



LA RICERCA DELLA VITA

il punto di vista di un astrofisico

R. CLAUDI

INAF Astronomical Observatory of Padova

Dip. di matematica e Fisica, Università ROMA TRE

Domande da fare ad altri...

- ◆ Cos'è la vita?
- ◆ Qual è l'origine della vita?
- ◆ La vita può sopravvivere in ambienti ostili?

Domanda a cui si vuole rispondere...

- ◆ c'è nessuno là fuori?

Definizione Operativa di Vita

Un sistema è vivo se:

- Contiene informazioni
- Scambia energia con l'ambiente
- Si riproduce
- è soggetto a variazioni casuali del suo bagaglio di informazioni.



Cosa ci dicono i Biologi ...

- ◆ Presenza di Carbonio
- ◆ Presenza di acqua liquida
- ◆ Presenza di una sorgente di energia

La chimica basata sul Carbonio...

Si ossida facilmente: CO_2

Si riduce facilmente: CH_4

Numero di atomi										
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
H ₂	C ₃	c-C ₃ H	C ₅	C ₇ H	C ₆ H	CH ₃ C ₃ N	CH ₃ C ₄ H	CH ₃ C ₅ N (?)	HC ₉ N	HC ₁₁ N
AlF	C ₂ H	l-C ₃ H	C ₄ H	l-H ₂ C ₄	CH ₂ CHCN	CH ₃ CHCN	CH ₃ CH ₂ CN	(CH ₃) ₂ CO		
AlCl	C ₂ O	C ₃ N	C ₄ Si	C ₂ H ₄	CH ₃ C ₂ H	HCOOCH ₃	CH ₃ CH ₂ CN	NH ₂ CH ₂ COOH		
C ₂	C ₂ S	C ₃ O	l-C ₃ H ₂	CH ₃ CN	HC ₃ N	(?)	CH ₃ CH ₂ OH	(?)		
CH	CH ₂	C ₃ S	c-C ₃ H ₂	CH ₃ NC	HCOCH ₃	C ₇ H	HC ₇ N		100%	100%
CH ⁺	HCN	C ₂ H ₂	CH ₂ CN	CH ₃ OH	NH ₂ CH ₃	H ₂ C ₆	C ₈ H			
CN	HCO	CH ₂ D ⁺ (?)	CH ₄	CH ₃ SH	c-C ₂ H ₄ O	CH ₂ OHCHO		100%		
CO	HCO ⁺	HCCN	HC ₃ N	HC ₃ NH ⁺	CH ₂ CHOH					
CO ⁺	HCS ⁺	HCNH ⁺	HC ₂ NC	HC ₂ CHO			100%			
CP	HOC ⁺	HNCO	HCOOH	NH ₂ CHO						
CSi	H ₂ O	HNCS	H ₂ CHN	C ₅ N	100%	100%				
HCl	H ₂ S	HOCO ⁺	H ₂ C ₂ O							
KCl	HNC	H ₂ CO	H ₂ NCN							
NH	HNO	H ₂ CN	HNC ₃	100%						
NO	MgCN	H ₂ CS	SiH ₄							
NS	MgNC	H ₃ O ⁺	H ₂ COH ⁺							
NaCl	N ₂ H ⁺	NH ₃								
OH	N ₂ O	SiC ₃	94%							
PN	NaCN									
SO	OCS	89%								
SO ⁺	SO ₂									
SiN	c-SiC ₂									
SiO	CO ₂									
SiS	NH ₂									
CS	H ₃ ⁺									
HF	SiCN									

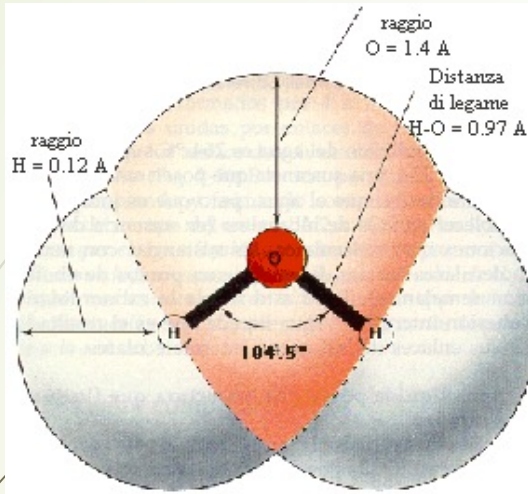
Ma soprattutto ha la capacità di combinarsi facilmente per formare molecole complesse

29%
81%

Ma soprattutto ha la capacità di combinarsi facilmente per formare molecole complesse

<http://www.cv.nrao.edu/~awootten/allmols.html>

Perché l'acqua: caratteristiche



$\epsilon=80$ Permette dissociazione dei sali

Capacità di costruire legami H con le molecole dissolte

Ottimo mediatore termico

Ampio intervallo di temperatura entro cui si mantiene liquida

Allo stato di ghiaccio ha densità minore dello stato liquido



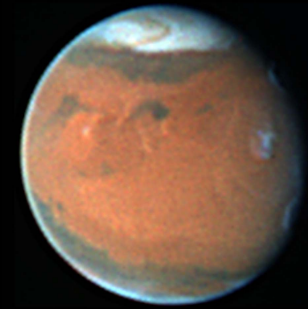
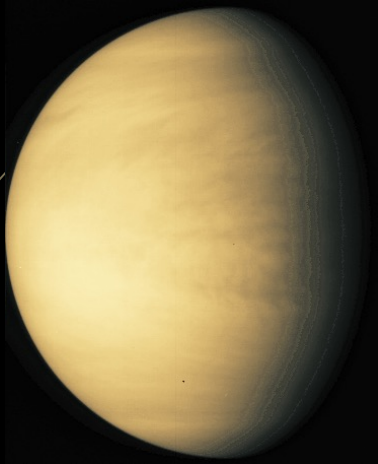
Messaggio Importante

La vita come la conosciamo sembra essere basata su elementi che rendono la probabilità della sua sopravvivenza ed evoluzione molto più alta di altre vite che sono sempre possibili, ma basate su altri elementi.

La ricerca della vita

*If we never search the chance of
success is zero!*

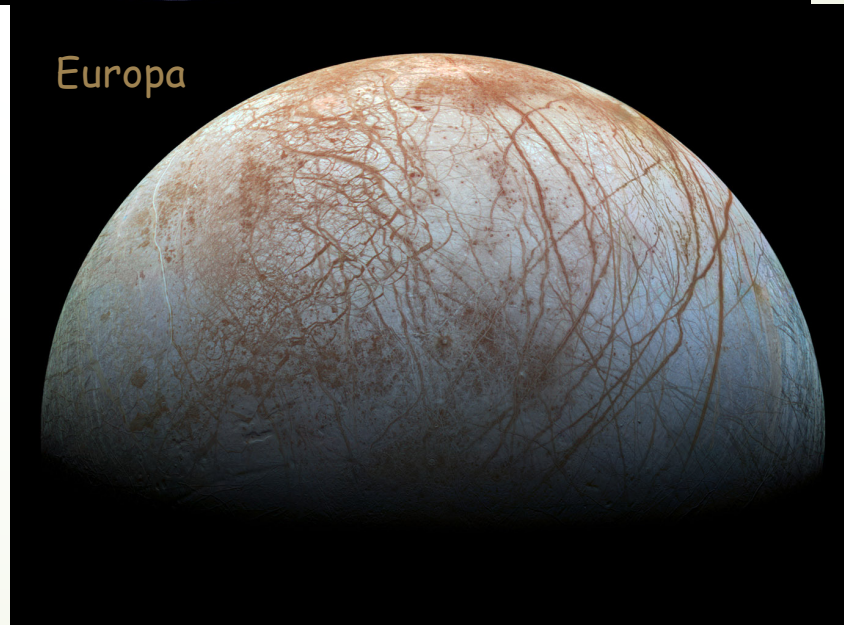
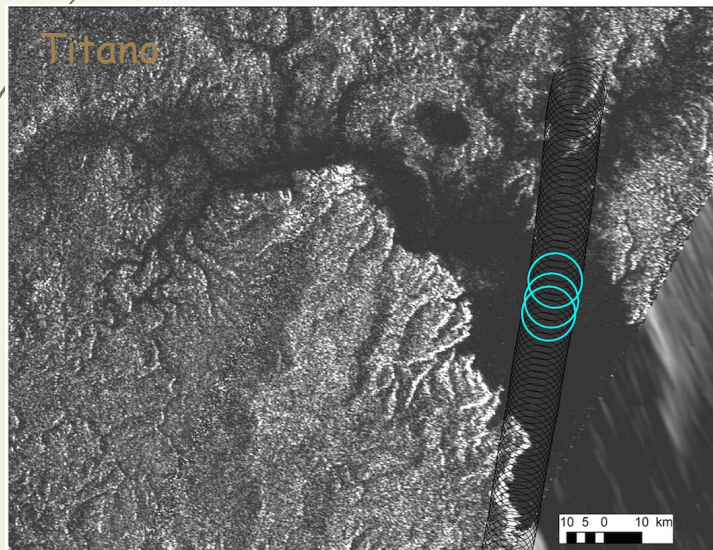
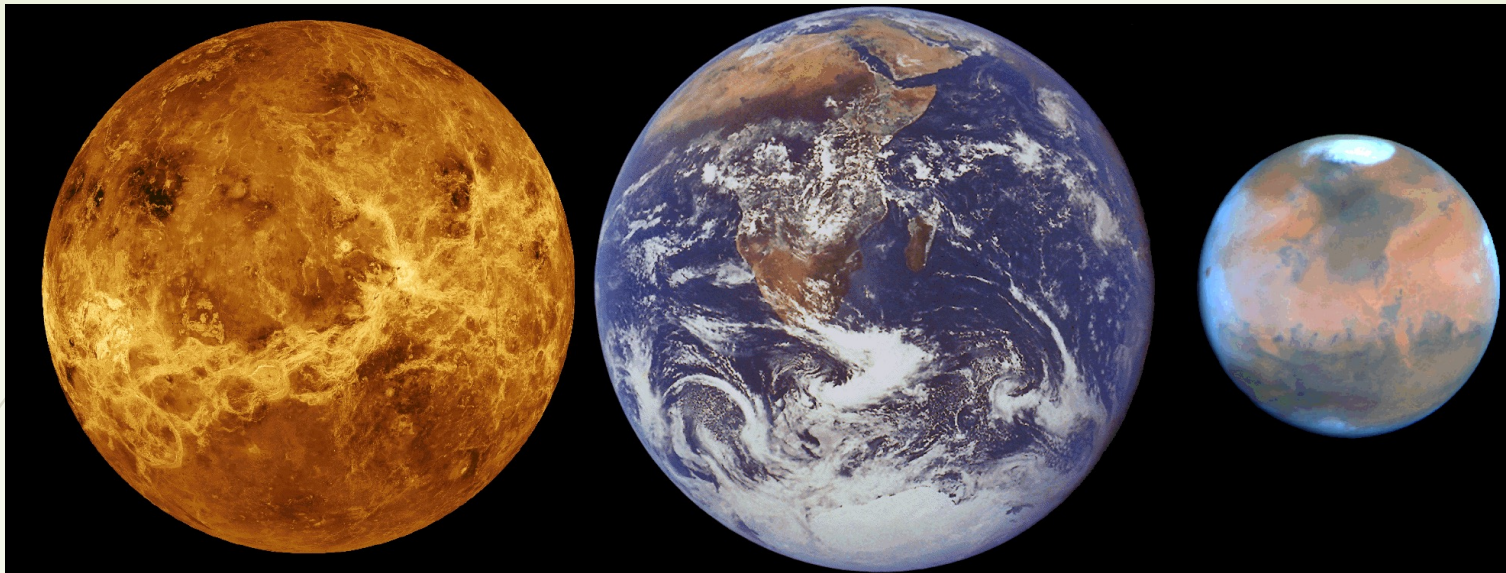
(Cocconi & Morrison 1959)

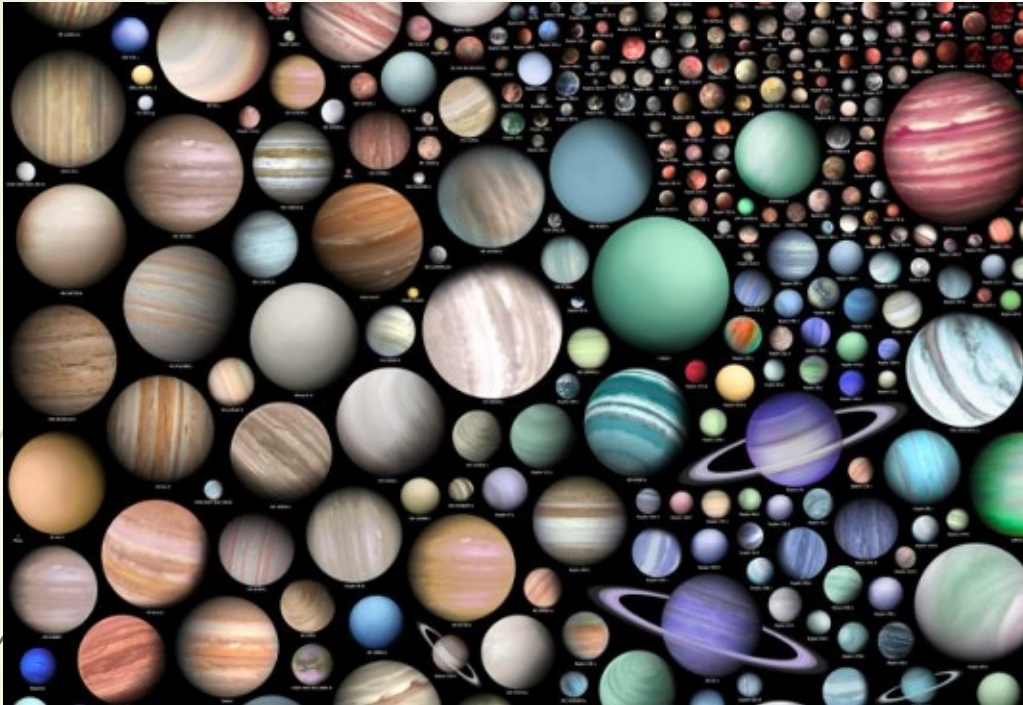


Come?



