

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 la 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

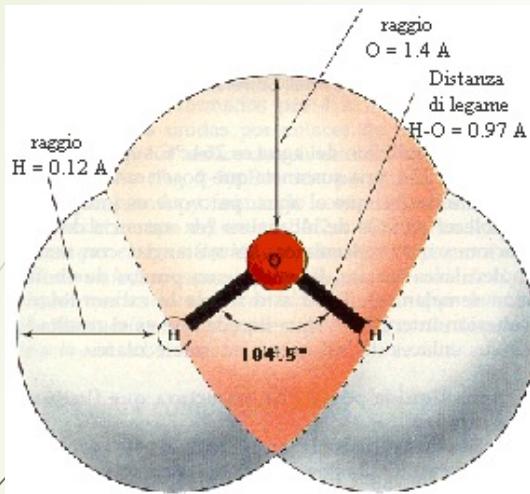
La chimica basata sul Carbonio...

► Si ossida facilmente: CO_2

Si riduce facilmente: CH_4

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

Perché l'acqua: caratteristiche



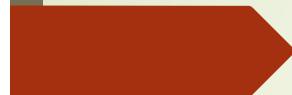
$\epsilon=80$ Permette dissociazione dei sali

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



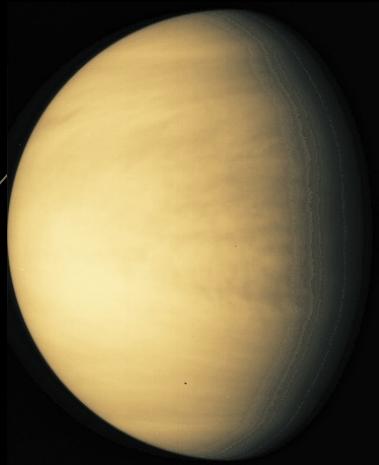
Messaggio Importante

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

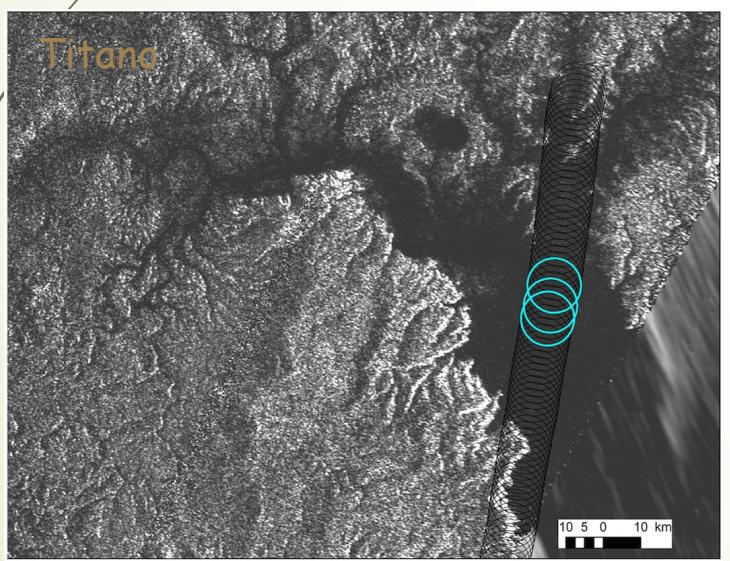
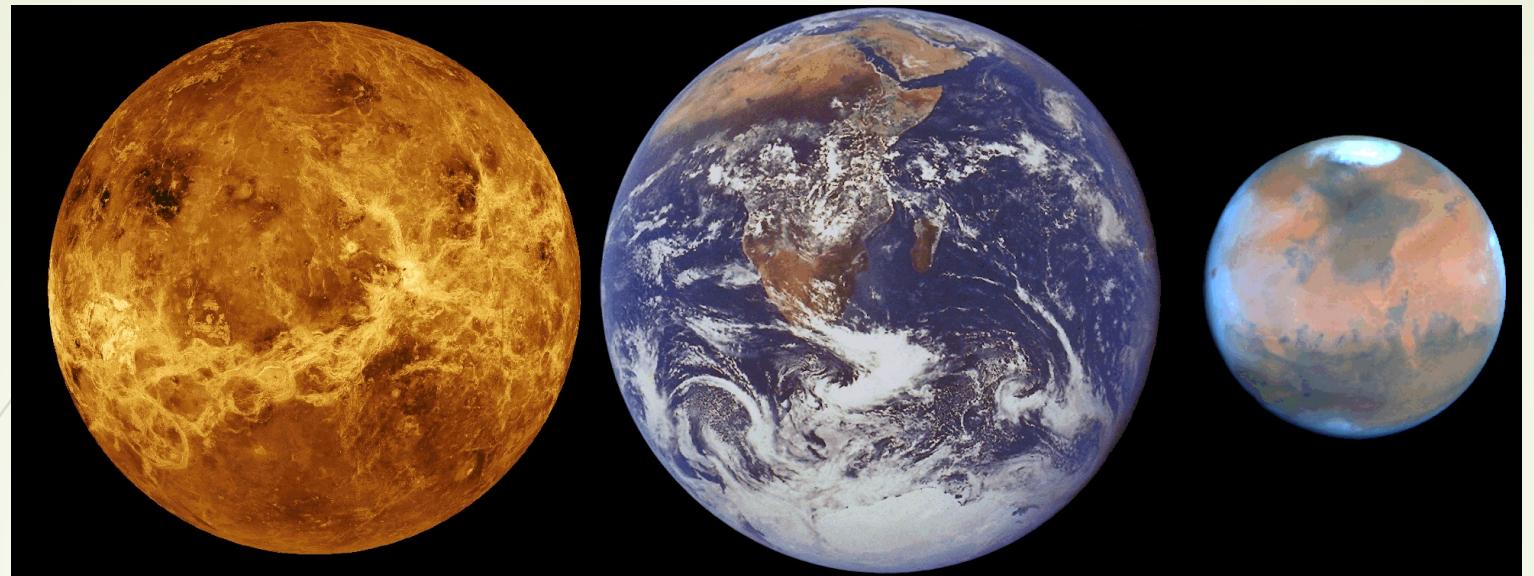
*If we never search the chance of
success is zero!*

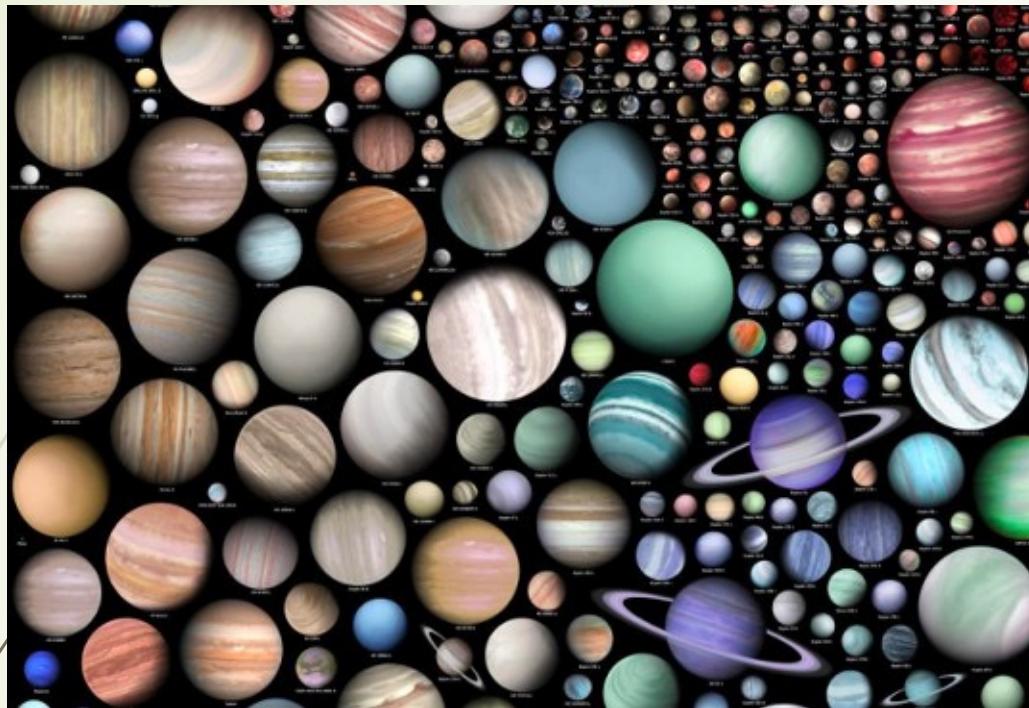
(Cocconi & Morrison 1959)





DOVE?





I pianeti
extrasolari
orbitano attorno
a stelle diverse
dal Sole

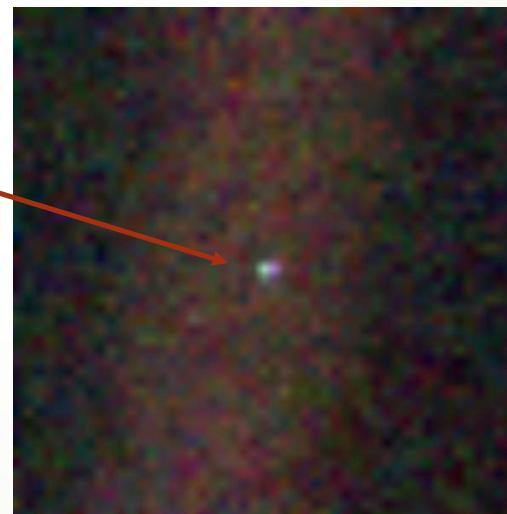
Ad aprile 2025 i pianeti extrasolari sono:

~7450

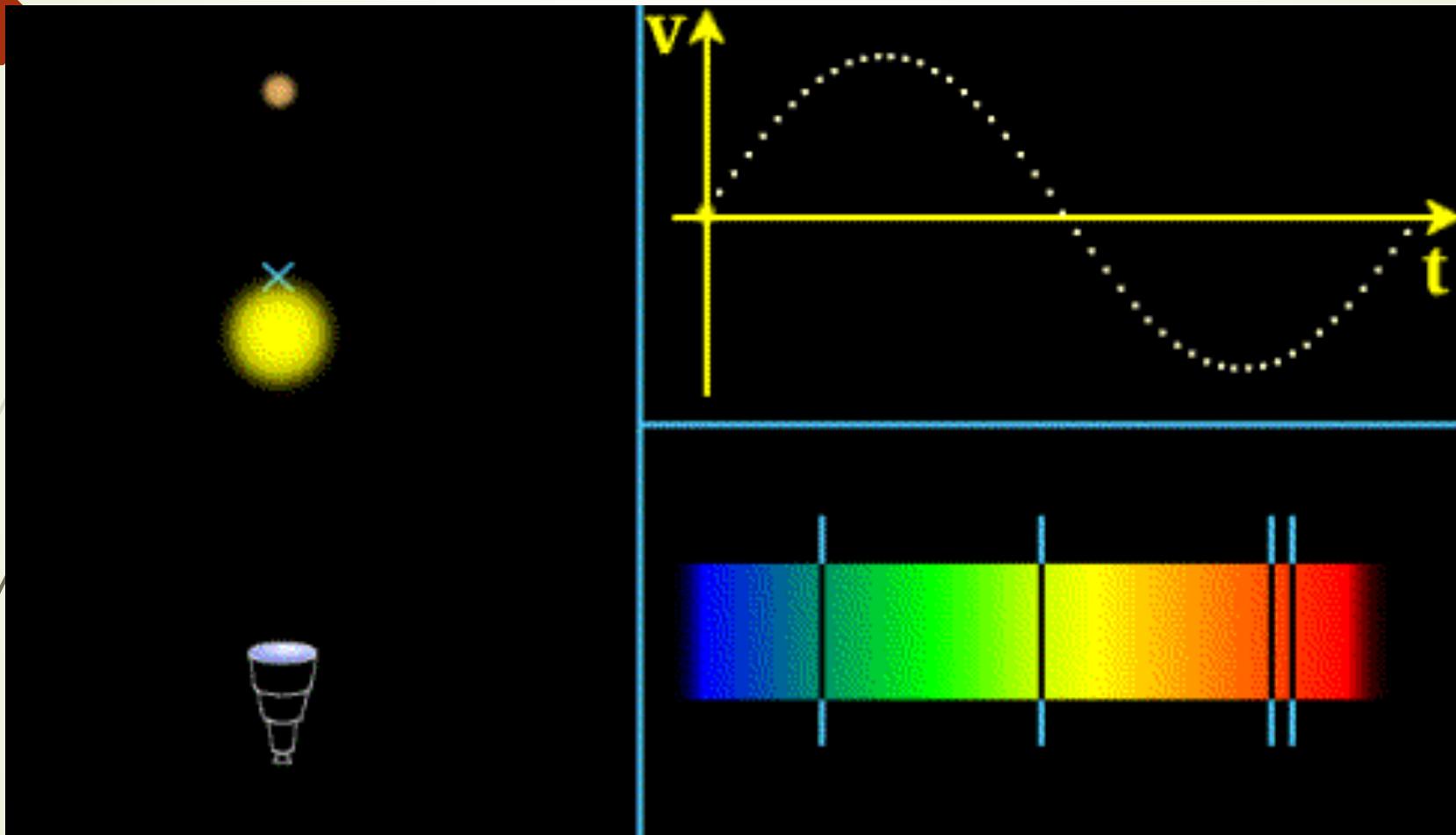


The Pale Blue Dot

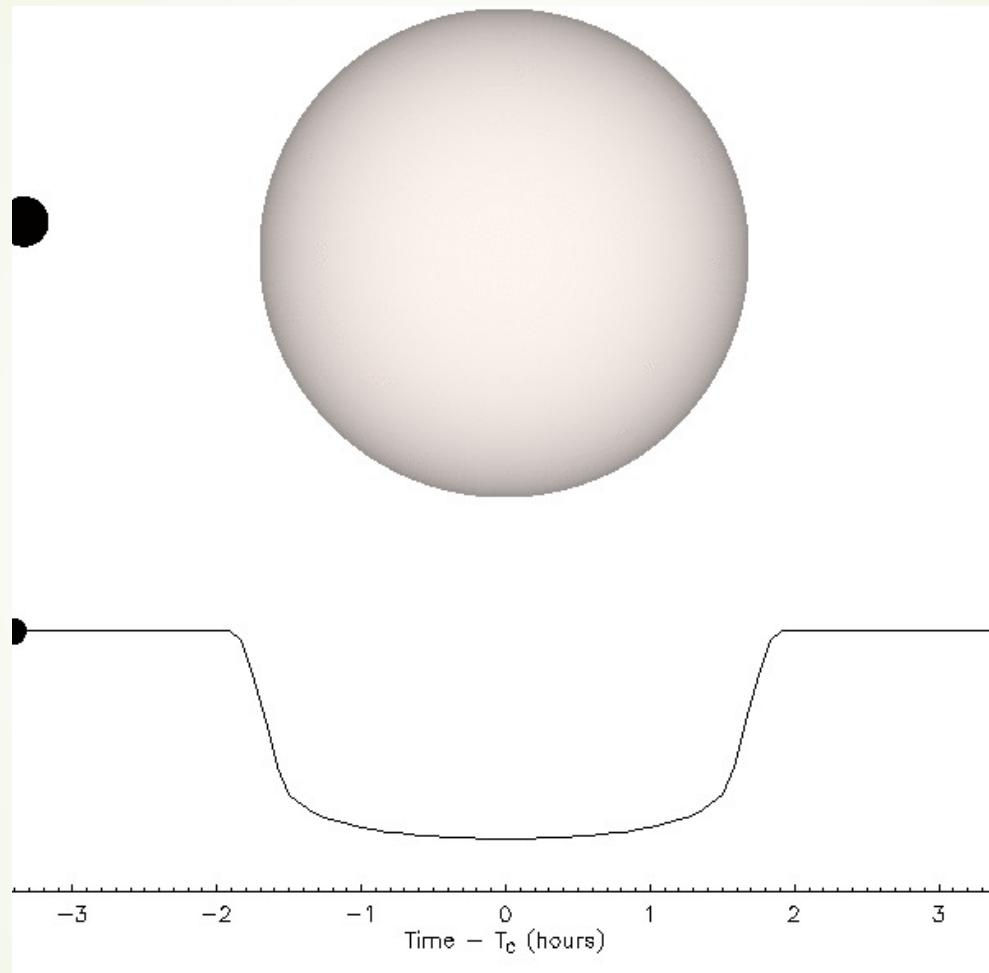
Immagine del Voyager
a 4 miliardi di km di distanza

