Bromo 79.904	18 <b>Kr</b> Kriptone 83.798
19 <b>K</b> Potassio 39.0983	20 <b>Ca</b> Calcio 40.078	21 <b>Sc</b> Scandio 44.955910	22 <b>Ti</b> Titanio 47.887	23 <b>V</b> Vanadio 50.9415	24 <b>Cr</b> Cromo 51.9961	25 <b>Mn</b> Manganese 54.938049	26 <b>Fe</b> Ferro 55.8457	27 <b>Co</b> Cobalto 58.933200	28 <b>Ni</b> Nichel 58.6934	29 <b>Cu</b> Rame 63.546	30 <b>Zn</b> Zinco 65.409	31 <b>In</b> Indio 114.818	32 <b>Sn</b> Stagno 118.710	33 <b>Sb</b> Antimonio 121.760	34 <b>Te</b> Tellurio 127.60	35 <b>I</b> Iodio 126.90447	36 <b>Xe</b> Xeno 131.293
37 <b>Rb</b> Rubidio 85.4678	38 <b>Sr</b> Stronzio 87.62	39 <b>Y</b> Ittrio 88.90585	40 <b>Zr</b> Zirconio 91.224	41 <b>Nb</b> Niobio 92.90638	42 <b>Mo</b> Molibdeno 95.94	43 <b>Tc</b> Tecnecio (98)	44 <b>Ru</b> Rutenio 101.07	45 <b>Rh</b> Rodio 102.90550	46 <b>Pd</b> Palladio 106.42	47 <b>Ag</b> Argento 107.8682	48 <b>Cd</b> Cadmio 112.411	49 <b>In</b> Indio 114.818	50 <b>Sn</b> Stagno 118.710	51 <b>Sb</b> Antimonio 121.760	52 <b>Te</b> Tellurio 127.60	53 <b>I</b> Iodio 126.90447	54 <b>Xe</b> Xeno 131.293
55 <b>Cs</b> Cesio 132.90545	56 <b>Ba</b> Bario 137.327	57 to 71 <b>Lantanidi</b>	72 <b>Hf</b> Hafnio 178.49	73 <b>Ta</b> Tantalio 180.9479	74 <b>W</b> Tungsteno 183.84	75 <b>Re</b> Renio 186.207	76 <b>Os</b> Osmio 190.23	77 <b>Ir</b> Iridio 192.217	78 <b>Pt</b> Platino 195.078	79 <b>Au</b> Oro 196.96655	80 <b>Hg</b> Mercurio 200.59	81 <b>Tl</b> Tallio 204.3833	82 <b>Pb</b> Piombo 207.2	83 <b>Bi</b> Bismuto 208.98038	84 <b>Po</b> Polonio (209)	85 <b>At</b> Astatio (210)	86 <b>Rn</b> Radone (222)
87 <b>Fr</b> Francio (223)	88 <b>Ra</b> Radio (226)	89 to 103 <b>Attinidi</b>	104 <b>Rf</b> Rutherfordio (261)	105 <b>Db</b> Dubnio (262)	106 <b>Sg</b> Seaborgio (266)	107 <b>Bh</b> Bohrio (264)	108 <b>Hs</b> Hassio (269)	109 <b>Mt</b> Meitnerio (268)	110 <b>Ds</b> Darmstadtio (271)	111 <b>Rg</b> Roentgenio (272)	112 <b>Uub</b> Ununbio (285)	113 <b>Uut</b> Ununtrio (284)	114 <b>Uuq</b> Ununquadio (289)	115 <b>Uup</b> Ununpentio (288)	116 <b>Uuh</b> Ununhexio (292)	117 <b>Uus</b> Ununseptio (294)	118 <b>Uuo</b> Ununoctio (294)

Le masse atomiche tra sono quelle degli isotopi più stabili o più comuni.

Design Copyright © 1997 Michael Dayeh (michael@dayeh.com), <http://www.dayeh.com/periodic/>

Nota: il sotto gruppo dei numeri 1-18 è stato adottato nel 1984 dalla International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). I nomi degli elementi 112-118 sono gli equivalenti latini di quei nomi.

57 <b>La</b> Lantanio 138.9055	58 <b>Ce</b> Cerio 140.116	59 <b>Pr</b> Praseodimio 140.90765	60 <b>Nd</b> Necdimo 144.24	61 <b>Pm</b> Promezio (145)	62 <b>Sm</b> Samario 150.36	63 <b>Eu</b> Europio 151.964	64 <b>Gd</b> Gadolinio 157.25	65 <b>Tb</b> Terbio 158.92534	66 <b>Dy</b> Diprosio 162.500	67 <b>Ho</b> Olmio 164.93032	68 <b>Er</b> Erbio 167.259	69 <b>Tm</b> Tullio 168.93421	70 <b>Yb</b> Itterbio 173.04	71 <b>Lu</b> Lutezio 174.967
89 <b>Ac</b> Attinio (227)	90 <b>Th</b> Torio 232.0381	91 <b>Pa</b> Protoattinio 231.03588	92 <b>U</b> Uranio 238.02891	93 <b>Np</b> Nettunio (237)	94 <b>Pu</b> Plutonio (244)	95 <b>Am</b> Americio (243)	96 <b>Cm</b> Curio (247)	97 <b>Bk</b> Berkelio (247)	98 <b>Cf</b> Californio (251)	99 <b>Es</b> Einstenio (252)	100 <b>Fm</b> Fermio (257)	101 <b>Md</b> Mendelevio (258)	102 <b>No</b> Nobelio (259)	103 <b>Lr</b> Laurenzio (262)

Fonte: <https://iupac.org/>

# I sei elementi della Tavola Periodica che costituiscono il 98% della materia vivente






I sei elementi evidenziati in giallo costituiscono complessivamente oltre il 98% della massa di qualsiasi essere vivente.

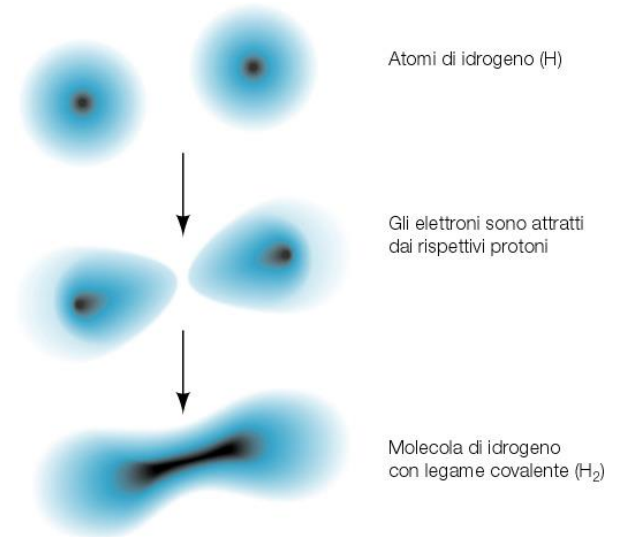
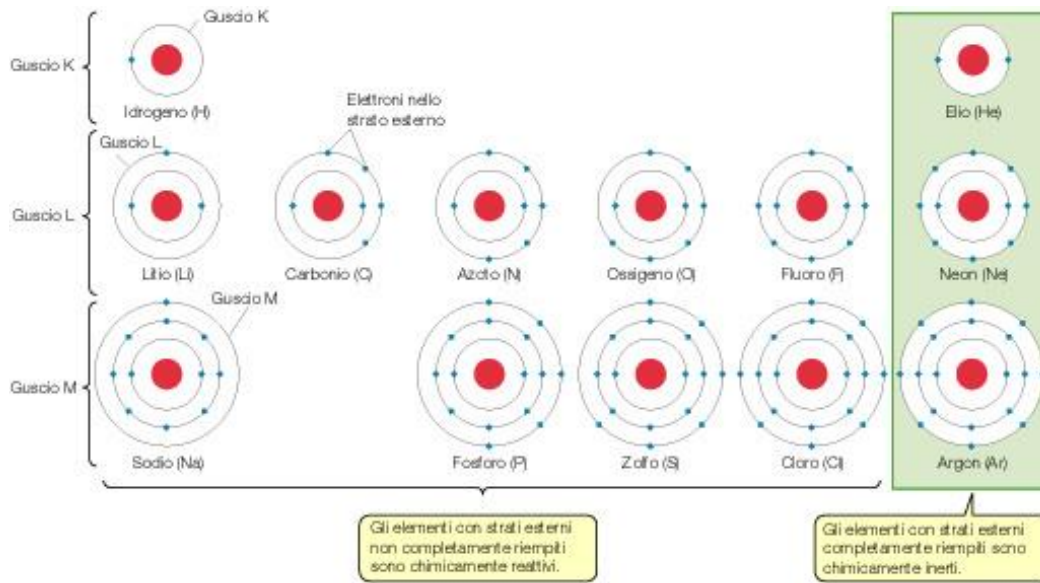
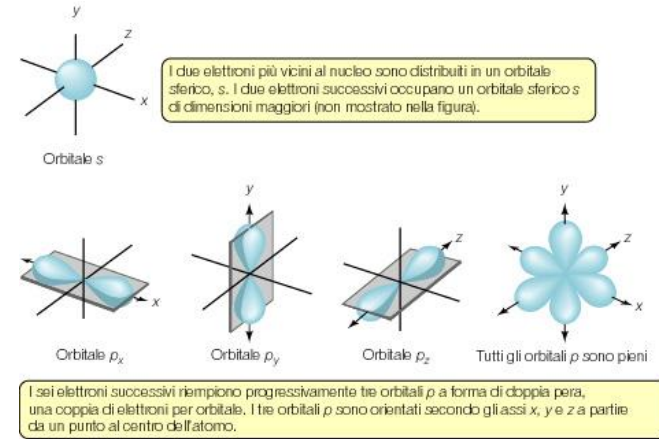
Gli elementi evidenziati in arancione sono presenti negli esseri viventi in quantità molto ridotte.

Le colonne verticali contengono elementi con proprietà simili.

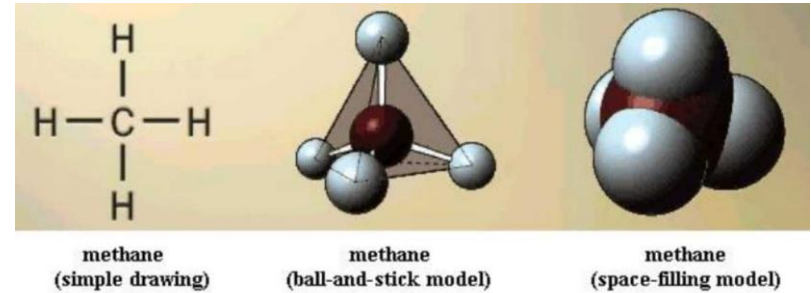
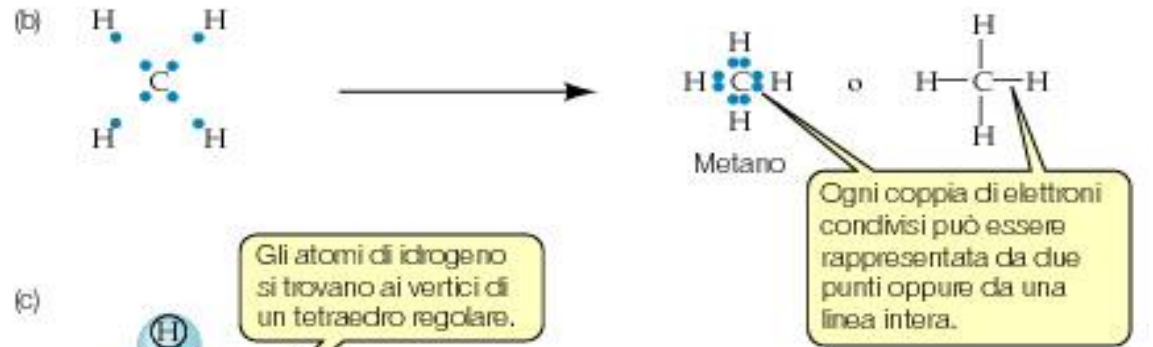
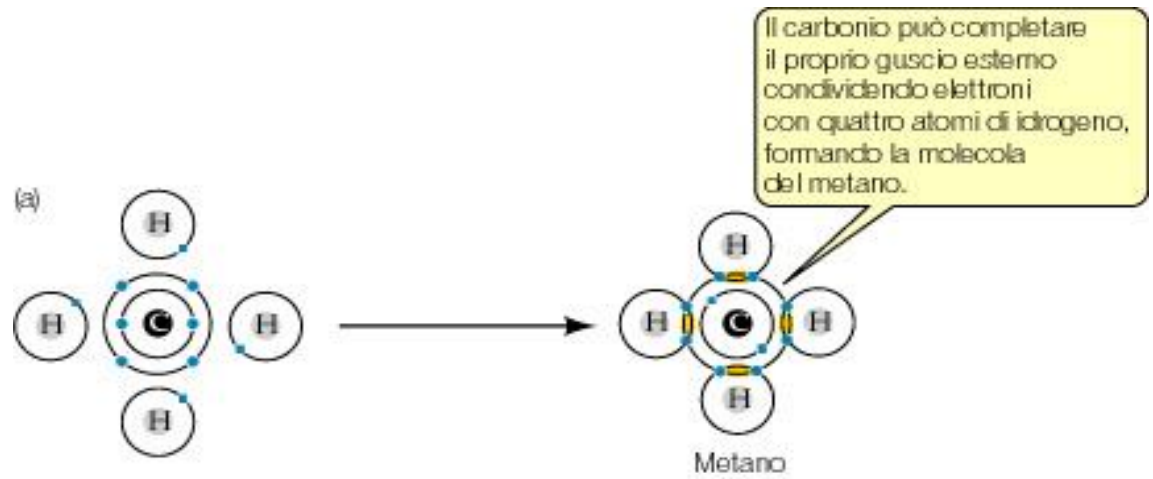
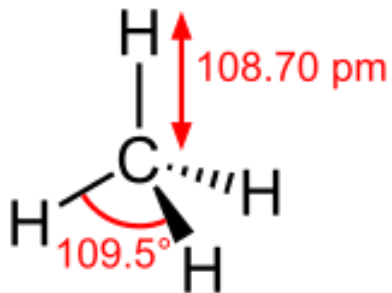
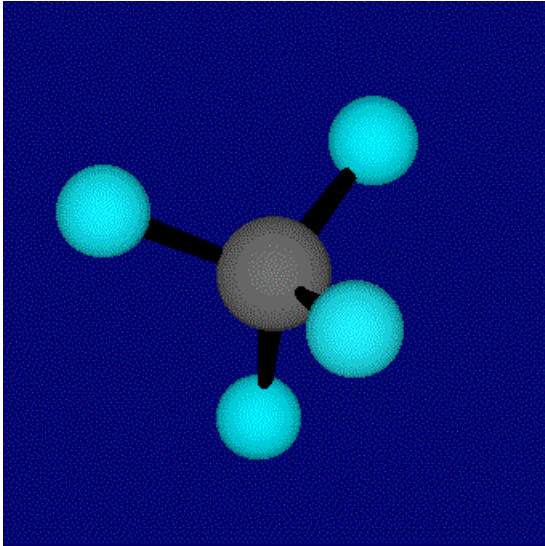
1 H 1,0079																	2 He 4,003
3 Li 6,941	4 Be 9,012	Simbolo chimico Numero atomico Peso atomico										5 B 10,81	6 C 12,011	7 N 14,007	8 O 15,999	9 F 18,998	10 Ne 20,179
11 Na 22,990	12 Mg 24,305	Gli elementi evidenziati in arancione sono presenti negli esseri viventi in quantità molto ridotte.										13 Al 26,982	14 Si 28,086	15 P 30,974	16 S 32,06	17 Cl 35,453	18 Ar 39,948
19 K 39,098	20 Ca 40,08	21 Sc 44,956	22 Ti 47,88	23 V 50,942	24 Cr 51,996	25 Mn 54,938	26 Fe 55,847	27 Co 58,933	28 Ni 58,69	29 Cu 63,546	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,6	33 As 74,922	34 Se 78,96	35 Br 79,909	36 Kr 83,80
37 Rb 85,478	38 Sr 87,62	39 Y 88,906	40 Zr 91,22	41 Nb 92,906	42 Mo 95,94	43 Tc 99	44 Ru 101,07	45 Rh 102,906	46 Pd 106,4	47 Ag 107,870	48 Cd 112,41	49 In 114,82	50 Sn 118,69	51 Sb 121,75	52 Te 127,60	53 I 126,904	54 Xe 131,30
55 Cs 132,905	56 Ba 137,34	57-71 La-Lu	72 Hf 178,49	73 Ta 180,948	74 W 183,85	75 Re 186,207	76 Os 190,2	77 Ir 192,2	78 Pt 195,08	79 Au 196,967	80 Hg 200,59	81 Tl 204,37	82 Pb 207,19	83 Bi 208,980	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
87 Fr (223)	88 Ra 226,025	89-103 Ac-Lr	104	105	106	107	108	109	Le colonne verticali contengono elementi con proprietà simili.								

Serie dei lantanidi	57 La 138,906	58 Ce 140,12	59 Pr 140,9077	60 Nd 144,24	61 Pm (145)	62 Sm 150,36	63 Eu 151,96	64 Gd 157,25	65 Tb 158,924	66 Dy 162,50	67 Ho 164,930	68 Er 167,26	69 Tm 168,934	70 Yb 173,04	71 Lu 174,97
Serie degli attinidi	89 Ac 227,028	90 Th 232,038	91 Pa 231,036	92 U 238,02	93 Np 237,0482	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (260)

Isotopi dell'idrogeno			Isotopi del carbonio	
				
$^1\text{H}$	$^2\text{H}$	$^3\text{H}$	$^{12}\text{C}$	$^{14}\text{C}$
Idrogeno	Deuterio	Trizio	Carbonio-12	Carbonio-14
1 protone	1 protone 1 neutrone	1 protone 2 neutroni	6 protoni 6 neutroni	6 protoni 8 neutroni

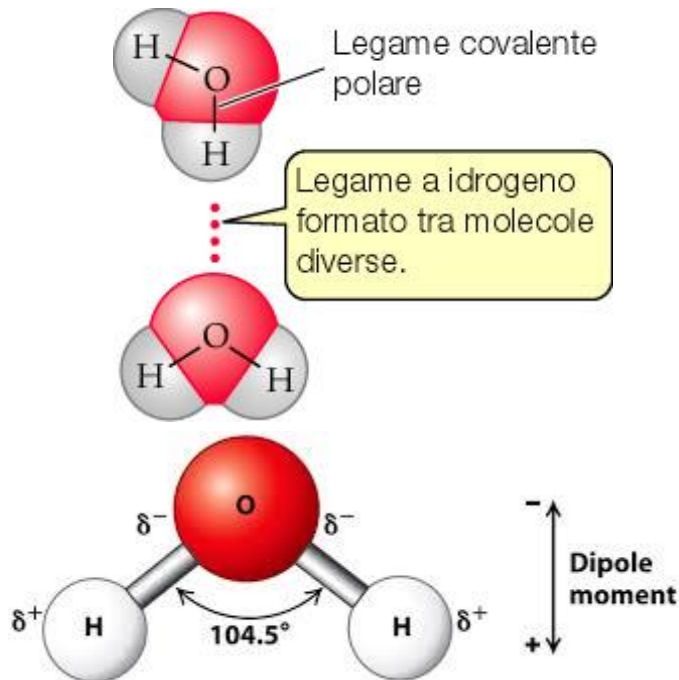
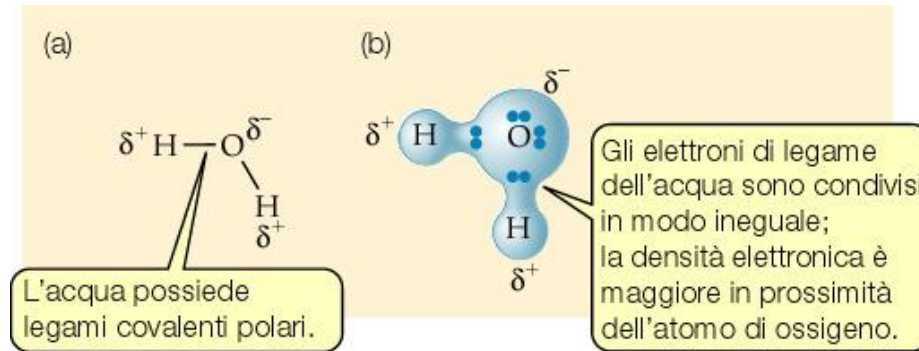
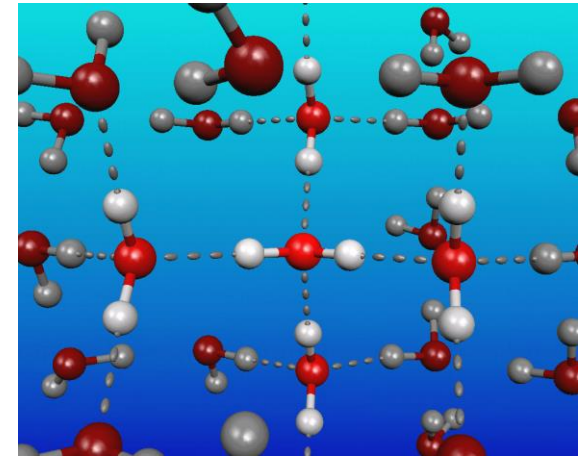