DOVE?





I pianeti
extrasolari
orbitano attorno
a stelle diverse
dal Sole

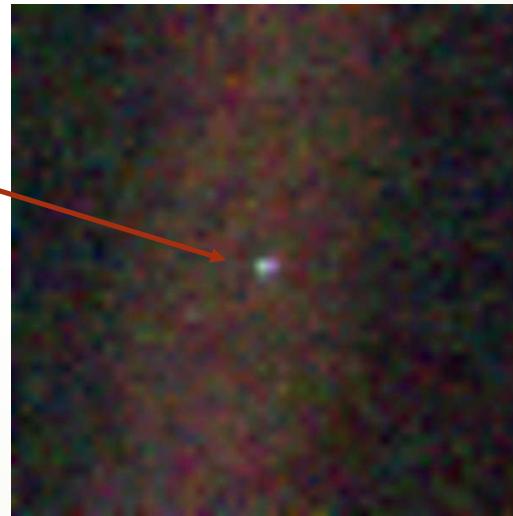
Ad aprile 2025 i pianeti extrasolari sono:

~7450

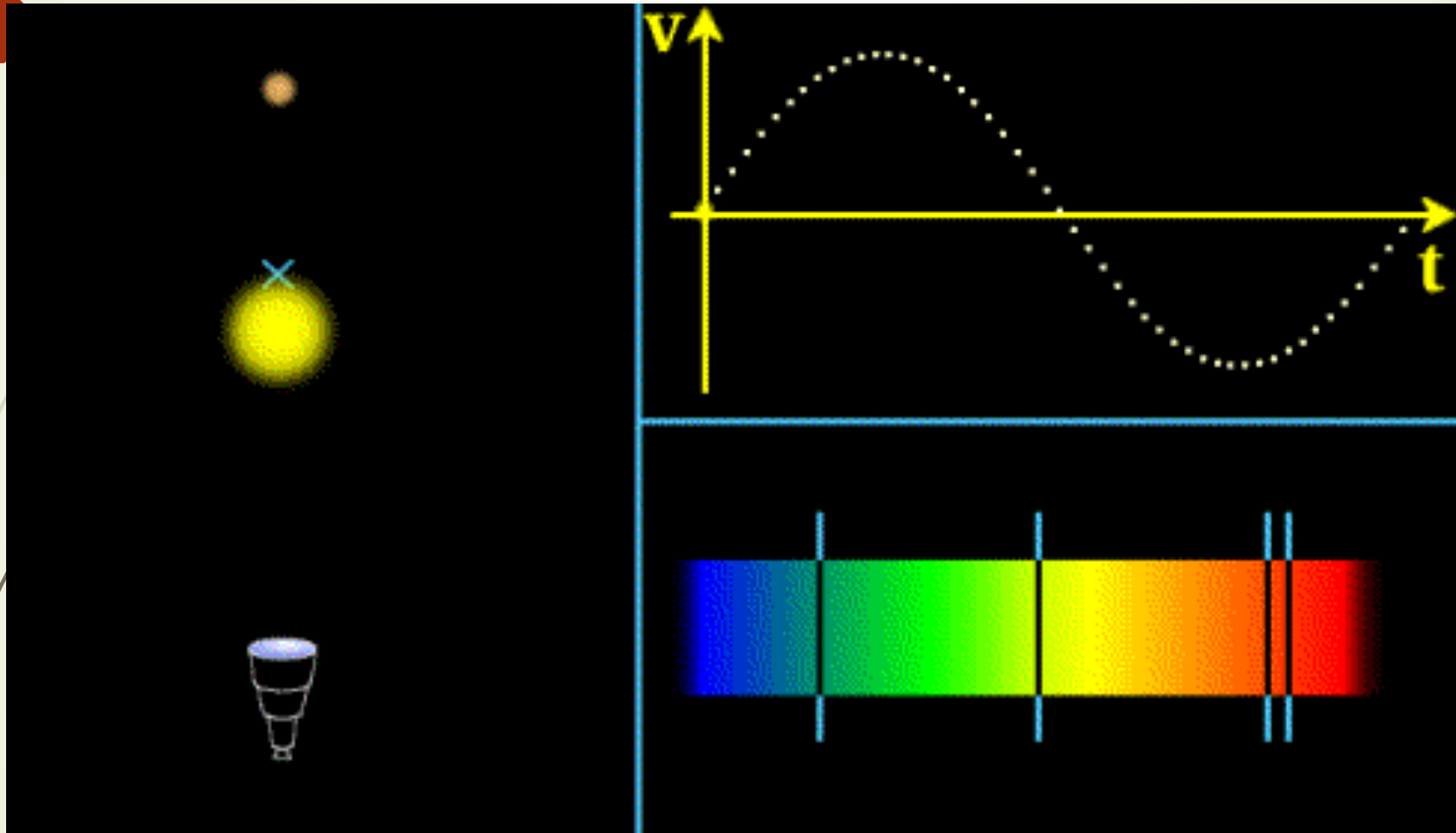


The Pale Blue Dot

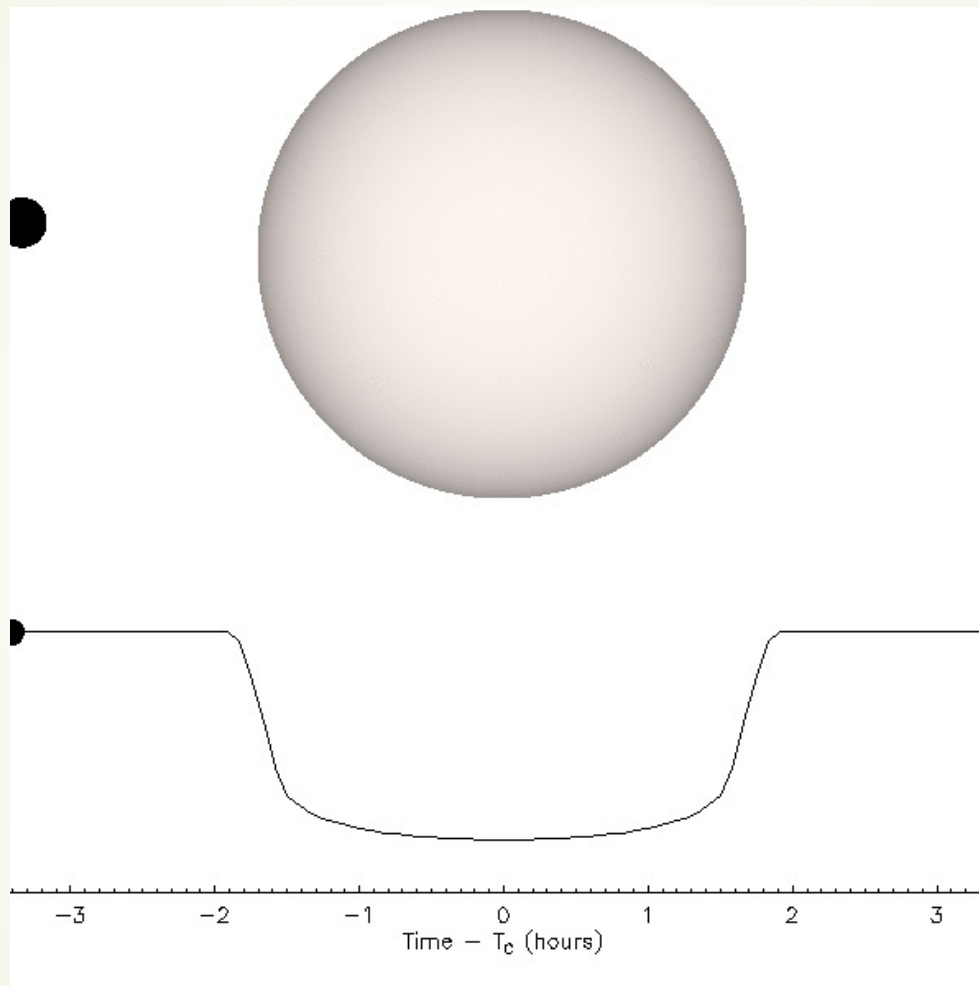
Immagine del Voyager
a 4 miliardi di km di distanza