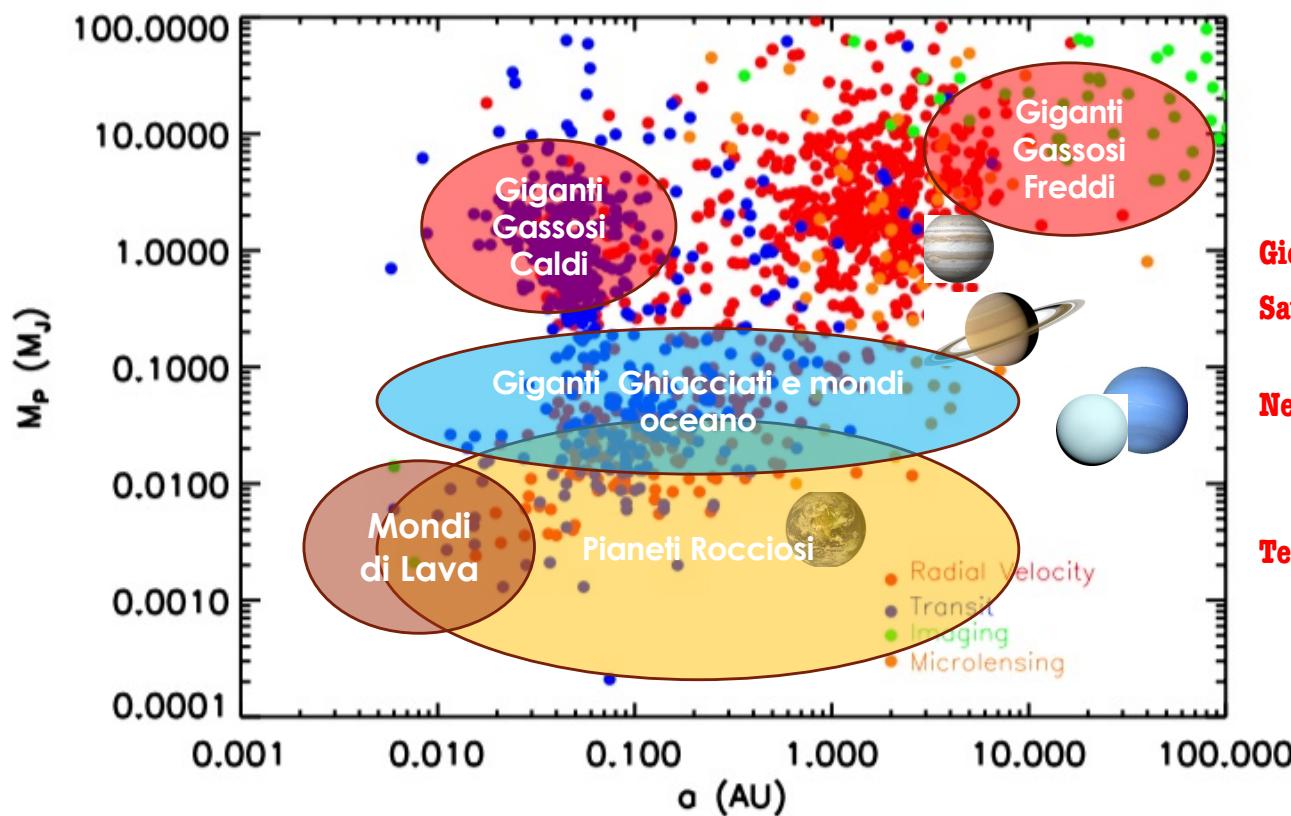


Tecnica delle Velocità Radiali



Transiti

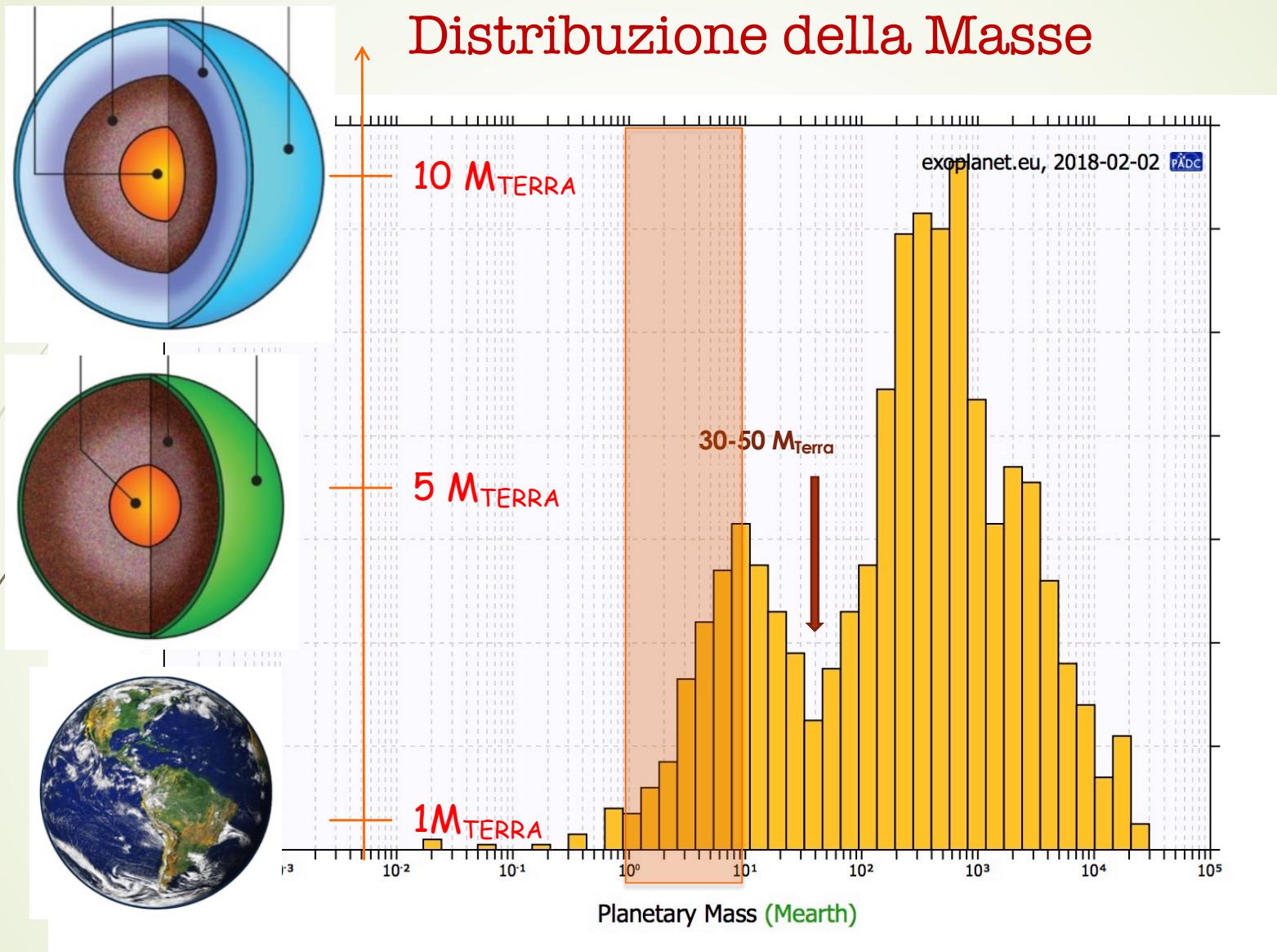




LA REALTA' E' PIU' STRANA DELLA
FANTASIA

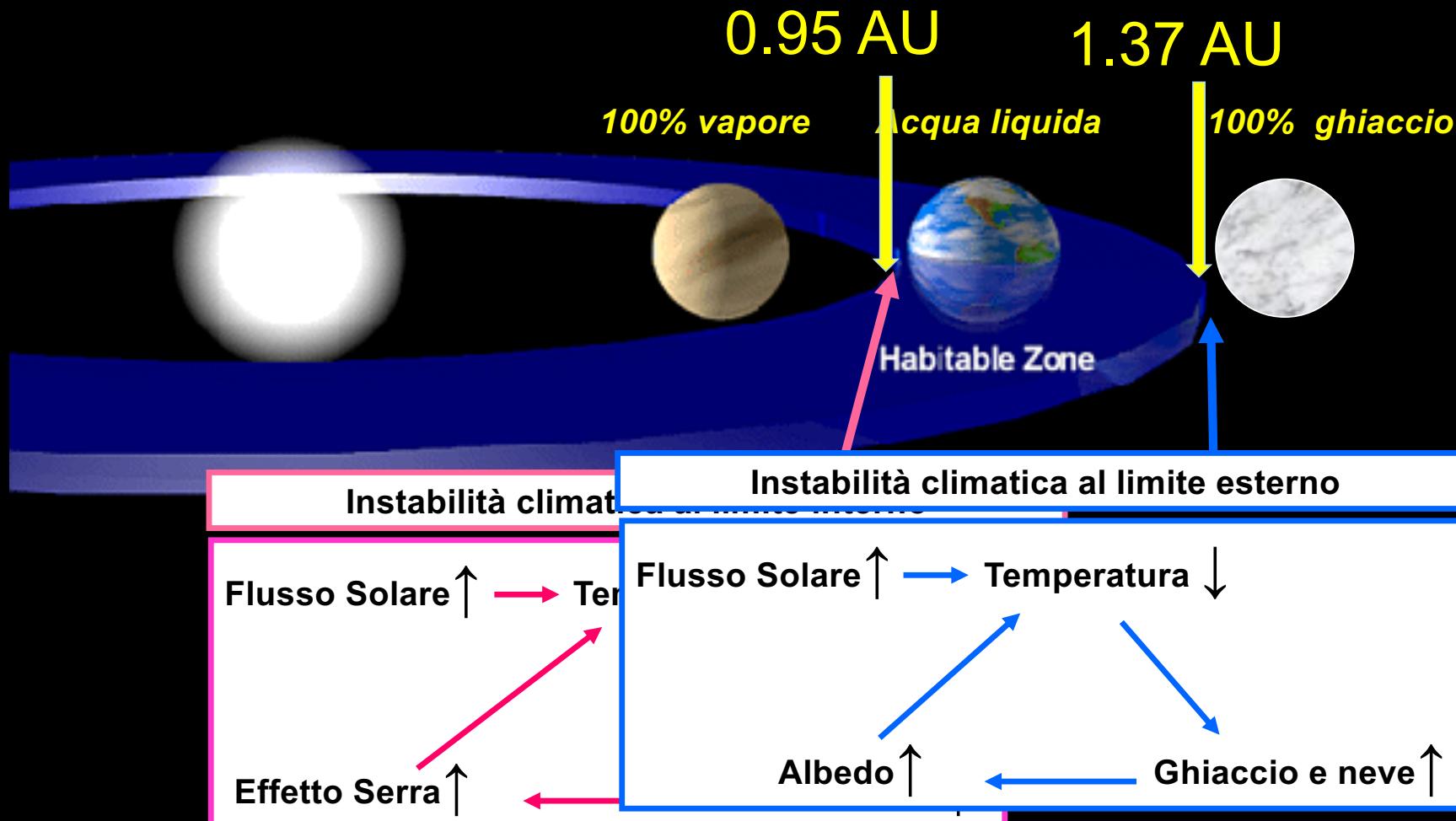


Distribuzione della Masse

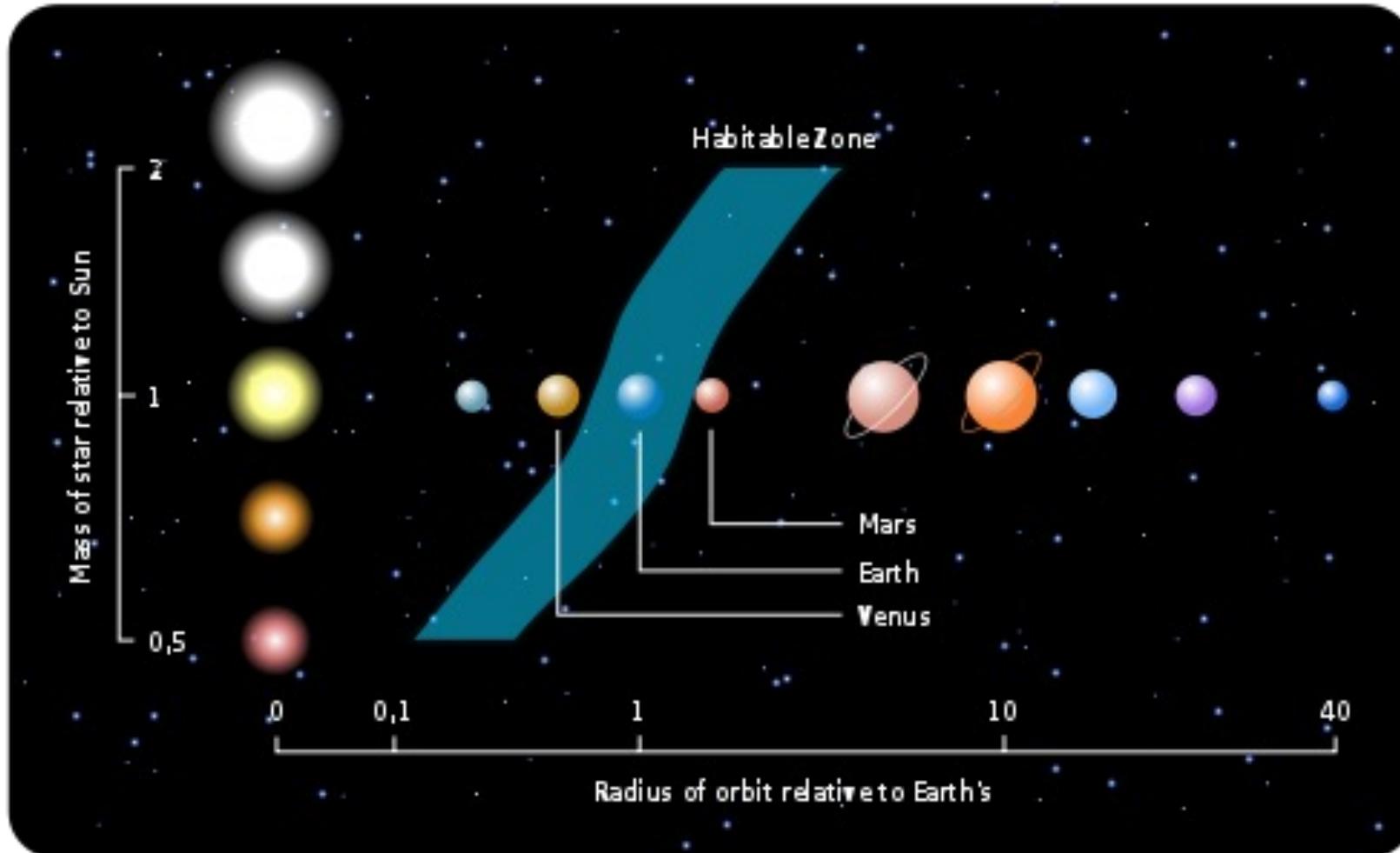


La Zona Abitabile

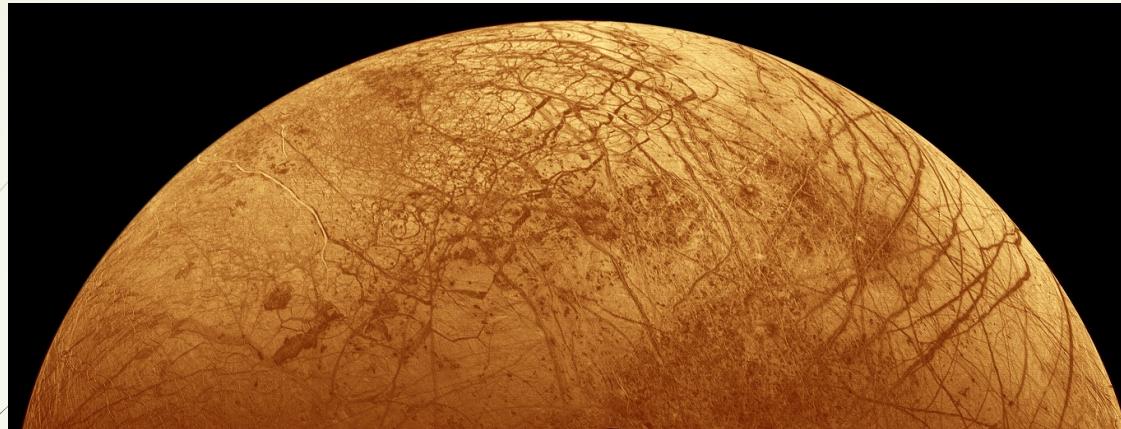
(Kasting et al. 1993)



HZ per le altre stelle



Europa: evidenze di un oceano



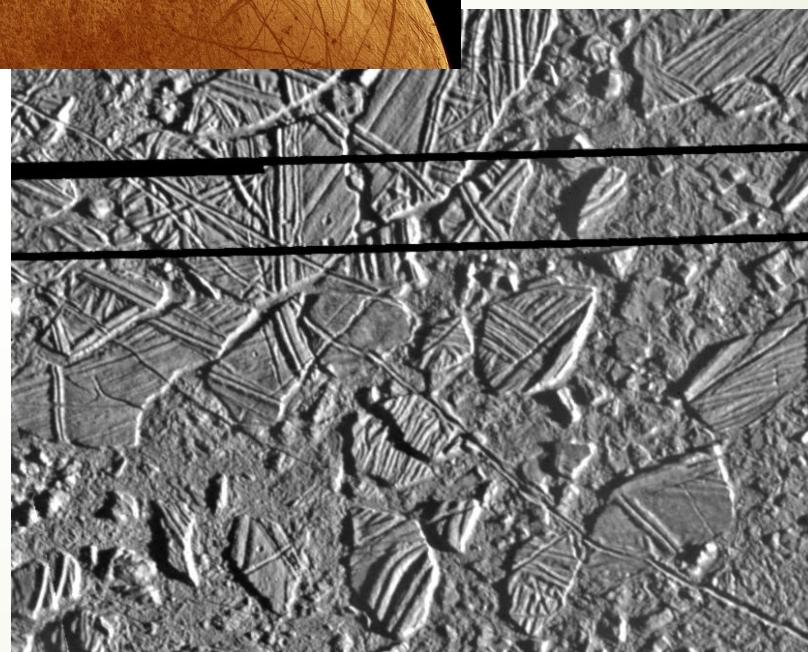
Litosfera Ghiacciata $T_{sup}= -143$ C

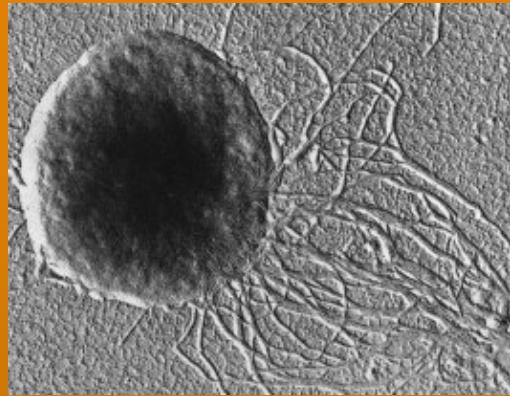
Superficie poco craterizzata

Strutture somiglianti al Pack artico

Possibile confronto con laghi antartici

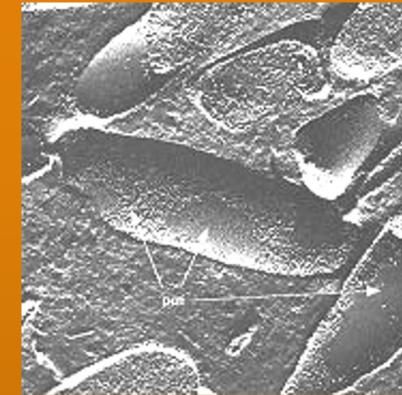
(Foto sonda Galileo)