# Il carbonio e i suoi legami



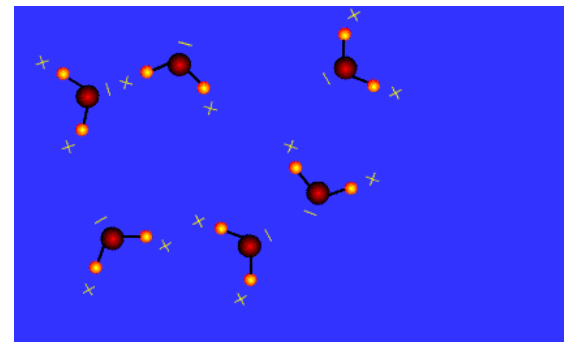
Fonti: Sadava et al., 2014; 2019  
Solomon et al., 2012

# La molecola più preziosa dell'universo: l'acqua



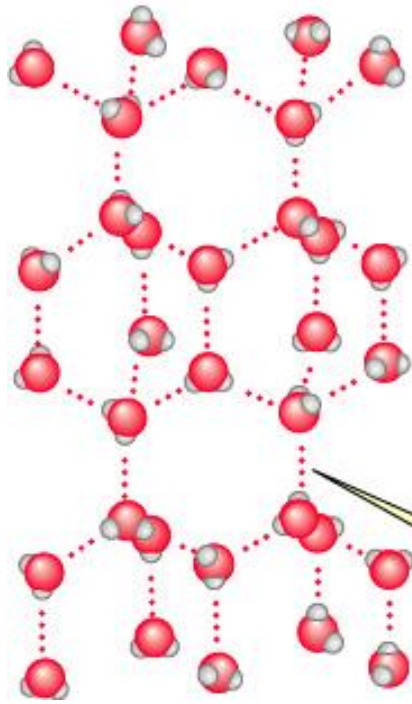
...ed i suoi fondamentali legami:

- Legame idrogeno
- Legame covalente polare



Fonti:  
Sadava et al.,  
2014; 2019

(a) Ghiaccio (acqua solida)



(b) Acqua liquida



I legami a idrogeno si formano e si rompono continuamente allo spostarsi delle molecole di acqua.

Nel ghiaccio, le molecole di acqua sono mantenute in posizioni fisse da legami a idrogeno.

Le interazioni tra le molecole di acqua sono così forti che alcuni animali riescono a “camminare” sulla superficie liquida



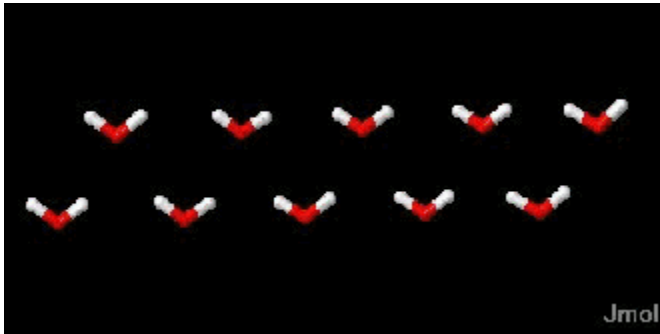
*Hydrometra stagnorum*  
(Insecta Hydrometridae)



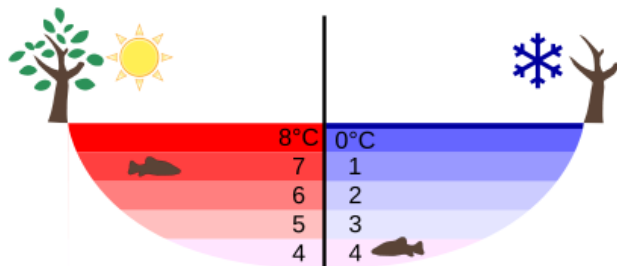
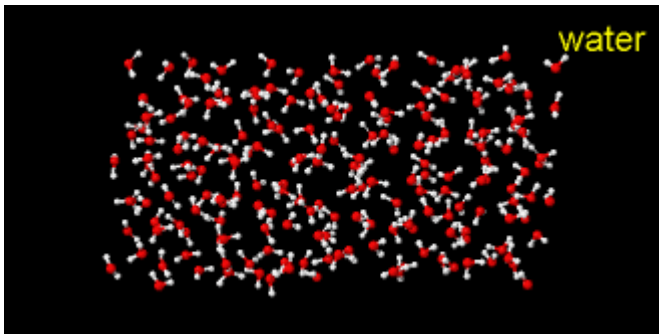
*Basiliscus plumifrons*  
(Reptilia Corytophanidae)



*Solenopsis invicta*  
(Insecta Formicidae)



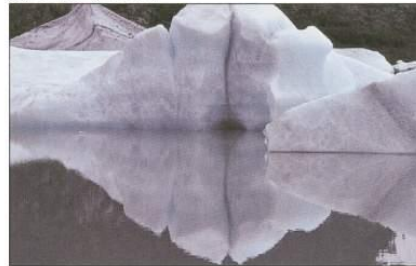
I tre stati dell'acqua:  
presenti **sul nostro pianeta** e in almeno  
altri **tre luoghi** del Sistema Solare  
(Marte, Europa, Encelado)



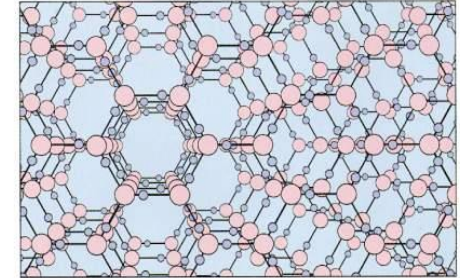
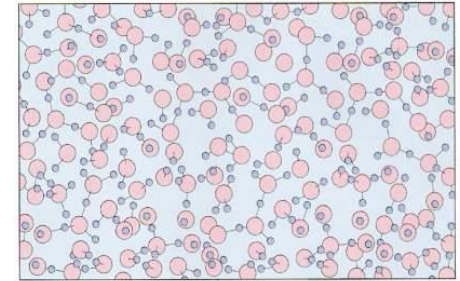
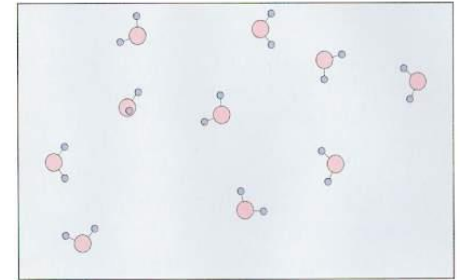
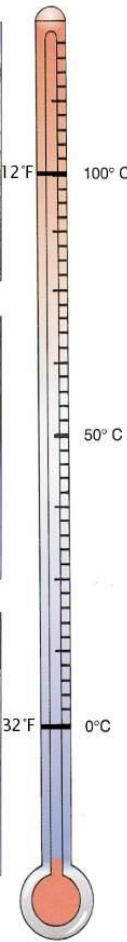
(a) Vapore acqueo (gas)



(b) Acqua (liquido)



(c) Ghiaccio (solido)



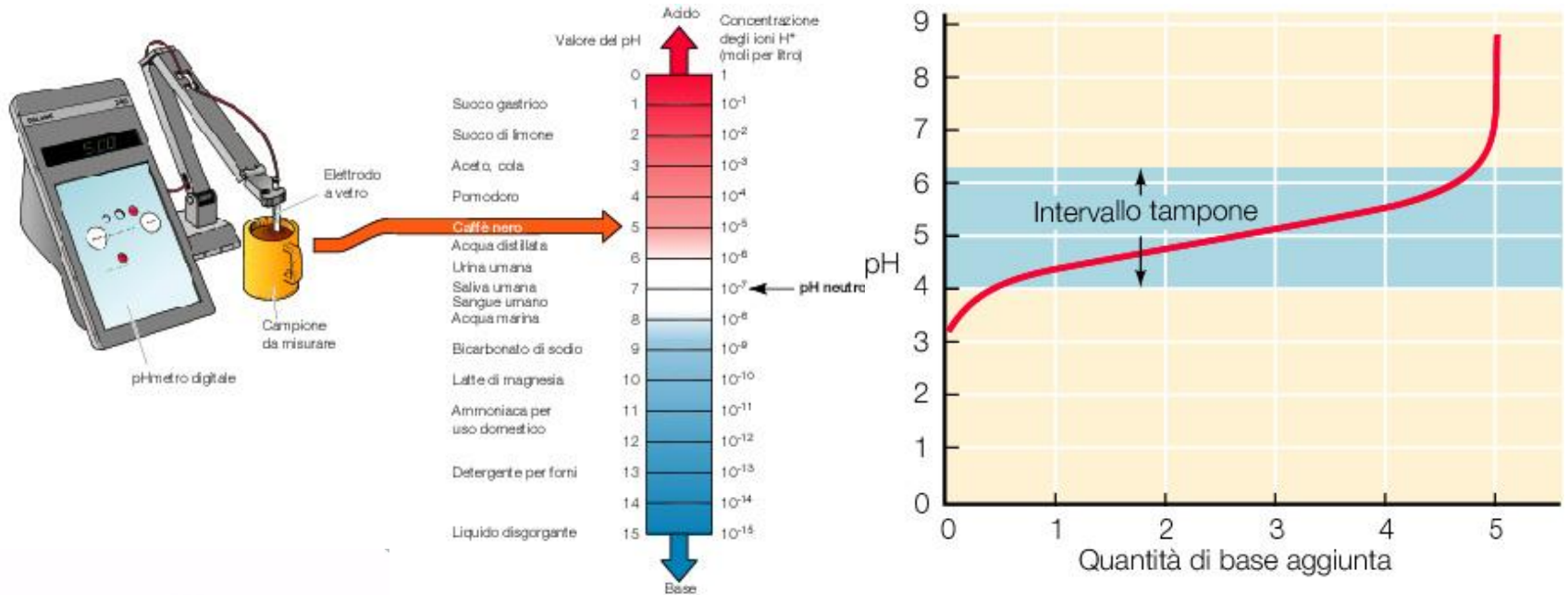
■ **Figura 2-16 Le tre forme dell'acqua.** (a) Quando l'acqua bolle, come in questa sorgente calda del Parco Nazionale di Yellowstone, molti legami a idrogeno si spezzano, causando la formazione del vapore, che consiste di minuscole gocce d'acqua. Se successivamente la maggior parte dei rimanenti legami a idrogeno sono rotti, le molecole iniziano a muoversi più liberamente come vapore d'acqua. (b) Le molecole di acqua allo stato liquido formano, rompono e riformano continuamente legami a idrogeno. (c) Nel ghiaccio ogni molecola di acqua forma quattro legami a idrogeno con le molecole adiacenti, dando luogo ad una struttura cristallina regolare. Quando si formano i legami a idrogeno, le molecole d'acqua si separano leggermente; questo è il motivo per cui l'acqua si espande quando congela, rendendo il ghiaccio una delle poche sostanze che è meno densa in forma solida rispetto a quella liquida. Pertanto il ghiaccio, galleggia sull'acqua (a, Woodbridge Wilson/National Park Service; b, Gary R. Bonner; c, Barbara O'Donnell/Biological Photo Service)

Fonti: Sadava et al., 2014; 2019  
Solomon et al., 2012



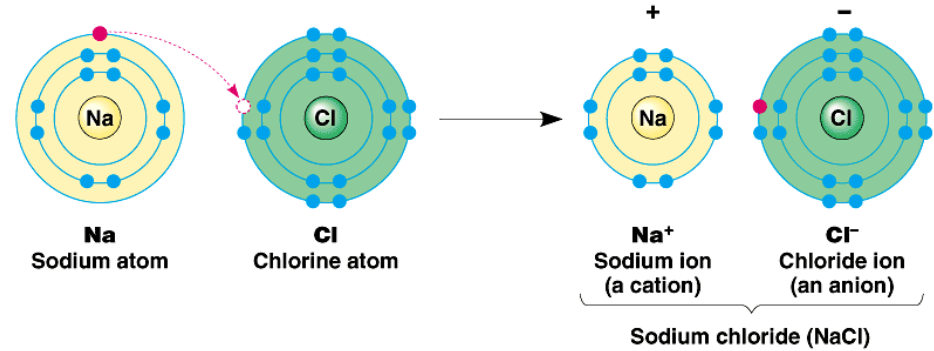
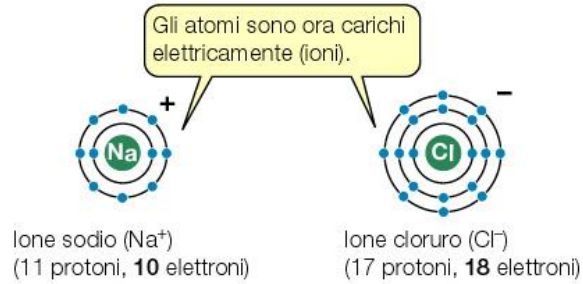
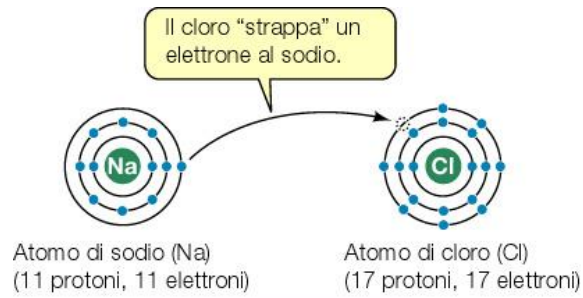
$$pH = - \text{Log} (H^+)$$

misura della concentrazione di ioni idrogeno in soluzione  
(che indica l'**acidità** o la **basicità** di una soluzione acquosa)

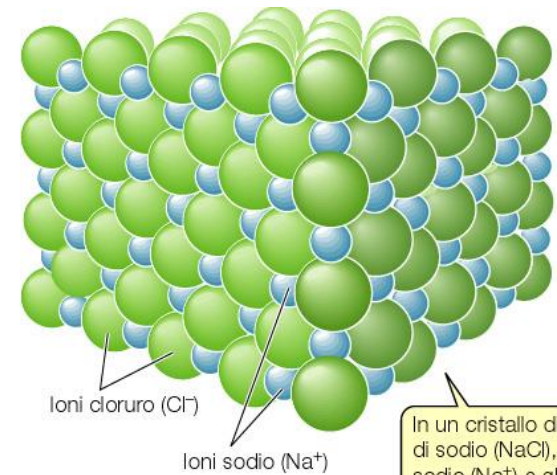
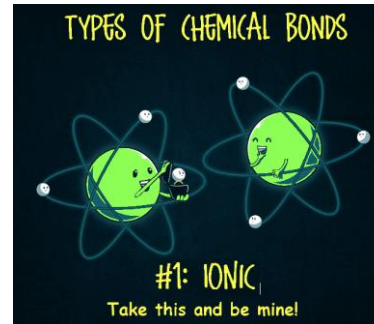
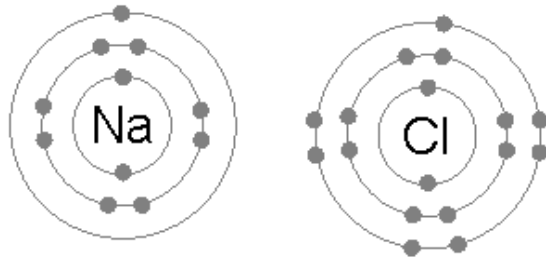


$$pH = - \log_{10} a_{H^+} = \log_{10} \frac{1}{a_{H^+}}$$

# Il legame ionico



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

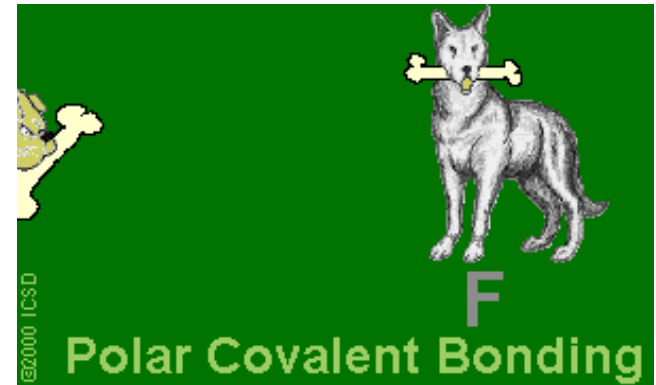
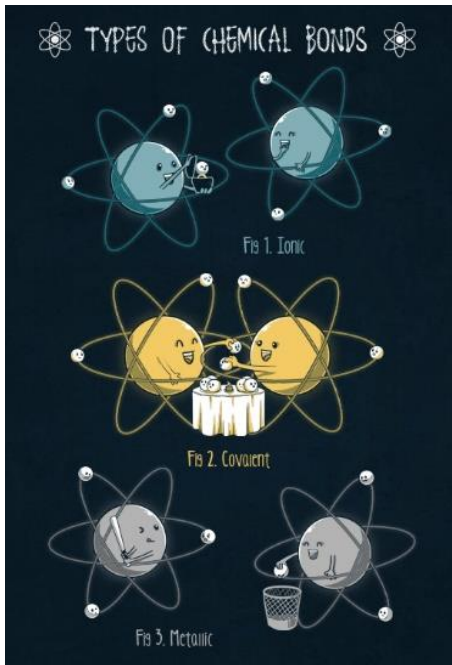


In un cristallo di cloruro di sodio ( $\text{NaCl}$ ), i cationi sodio ( $\text{Na}^+$ ) e gli anioni cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) sono tenuti assieme da legami ionici.