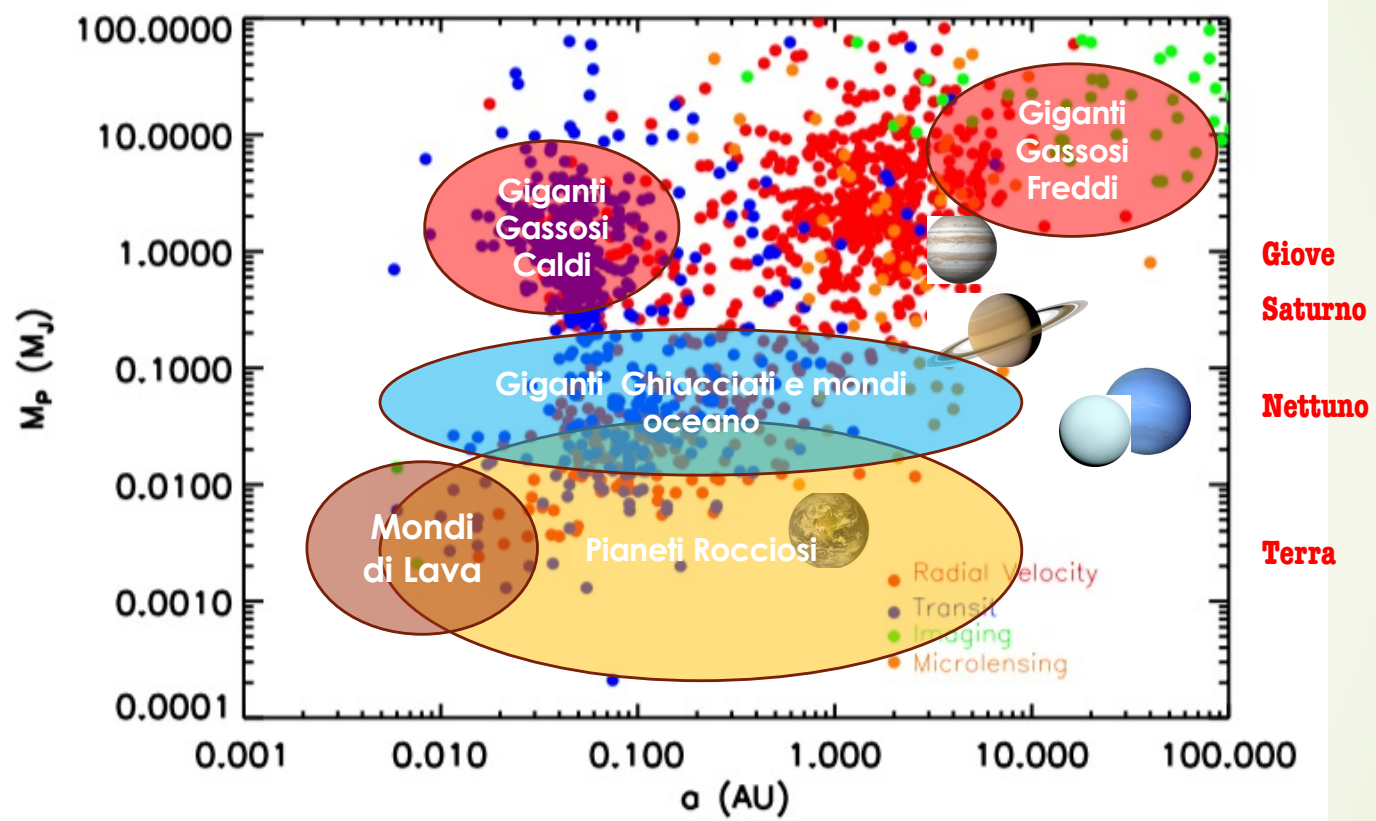


Tecnica delle Velocità Radiali



Transiti

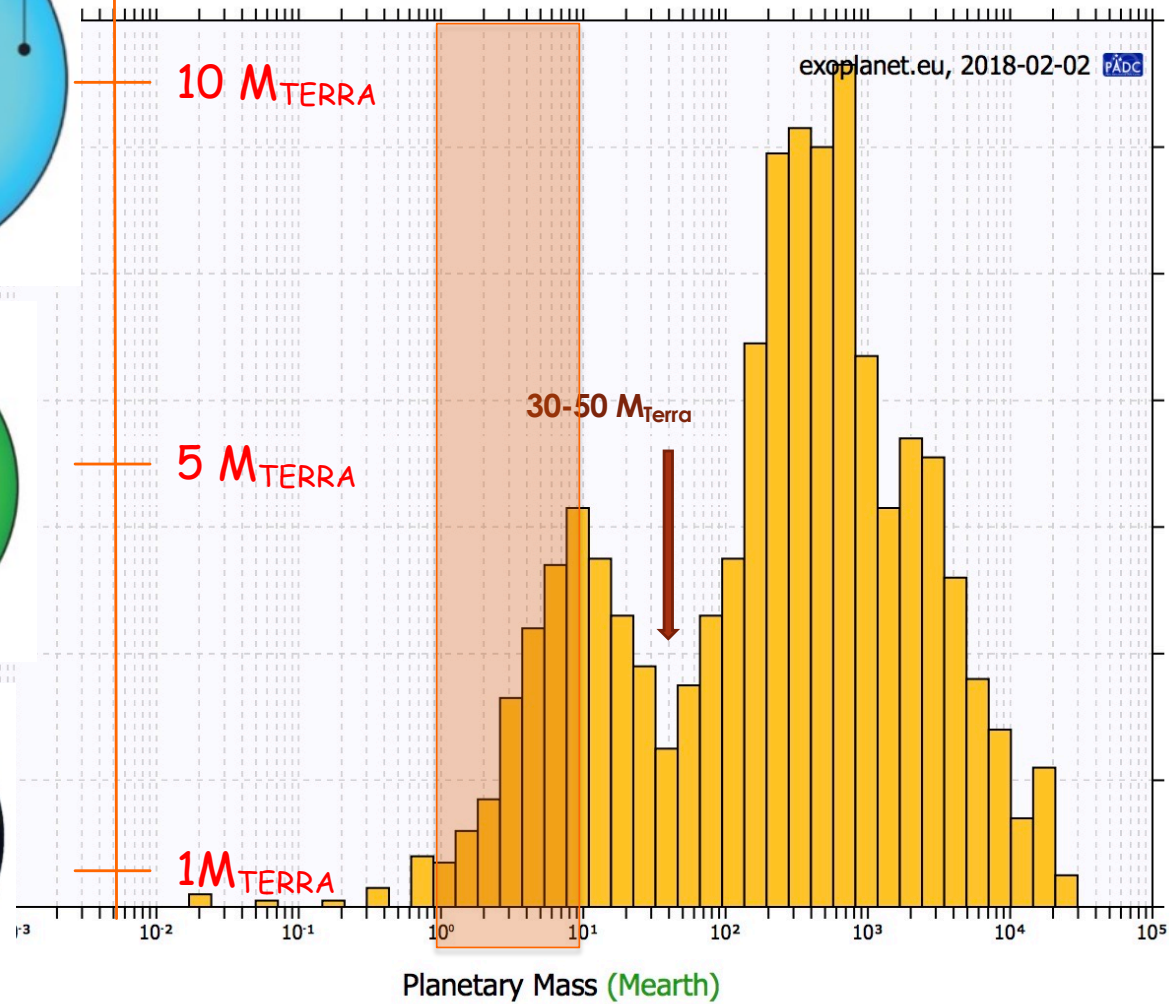
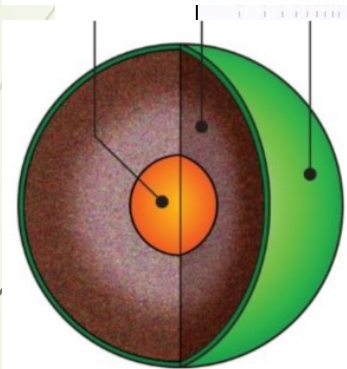
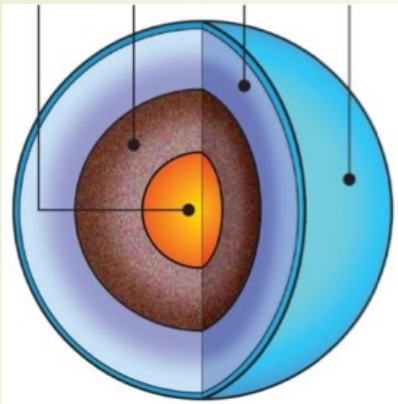




LA REALTA' E' PIU' STRANA DELLA FANTASIA

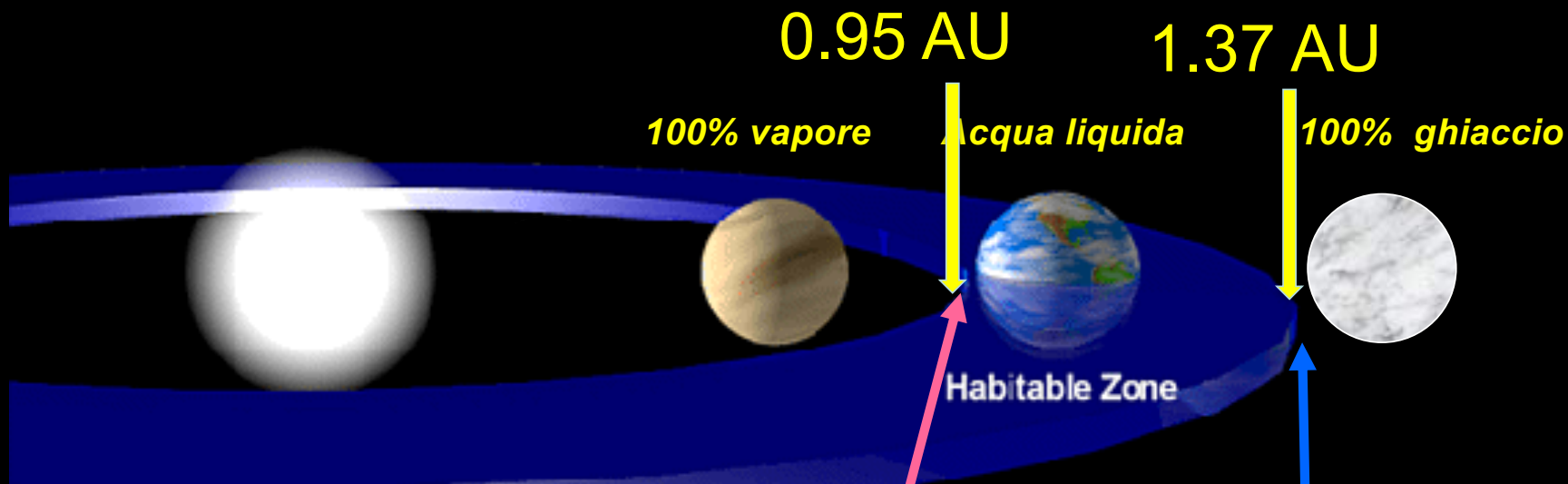


Distribuzione della Masse



La Zona Abitabile

(Kasting et al. 1993)