Metanococcus

CO₂, H₂, T 50° -86°

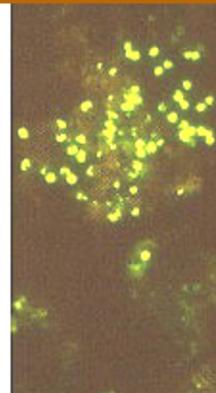


Alobacterium

5M/Litro di NaCl

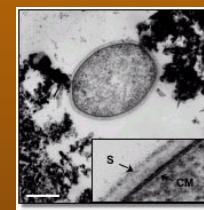
- **ESTREMOFILI**

Archebatteri



Sulfolobus

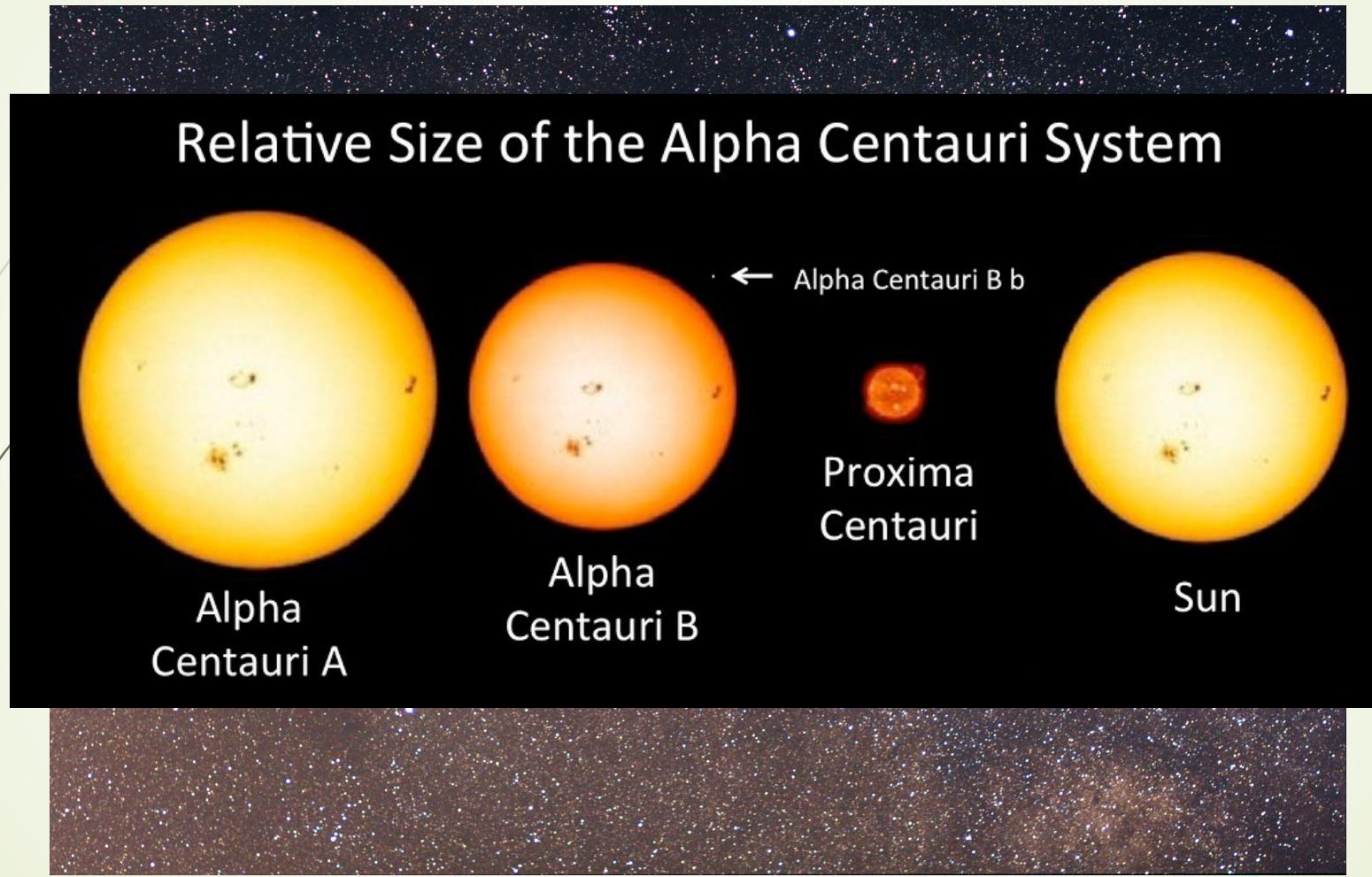
Ph 1-5, T 65° -90°



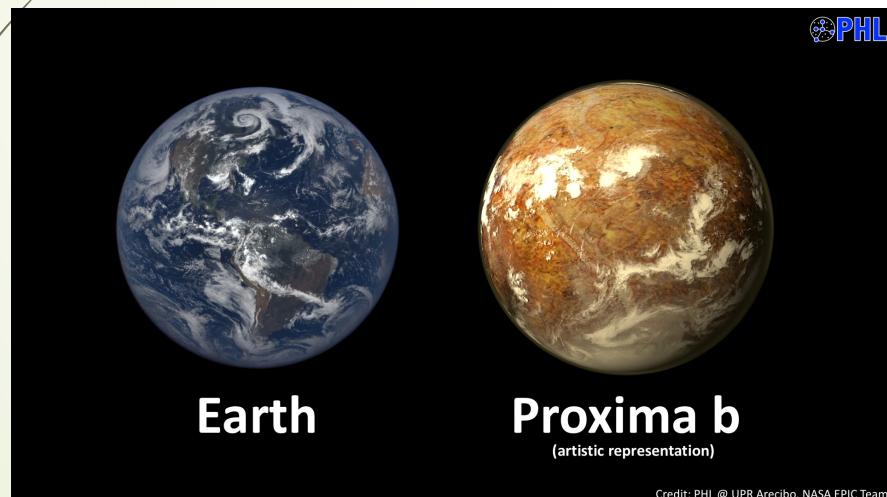
Strain-121

T 121° (14/8/2003)