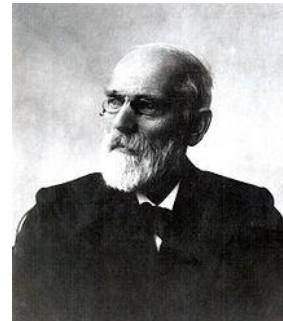


Fonti:  
Sadava et al., 2014; 2019  
<https://www.docsity.com>

# Riassunto dei legami chimici fondamentali



Tuttavia esistono altri “legami” (o, più propriamente, “interazioni”) di grande importanza per le molecole biologiche: sono le **interazioni di van der Waals**, associazioni tra molecole basate non sullo spostamento o condivisione di elettroni, ma su oscillazioni temporanee di “nubi elettroniche” che generano dipoli



Fonte: <https://www.docsity.com>

Johannes Diderik van der Waals (1837-1923)

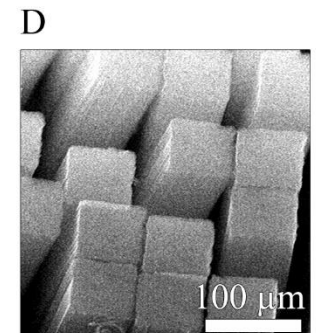
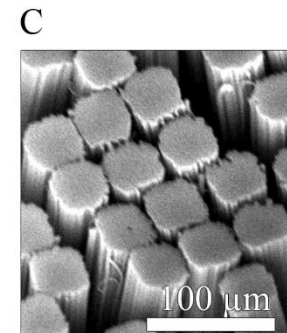
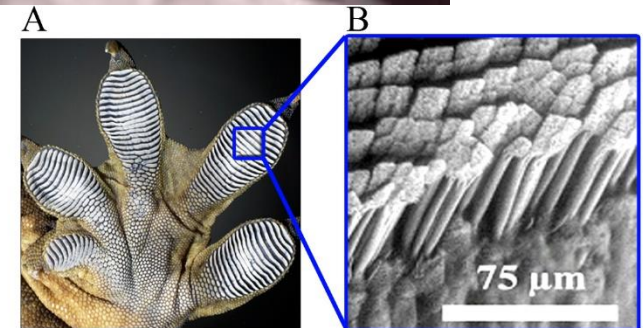
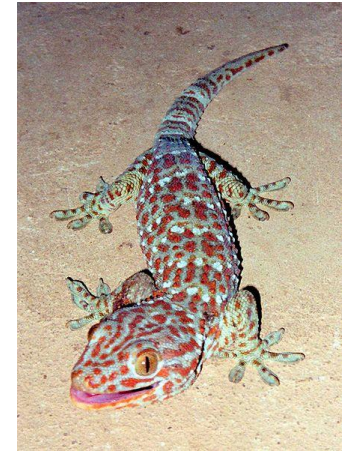
# I gechi e le loro “zampine di van der Waals” (adesive a livello molecolare)

- I gechi, piccoli rettili molto diffusi in tutto il mondo, hanno zampine straordinarie, in grado di aderire a molte superfici senza richiedere secrezioni adesive
- I polpastrelli sono infatti rivestiti di **finissime setole** (circa 14000 per mm quadrato) che aderiscono alle superfici tramite **interazioni di van der Waals**
- Le setole si dividono in centinaia di diramazioni, le cui estremità sono larghe solo 0.2  $\mu\text{m}$ , **1/50 dello spessore di un capello umano**
- Quando aderiscono possono resistere ad una **forza di trazione di 2 kg**: per staccare la zampa il gecko deve solo cambiare l'inclinazione delle setole
- I gechi possono aderire al vetro smerigliato, a sostanze lisce a livello molecolare, sia idrofobe sia idrofile, e anche a superfici sott'acqua
- **L'unico materiale al quale le zampe dei gechi non aderiscono è il teflon**, caratterizzato da bassissime interazioni di van der Waals
- Numerosi gruppi di ricerca stanno sviluppando **adesivi medici** con proprietà simili a quelle delle setole del gecko tramite **nanotubi di carbonio con piccoli uncini**

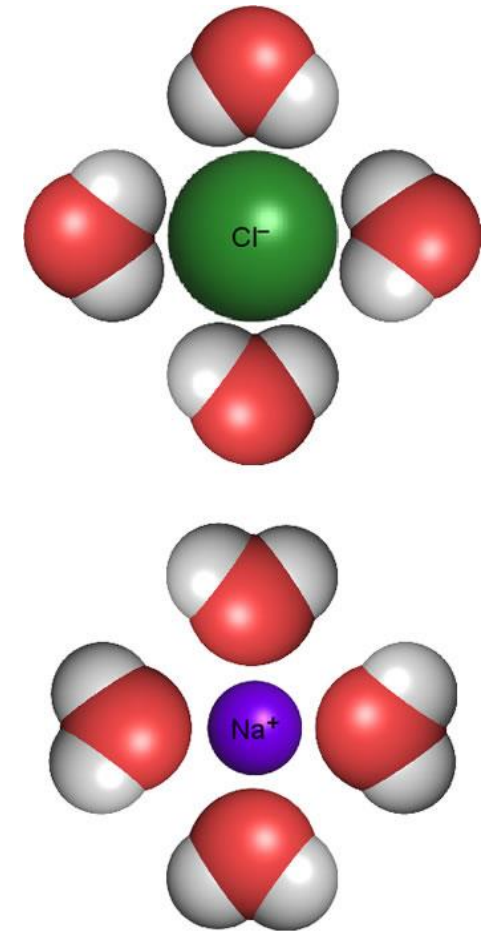
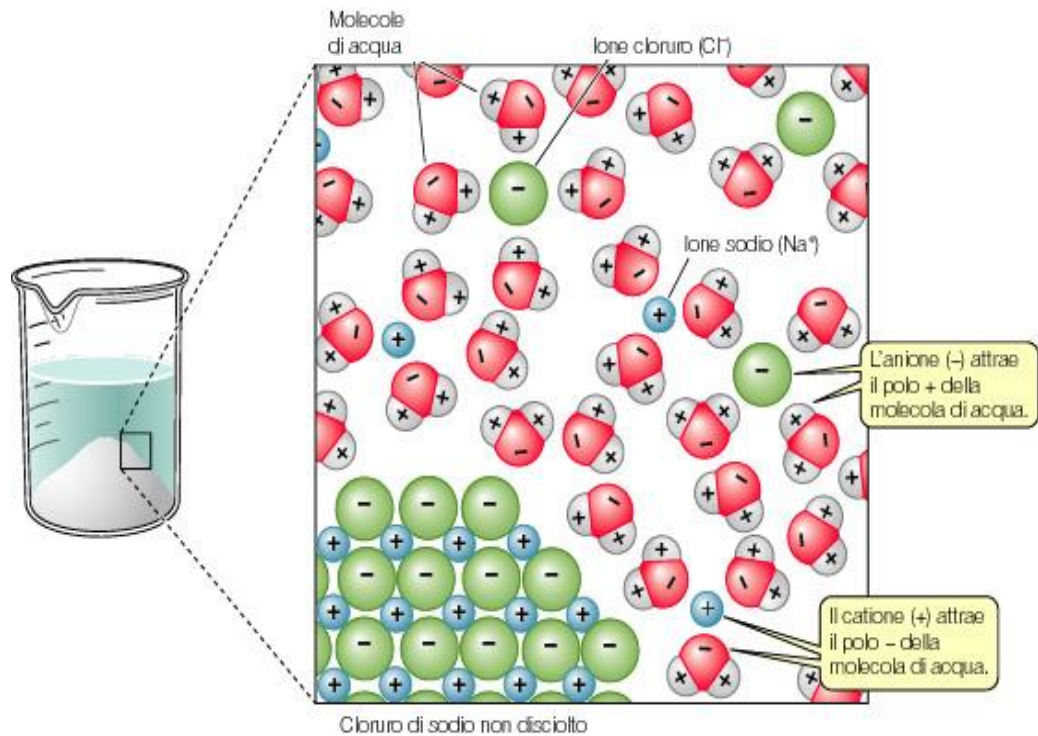


Geco comune

(*Tarentula mauritanica*,  
Reptilia Gekkonidae)

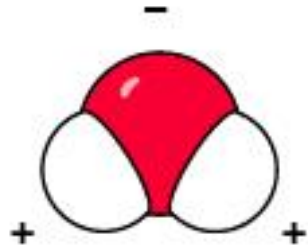


# L'acqua, molecola polare, scioglie i sali interferendo con il legame ionico (**solvatazione**)



- La parte positiva della molecola d'acqua (i due atomi di idrogeno) si associa allo ione negativo (**il cloro**)
- La parte negativa della molecola d'acqua (**l'ossigeno**) si associa allo ione positivo (**il sodio**)

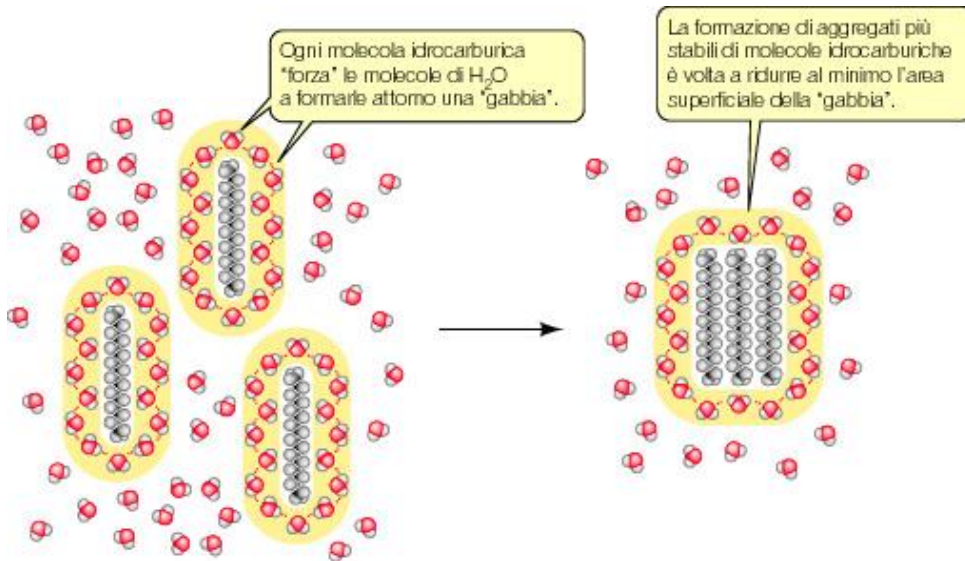
# Molecole **polari** e molecole **non polari** (o “apolari”)



L'acqua, una molecola polare



L'etano, una molecola apolare



- Azoto (N)
- Ossigeno (O)
- Carbonio (C)
- Idrogeno (H)

Acqua (peso molecolare 18)

Alanina (peso molecolare 89)

Glucosio (peso molecolare 180)

L'acqua è il solvente in cui si verificano numerose reazioni biologiche.

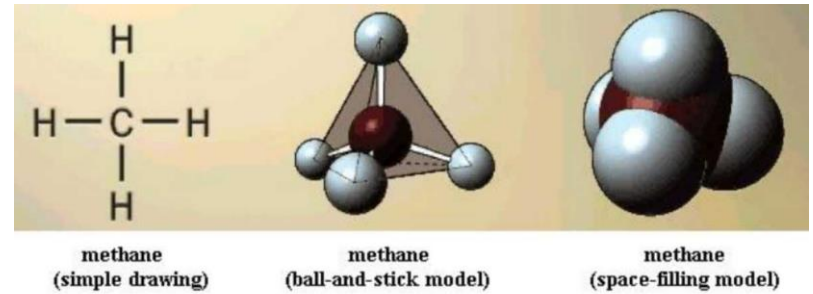
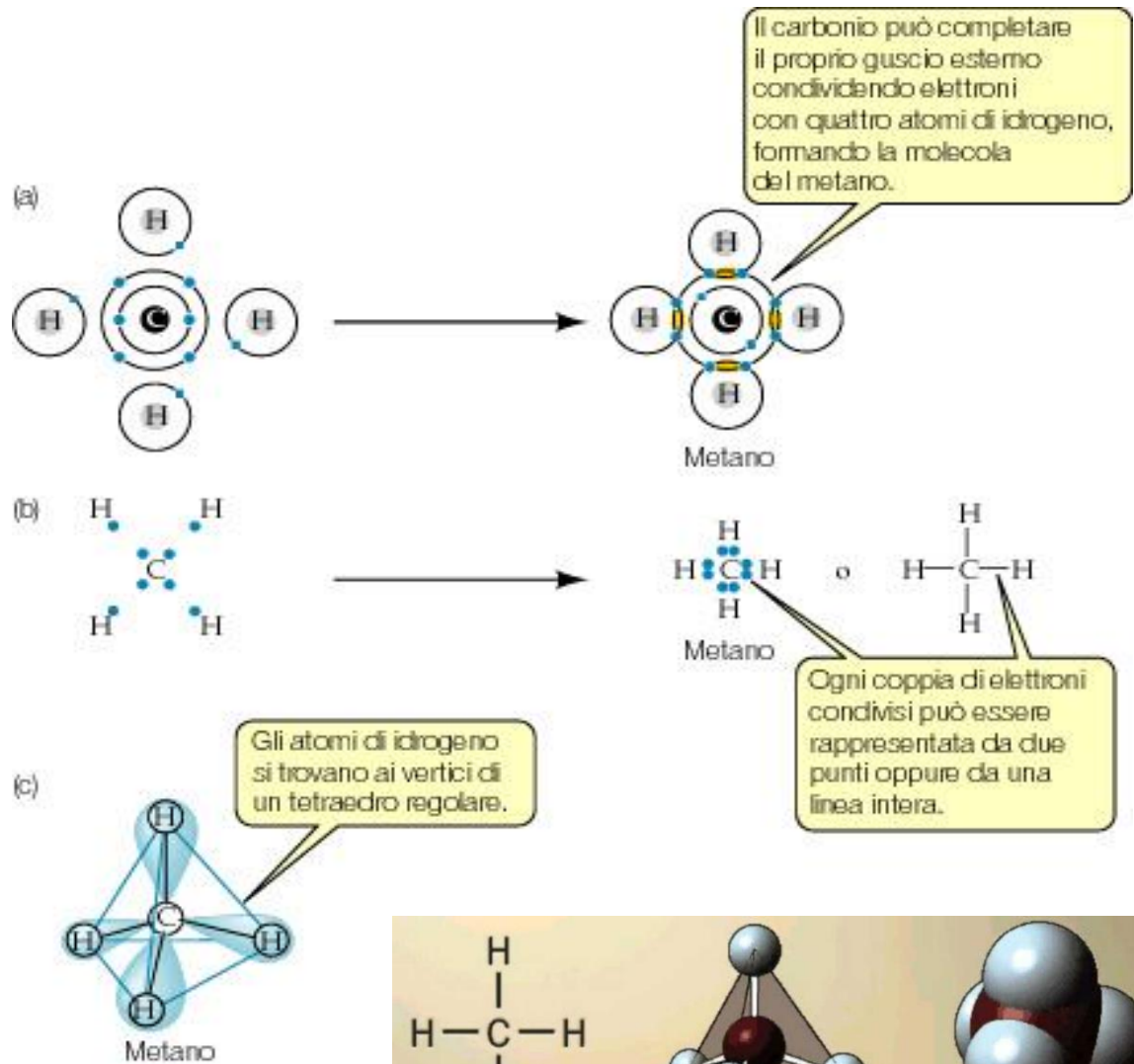
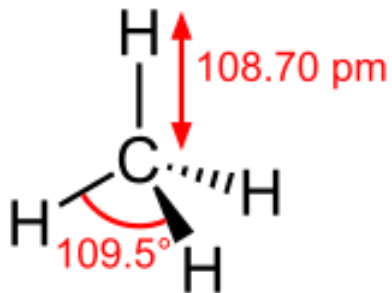
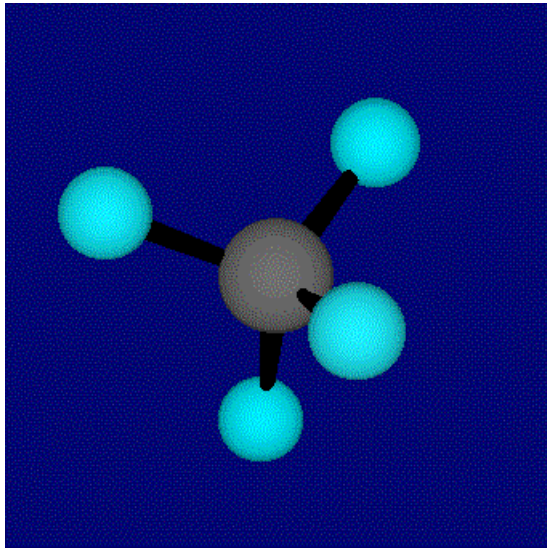
L'alanina è uno degli elementi costitutivi delle proteine.

Il glucosio, uno zucchero, è un'importante sostanza alimentare nella maggior parte delle cellule.

## Schema generale dei legami chimici dei principali elementi che compongono le macromolecole

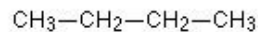
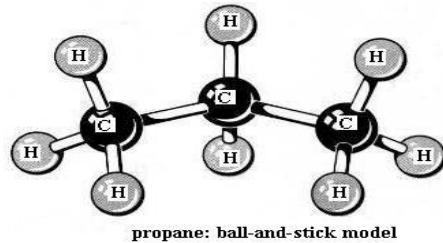
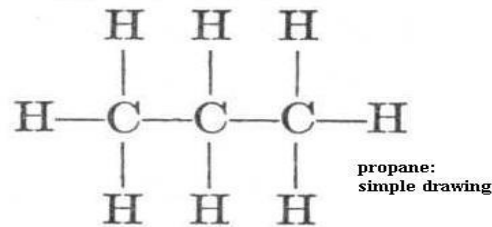
- Carbonio ( C ) → 4 legami (covalenti)
- Ossigeno (O) → 2 legami (polari)
- Idrogeno (H) → 1 legame (covalente polare)
- Azoto (N) → 3 legami (più o meno covalenti)
- Zolfo (S) → 2 legami (più o meno covalenti)
- Fosforo (P) → 5 legami (più o meno covalenti)

# Il carbonio e i suoi legami

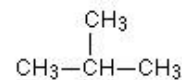
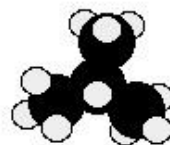




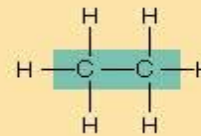
# Idrocarburi: catene di carbonio



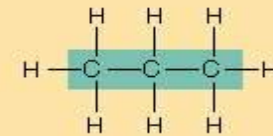
n-Butane



2-Methylpropane

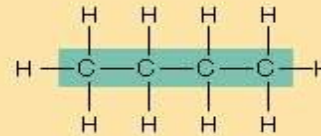


Etano

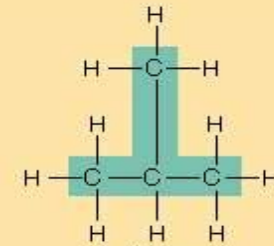


Propano

**(a) Lunghezza.** Gli scheletri carboniosi hanno lunghezza variabile.

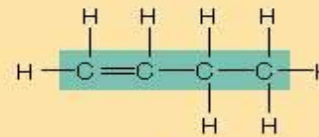


Butano

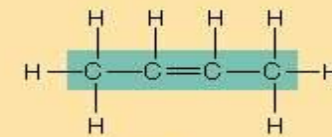


Isobutano

**(b) Presenza di ramificazioni.** Gli scheletri possono essere lineari o ramificati.



1-Butene

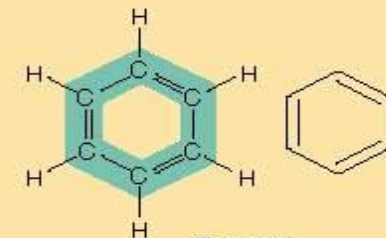


2-Butene

**(c) Presenza di doppi legami.** Lo scheletro può contenere doppi legami, che possono avere localizzazione variabile.



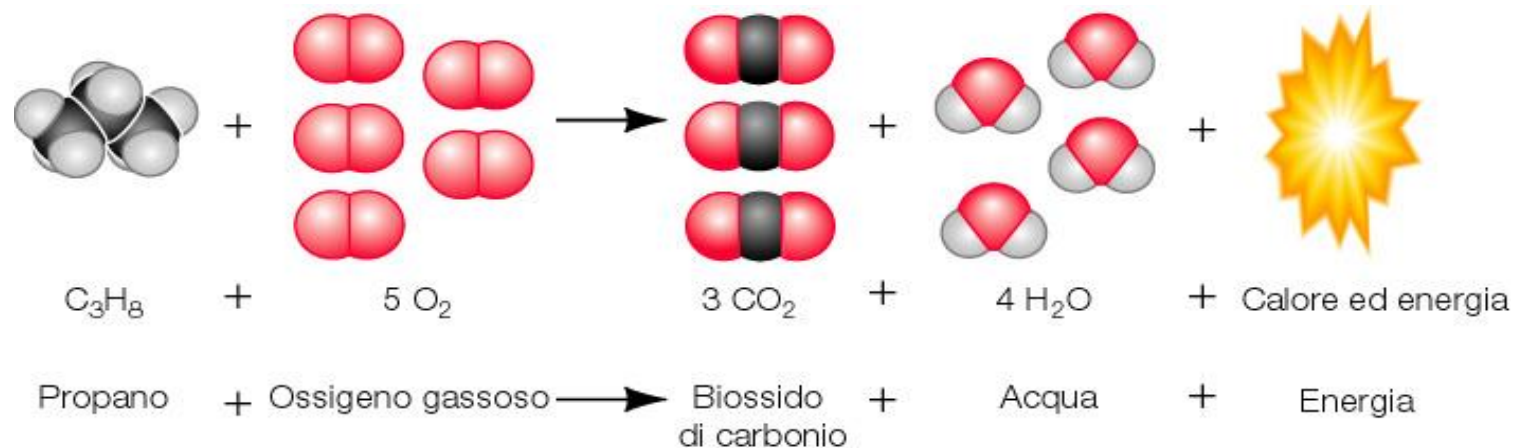
Cicloesano



Benzene

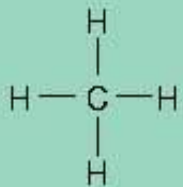
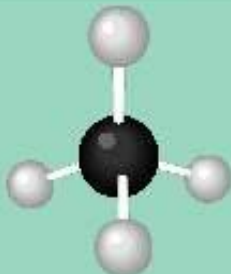

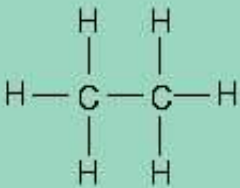
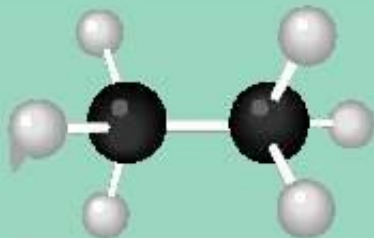

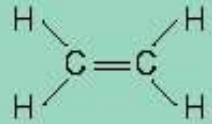
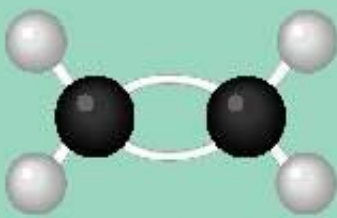

**(d) Presenza di anelli.** Alcuni scheletri carboniosi sono disposti a formare anelli. (Le formule di struttura abbreviate non mostrano gli atomi di carbonio dell'anello e gli atomi di idrogeno a essi legati.)