Instabilità climatica al limite interno

Instabilità climatica al limite esterno

Flusso Solare ↑ → Temperatura ↑

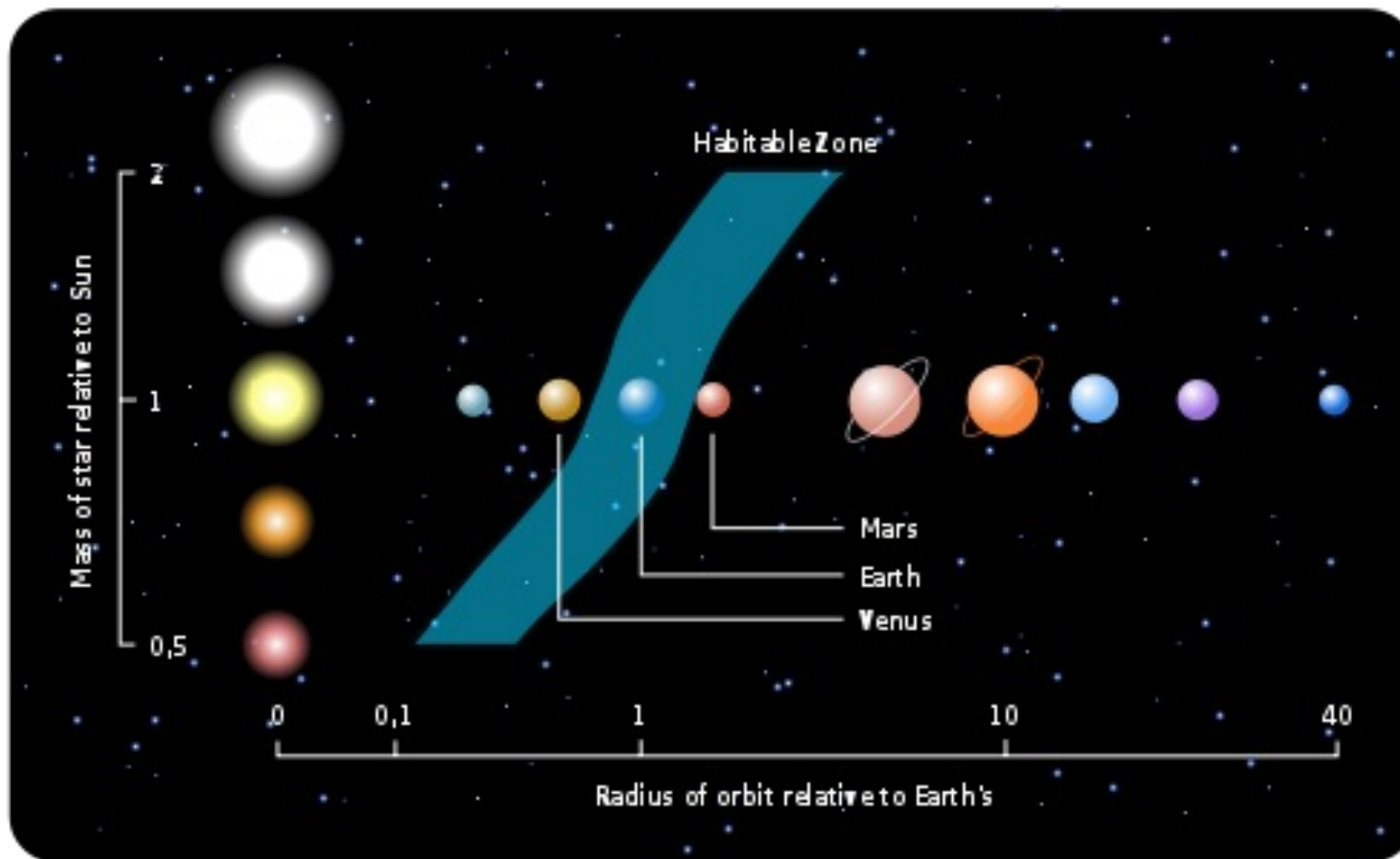
Effetto Serra ↑

Flusso Solare ↑ → Temperatura ↓

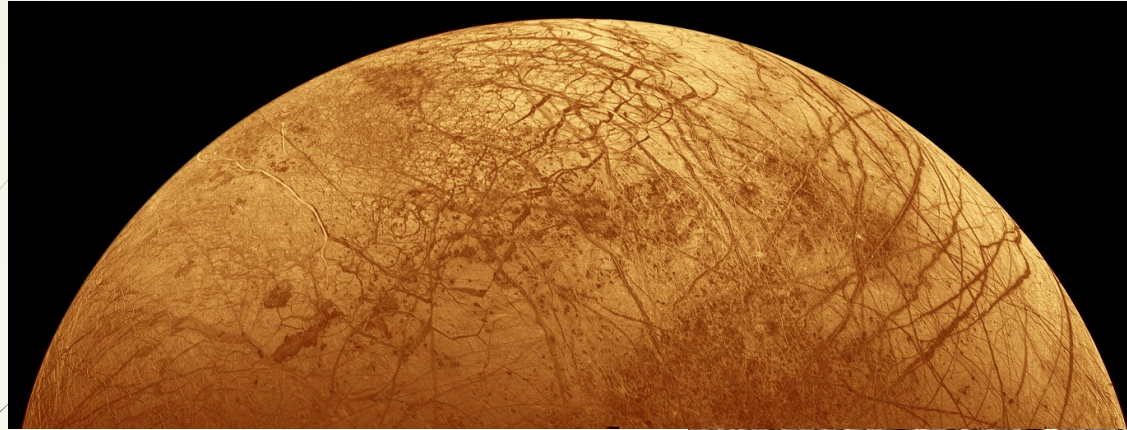
Albedo ↑

Ghiaccio e neve ↑

HZ per le altre stelle



Europa: evidenze di un oceano



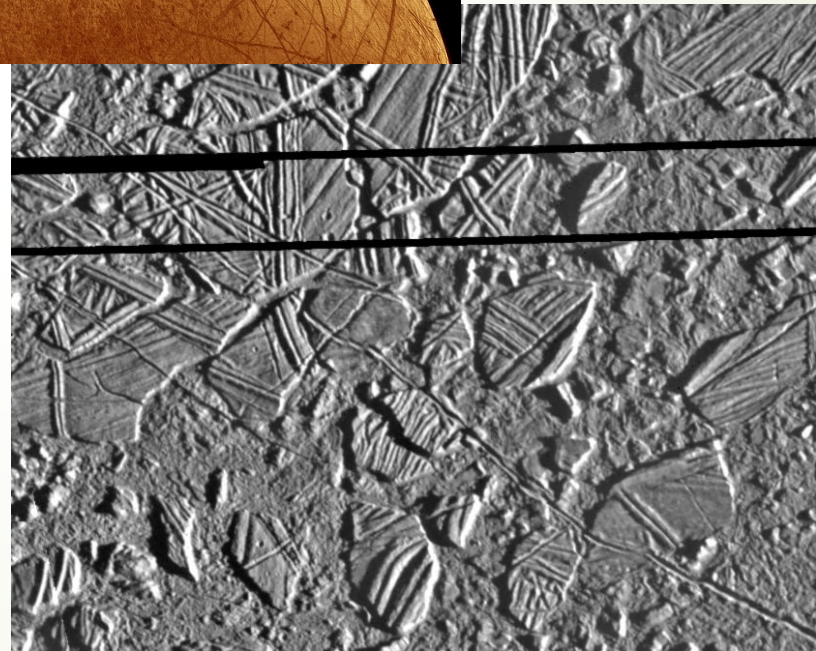
Litosfera Ghiacciata $T_{sup} = -143\text{ C}$

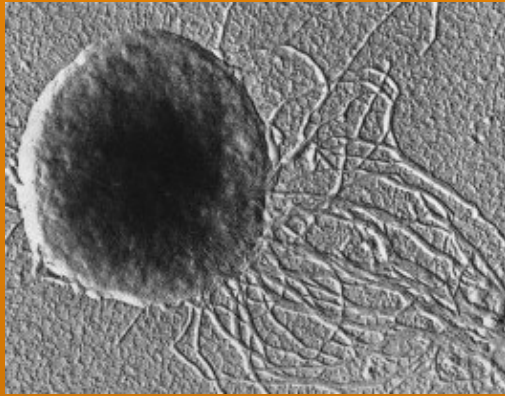
Superficie poco craterizzata

Strutture somiglianti al Pack artico

Possibile confronto con laghi antartici

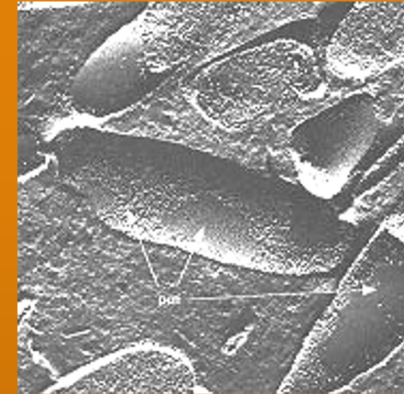
(Foto sonda Galileo)





Metanococcus

CO₂, H₂, T 50° -86°

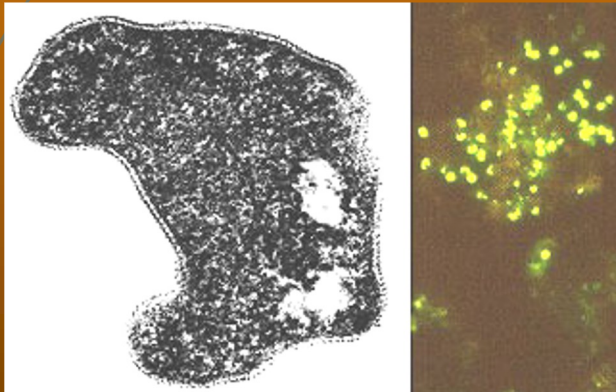


Alobacterium

5M/Litro di NaCl

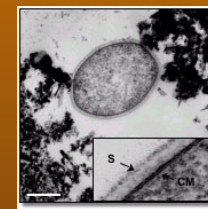
• ESTREMOFILI

Archebatteri



Sulfolobus

Ph 1-5, T 65° -90°

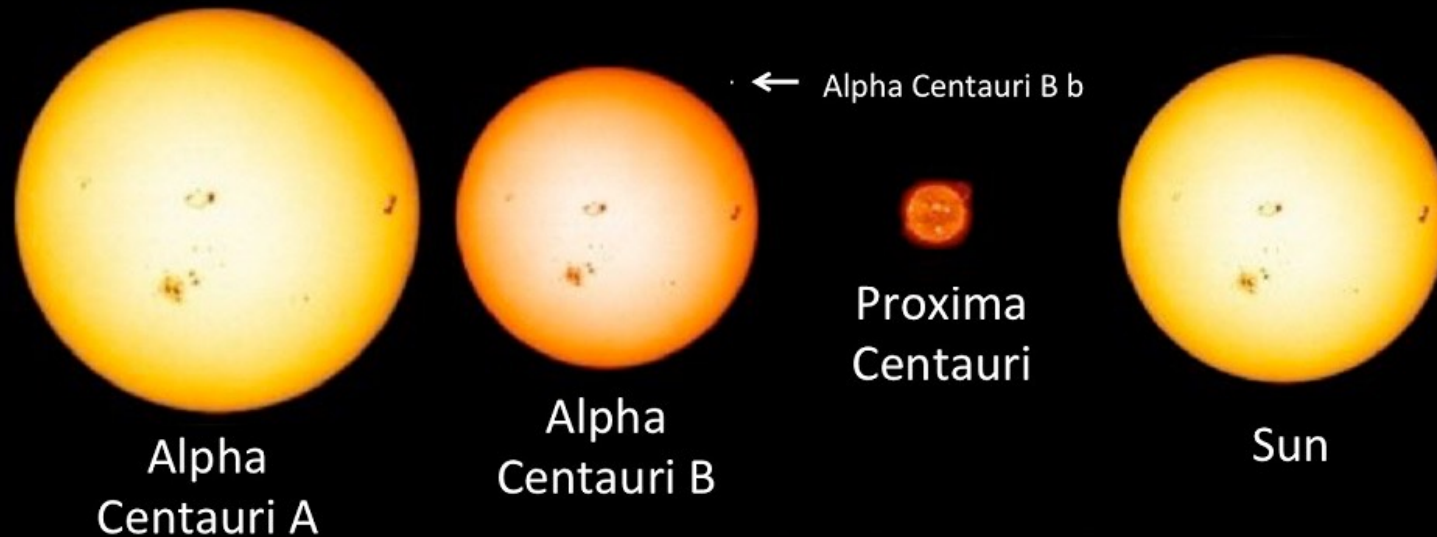


Strain-121

T 121° (14/8/2003)