Il sistema Alfa Centauri

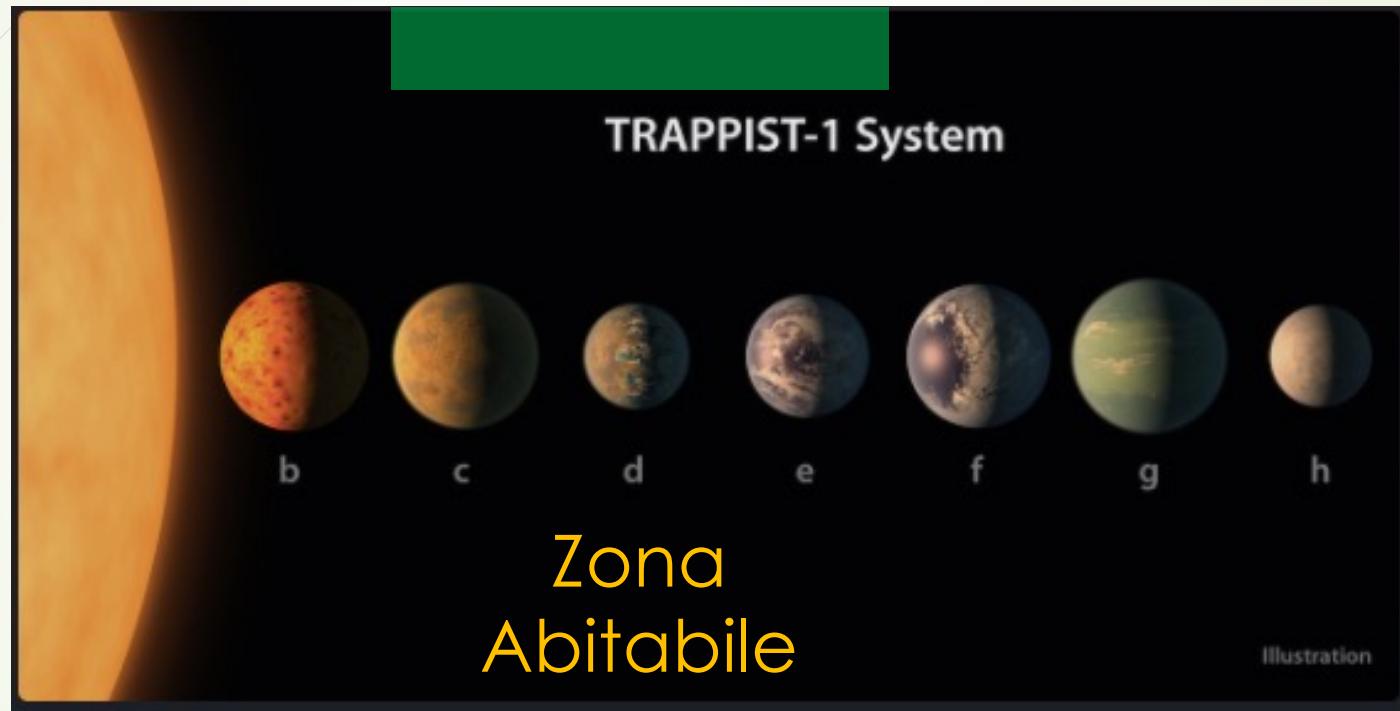


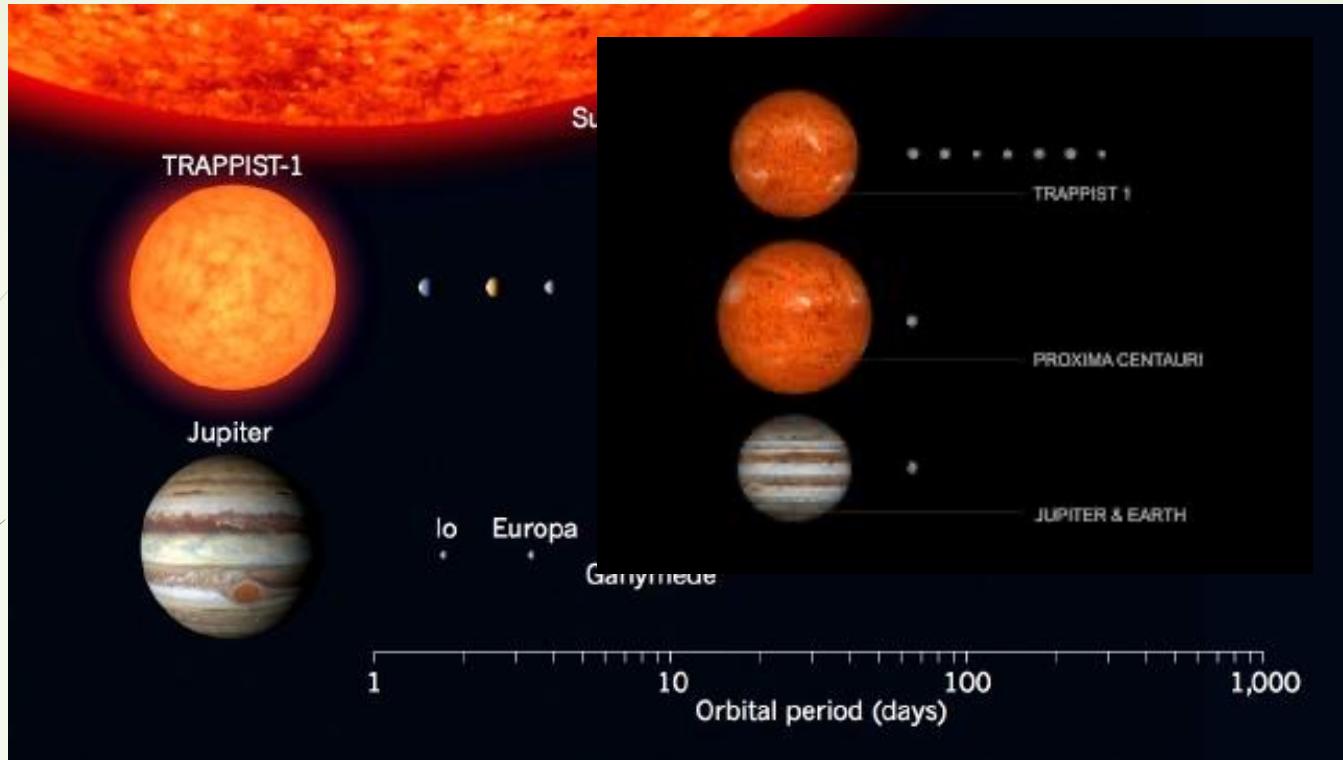
Proxima Centauri b



$D=1.295 \text{ pc} = 4.22 \text{ a.l.}$
 $S_P=M5.5$
 $T_{\text{eff}}=3050 \text{ K}$

$M_P = 1.27 M_{\text{terra}}$
 $R_P = 1.1 R_{\text{terra}}$
 $P = 11.186 \text{ d}$
 $a = 0.0485 \text{ u.a.}$



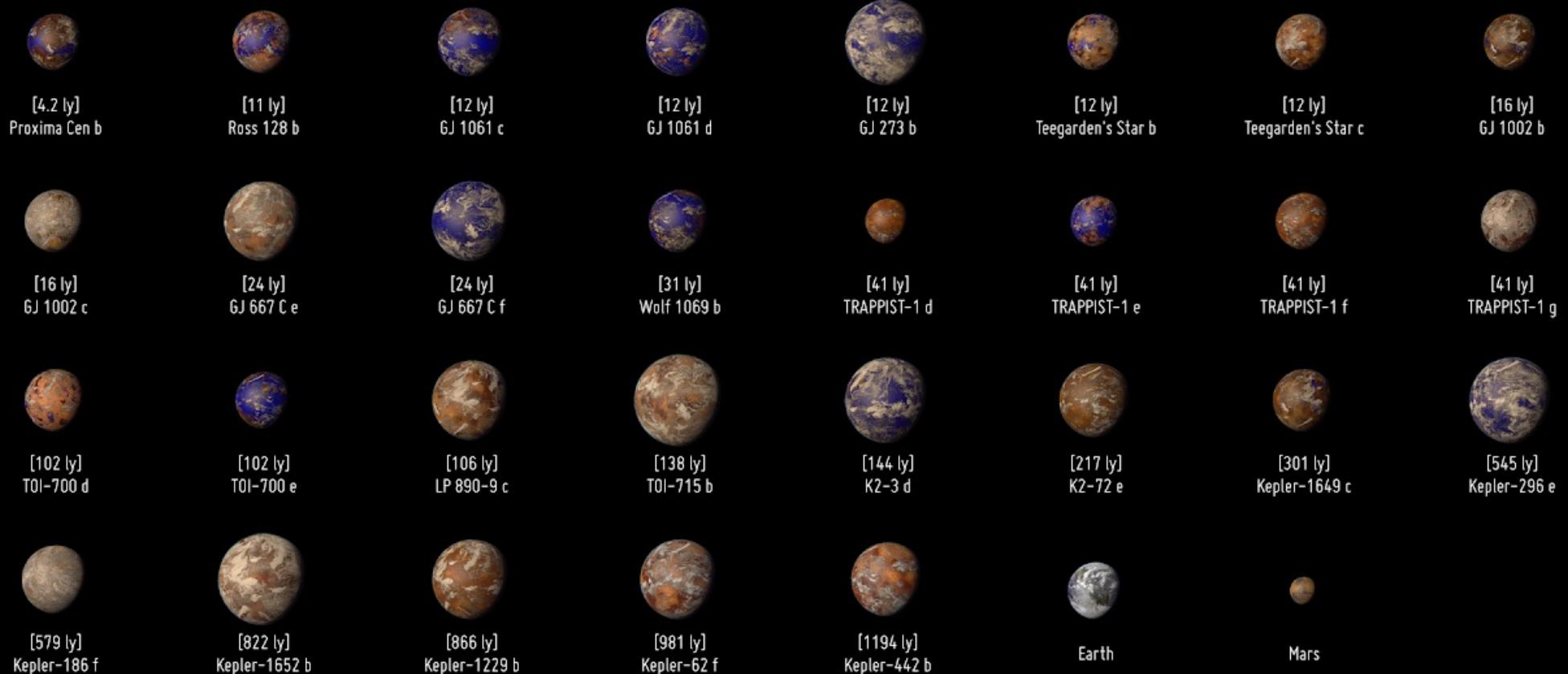


$$D = 12.1 \text{ pc} = 39.45 \text{ a.l.}$$

$$S_P = M8$$

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

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 Arecibo (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

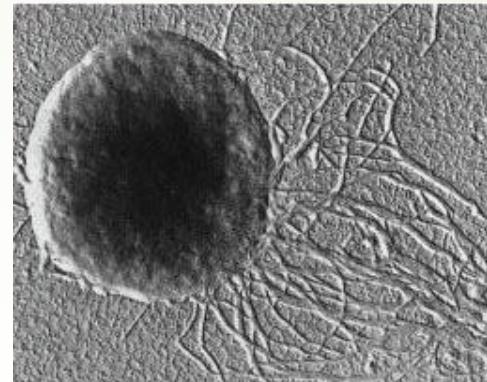
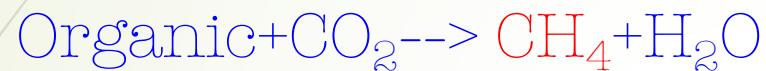


I gas che costituiscono le Biosignature possono essere trasformati da processi fisici/chimici non biologici in altre specie chimiche.

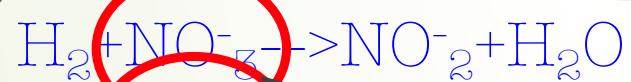
I prodotti risultanti possono non essere prodotti di processi che avvengono in modo naturale nell'atmosfera di un pianeta e quindi possono essere anche indicatori della presenza della vita.

Reazioni Metaboliche di cattura di Energia

METANOGENESI



DENITRIFICAZIONE



Nitrati

Origine: Batteri, Fulmini, Rifiuti Animali e Umani

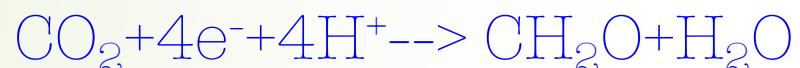
Nitriti

Origine: processi batterici

$\text{H}_2, \text{CO}_2, \text{N}_2, \text{N}_2\text{O}, \text{NO}, \text{NO}_2, \text{H}_2\text{S}, \text{SO}_2, \text{and H}_2\text{O}$

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

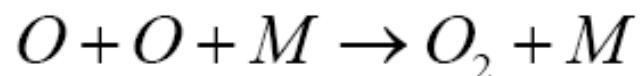
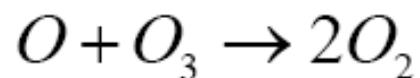
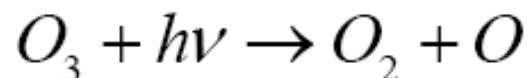
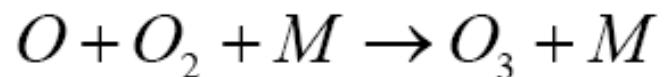
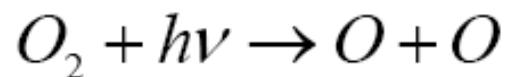
Anoxygenic photosynthesis

<i>Input</i>	<i>Photons</i>	<i>Output</i>
H_2S	$h\nu$	$\rightarrow \text{S}$
S_2O_3^-	$h\nu$	$\rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$
S	$h\nu$	$\rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$
H_2	$h\nu$	$\rightarrow \text{H}_2\text{O}$
Fe^{2+}	$h\nu$	$\rightarrow \text{Fe}^{3+}$
NO_2^-	$h\nu$	$\rightarrow \text{NO}_3^-$



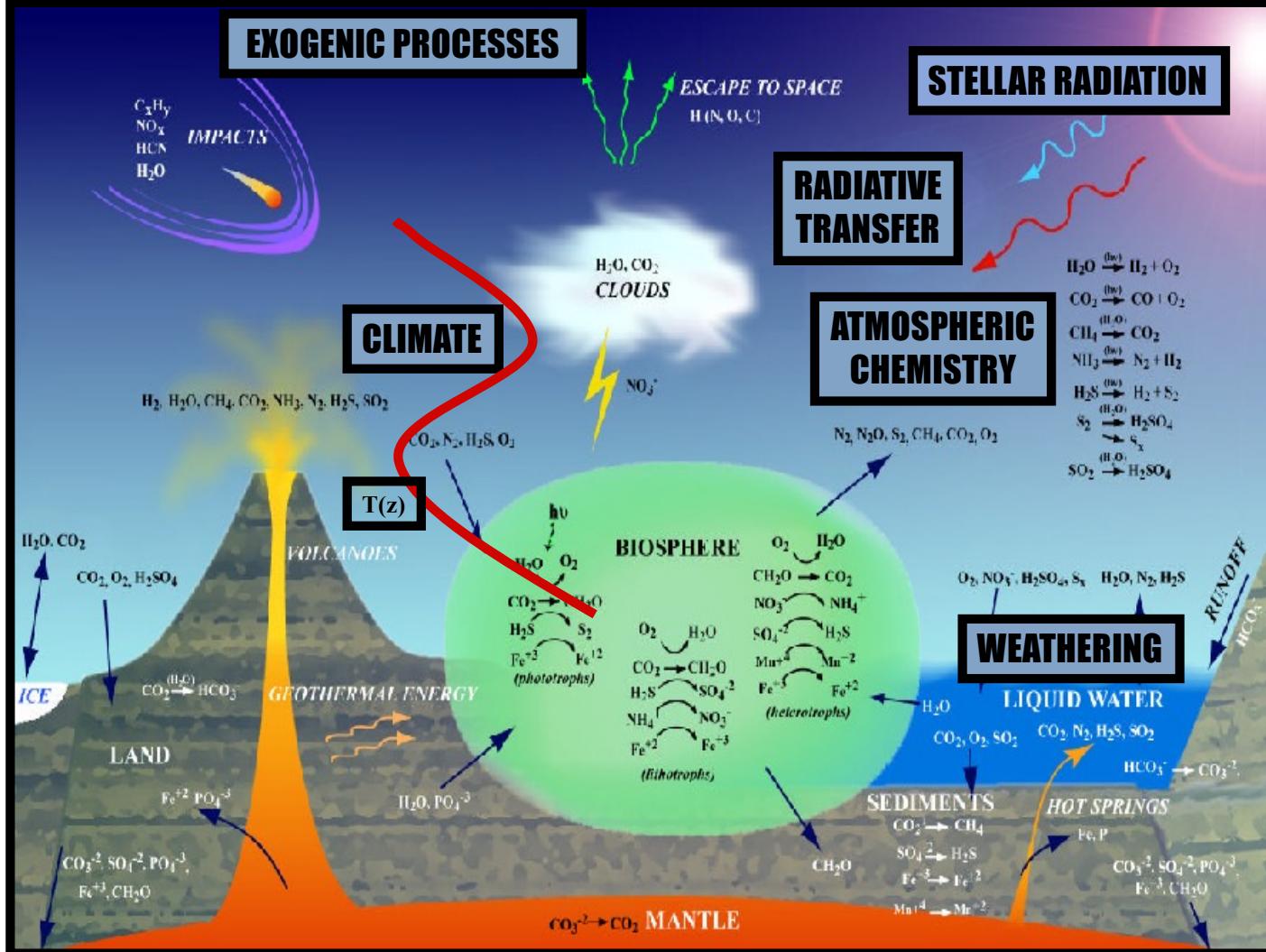
Ozono

...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)