# Idrocarburi con legami singoli, doppi e tripli tra gli atomi di carbonio



Molti idrocarburi sono “esplosivi”

# Idrocarburi “saturi” e “insaturi”

Formula molecolare	Formula di struttura	Modello a biglie e bastoncini	Modello compatto
$\text{CH}_4$			
<b>(a) Metano.</b> Quando un atomo di carbonio forma quattro legami semplici, la molecola ha forma tetraedrica.			
$\text{C}_2\text{H}_6$			
<b>(b) Etano.</b> Una molecola può avere più di un gruppo tetraedrico formato da atomi uniti da legami semplici. (L'etano consiste di due di questi gruppi.)			
$\text{C}_2\text{H}_4$			
<b>(c) Etere (etilene).</b> Quando due atomi di carbonio sono uniti da un doppio legame, tutti gli atomi uniti a tali atomi giacciono nel medesimo piano.			

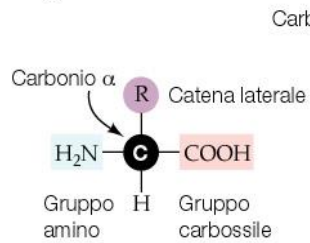
## Gruppi funzionali legati agli atomi di carbonio

Gruppo funzionale	Classe di composti	Formula di struttura	Esempio	Modello a biglie e bastoncini
Ossidrilico —OH	Alcoli	$R-OH$	$\begin{array}{c} H & H \\   &   \\ H-C & -C-OH \\   &   \\ H & H \end{array}$ Etanolo	
Carbonile —CHO	Aldeidi	$R-C(=O)H$	$\begin{array}{c} H & O \\   &    \\ H-C & -C-H \\   & \\ H & \end{array}$ Acetaldeide	
Carbonile —CO—	Chetoni	$R-C(=O)-R$	$\begin{array}{c} H & O & H \\   &    &   \\ H-C & -C & -C-H \\   & &   \\ H & & H \end{array}$ Acetone	
Carbossilico —COOH	Acidi carbossilici	$R-C(=O)OH$	$\begin{array}{c} H & O \\   &    \\ H-C & -C-OH \\   & \\ H & \end{array}$ Acido acetico	
Amino —NH <sub>2</sub>	Amine	$R-NH_2$	$\begin{array}{c} H & H \\   &   \\ H-C & -N-H \\   &   \\ H & H \end{array}$ Metilammina	
Fosfato —COP <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Fosfati organici	$R-O-P(=O)(O^-)_2$	$\begin{array}{c} HO & O \\ \diagdown & / \\ & C \\   & \\ H-C & -OH \\   &   \\ H-C & -O-P(=O)(O^-)_2 \\   & \\ H & \end{array}$ Acido 3-fosfoglicerico	
Sulfidrilico —SH	Tioal	$R-SH$	$\begin{array}{c} H & H \\   &   \\ HO-C & -C-SH \\   &   \\ H & H \end{array}$ Mercaptometanolo	

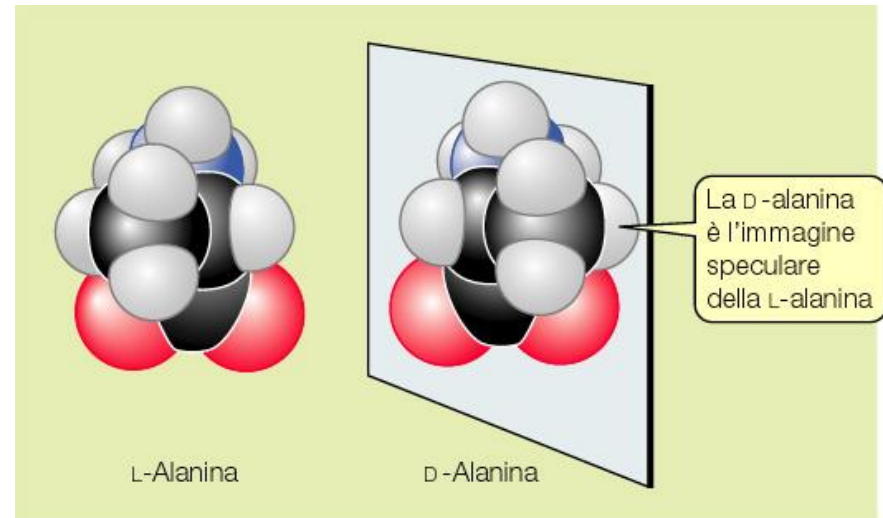
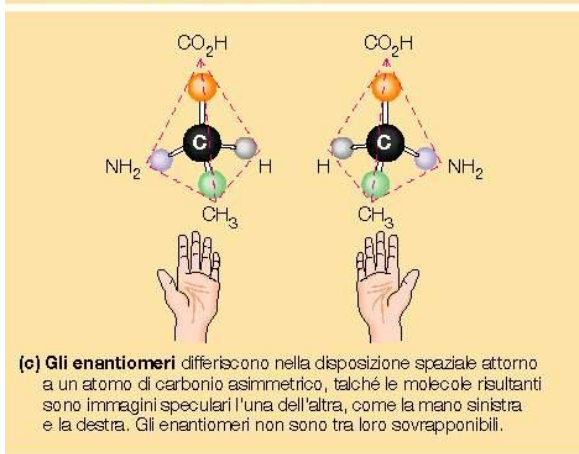
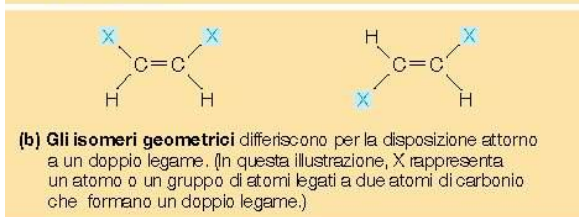
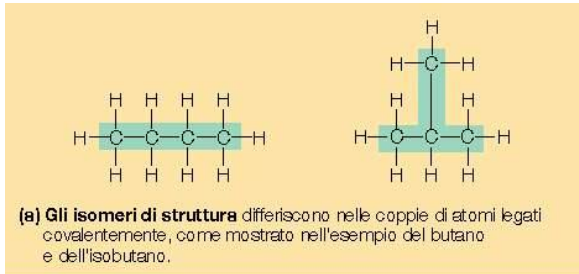
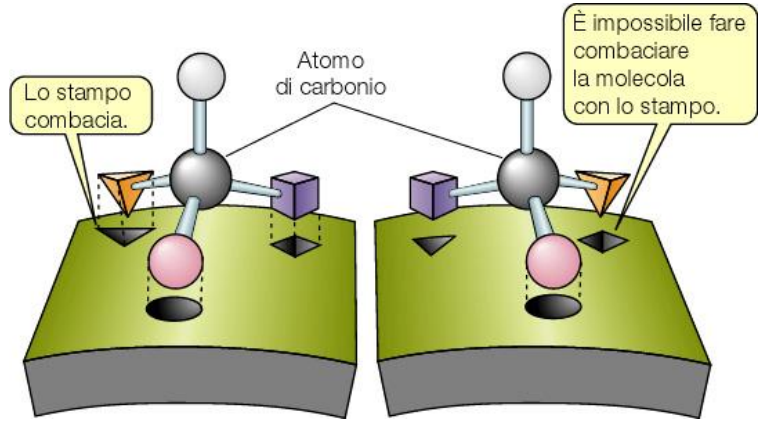
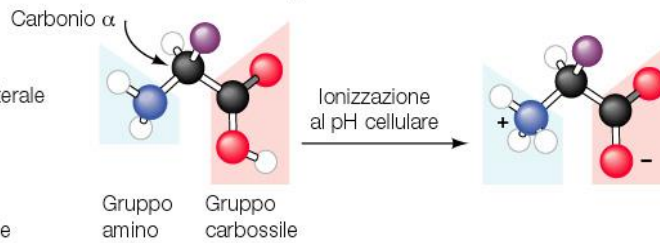
Fonti: Sadava et al., 2014; 2019

# Composti del carbonio e isomeria

## Rappresentazione convenzionale



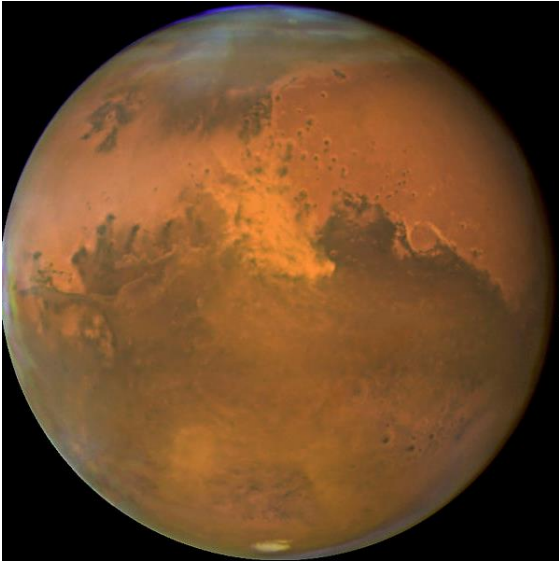
## Rappresentazione tridimensionale



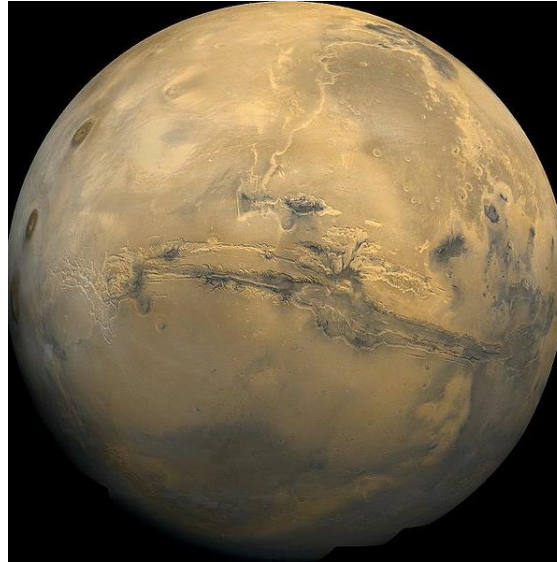
Acqua in altri luoghi del Sistema Solare:

Le **acque dolci, salate e ghiacciate**  
di Marte, Europa ed Encelado

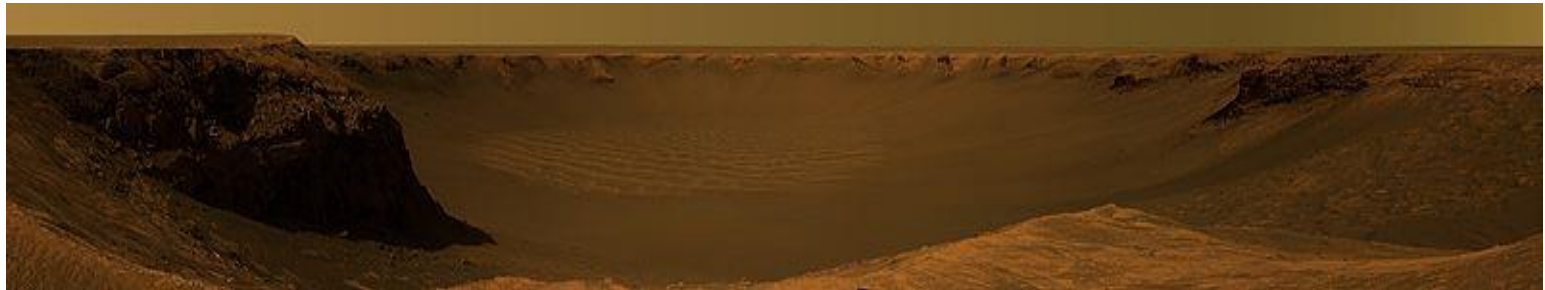
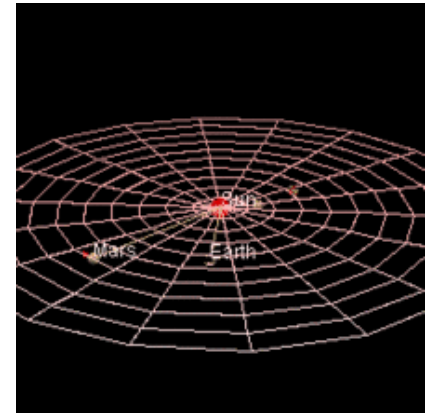
# Marte, il “Pianeta Rosso” prossimo obiettivo dopo la Luna



Marte fotografato dal  
telescopio Hubble

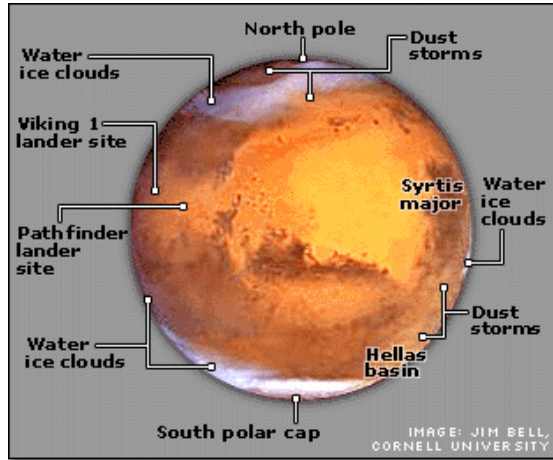


Marte fotografato dalla  
sonda Viking I



Il Cratere Victoria, fotografato da Opportunity nel 2006

# Struttura e caratteristiche di Marte



- Quarto pianeta del sistema ed **ultimo dei pianeti di tipo terrestre**

- Raggio: 3.396 km

- Superficie: 144.798.500 km<sup>2</sup>

- Gravità: 3,711 m/s<sup>2</sup> (circa 1/3 di quella terrestre)

- Distanza dal Sole: 227.900.000 km

- Durata del giorno ("sol"): 1d 0h 40m

## Inside Planet MARS

Often visible as a reddish light in Earth's sky, Mars captured the imaginations of those who dream of space travel. The planet's thin atmosphere is hostile to human life, but Mars has many interesting geological features similar to those on Earth, such as volcanoes and canyons.

**THIN ATMOSPHERE**  
95.32% carbon dioxide, 2.7% nitrogen, 1.6% argon, 0.13% oxygen, 0.08% carbon monoxide

**SURFACE CONDITIONS**  
AIR PRESSURE: 0.7% of Earth  
AVERAGE TEMPERATURE: -67°F (-55°C)

**GRAVITY**  
0.38 OF EARTH

**LIQUID IRON-SULPHUR CORE**  
**MANTLE**  
**CRUST**  
**POSSIBLE SOLID INNER CORE**

**EARTH** 10 ft dunk  
**MARS** 26.3 ft dunk

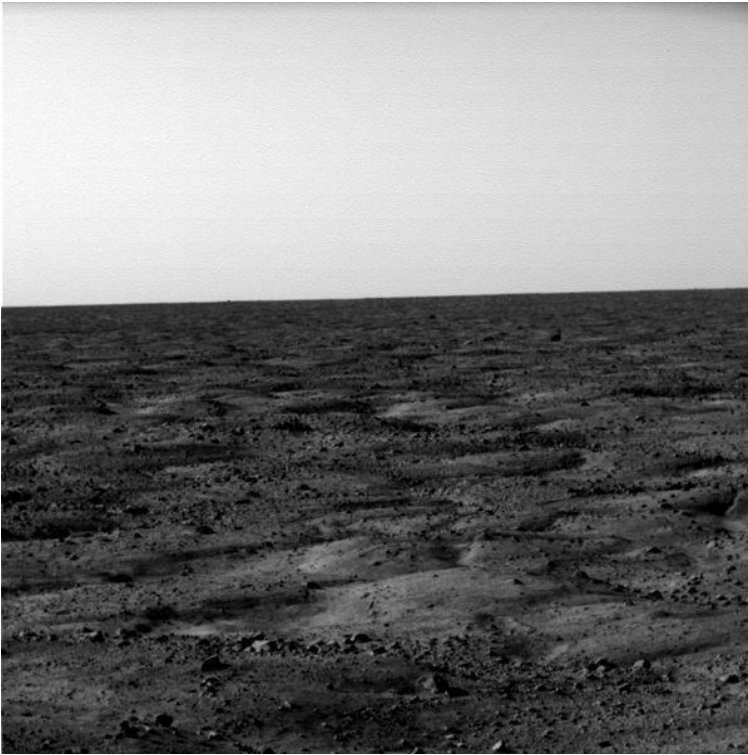
Martian sunset photographed by the Spirit rover at Gusev crater in 2005

Mars, 4,222 mi (6,794 km) in diameter, is slightly over half the size of Earth

SOURCE: ARGONNE NATIONAL LABORATORY, NASA, HSTSCI  
KARL TATE, SPACE.com



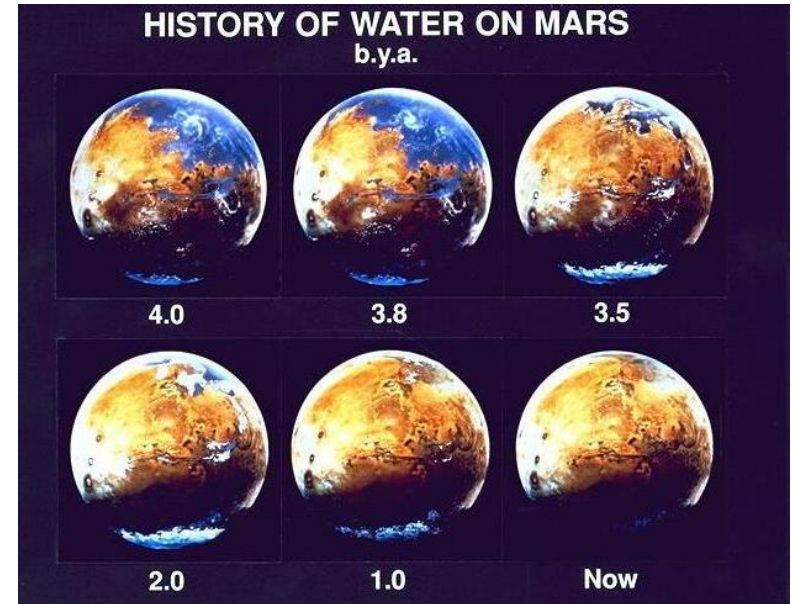
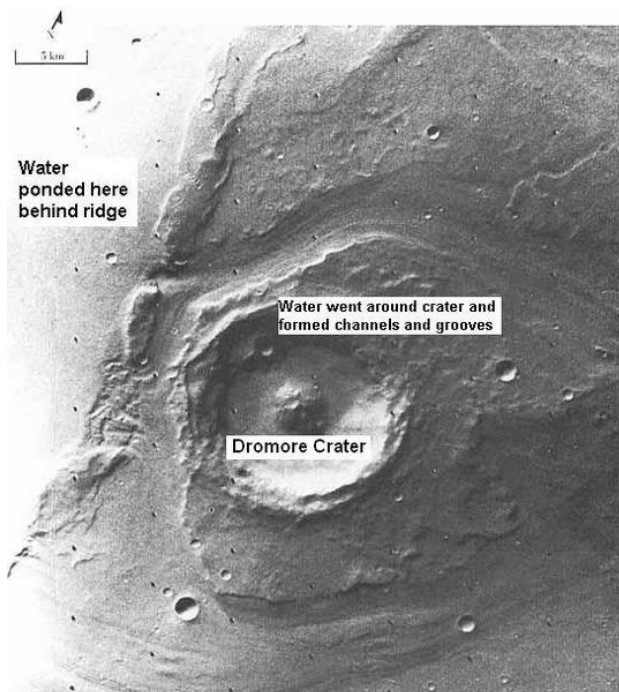
## Terra o Marte?