Il sistema Alfa Centauri

Relative Size of the Alpha Centauri System



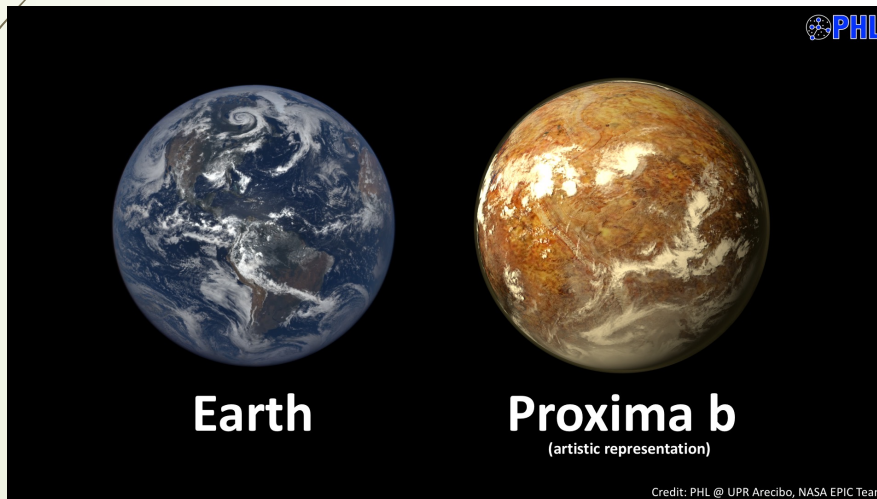
Proxima Centauri b



$D = 1.295 \text{ pc} = 4.22 \text{ a.l.}$

$S_p = M5.5$

$T_{\text{eff}} = 3050 \text{ K}$

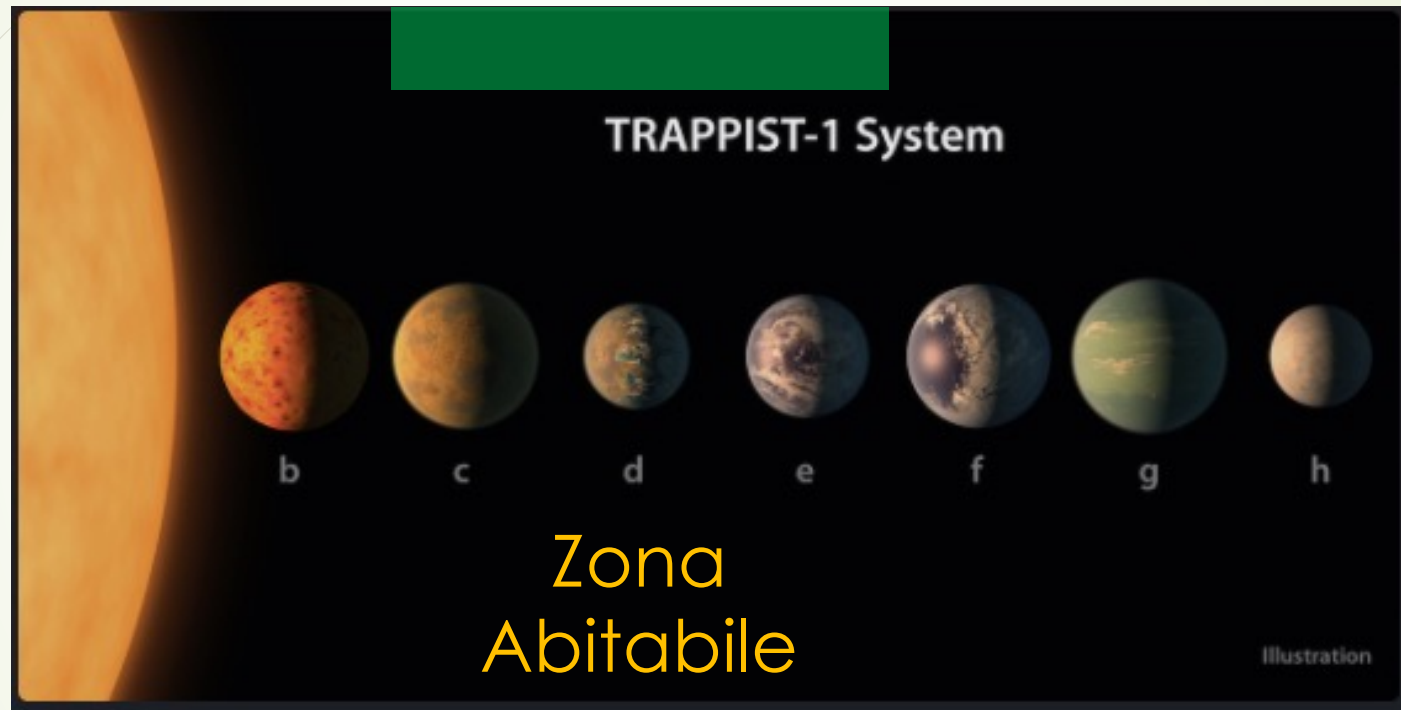


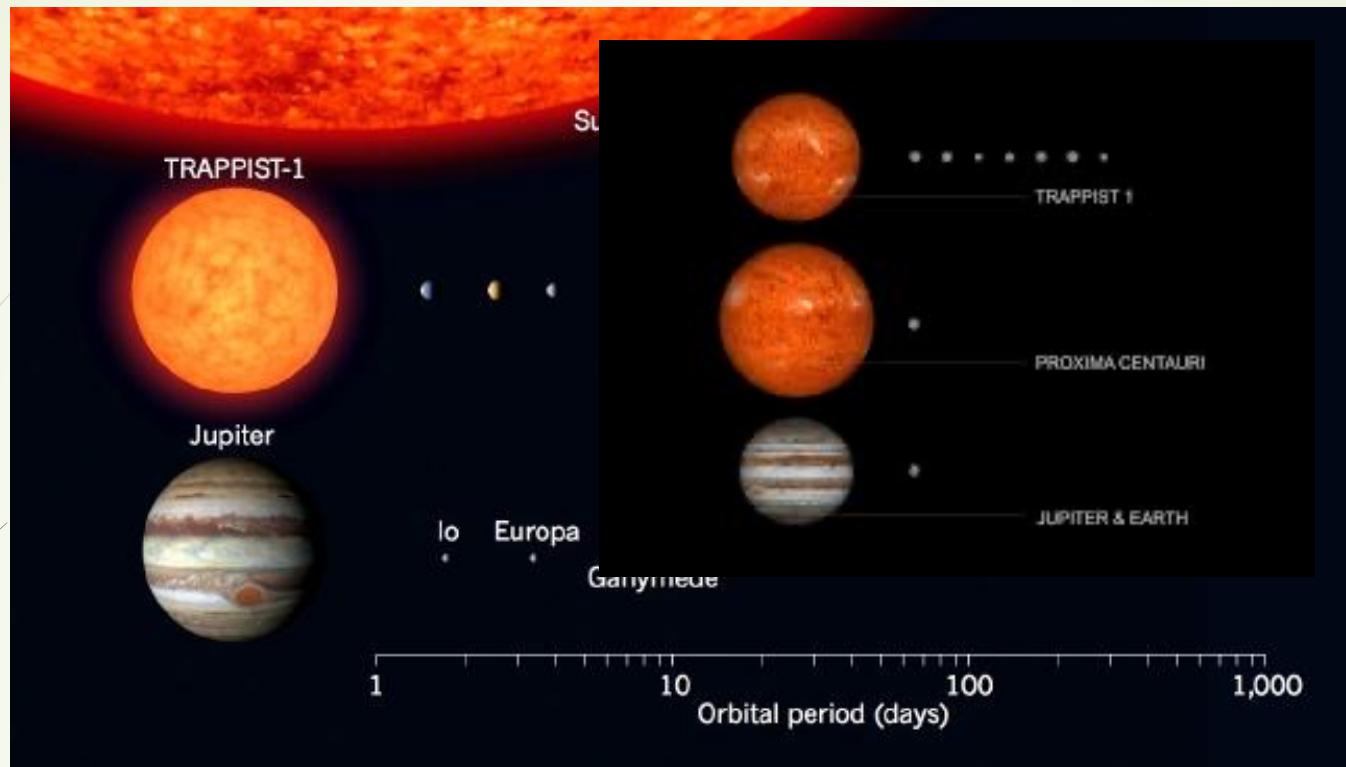
$M_p = 1.27 M_{\text{terra}}$

$R_p = 1.1 R_{\text{terra}}$

$P = 11.186 \text{ d}$

$a = 0.0485 \text{ u.a.}$



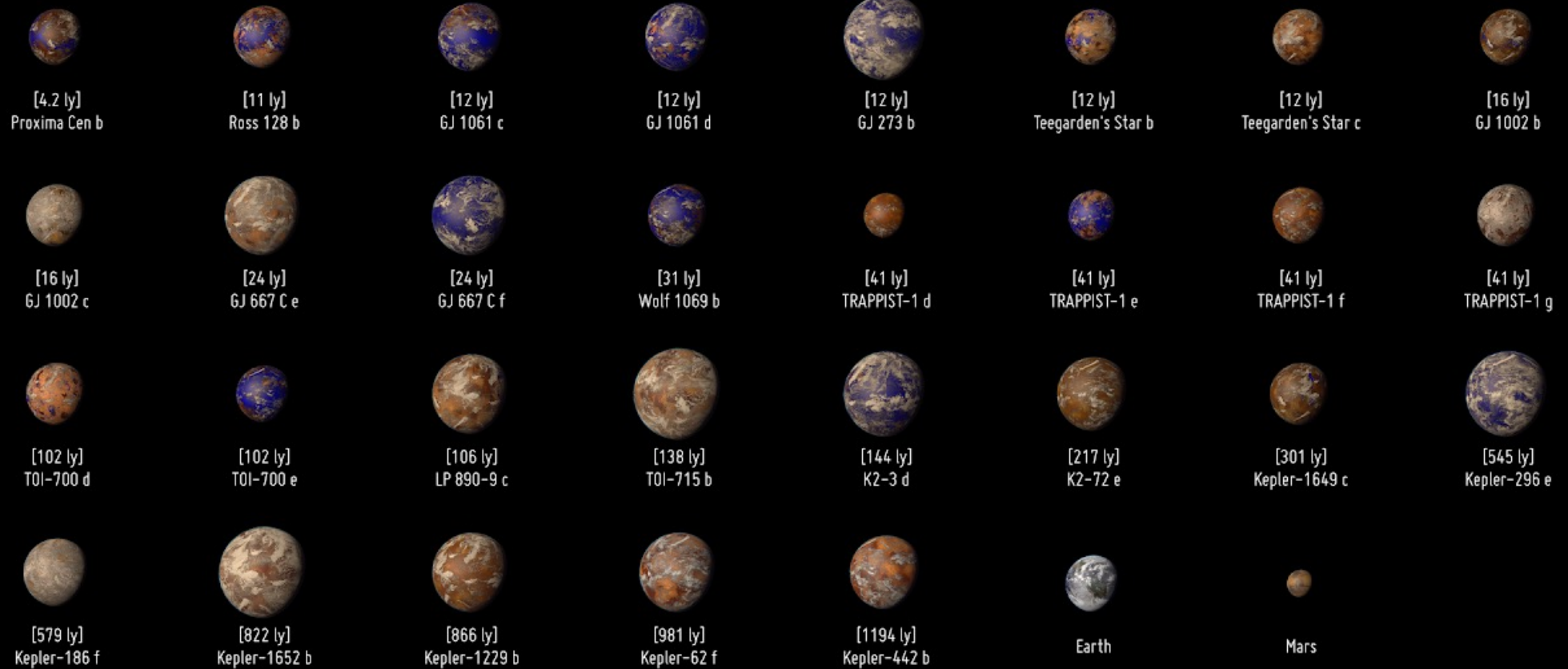


$D = 12.1 \text{ pc} = 39.45 \text{ a.l.}$

$S_p = M8$

$T_{\text{eff}} = 2559 \text{ K}$

Potentially Habitable Worlds



Artistic representations. Earth and Mars for scale.

Planets are organized in order of their increasing distance from Earth (shown between brackets in light-years).

CREDIT: The Habitable Worlds Catalog, PHL @ UPR Arcibo (phl.upr.edu) Jan 2024



COSA?



Biosignature:

- ❑ La presenza su un pianeta di vita basata sulla chimica cambia la composizione chimica della sua atmosfera differenziandola da una situazione di equilibrio stazionario.
- ❑ La modifica della composizione chimica deve essere riconoscibile a distanze astronomiche
- ❑ una firma della vita che è presente in modo manifesto nelle caratteristiche planetarie e possibile da rilevare all'interno dello spettro ottenuto in luce riflessa o trasmessa

BIOSIGNATURE

GAS di Scarto

- ☒ da reazioni per la cattura di Energia
- ☒ da reazioni metaboliche per la costruzione di bio massa
- ☒ o prodotti dalla vita per differenti ragioni

Riflettanza Superficiale

Presenza di esseri viventi su grandi porzioni di superficie planetaria possono modificare la riflettanza superficiale

.... E BIOINDICATORI

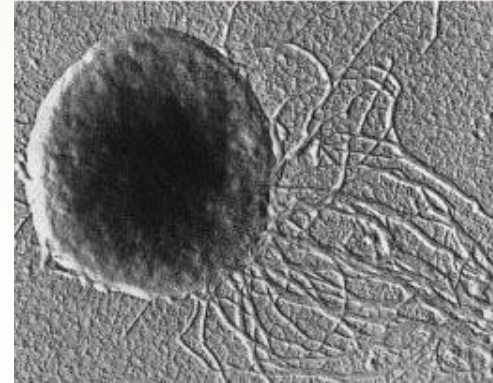
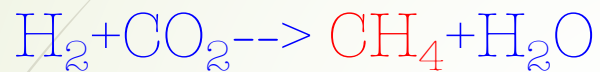


I gas che costituiscono le Biosignature possono essere trasformati da processi fisici/chimici non biologici in altre specie chimiche.

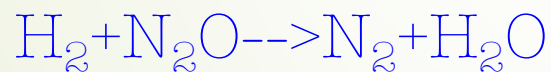
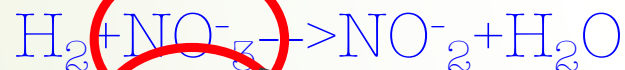
I prodotti risultanti possono non essere prodotti di processi che avvengono in modo naturale nell'atmosfera di un pianeta e quindi possono essere anche indicatori della presenza della vita.