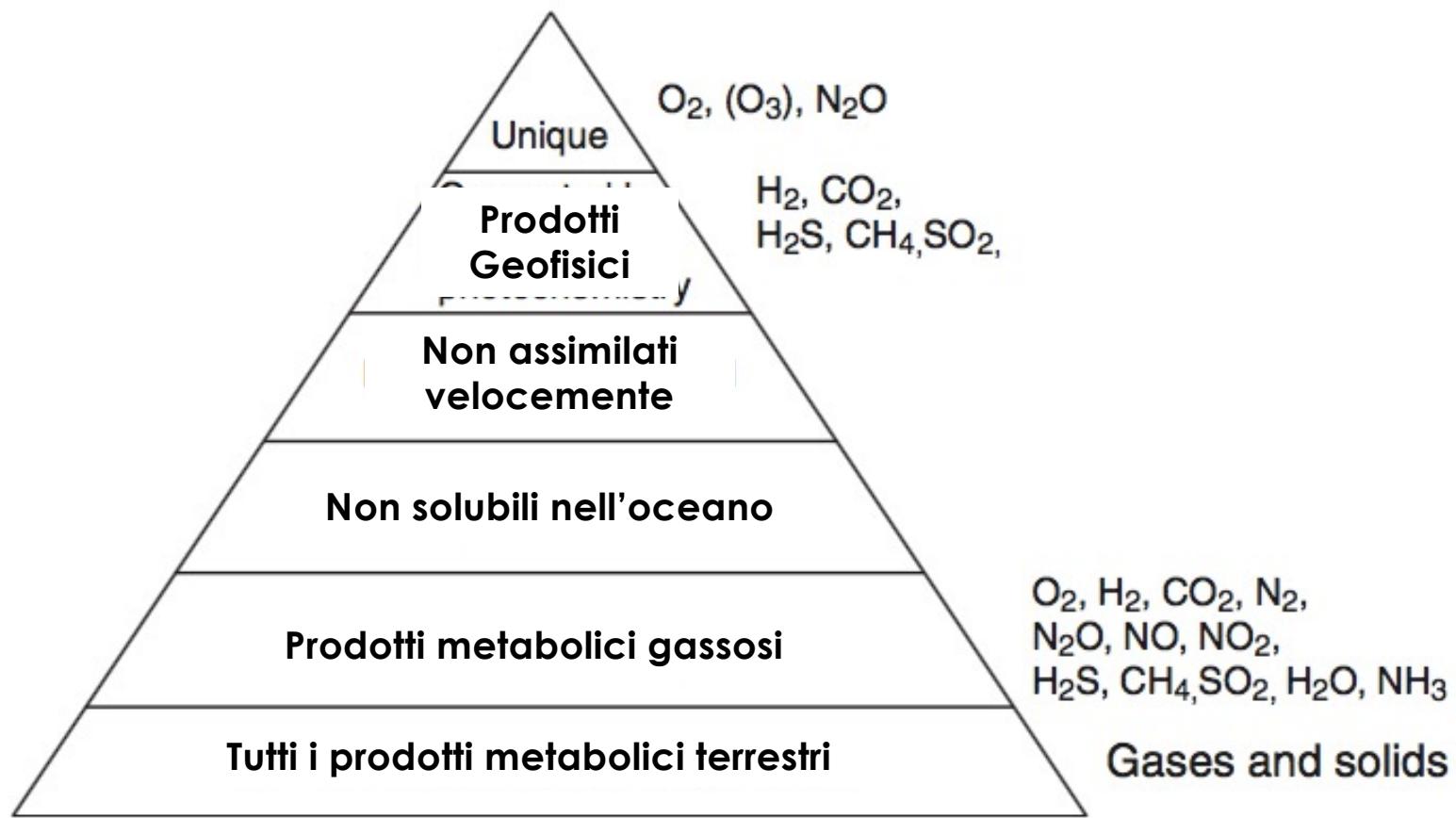
La Produzione di Ozono dipende dalla quantità di ossigeno.
Marcatore non lineare di ossigeno biologico



M. Allen, K. Nealson, V. Meadows

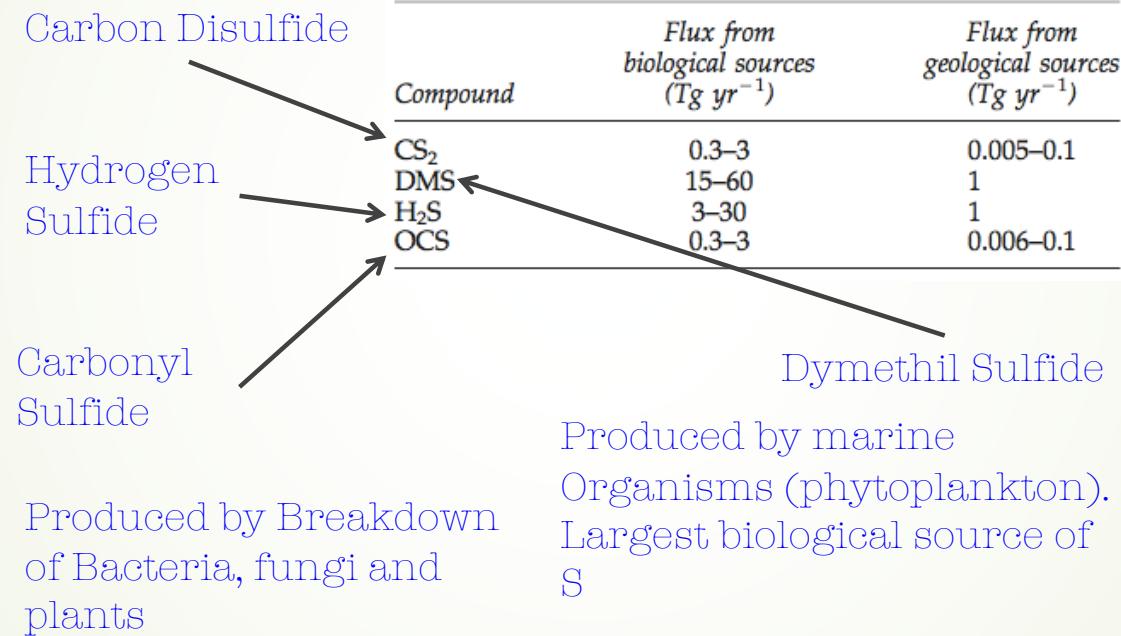
A planet's spectrum is the product of a complex interplay of environmental components and processes.