- A sinistra: orizzonte e suolo marziano fotografati da Phoenix (2008)
- A destra: orizzonte e suolo terrestre nell'Artide canadese

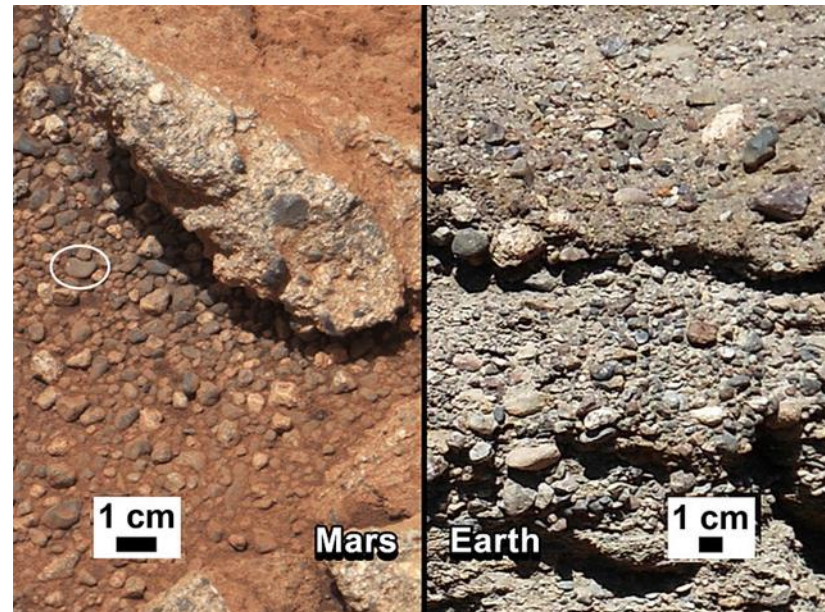
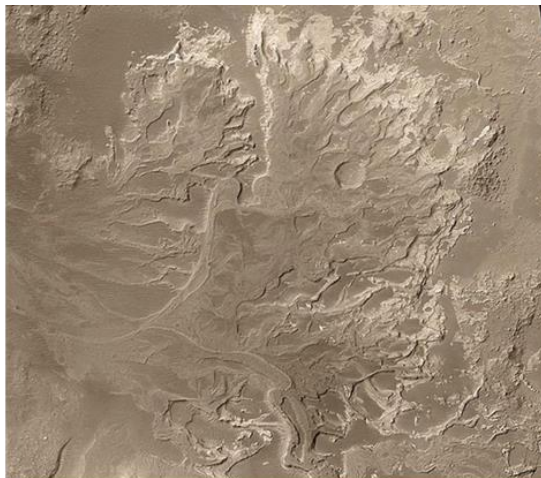
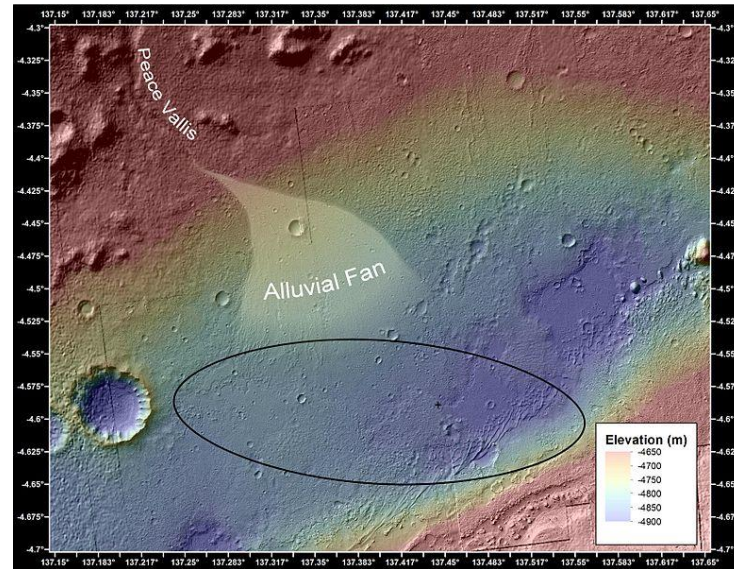
# Le acque dolci e salate di Marte

- Si ritiene che il pianeta avesse inizialmente acqua liquida in superficie (oltre ai segni di erosione idrica, sul suolo marziano è presente **ematite**)
- L'acqua liquida in superficie è in seguito scomparsa quasi ovunque, a causa della bassa temperatura media e dell'atmosfera troppo sottile del pianeta... o per altri motivi
- **Quali sono le prove** che Marte aveva acqua in superficie?



# Prove indiziarie dell'esistenza di acqua su Marte

- Pianure "alluvionali"
- Complesse "reti idrografiche"
- Depositi da erosione fluviale



Rocce simili ai conglomerati terrestri, fotografate dal rover "Curiosity"

Strutture a delta nella regione sud-ovest (*Margaritifer Sinus*)

# Un lago di acqua salata sotto il Polo Sud di Marte

Anche se sulla sua superficie si trova in prevalenza CO<sub>2</sub> congelata, Marte ha calotte polari permanenti costituite da ghiaccio di acqua

Science

REPORTS

Cite as: R. Orosei *et al.*, *Science* 10.1126/science.aar7268 (2018).

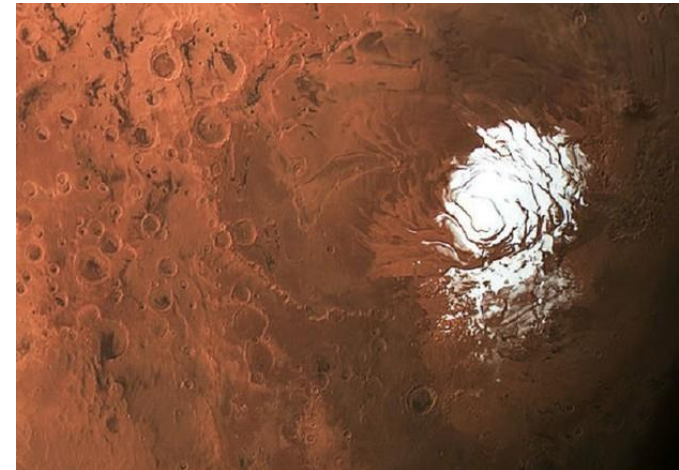
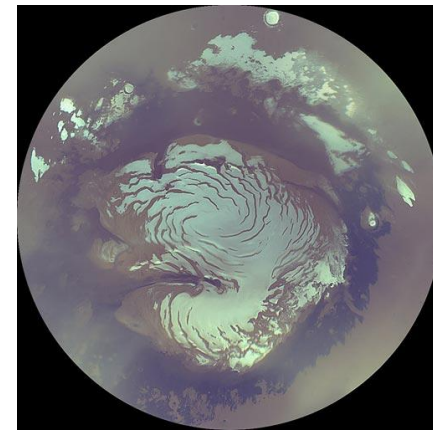
## Radar evidence of subglacial liquid water on Mars

R. Orosei<sup>1\*</sup>, S. E. Lauro<sup>2</sup>, E. Pettinelli<sup>3</sup>, A. Cicchetti<sup>4</sup>, M. Coradini<sup>5</sup>, B. Cosciotti<sup>6</sup>, F. Di Paolo<sup>1</sup>, E. Flamini<sup>4</sup>, E. Mattei<sup>7</sup>, M. Pajola<sup>8</sup>, F. Soldovieri<sup>9</sup>, M. Cartacci<sup>10</sup>, F. Cassenti<sup>7</sup>, A. Frigeri<sup>11</sup>, S. Giuppi<sup>1</sup>, R. Martuffi<sup>7</sup>, A. Masdea<sup>8</sup>, G. Mitri<sup>12</sup>, C. Nenna<sup>10</sup>, R. Noschese<sup>13</sup>, M. Restano<sup>14</sup>, R. Seu<sup>7</sup>

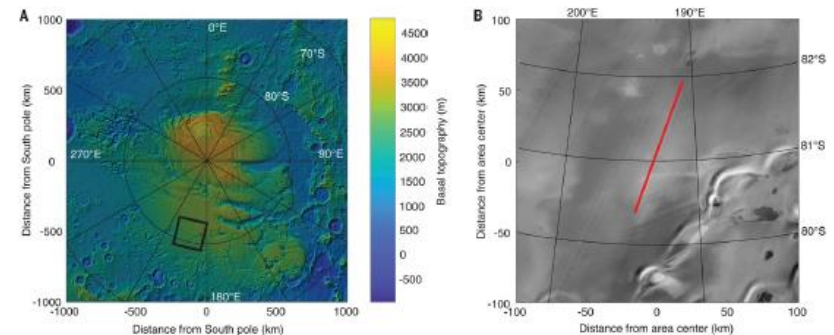
<sup>1</sup>Istituto di Radioastronomia, Istituto Nazionale di Astrofisica, Via Piero Gobetti 101, 40129 Bologna, Italy. <sup>2</sup>Dipartimento di Matematica e Fisica, Università degli Studi Roma Tre, Via della Vasca Navale 84, 00146 Roma, Italy. <sup>3</sup>Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali, Istituto Nazionale di Astrofisica, Via del Fosso del Cavaliere 100, 00133 Roma, Italy. <sup>4</sup>Agenzia Spaziale Italiana, Via del Politecnico, 00133 Roma, Italy. <sup>5</sup>Osservatorio Astronomico di Padova, Istituto Nazionale di Astrofisica, Vicolo Osservatorio 5, 35122 Padova, Italy. <sup>6</sup>Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente, Via Diocleziano 328, 80124 Napoli, Italy. <sup>7</sup>Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Elettronica e Telecomunicazioni, Università degli Studi di Roma "La Sapienza," Via Eudossiana 18, 00184 Roma, Italy. <sup>8</sup>E.P. Elettronica Progetti, Via Traspontina 25, 00040 Ariccia (RM), Italy. <sup>9</sup>International Research School of Planetary Sciences, Università degli Studi "Gabriele d'Annunzio," Viale Pindaro 42, 66127 Pescara (PE), Italy. <sup>10</sup>Danfoss Drives, Romstrasse 2 – Via Roma 2, 39014 Burgstall – Postal (BZ), Italy. <sup>11</sup>Serco, c/o ESA Centre for Earth Observation, Largo Galileo Galilei 1, 00044 Frascati (RM), Italy.

\*Corresponding author. Email: roberto.rosei@inaf.it

The presence of liquid water at the base of the martian polar caps has long been suspected but not observed. We surveyed the Planum Australe region using the MARSIS (Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding) instrument, a low-frequency radar on the Mars Express spacecraft. Radar profiles collected between May 2012 and December 2015 contain evidence of liquid water trapped below the ice of the South Polar Layered Deposits. Anomalously bright subsurface reflections are evident within a well-defined, 20-kilometer-wide zone centered at 193°E, 81°S, which is surrounded by much less reflective areas. Quantitative analysis of the radar signals shows that this bright feature has high relative dielectric permittivity (>15), matching that of water-bearing materials. We interpret this feature as a stable body of liquid water on Mars.

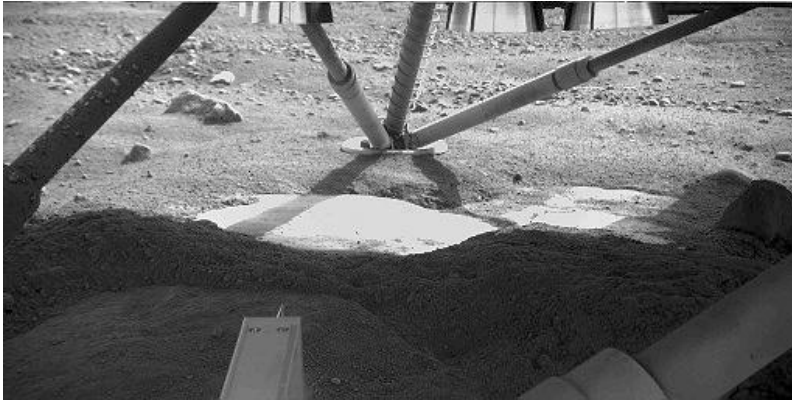


Nel 2018 il radar “Marsis” (di costruzione italiana) a bordo della sonda europea Mars Express ha rilevato la presenza di **un grande lago sotterraneo di acqua liquida e salata**, a circa 1500 m di profondità sotto il Polo Sud marziano

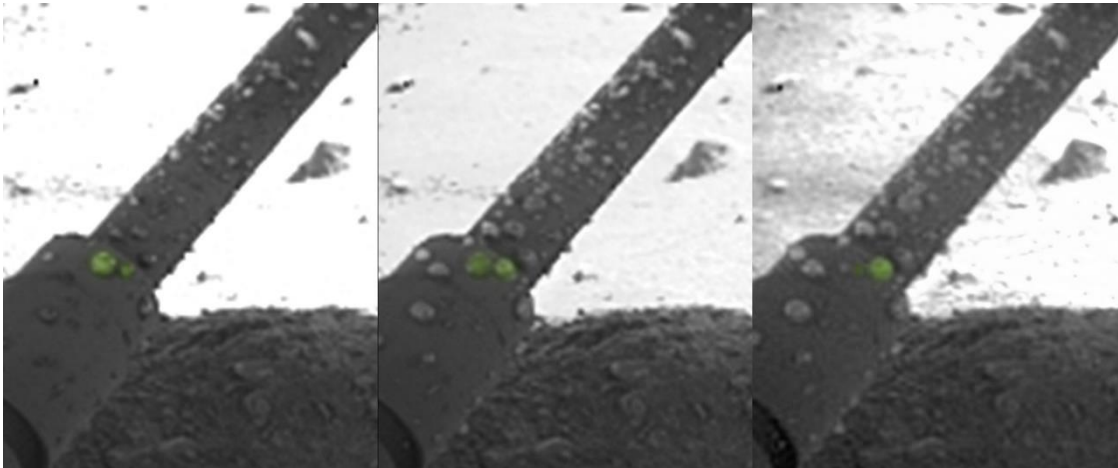


Fonte:

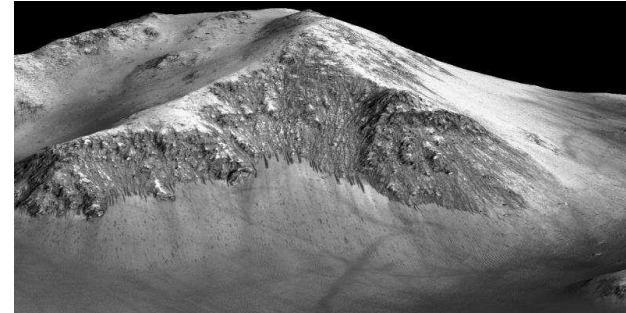
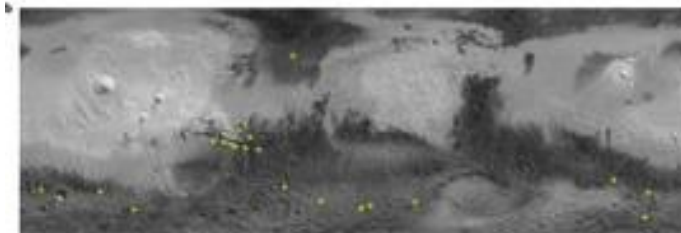
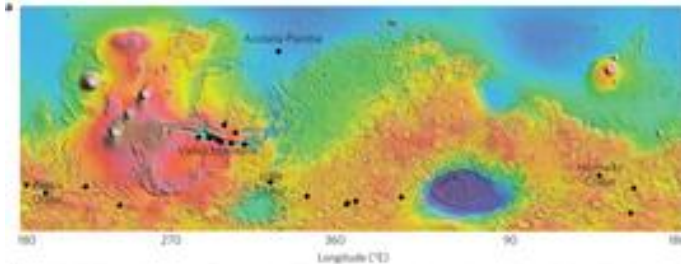
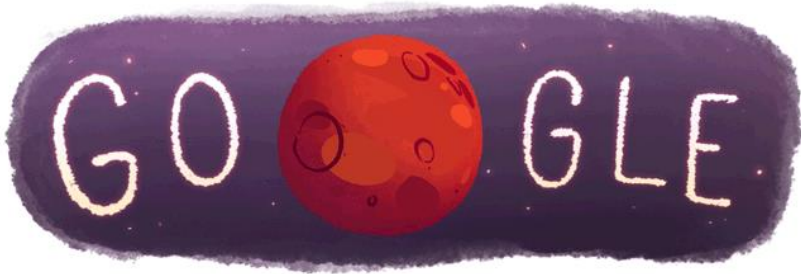
Orosei et al., *Science* 10.1126/science.aar 7268 (2018)



Ghiaccio d'acqua osservato sotto la sonda Phoenix (esposto dall'asportazione della superficie provocata dai gas degli ugelli durante l'atterraggio) e gocce di condensa sulle strutture di appoggio



# Su Marte scorrono ruscelli di acqua salata nella stagione estiva (Dundas e McEwen, 2015)




Icarus 254 (2015) 213-218

Contents lists available at ScienceDirect

Icarus

ELSEVIER journal homepage: www.elsevier.com/locate/icarus



## Slope activity in Gale crater, Mars



Colin M. Dundas<sup>a,\*</sup>, Alfred S. McEwen<sup>b</sup>

<sup>a</sup>U.S. Geological Survey, Astrogeology Science Center, 2255 N. Gemini Dr., Flagstaff, AZ 86001, USA

<sup>b</sup>Lamar and Planetary Laboratory, The University of Arizona, 1541 E. University Blvd., Tucson, AZ 85721, USA

### ARTICLE INFO

Article history:  
Received 10 November 2014  
Revised 3 March 2015  
Accepted 2 April 2015  
Available online 9 April 2015

### Keywords:

Mars  
Mars, surface  
Geological processes

### ABSTRACT

High-resolution repeat imaging of Aeolis Mons, the central mound in Gale crater, reveals active slope processes within tens of kilometers of the Curiosity rover. At one location near the base of northeastern Aeolis Mons, dozens of transient narrow lineae were observed, resembling features (Recurring Slope Lineae) that are potentially due to liquid water. However, the lineae faded and have not recurred in subsequent Mars years. Other small-scale slope activity is common, but has different spatial and temporal characteristics. We have not identified confirmed RSL which Rummel et al. (Rummel, J.D. et al. [2014], *Astrobiology* 14, 887–968) recommended be treated as potential special regions for planetary protection. Repeat images acquired as Curiosity approaches the base of Aeolis Mons could detect changes due to active slope processes, which could enable the rover to examine recently exposed material.

Published by Elsevier Inc.