Reazioni Metaboliche di cattura di Energia

METANOGENESI



DENITRIFICAZIONE



Nitrati

Origine: Batteri, Fulmini,
Rifiuti Animali e Umani

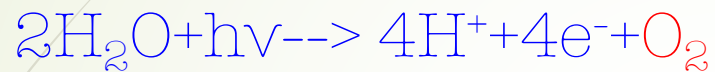
Nitriti

Origine: processi batterici

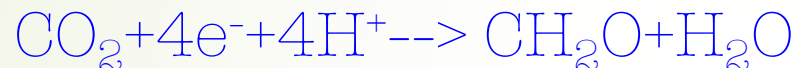
H_2 , CO_2 , N_2 , N_2O , NO , NO_2 , H_2S , SO_2 , and H_2O

Reazioni Metaboliche per Biomasse

Fotosintesi Ossigenica



Generazione di e^-
Produzione di O_2



Costruzione di Biomassa
dalla Sintesi di CH_2O

Fotosintesi Anossigenica



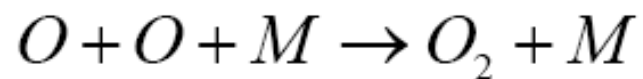
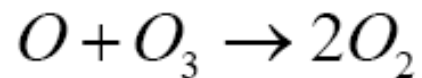
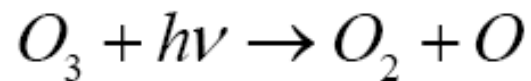
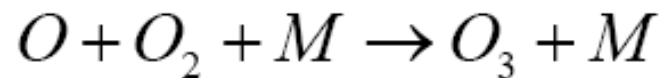
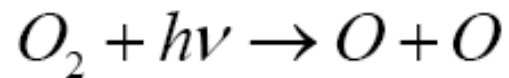
Altre possibilità per
la fotosintesi
anossigenica

Anoxygenic photosynthesis

Input	Photons	Output
H_2S	$h\nu$	S
$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	$h\nu$	H_2SO_4
S	$h\nu$	H_2SO_4
H_2	$h\nu$	H_2O
Fe^{2+}	$h\nu$	Fe^{3+}
NO_2^-	$h\nu$	NO_3^-

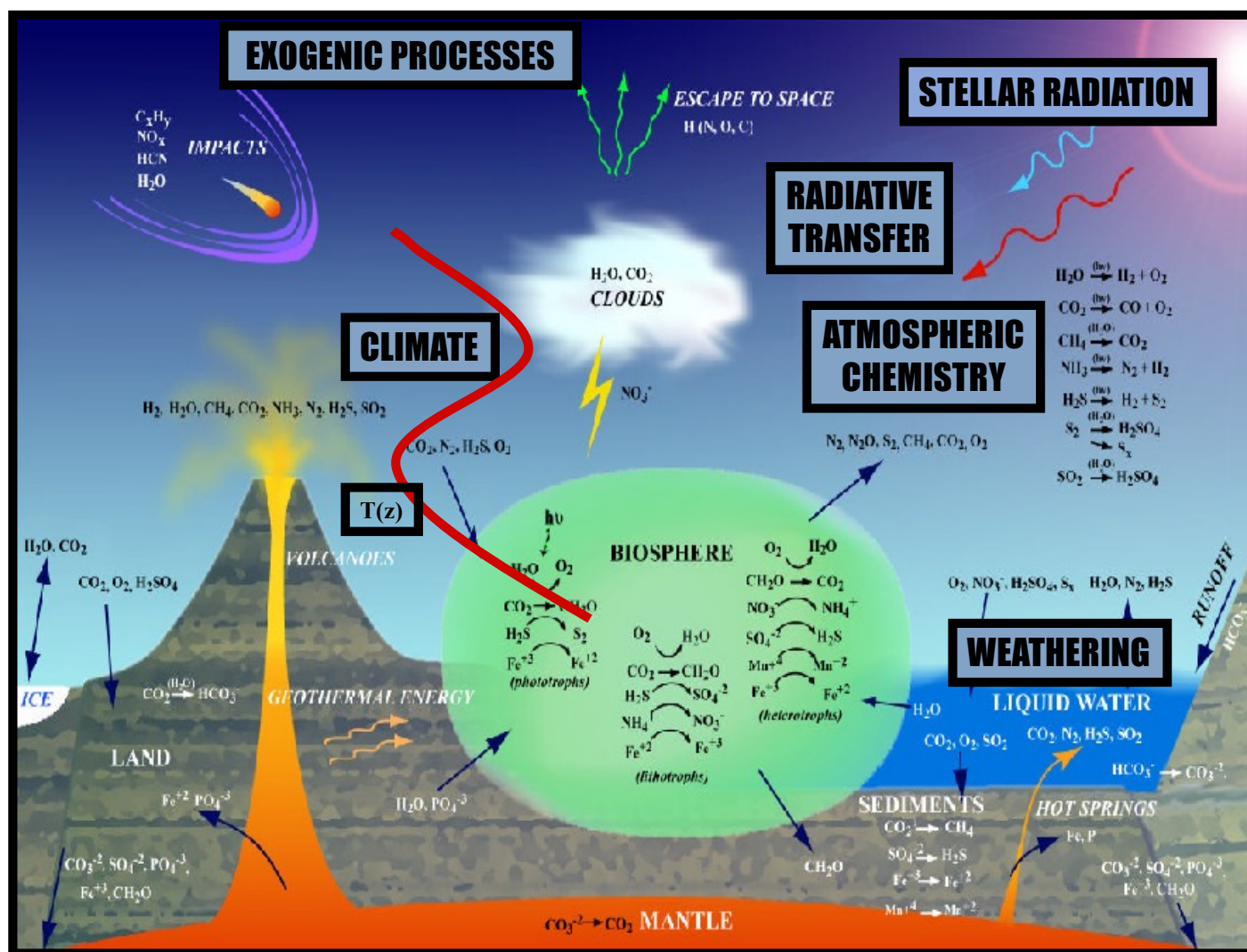
Ozono

...fortunatamente la presenza dell'Ossigeno è rilevata da un forte assorbimento dovuto all'Ozono prima di 10 μm ... (Angel et al. 1986 Nature, 322, 341)



Produzione di Ozono negli strati alti dell'atmosfera:
Chapman Cycle(1930)

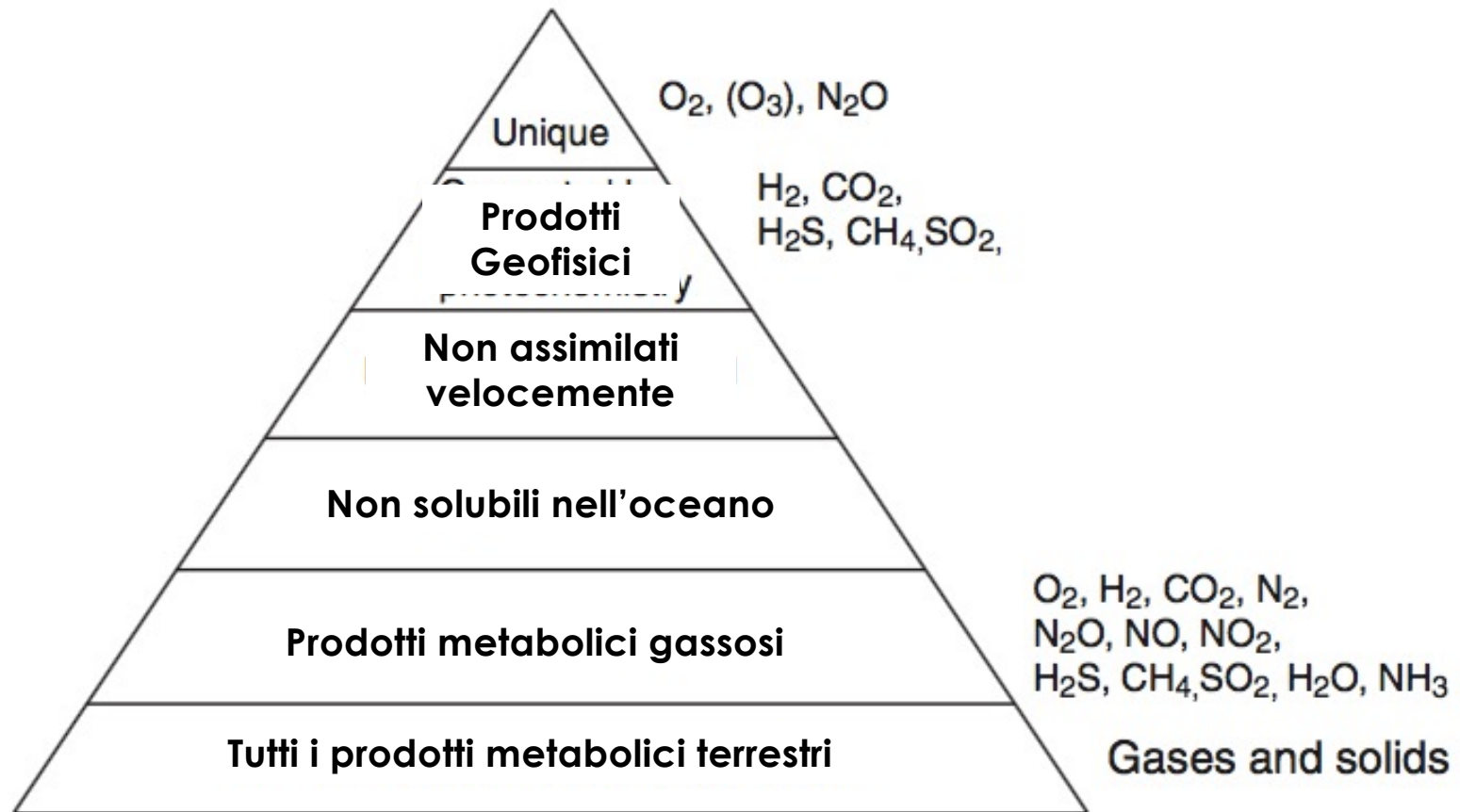
La Produzione di Ozono dipende dalla quantità di ossigeno.
Marcatore non lineare di ossigeno biologico



M. Allen, K. Nealson, V. Meadows

A planet's spectrum is the product of a complex interplay of environmental components and processes.

La PIRAMIDE dei Prodotti Metabolici



Seager et al 2012

Reazioni Metaboliche Secondarie

		Flux from biological sources (Tg yr ⁻¹)	Flux from geological sources (Tg yr ⁻¹)
Compound			
Carbon Disulfide	CS ₂	0.3–3	0.005–0.1
	DMS	15–60	1
Hydrogen Sulfide	H ₂ S	3–30	1
	OCS	0.3–3	0.006–0.1

Carbon Disulfide

Hydrogen Sulfide

Carbonyl Sulfide

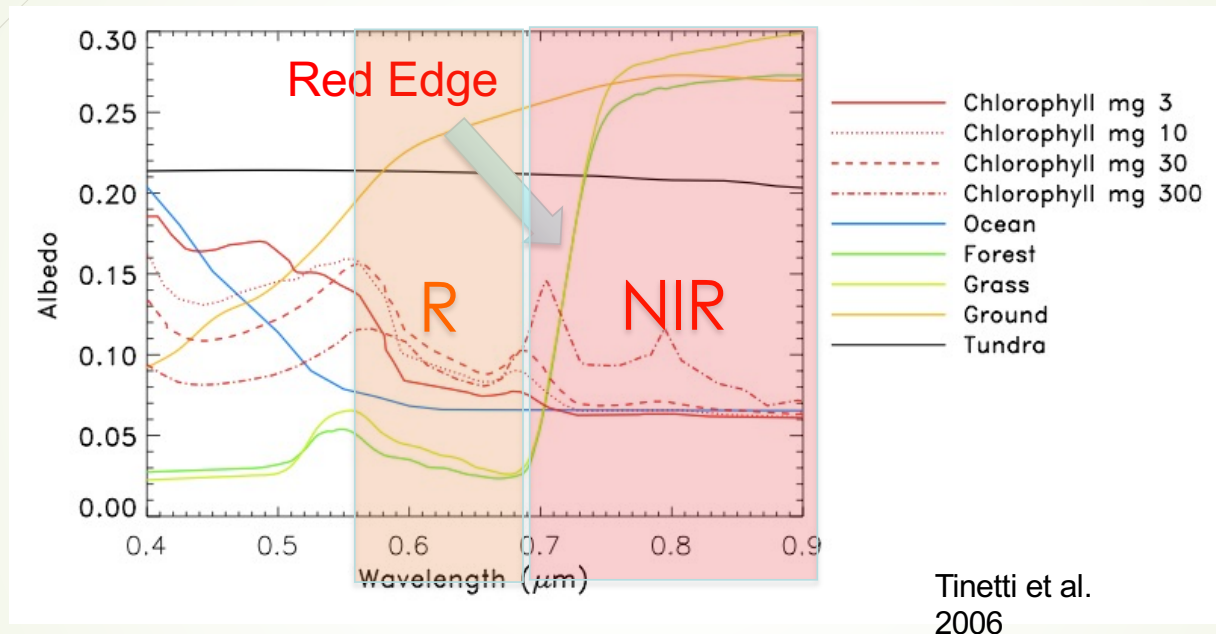
Produced by Breakdown of Bacteria, fungi and plants