La PIRAMIDE dei Prodotti Metabolici



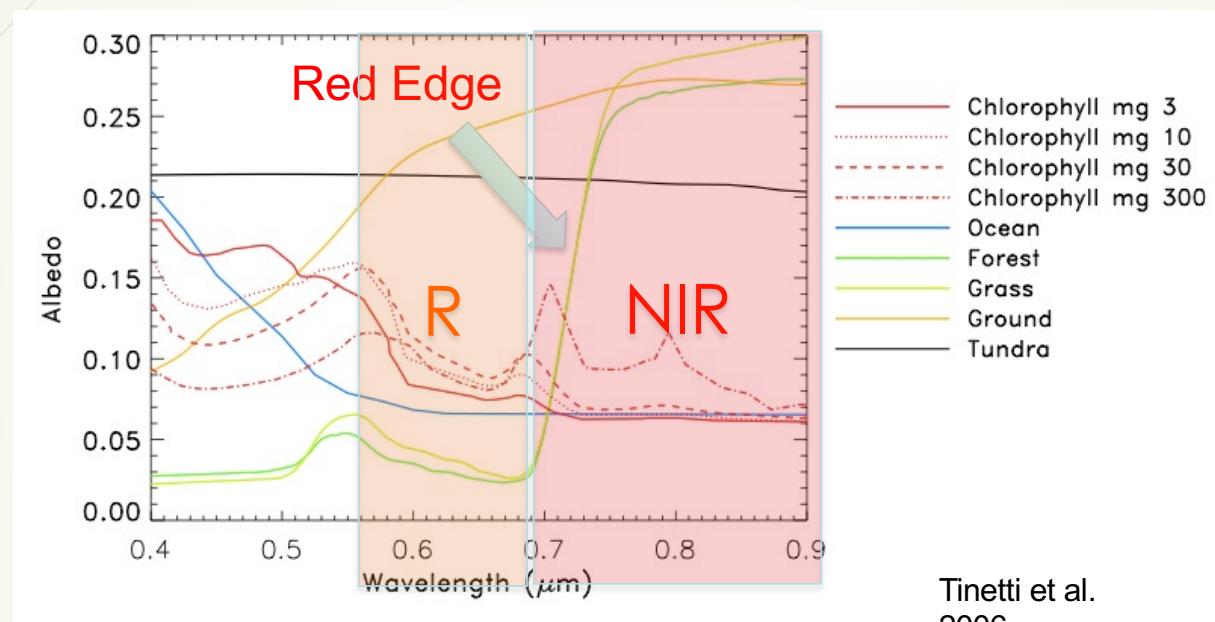
Seager et al 2012

Reazioni Metaboliche Secondarie



Seager et al 2012

Riflettanza Superficiale



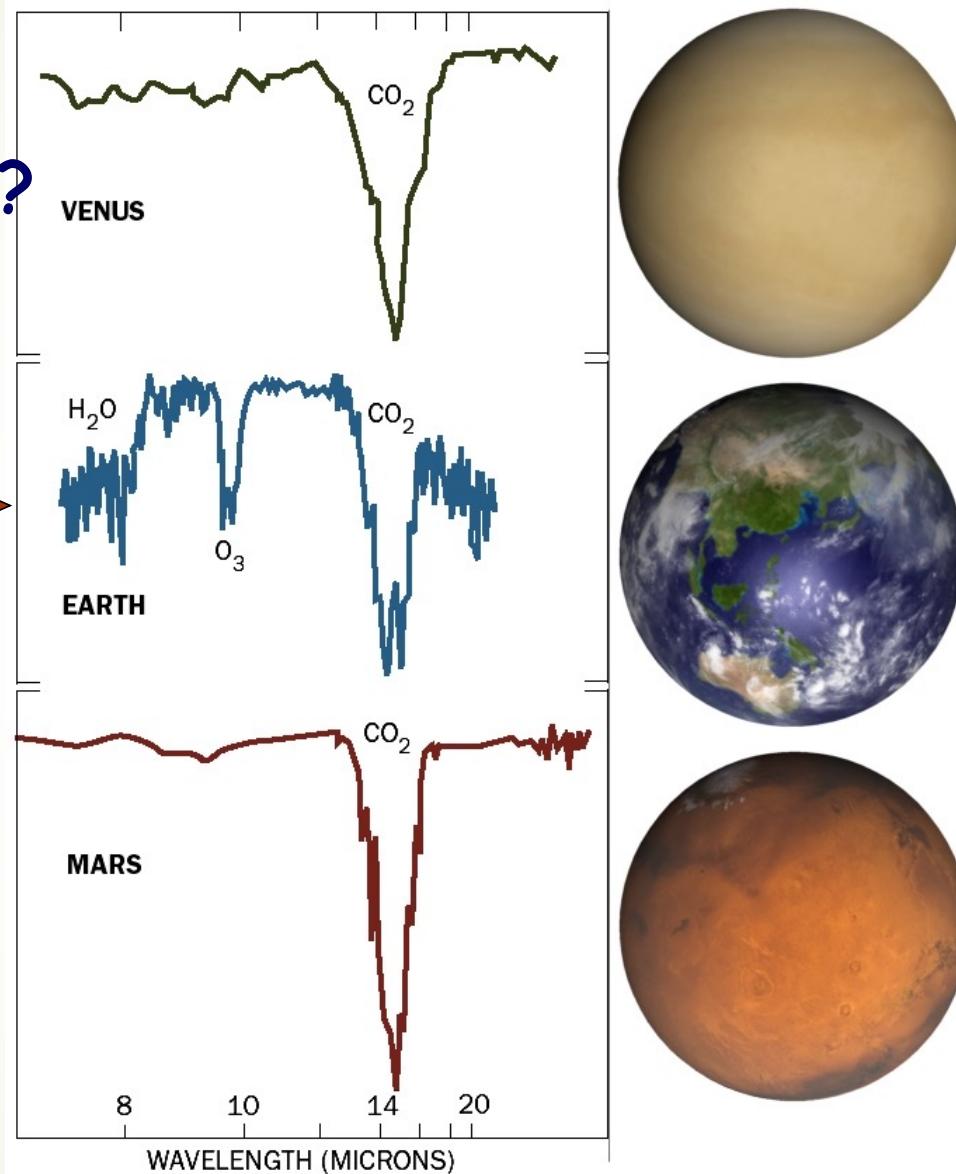
$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$



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

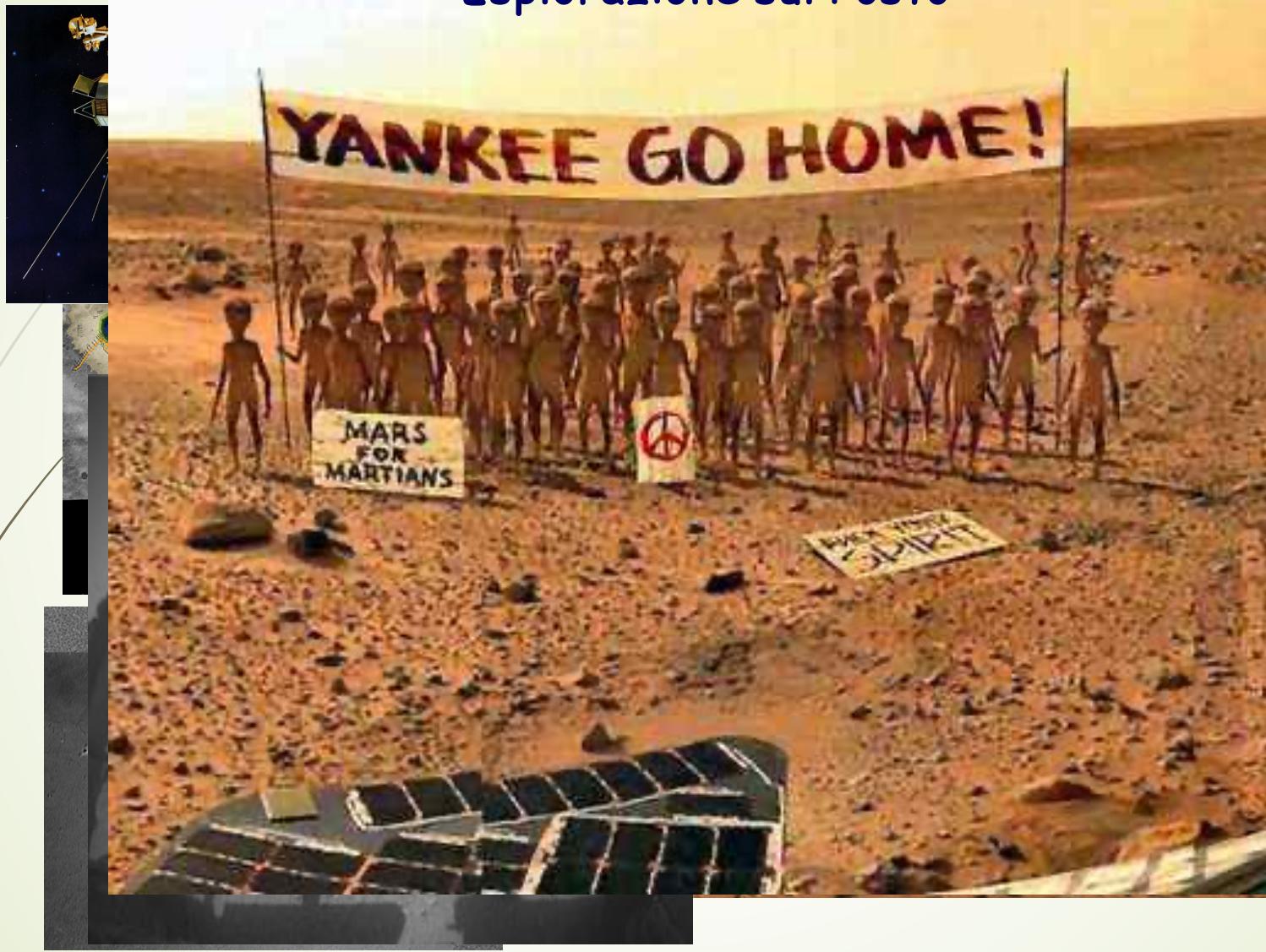
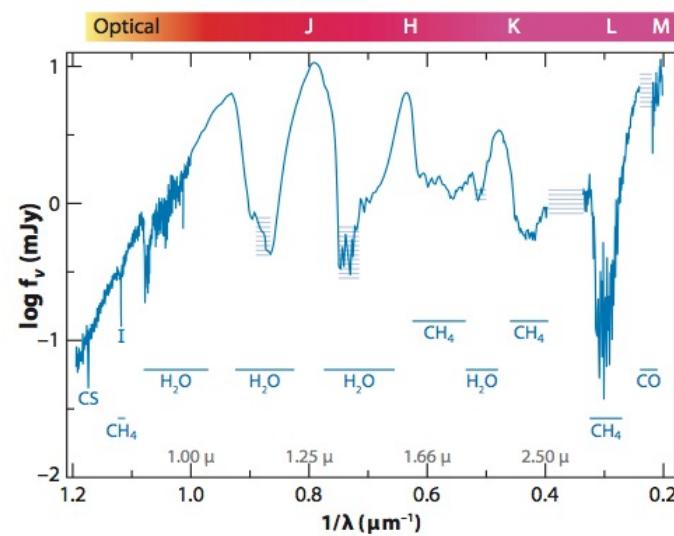
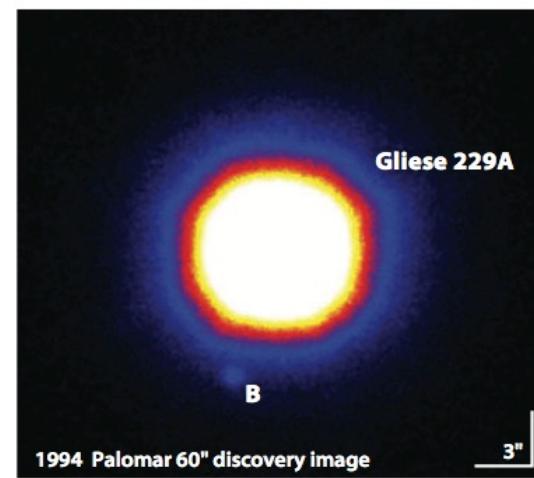
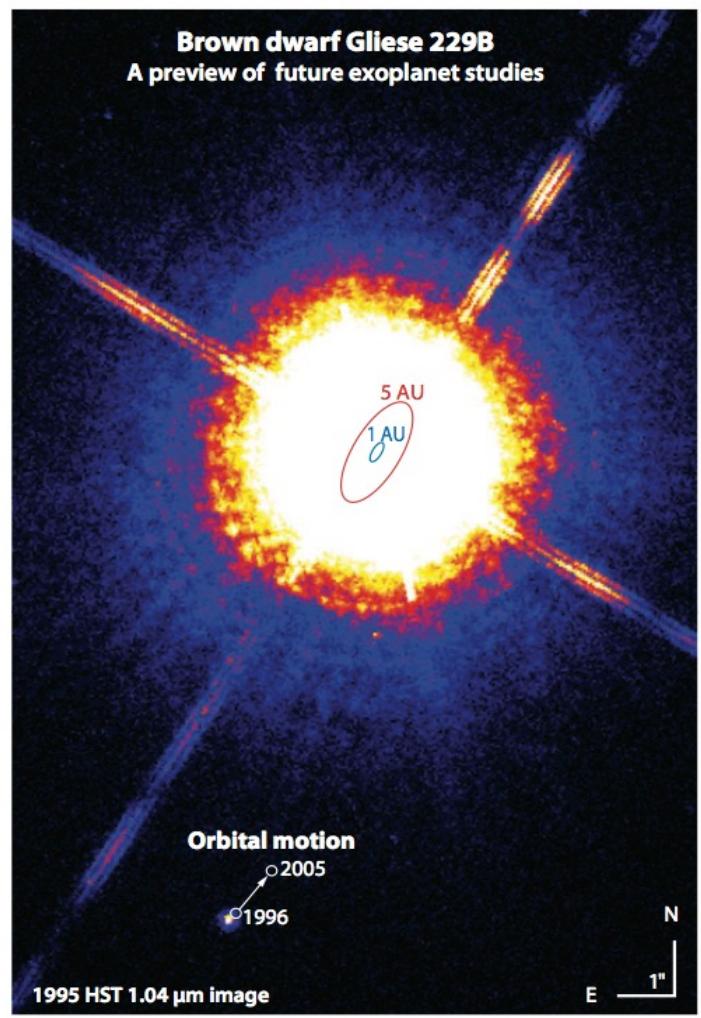