La sonda Mars Reconnaissance Orbiter ha osservato nel 2015 sottili striature (Recurrent Slope Lines, RSL) che appaiono durante la stagione estiva e che rivelano all'analisi spettrografica la presenza di sali idrati

# Analisi geochimiche delle acque di Marte

Il rover Curiosity ha identificato nel cratere Gale della regione equatoriale di Marte **perclorati ( $\text{ClO}_4^-$ ) che assorbono vapore acqueo durante la notte marziana**, formando **accumuli transitori di acqua liquida** a 5 cm sotto la superficie del cratere

L'acqua liquida evapora durante il giorno, ma i perclorati sono comuni su Marte: le formazioni transitorie di acqua liquida salata sembrano quindi frequenti e **stabili in profondità**

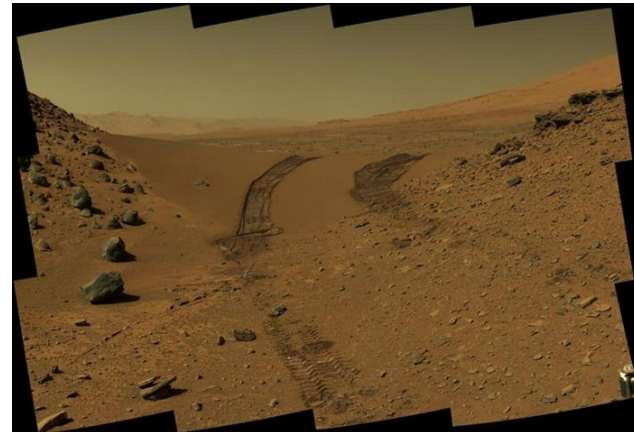
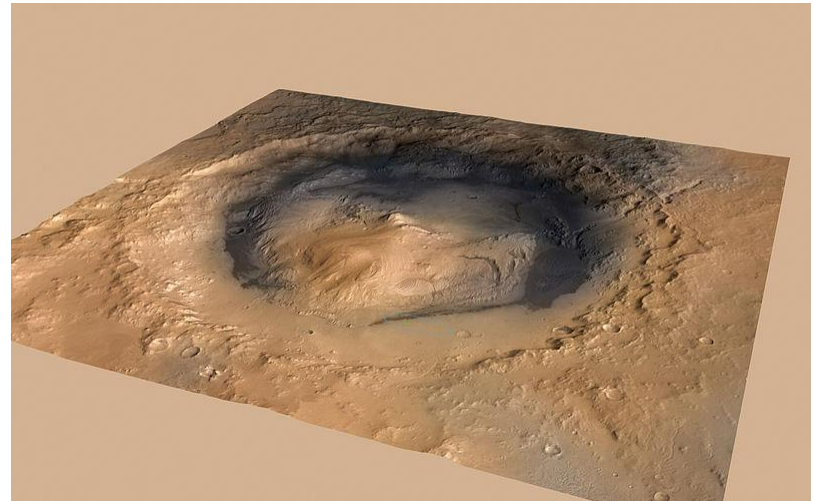
Nel 2013 Curiosity aveva trovato nello stesso cratere **argille con tracce dei fondamentali elementi biogenici (C, H, O, N, S, P)** e di ferro

Gale è un cratere da impatto di 3.8 miliardi di anni fa, con una montagna al centro: probabilmente ha contenuto un lago di acqua dolce per 10 milioni di anni

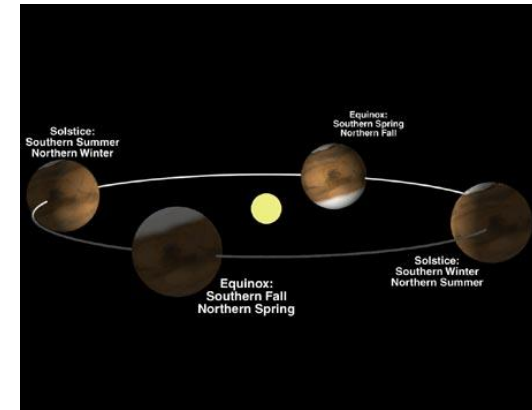
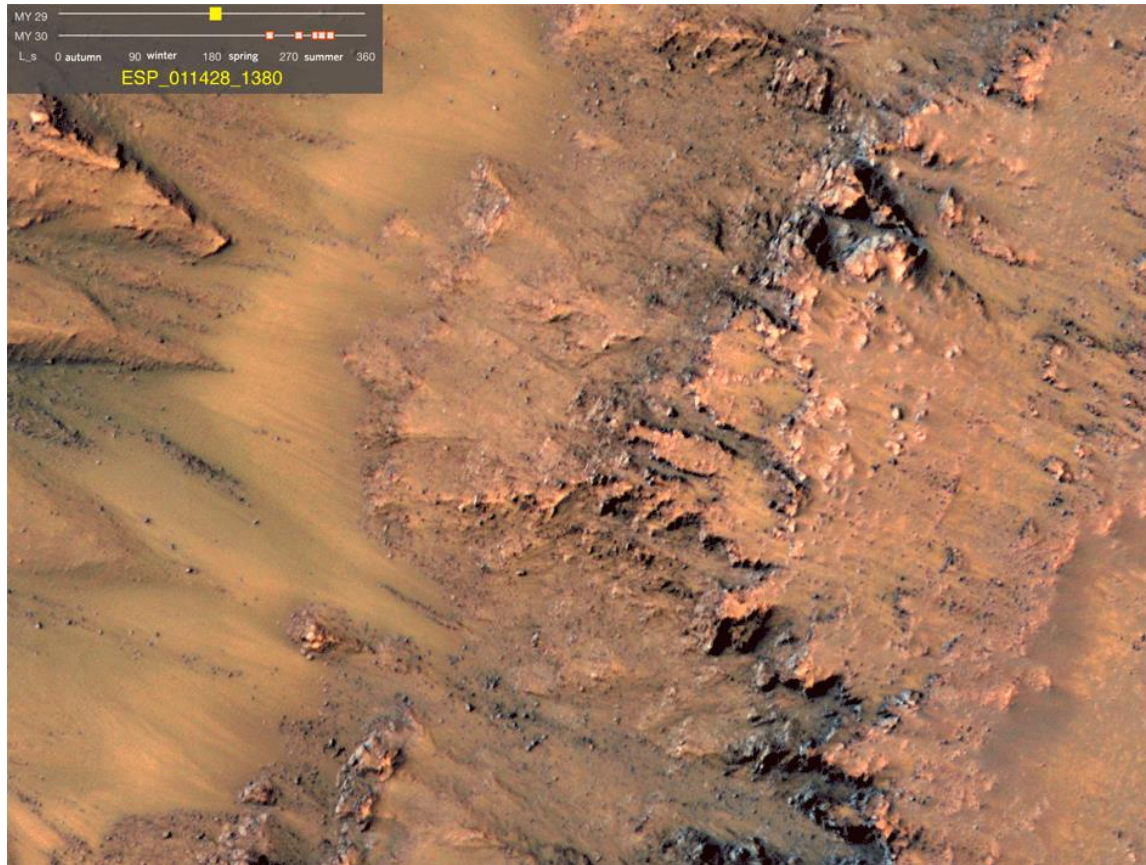


## Transient liquid water and water activity at Gale crater on Mars

F. Javier Martín-Torres<sup>1,2\*</sup>, María-Paz Zorzano<sup>3</sup>, Patricia Valentin-Serrano<sup>1,3</sup>, Ari-Matti Harri<sup>4</sup>, Maria Genzer<sup>4</sup>, Osku Kemppinen<sup>4</sup>, Edgard G. Rivera-Valentin<sup>5</sup>, Insoo Jun<sup>6</sup>, James Wray<sup>7</sup>, Morten Bo Madsen<sup>8</sup>, Walter Goetz<sup>9</sup>, Alfred S. McEwen<sup>10</sup>, Craig Hardgrove<sup>11</sup>, Nilton Renno<sup>12</sup>, Vincent F. Chevrier<sup>13</sup>, Michael Mischna<sup>4</sup>, Rafael Navarro-González<sup>14</sup>, Jesús Martínez-Frías<sup>15</sup>, Pamela Conrad<sup>16</sup>, Tim McConnochie<sup>17</sup>, Charles Cockell<sup>18</sup>, Gilles Berger<sup>19</sup>, Ashwin R. Vasavada<sup>4</sup>, Dawn Sumner<sup>20</sup> and David Vaniman<sup>21</sup>



La fotocamera HiRISE del satellite MRO (in orbita intorno a Marte) ha documentato **variazioni stagionali di scorrimento** di quelli che appaiono come piccoli “fiumi” (“recurring slope lines”, RSL) sulle pendici di Gale



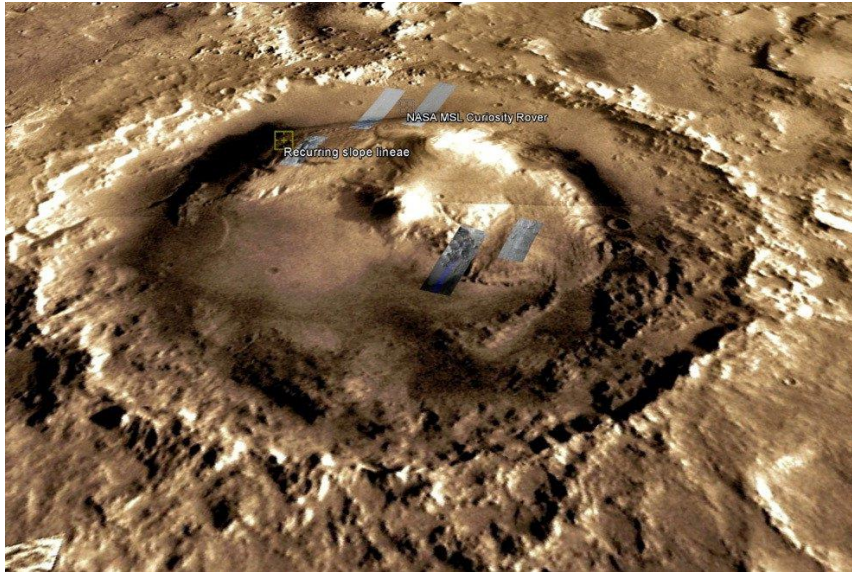
Animazione delle foto di RSL scattate da HiRISE dalla primavera all'estate marziana (da -40 a -15 °C)

Secondo altri studi le RSL potrebbero essere causate da semplici flussi granulari della superficie, anche in assenza di acqua

La presenza di RSL attive favorisce comunque l'ipotesi che su Marte sia avvenuto circa 3.5 miliardi di anni fa **un catastrofico cambiamento climatico** che ha quasi completamente eliminato le acque di superficie



Ma... attenzione:  
proibito avvicinarsi alle acque di Marte



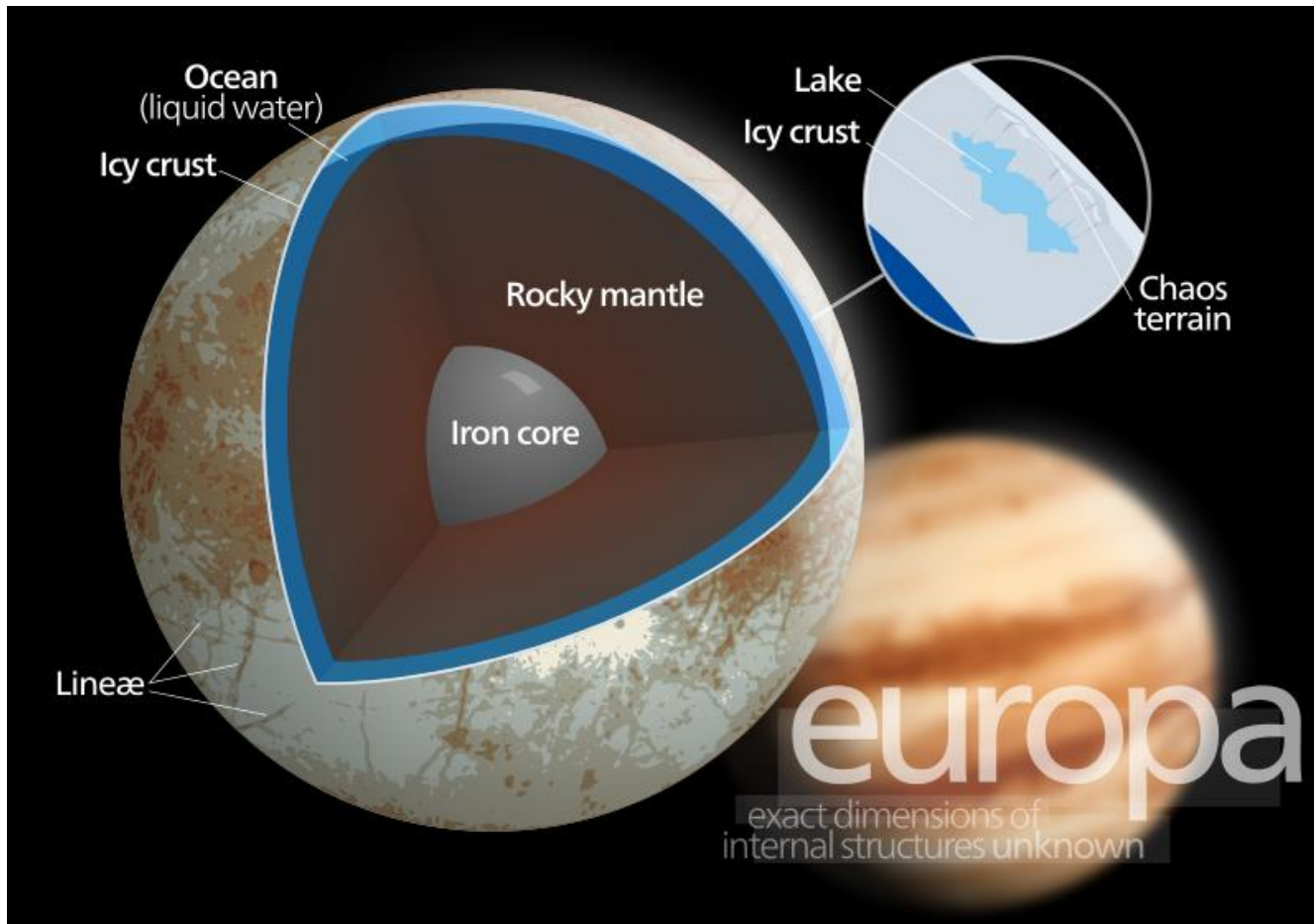
Dopo tanto lavoro, il robotino si è concesso alcuni “**selfie**” sul bordo del cratere...

- Il robotino Curiosity è arrivato nel 2016 sulla sponda del cratere Gale, molto vicino alle RSL individuate in questo cratere e in altri crateri vicini
- Tuttavia è stato deciso che il piccolo “rover” non si avvicinasse alle regioni in cui scorrono stagionalmente i “ruscelli” di acqua salata, a causa di una (remota) **possibilità di contaminazione di ambienti in cui potrebbero esistere forme di vita** (risoluzione ONU del 1966, “**Outer Space Treaty**”)

Questo motivo è lo stesso per il quale è stata decisa la fine della missione della sonda Cassini su Saturno nel settembre 2017: esisteva la possibilità che la sonda cadesse su una delle lune del pianeta, con potenziale rischio di contaminazione biologica

Un altro luogo del Sistema Solare con acqua nei tre stati:

**Europa,**  
secondo satellite mediceo e sesta luna di Giove



# Giove e i Satelliti Medicei

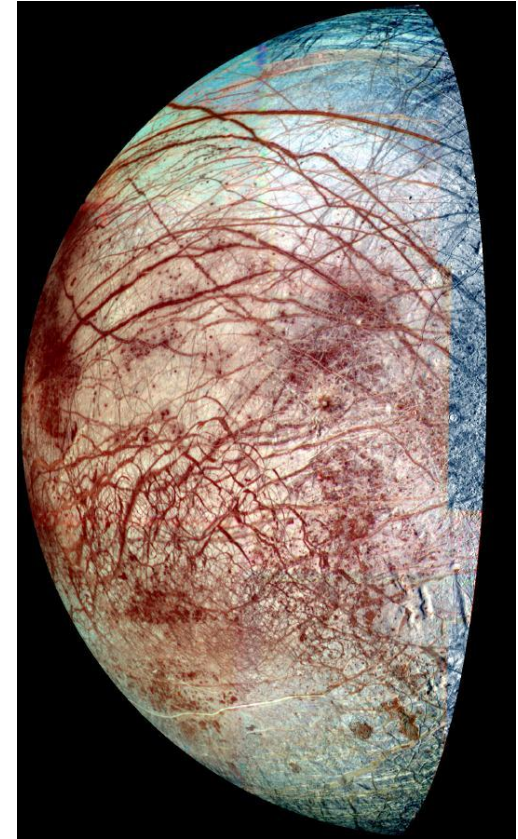
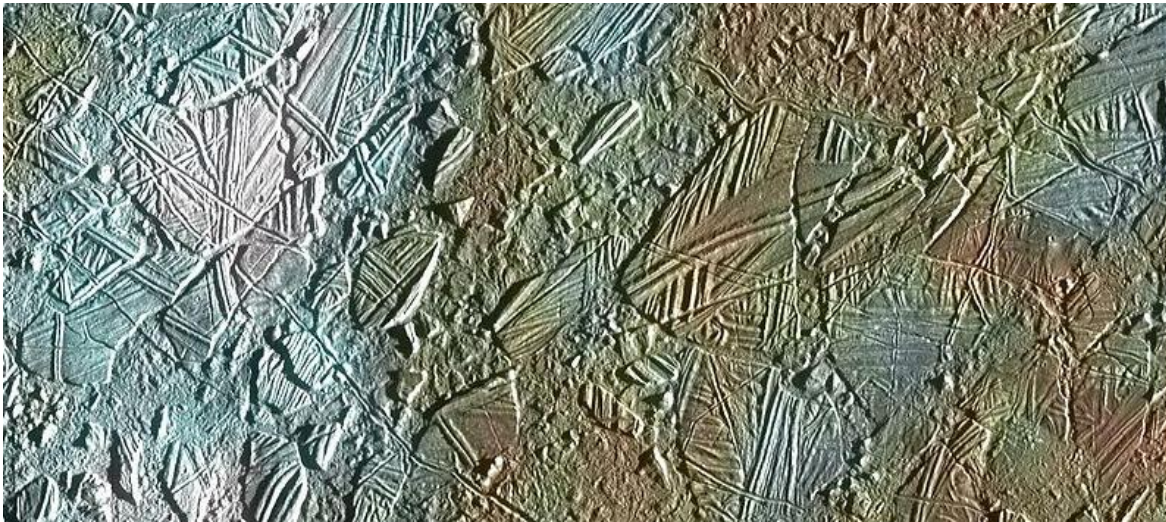
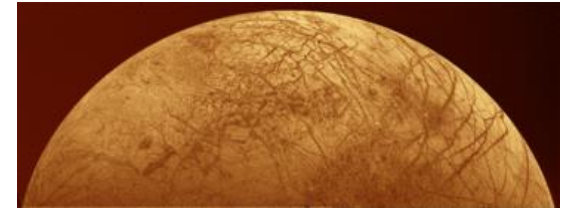
Giove, gigante gassoso del Sistema Solare, ha 79 satelliti, ma i più importanti sono i **quattro satelliti medicei** (Io, Europa, Ganimede e Callisto), scoperti da Galileo nel 1610 e dedicati a Cosimo II de' Medici, Granduca di Toscana



# Europa (Jupiter II)

## luna ghiacciata di Giove

- Grande circa come la Luna, Europa possiede una **crosta di ghiaccio** simile alle calotte polari terrestri, attraversata da fratture larghe fino a 30 km
- La superficie di Europa è ghiacciata perché il satellite subisce l'attrazione gravitazionale dei satelliti vicini (**Io**, luna vulcanica, e **Ganimede**, luna gigante) e le perturbazioni causate nella sua orbita ne dissipano l'energia, congelando la superficie
- Lo spessore dello strato di ghiaccio è tra 10 e 30 km, ma **sotto il ghiaccio è molto probabile che vi sia acqua allo stato liquido**

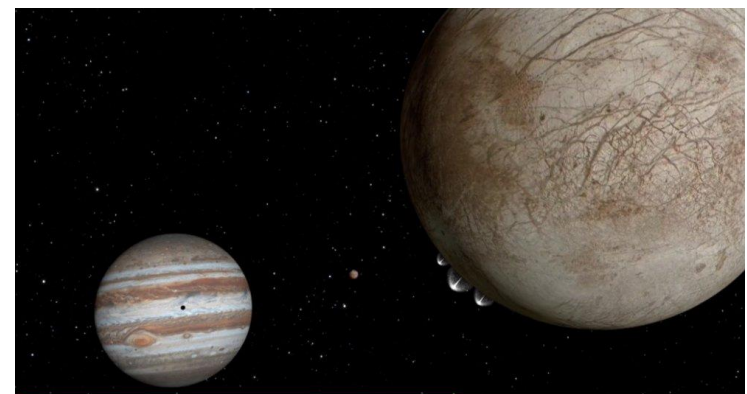
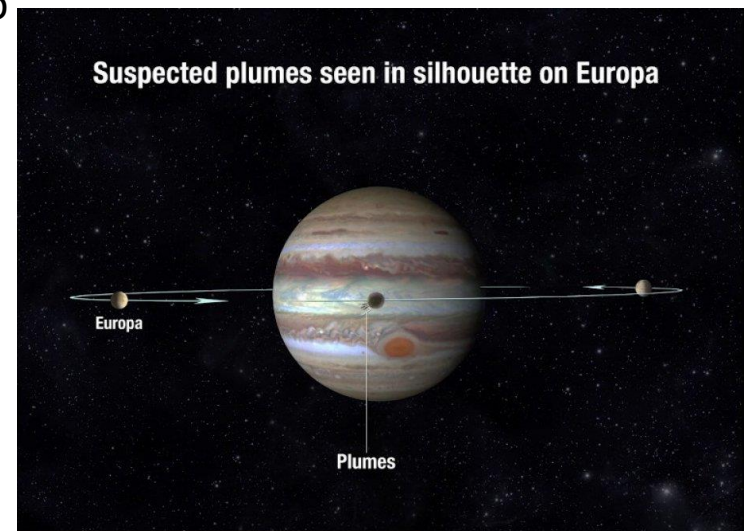
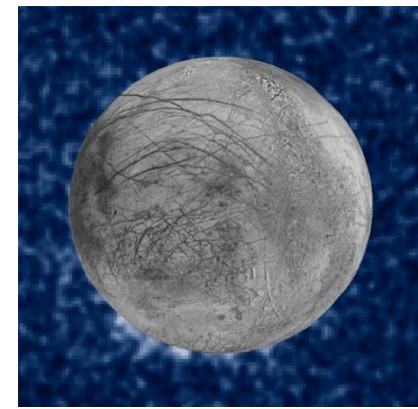