Dymethyl Sulfide

Produced by marine Organisms (phytoplankton). Largest biological source of S

Seager et al 2012

Riflettanza Superficiale



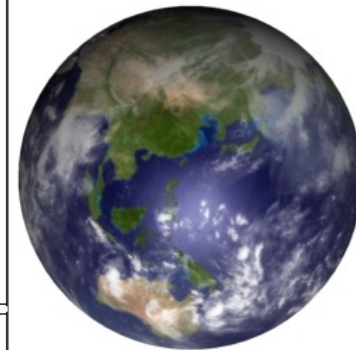
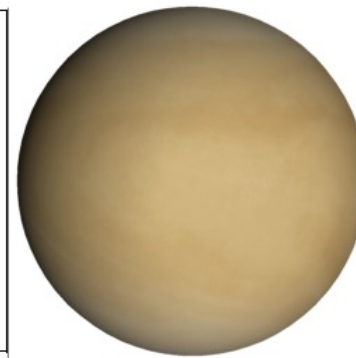
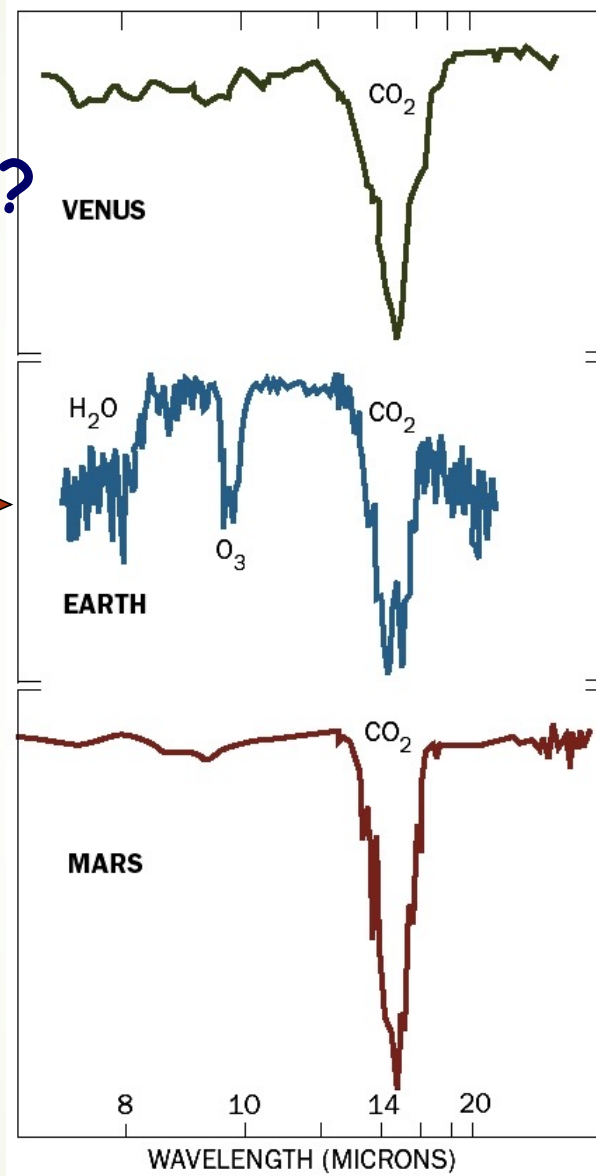
$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$



Biosignature	Esempi	pro	cons
Gas Inorganici	O ₂ ; O ₃ ; CH ₄	Osservabili	Anche prodotti abiotici
Gas Organici	DMS, isoprene etc.	Prodotti solo da esseri viventi	Piccole Concentrazioni
Fotopigmenti	Clorofille	Unico	Difficoltà di rilevazione e soggetti ad evoluzione

Cosa cercare
nell'infrarosso?

TOMBOLA!





COME?

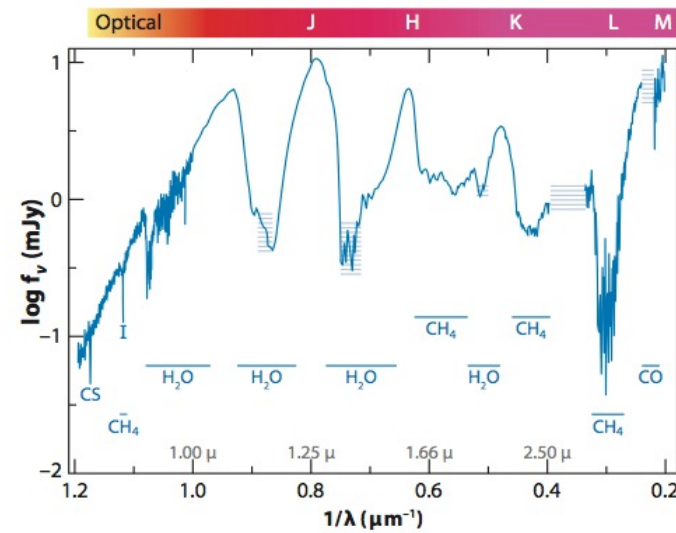
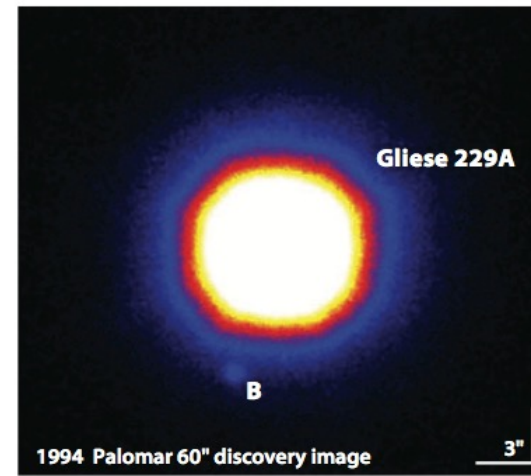
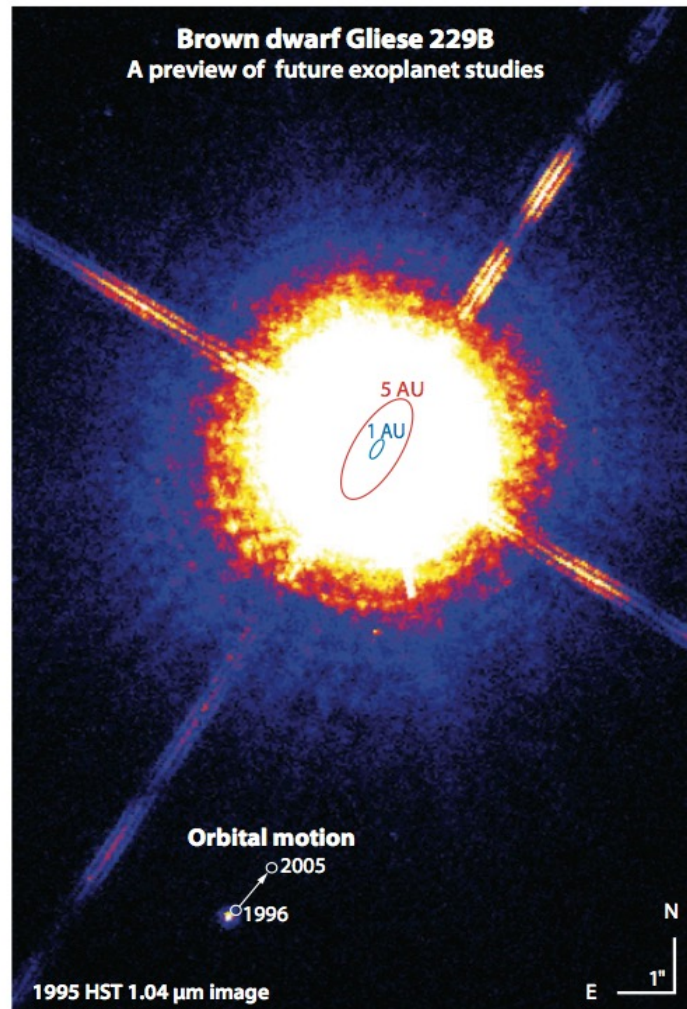
Esplorazione sul Posto



RT

io

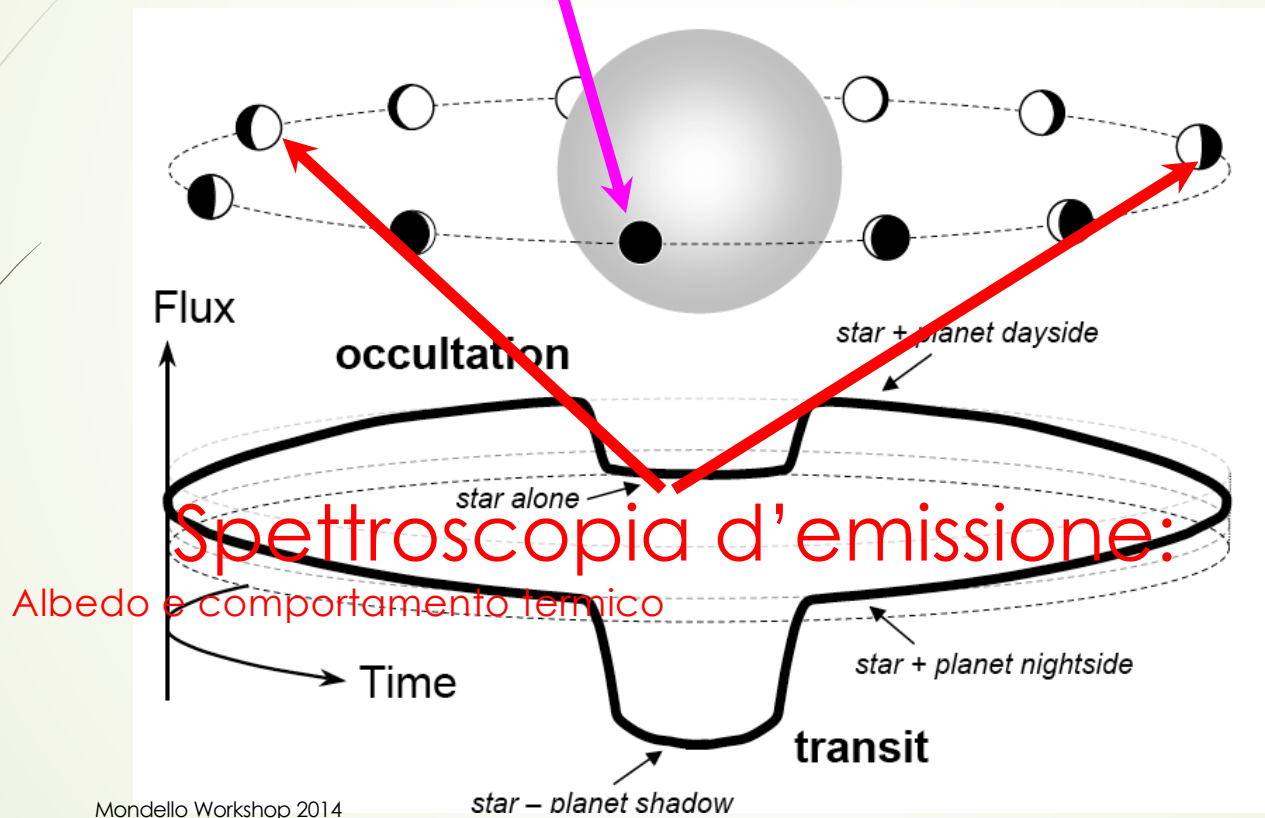
Immagine Diretta dei pianeti extrasolari