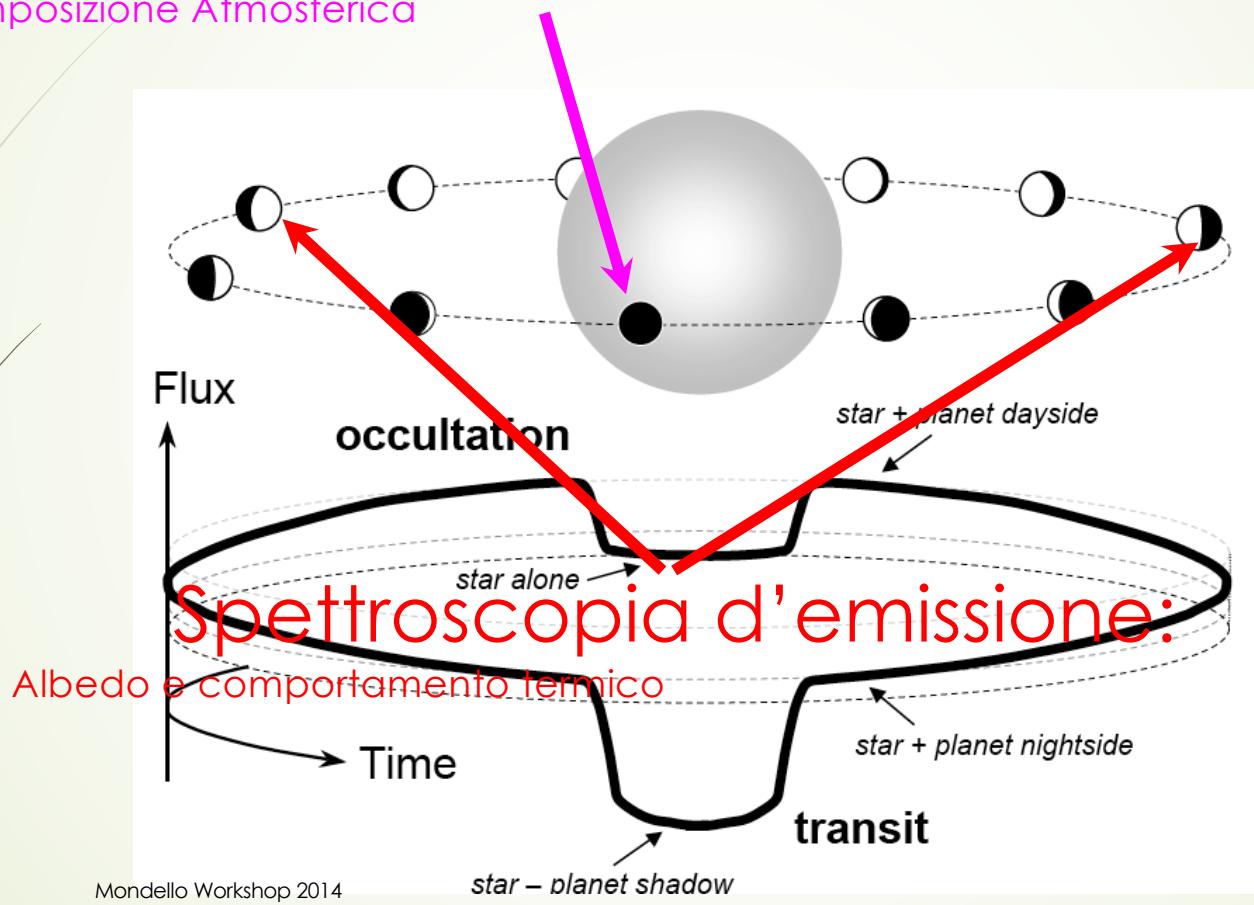
Immagine Diretta dei pianeti extrasolari

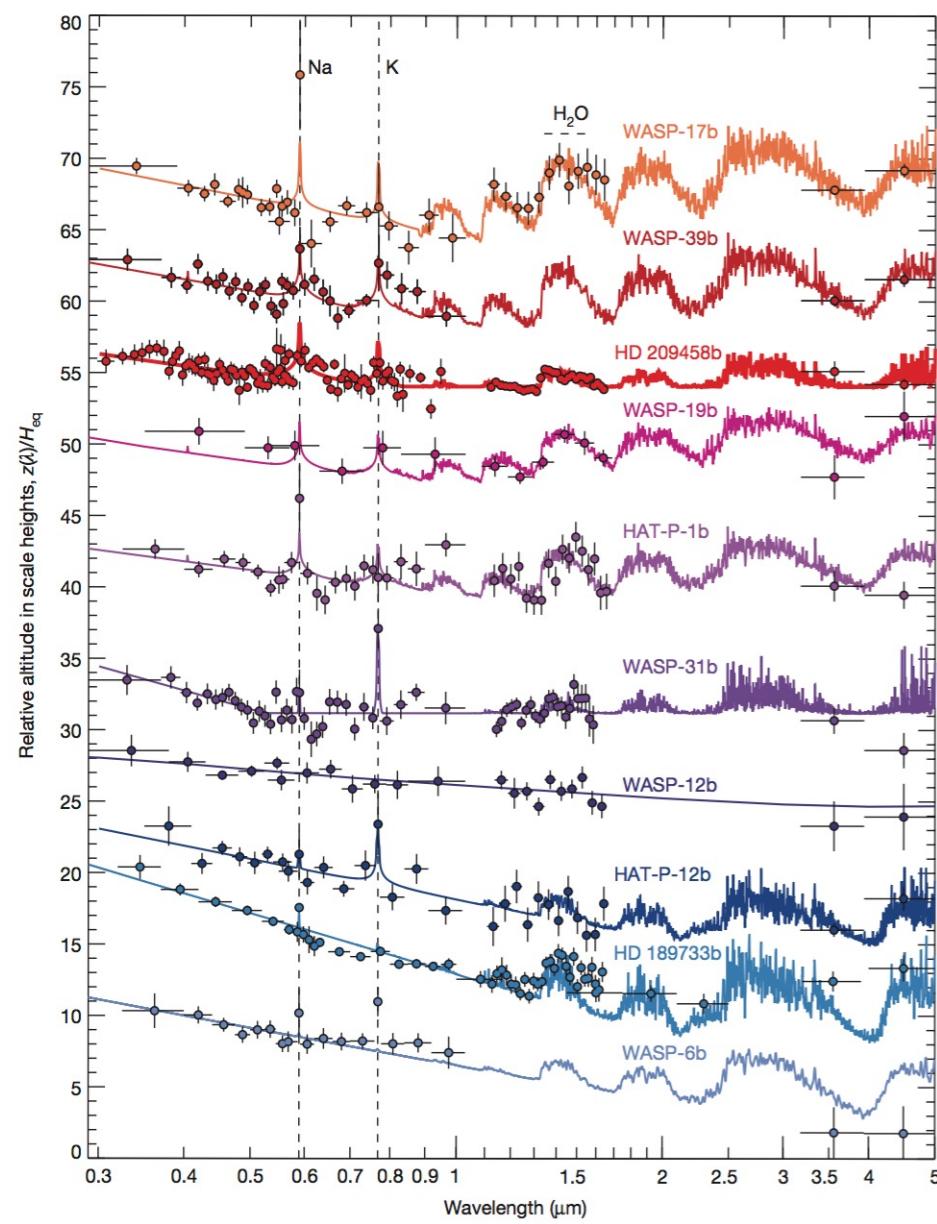


Spettroscopia ...

Spettoscopia in Trasmissione:

Composizione Atmosferica





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



Madhusudhan + 2023, ApJL, 956,L13

K2-18 b è un mondo Iceiano:

$M=0.0280 \pm 0.005 M_{\mathrm{J}}$

$R=0.21 \pm 0.02 R_{\mathrm{J}}$

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

La stella:

Sp -> M2.5V

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

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

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

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

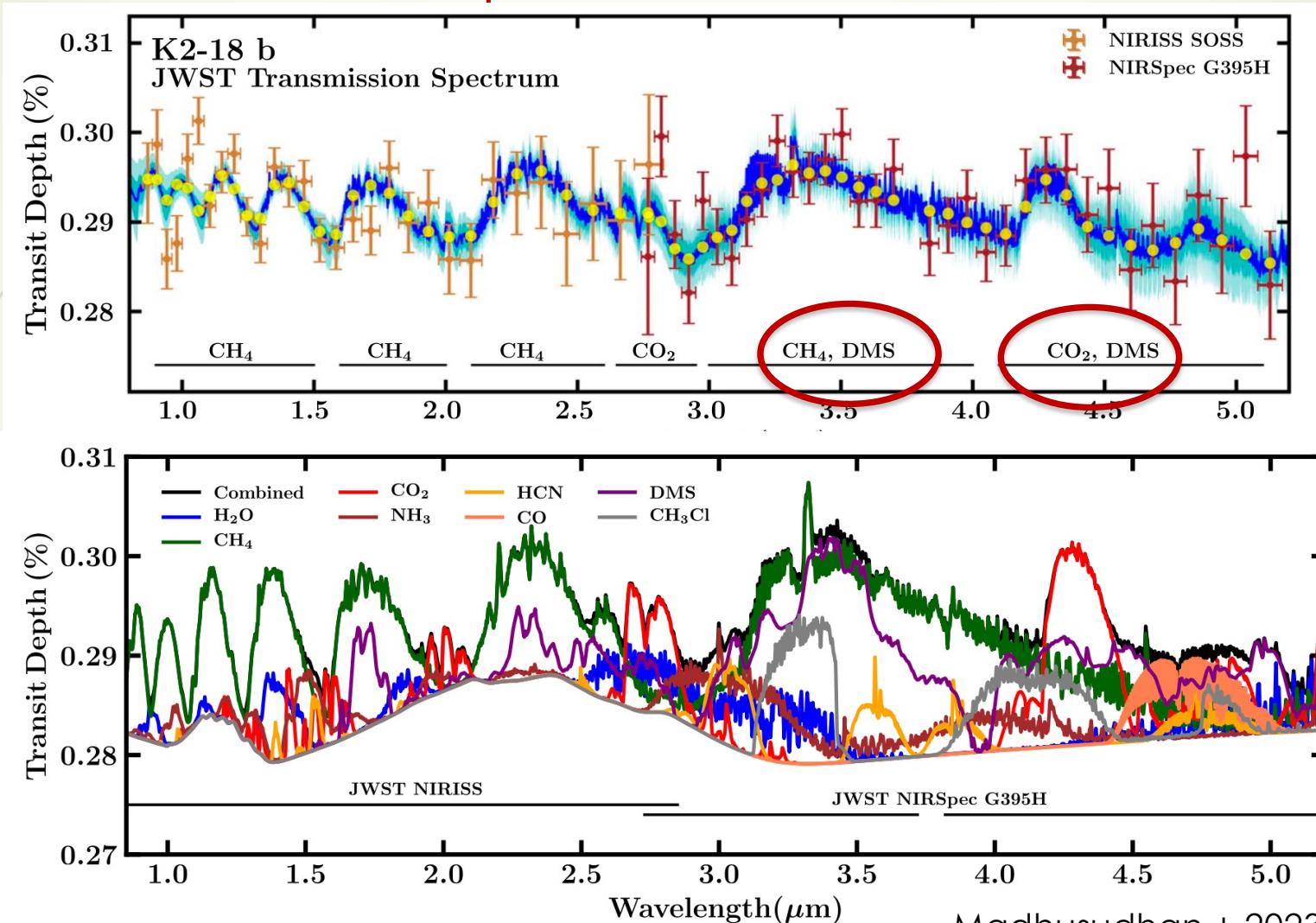
K2-18 c

$M=0.02363 \pm 0.005 M_{\mathrm{J}}$

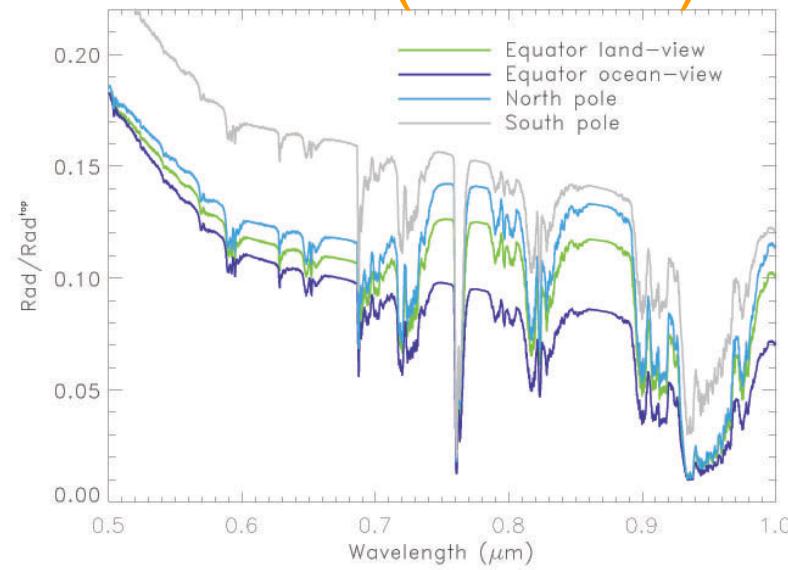
$R=0.21 \pm 0.02 R_{\mathrm{J}}$

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

K2-18 b: Spettri JWST



Clear(summer)



Cloudy(summer)