Fonte:

<https://solarsystem.nasa.gov/moons/jupiter-moons/europa/in-depth/>

## “Water Plumes” su Europa

- Immagini spettroscopiche ottenute dal telescopio spaziale Hubble nel 2013 e “in controluce” su Giove nel 2016 mostrano **emissioni eruttive di ossigeno ed idrogeno** (“**water plumes**”) dalla superficie del polo sud di Europa
- Le emissioni sono provocate dall’intensità del campo magnetico di Giove

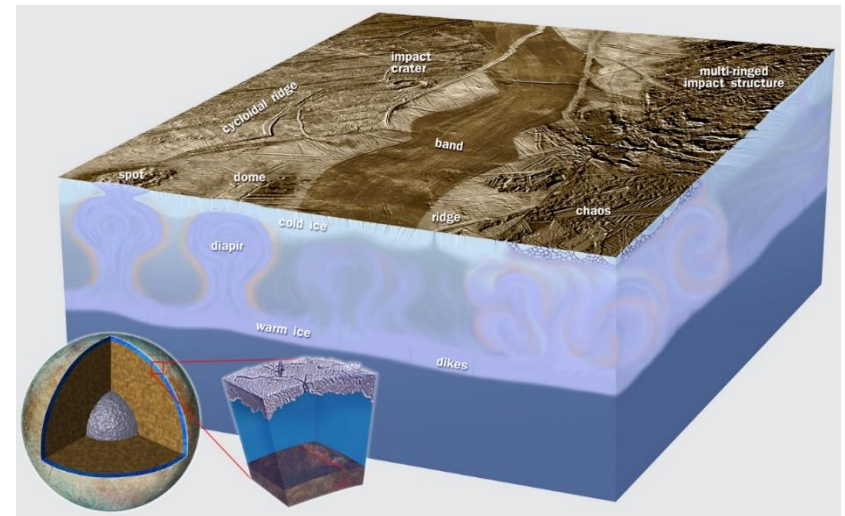
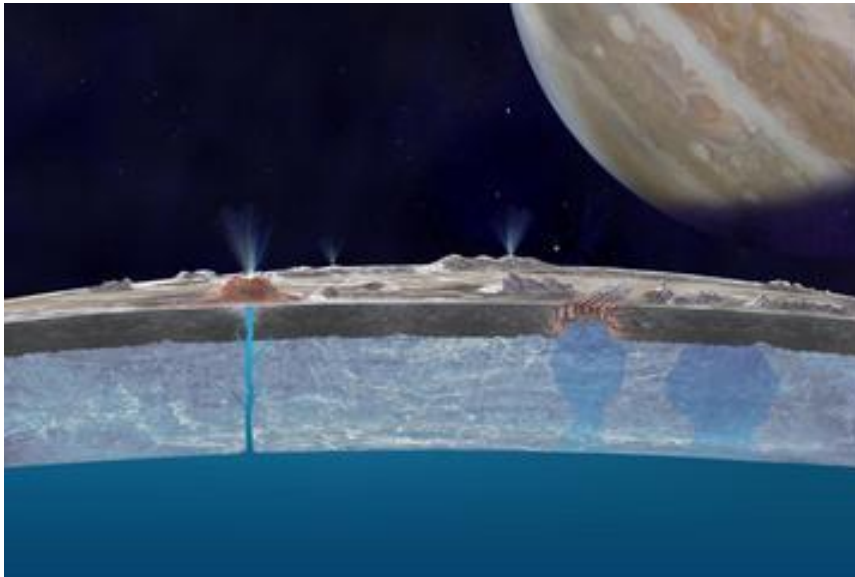
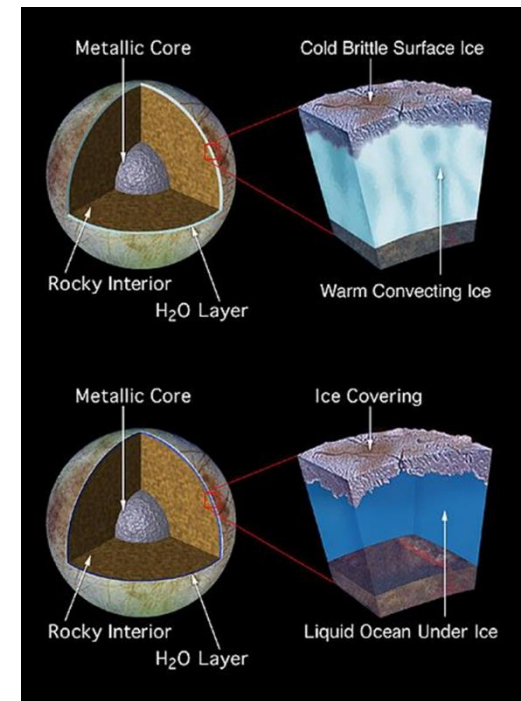


Escludendo la Terra, l’**unico altro corpo celeste nel Sistema Solare** in cui sono state osservate “**water plumes**” è **Encelado**, satellite di Saturno

Fonte: <https://solarsystem.nasa.gov/moons/jupiter-moons/europa/in-depth/>

I geysers di vapore acqueo delle “plumes”, alti fino a 200 chilometri, **sarebbero la prova che Europa abbia un oceano sotto la superficie**, come previsto dal modello “thin ice” della struttura del satellite

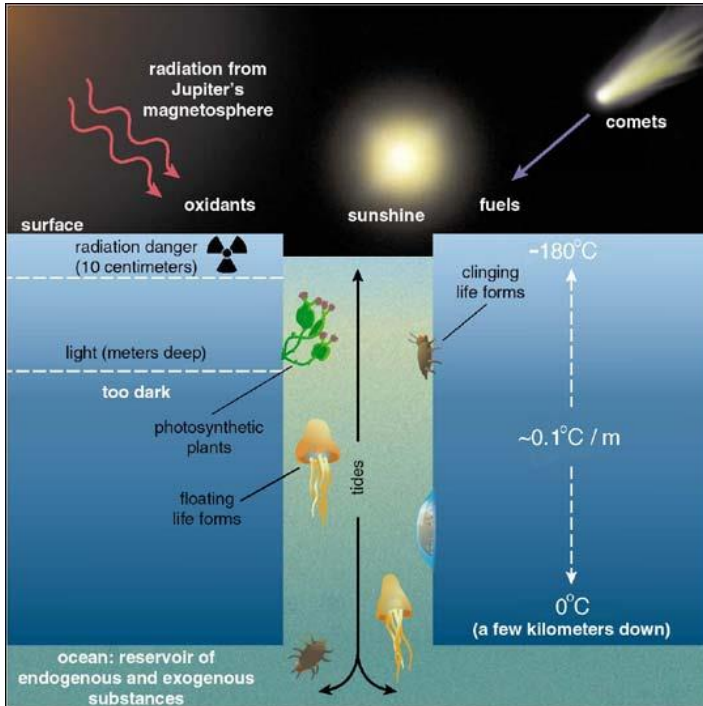
L’attività geologica del nucleo alimentarebbe una serie di correnti convettive che **manterrebbero l’acqua allo stato liquido sotto lo strato di ghiaccio**



Fonte:

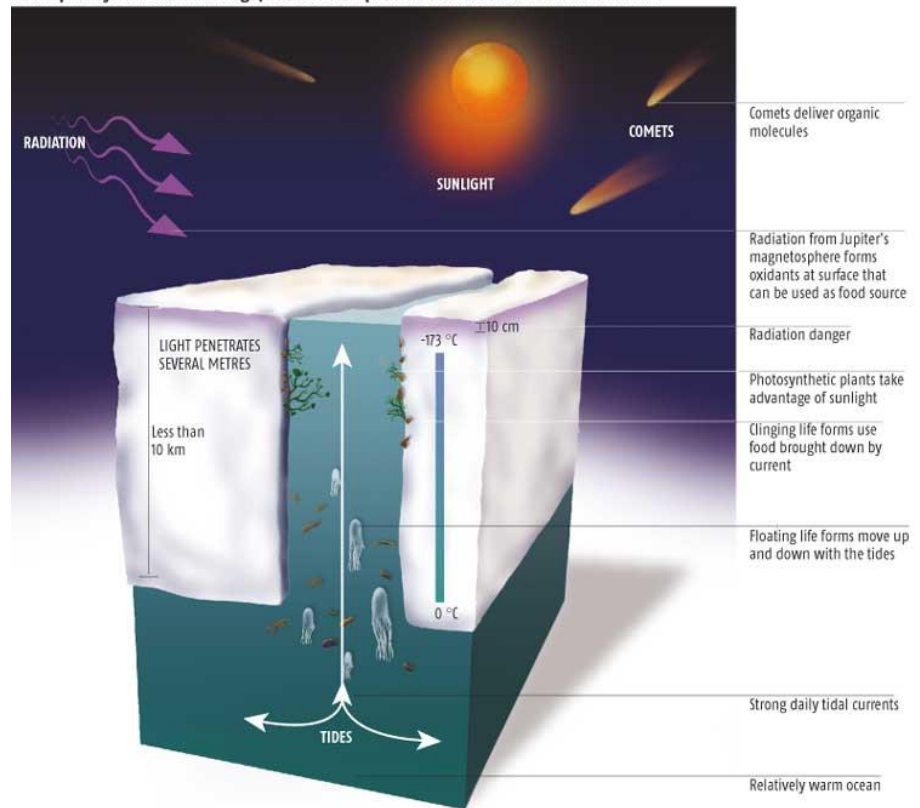
<https://solarsystem.nasa.gov/moons/jupiter-moons/europa/in-depth/>

Il modello “thin ice” della struttura di Europa permette di avanzare l’ipotesi che **la vita possa essere presente nelle regioni di acqua liquida**



IS THERE LIFE ON EUROPA?

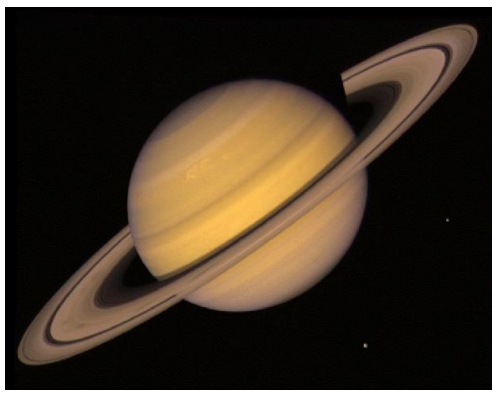
If Europa's icy crust is thin enough, cracks would provide a habitat where life could thrive



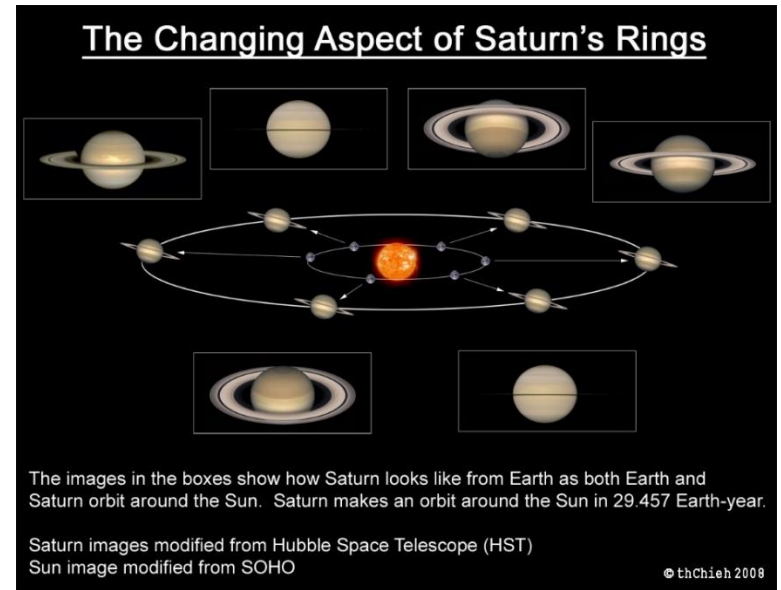
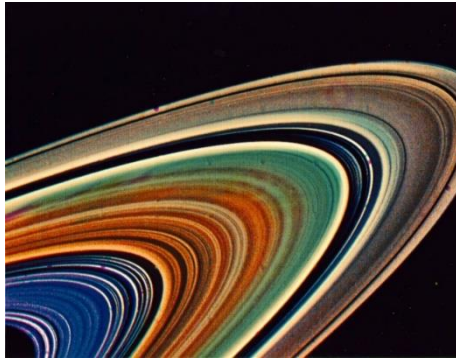
Le misure di gravità e spettroscopia indicherebbero anche la presenza di acqua salata e condizioni simili a quelle riscontrate nelle “hydrothermal vents” degli oceani terrestri

“L’oceano di Europa è considerato **uno dei luoghi più promettenti e adatti a ospitare la vita** di tutto il Sistema Solare” (G. Yoder, NASA 2016)





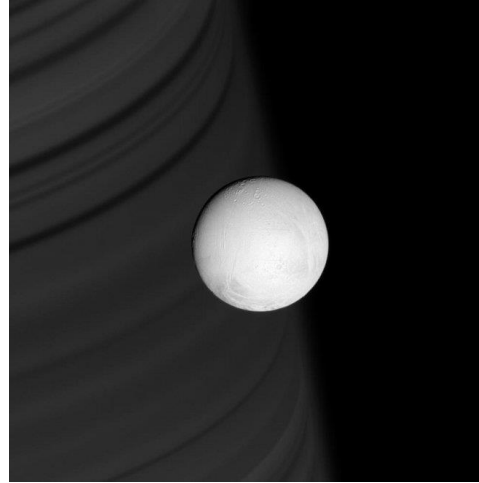
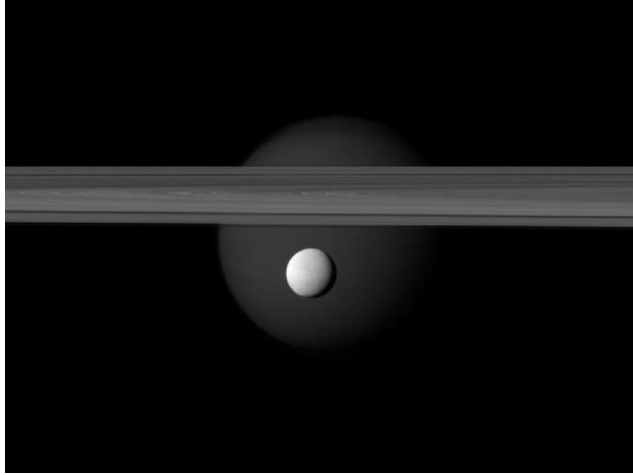
## Saturno, il “signore degli anelli”, ed i suoi sorprendenti satelliti



- Anche se tutti i pianeti gassosi del Sistema Solare hanno anelli, Saturno ha il sistema più esteso e spettacolare di **anelli planetari**, denominati **da A a F** a seconda della distanza
- Gli anelli sono composti da particelle costituite da **93% di ghiaccio d'acqua**, **7% di composti di carbonio** e tracce di fanghi di azoto e metano (“**tholin**”)
- Saturno ha **il più alto numero di satelliti nel Sistema Solare, 82** (gli ultimi 20 scoperti nel 2019) e la sua luna maggiore, Titano, è il secondo satellite per ordine di grandezza di tutto il Sistema (il primo è Ganimede)
- Il **ghiaccio degli anelli** (in particolare dell'anello E) sembra derivare dall'**attività dei criovulcani** di un altro satellite di grande interesse, **Encelado**



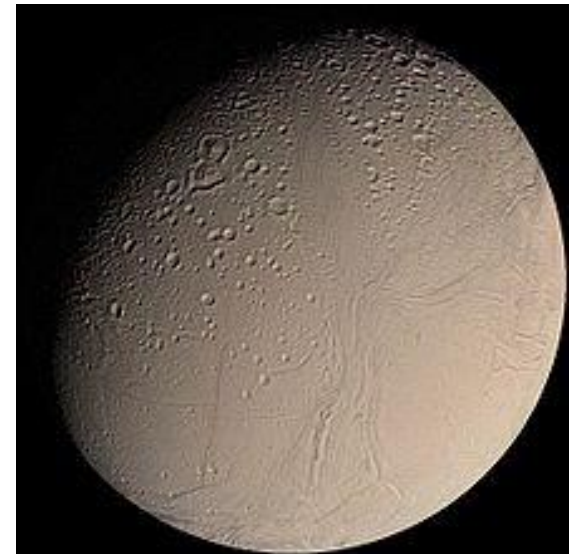
## Encelado, straordinario satellite di Saturno con oceani di acqua liquida (e salata)



- **Encelado**, ritratto sullo sfondo di Titano e degli anelli di Saturno in eccezionali immagini inviate da Cassini, è una luna ghiacciata esterna agli anelli, di diametro 252 km
- Le sue **caratteristiche sono così interessanti** da collocarlo **tra i primi** nella lista dei possibili luoghi del Sistema Solare dove può trovarsi la vita

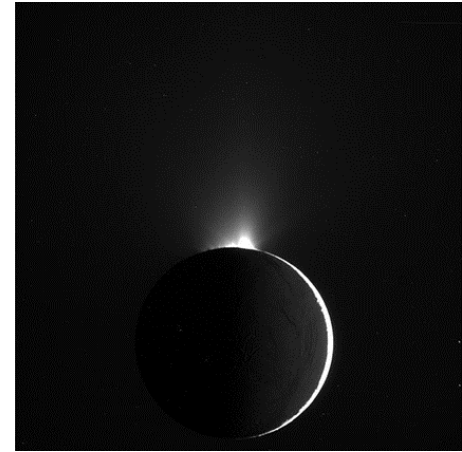
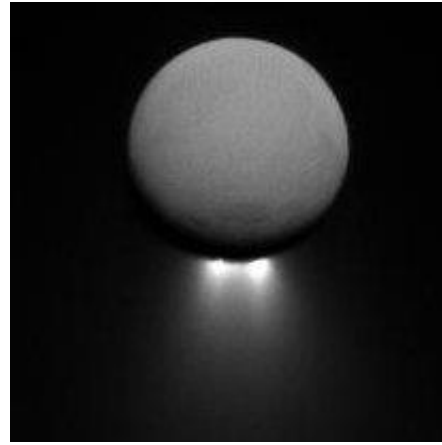
Fonte:

<https://solarsystem.nasa.gov/missions/cassini/science/enceladus/>



La sonda Cassini ha fotografato la superficie ghiacciata di Encelado (-198 °C), solcata da fessure, ed ha scoperto numerose **“water plumes”** (geysers di acqua, o criovulcani)