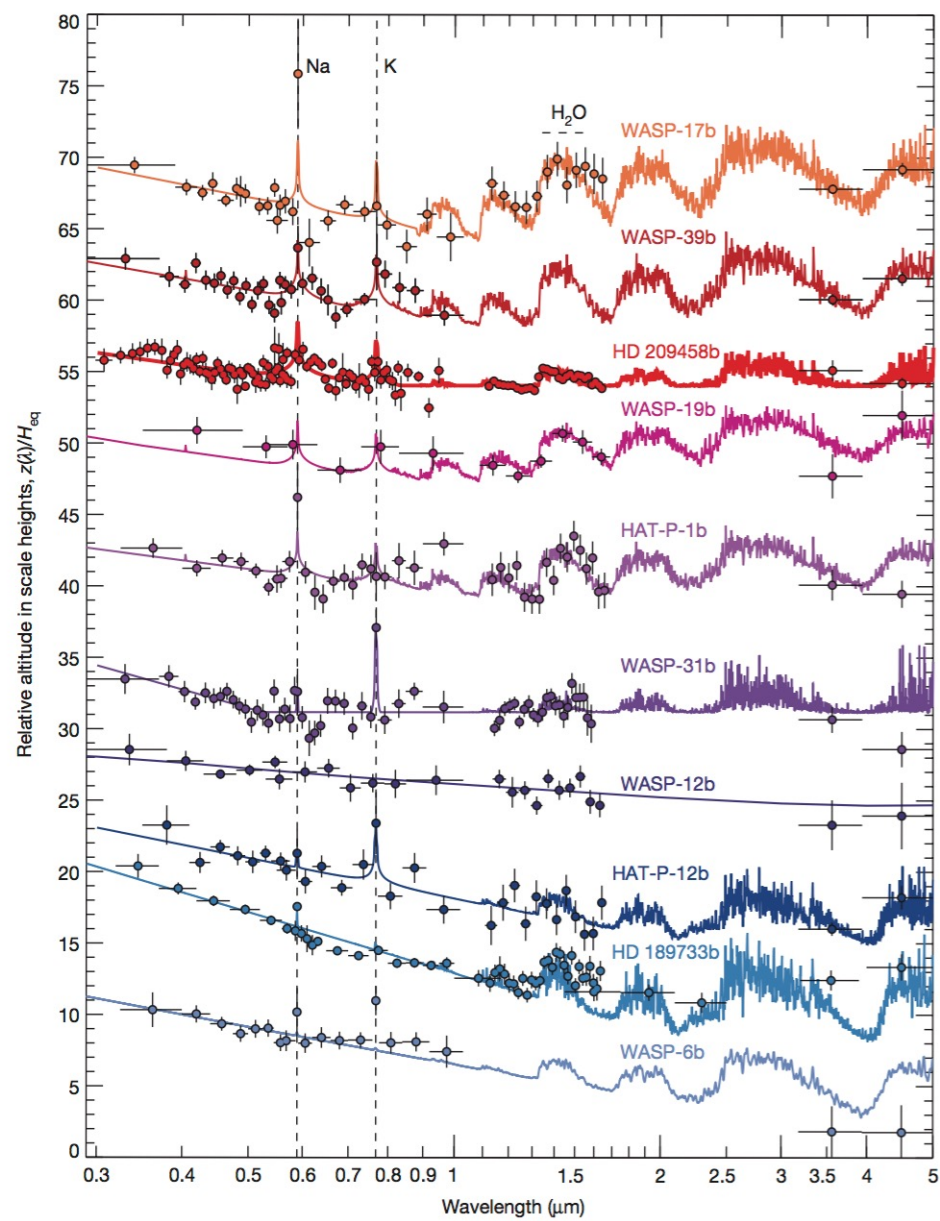
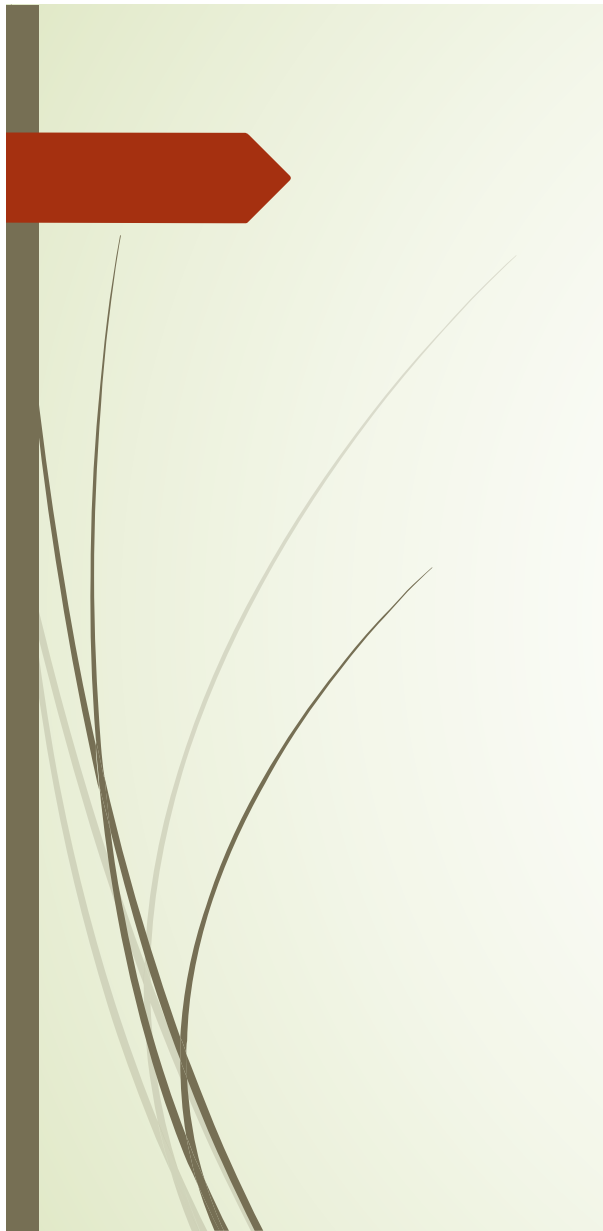


Spettroscopia ...

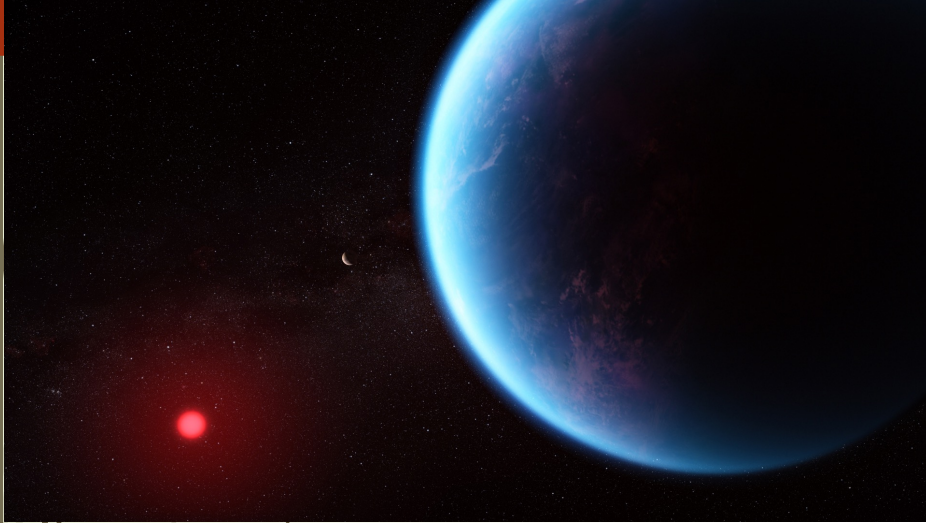
Spettroscopia in Trasmissione:

Composizione Atmosferica





K2-18 b A $8.5 M_{\oplus}$ Super-Earth



Madhusudhan + 2023, ApJL, 956,L13

La stella:

Sp \rightarrow M2.5V

$T_{\text{eff}} = 3457.0 \pm 39$ K

$M = 0.36 M_{\text{SUN}}$

$R = 0.41 \pm 0.4 R_{\text{SUN}}$

Sistema a due Pianeti: K2-18 b and K2-18c

K2-18 b è un mondo Iceiano:

$M = 0.0280 \pm 0.005 M_J$

$R = 0.21 \pm 0.02 R_J$

$a = 0.1429 \pm 0.0065 \text{ au}$

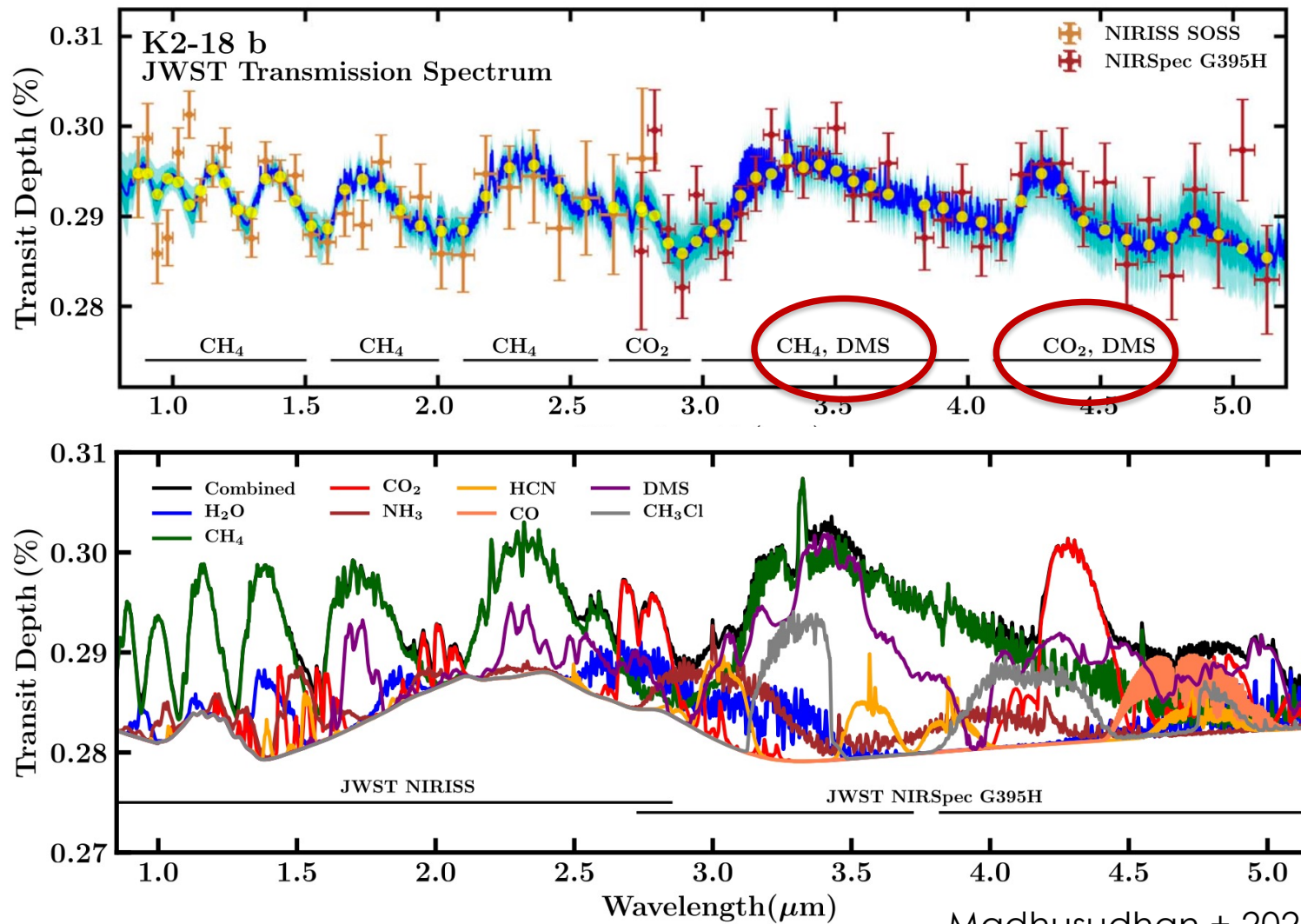
K2-18 c

$M = 0.02363 \pm 0.005 M_J$

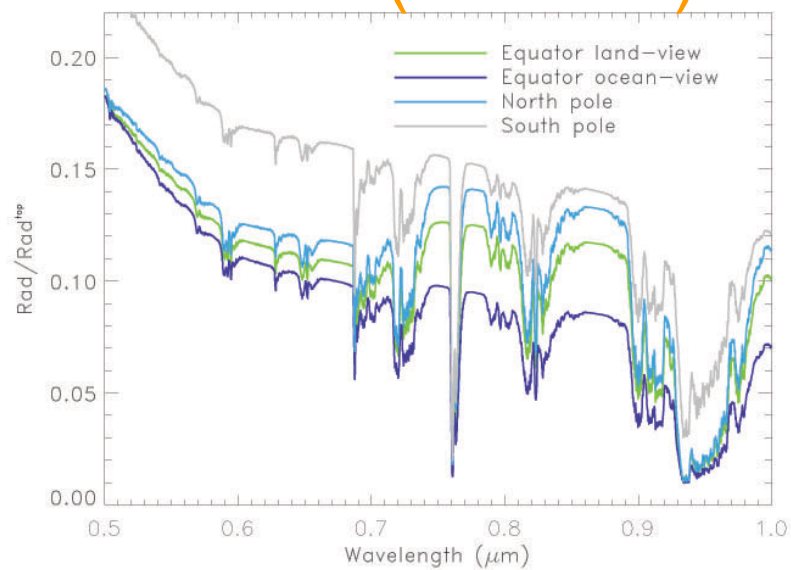
$R = 0.21 \pm 0.02 R_J$

$a = 0.06 \pm 0.003 \text{ au}$

K2-18 b: Spettri JWST



Clear(summer)



Cloudy(summer)