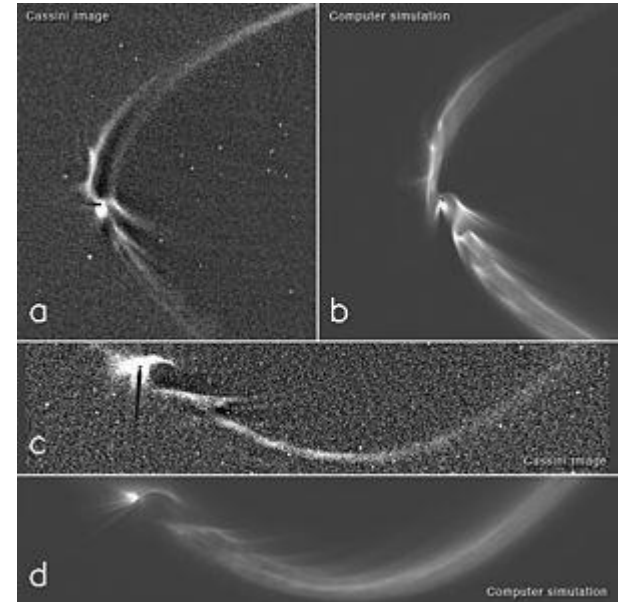
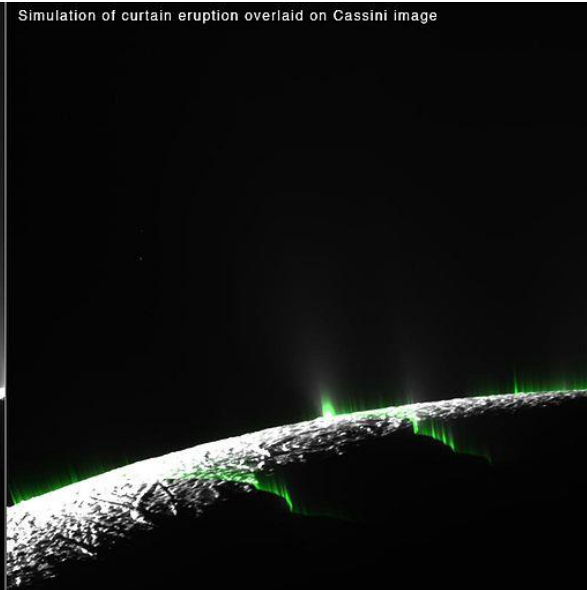
Come nel caso di Europa, l'**attrazione gravitazionale** dovuta alla vicinanza di un pianeta gigante (Saturno) mantiene **geologicamente attivo** il satellite e **favorisce la presenza di acqua liquida**



Cassini image (brightness enhanced)



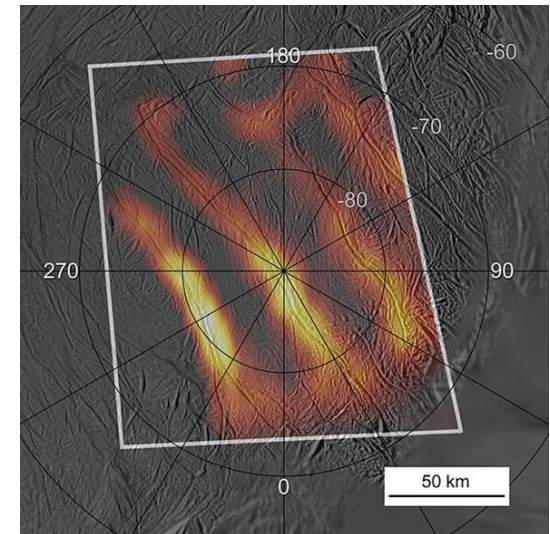
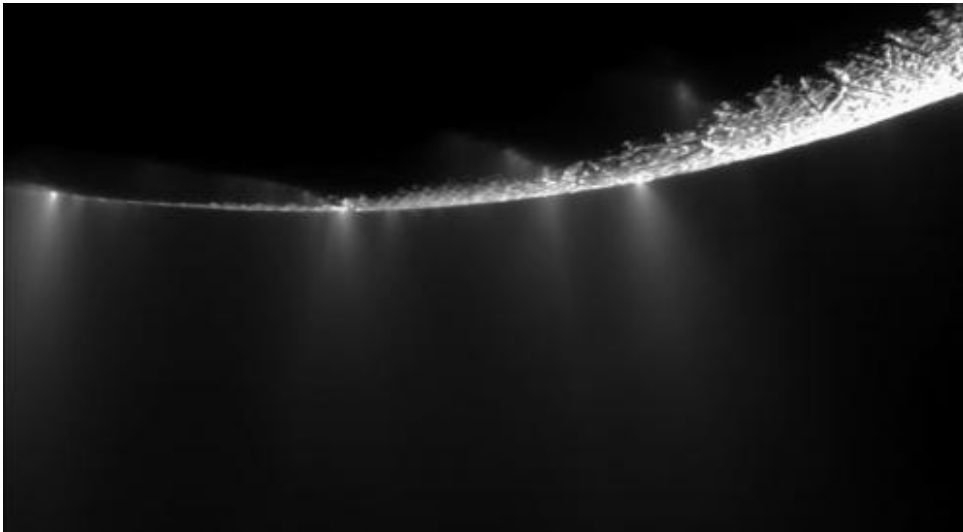
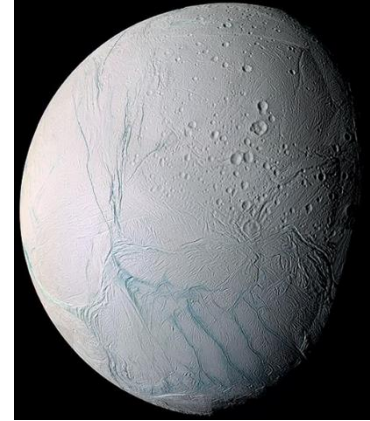
Simulation of curtain eruption overlaid on Cassini image



Immagini di “water plumes” scattate da Cassini nel 2015 e 2016

## I criovulcani di Encelado emettono **ghiaccio d'acqua salata**

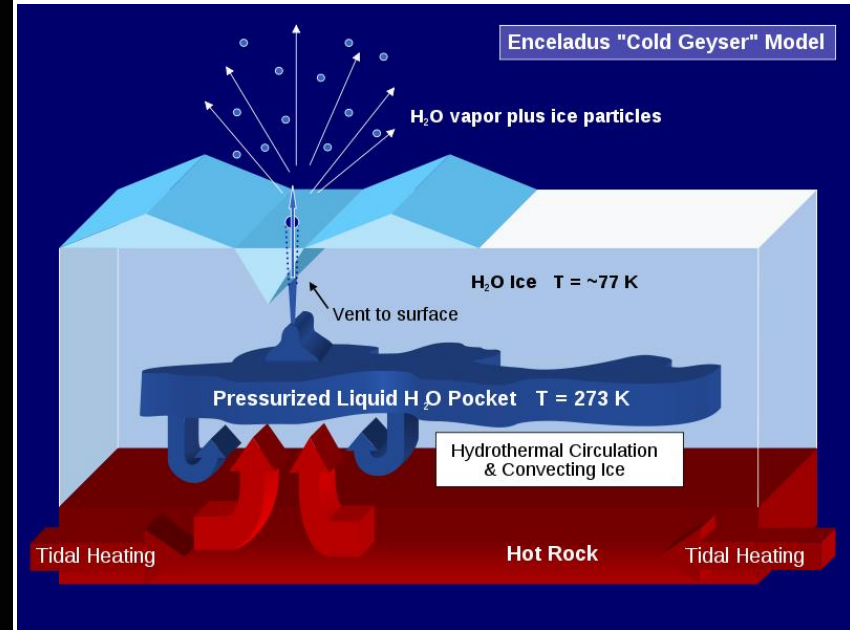
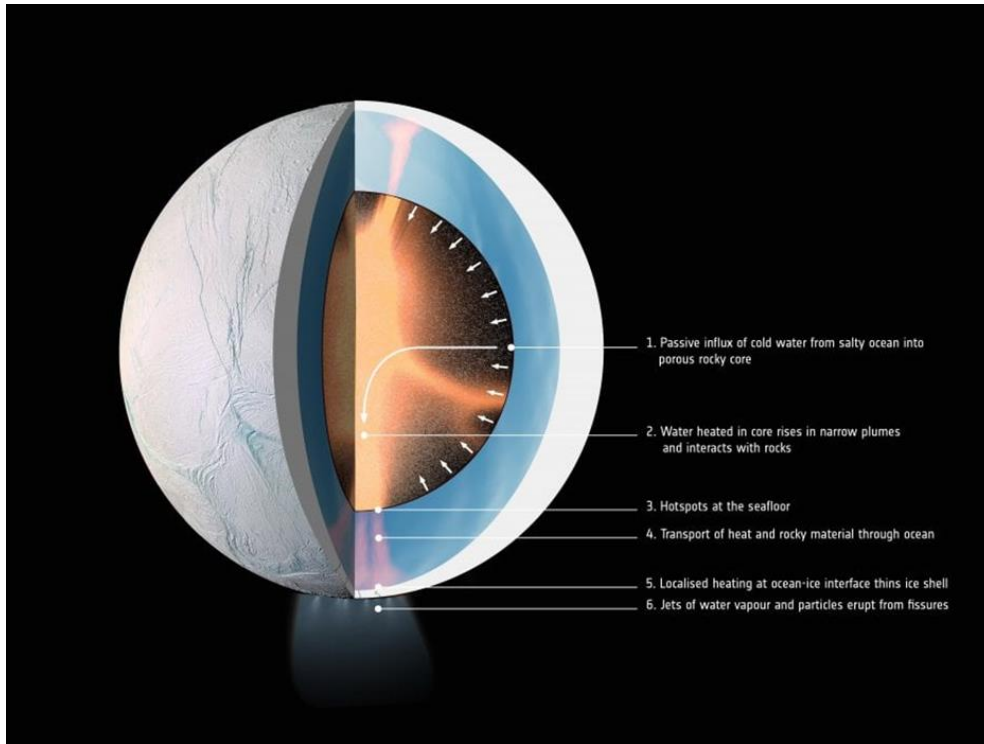
- Le “plumes” provengono da quattro ampie fessure (“**tiger stripes**”) nel Polo Sud di Encelado
- I campioni di “plumes”, **raccolti ed esaminati da Cassini tramite un analizzatore di polvere cosmica**, hanno rivelato la presenza di **ghiaccio d'acqua ricco di sali**
- I frammenti di ghiaccio salato hanno una **composizione simile a quella dell'anello E di Saturno**
- A 40 km sotto il suo polo, Encelado ha con ogni probabilità un **oceano di acqua salata**, un **ambiente molto favorevole alla vita**



Fonte:  
<https://solarsystem.nasa.gov/missions/cassini/science/enceladus/>

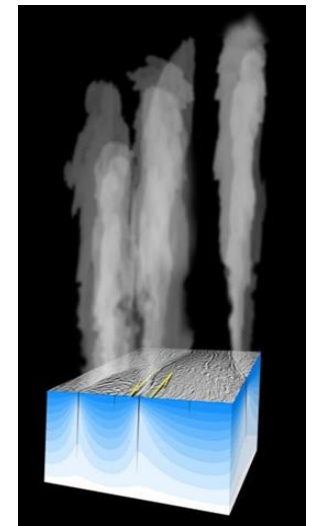
Mapa termica delle quattro fessure, che dimostra la loro **natura vulcanica attiva**

# Struttura interna di Encelado e funzionamento delle regioni criovulcaniche



Insieme a Terra, Marte ed Europa, Encelado è **uno dei soli quattro luoghi del Sistema Solare** nei quali sono presenti **sia ghiaccio d'acqua sia acqua allo stato liquido**, e con la Terra ed Europa è **uno dei tre luoghi** in cui avvengono **emissioni criovulcaniche di acqua**

E' stato formulato un **modello dettagliato** della struttura e del funzionamento delle "plumes" (Hsu et al. Nature 519, 207-210, 2015)



# Le 'plumes' derivano da una intensa attività idrotermica e geotermale

## LETTER

doi:10.1038/nature14262

### Ongoing hydrothermal activities within Enceladus

Hsiang-Wen Hsu<sup>1\*</sup>, Frank Postberg<sup>2,3\*</sup>, Yasuhito Sekine<sup>4\*</sup>, Takazo Shibuya<sup>5</sup>, Sascha Kempf<sup>6</sup>, Mihály Horányi<sup>1</sup>, Antal Juhász<sup>1,6</sup>, Nicolas Altimieri<sup>7</sup>, Katsuhiko Suzuki<sup>8</sup>, Yuka Masaki<sup>8</sup>, Tatsu Kuwatani<sup>9</sup>, Shogo Tachibana<sup>10</sup>, Sin-iti Sirono<sup>11</sup>, Georg Moragas-Klostermeyer<sup>3</sup> & Ralf Srama<sup>3</sup>

Detection of sodium-salt-rich ice grains emitted from the plume of the Saturnian moon Enceladus suggests that the grains formed as frozen droplets from a liquid water reservoir that is, or has been, in contact with rock<sup>1,2</sup>. Gravitational field measurements suggest a regional south polar subsurface ocean of about 10 kilometres thickness located beneath an ice crust 30 to 40 kilometres thick<sup>3</sup>. These findings imply rock-water interactions in regions surrounding the core of Enceladus. The resulting chemical 'footprints' are expected to be preserved in the liquid and subsequently transported upwards to the near-surface plume sources, where they eventually would be ejected and could be measured by a spacecraft<sup>4</sup>. Here we report an analysis of silicon-rich, nanometre-sized dust particles<sup>5-8</sup> (so-called stream particles) that stand out from the water-ice-dominated objects characteristic of Saturn. We interpret these grains as nanometre-sized SiO<sub>2</sub> (silica) particles, initially embedded in icy grains emitted from Enceladus' subsurface waters and released by sputter erosion in Sat-

urn's magnetosphere<sup>9</sup>. The particle size limit independently inferred from dynamical simulations ( $r_{max} \approx 8$  nm)<sup>7</sup>.

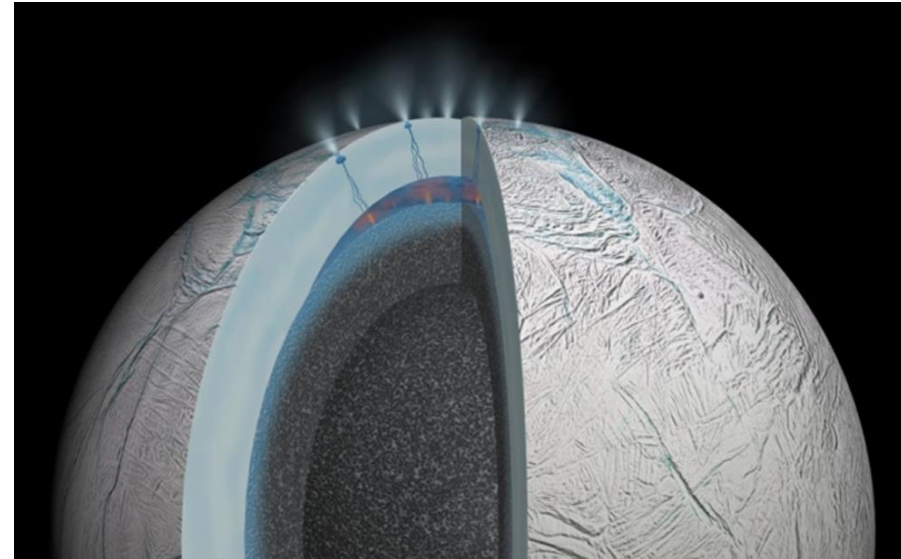
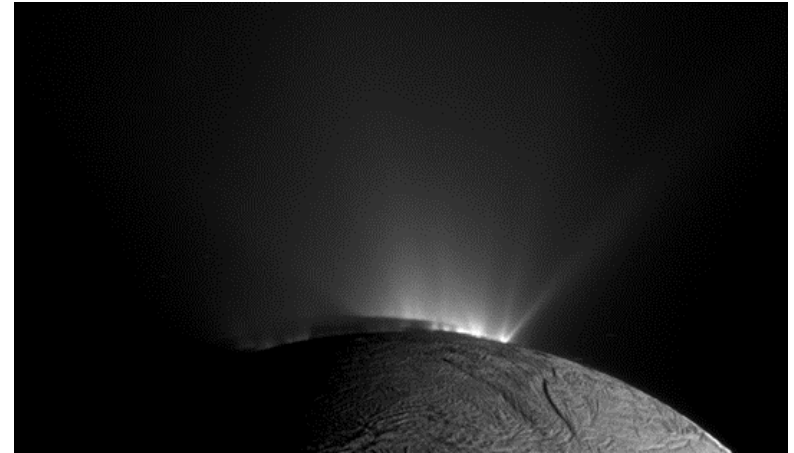
The spontaneous, homogeneous nucleation of nanometre-sized colloidal silica is a unique property of the silica-water system. We consider this as the production mechanism of the observed silica nanoparticles because of (1) the existence of a subsurface ocean in contact with rock and (2) the improbability of homogeneous fragmentation of pure bulk silica into particles with radii exclusively below 10 nm within Enceladus. Only a rock-related, bottom-up formation process is plausible. Colloidal silica nanoparticles form with initial radii of 1–1.5 nm when the solution becomes supersaturated<sup>10</sup>. In moderately alkaline solutions (pH 7.5–10.5) with low electrolyte concentration, the charge state of silica nuclei allows colloidal silica nanoparticles to nucleate and grow by addition of dissolved silica as well as by Ostwald ripening<sup>11,12</sup>. Above about pH 10.5, silica solubility becomes too high to maintain a stable colloidal

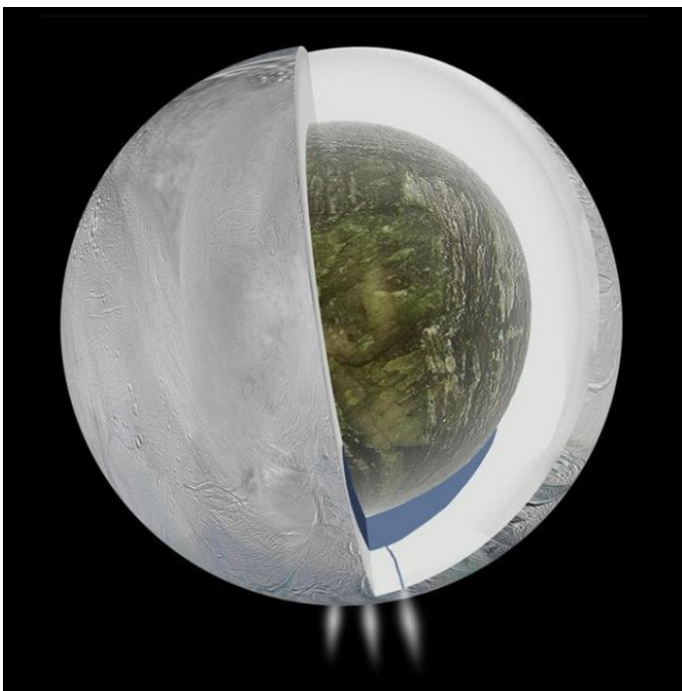
Hsu *et al.* Nature 2015

Le plumes di Encelado che emettono frammenti di ghiaccio ricchi di sodio provengono da riserve di acqua liquida situate in profondità e a contatto con il nucleo attivo del satellite

Le misure gravitazionali indicano che sotto il polo sud si trova **un vasto oceano**, spesso 10 km e ricoperto da una crosta di ghiaccio di 30-40 km

Le interazioni acqua-roccia nelle profondità di Encelado arricchiscono le plumes di particelle di silicio che si formano solo tramite **reazioni idrotermiche in ambienti ad alta temperatura (>96 °C)**: l'attività delle plumes trasporta i composti dal fondo dell'oceano alla superficie





Altri studi eseguiti nel 2019 sull'intensa attività geotermale di Encelado e sul suo grande oceano sotterraneo suggeriscono che l'acqua ricca di sali e particelle silicee si riscaldi nelle regioni più profonde dell'oceano e risalga fino alla regione vicina alla crosta

L'acqua ad alta temperatura attraversa le fessure della crosta ghiacciata, **fuoriuscendo sotto forma di geyser**

Modello della struttura interna di Encelado che mostra il nucleo roccioso, la crosta ghiacciata e l'oceano sotterraneo al polo Sud del satellite (Fonte: NASA/JPL-Caltech)

Come su Europa, anche sul fondo dell'oceano di Encelado potrebbero trovarsi **“hydrothermal vents” simili a quelle terrestri**

Per le sue straordinarie caratteristiche **Encelado** è attualmente considerato **uno dei corpi celesti del Sistema Solare di maggiore interesse per una possibile presenza di vita**

Fonte:  
<https://solarsystem.nasa.gov/missions/cassini/science/enceladus/>

