

TESINA PER L'ESAME DI STATO
A.S. 2014/2015

Astrobiologia

di *Lorenzo Cerreta*

LA RICERCA DI VITA NELL'UNIVERSO

Il presente contributo, elaborato dallo **studente Lorenzo Cerreta** del Liceo Classico "Socrate" di Roma, è connesso alle attività scientifiche e laboratoriali svolte durante lo "**Stage a Tor Vergata**" - promosso dal Piano nazionale Lauree Scientifiche e tenuto presso i laboratori della Macroarea di Scienze MFN dell'**Università degli Studi di Roma Tor Vergata** in due fasi:

- Stage Estivo dal 16 al 20 Giugno 2014;
- Stage Invernale dal 2 al 6 febbraio 2015.

Le attività didattiche previste nel Programma dello Stage sono state realizzate in cinque gruppi di ricerca, guidati da docenti dell'Università di Roma Tor Vergata.

Il responsabile scientifico del Modulo "Astrobiologia"

Dott.ssa Daniela Billi

Daniela Billi



Il Direttore degli "Stage a Tor Vergata"

Prof. Nicola Vittorio

Nicola Vittorio



La ricerca di vita nell'universo

INTRODUZIONE

L'astrobiologia si occupa dello studio dell'origine, dell'evoluzione e della distribuzione della vita nell'Universo. Essendo un ambito scientifico multidisciplinare beneficia delle competenze che provengono da discipline generalmente considerate appartenenti ad aree lontane e distinte come la biologia, la chimica, l'astrofisica e la geologia.

Prevalentemente, l'astrobiologia cerca di rispondere a tre domande:

- Come nasce e come si evolve la vita?
- Esiste la vita altrove nell'Universo?
- Se sì, come possiamo individuarla?

DEFINIZIONE

Per poter rispondere a queste domande, bisogna prima comprendere cos'è la vita. Sebbene ancora oggi non esista una definizione completa, la NASA nel 1959 adottò quella secondo cui "la vita può essere descritta come un sistema chimico auto-sufficiente in grado di andare incontro ad evoluzione Darwiniana"; questo implica che il sistema si replica, è soggetto a mutazioni e a selezione naturale.

CONDIZIONI INDISPENSABILI

Questo è ciò che stiamo cercando su Marte e sulle lune di Giove e Saturno. Ma il nostro principale problema è che conosciamo solo la vita sviluppata sulla Terra: per questo saremmo interessati a trovare una forma di vita indipendente, in altre parole una seconda genesi della vita, magari non a base di DNA, chimica del carbonio o acqua. Il problema è che quindi non sappiamo esattamente cosa cercare. Tuttavia, per la ricerca di vita su altri pianeti, dobbiamo basarci su ciò che conosciamo.

La vita a base di carbonio ha bisogno di:

- elementi biogenetici, i cosiddetti CHONPS (carbonio, idrogeno, ossigeno, azoto, fosforo, zolfo, tutti elementi abbondanti nell'Universo)
- acqua allo stato liquido
- energia (luce e/o energia chimica)
- condizioni stabili per potersi sviluppare

Il carbonio ha un ruolo fondamentale in quanto è in grado di formare un'ampia varietà di molecole complesse;

l'acqua favorisce invece la diffusione, l'organizzazione in micelle di molecole anfipatiche, le reazioni di idrolisi, e al tempo stesso, offre protezione dalle radiazioni ultraviolette;

l'energia è necessaria per svolgere le complesse reazioni chimiche alla base della chimica prebiotica e del metabolismo degli organismi viventi;

queste condizioni devono restare stabili abbastanza a lungo per dare origine ad una forma di vita.

METODI PER INDIVIDUARE ESOPIANETI

Come è possibile trovare al di là del nostro pianeta un ambiente adatto alla vita?

Per individuare altri pianeti esistono diversi metodi, che si dividono in due categorie principali:

-rilevamento diretto

David Bill

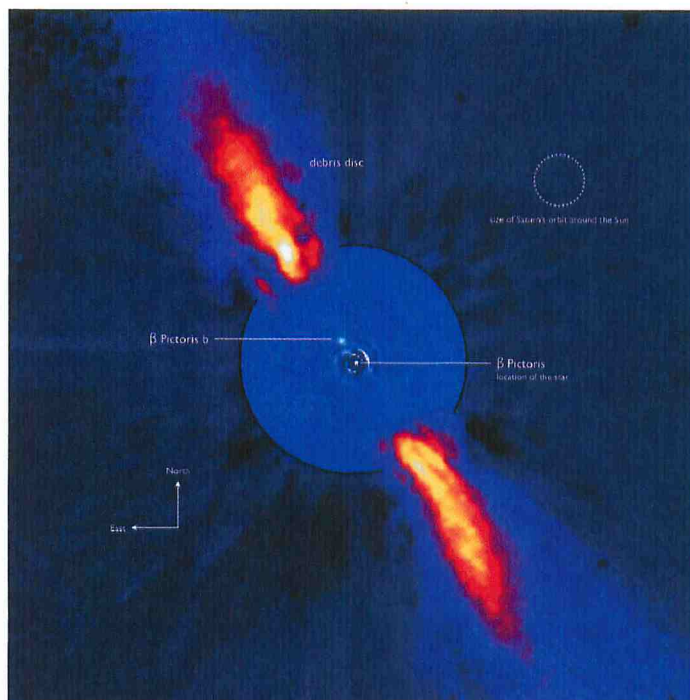
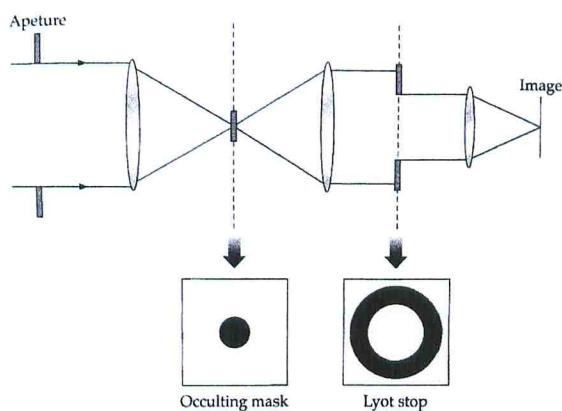
-rilevamento indiretto

Nella classe del rilevamento diretto si includono tutte le tecniche che permettono di osservare direttamente al telescopio questi pianeti. Nella classe del rilevamento indiretto ricadono invece quelle tecniche che permettono di individuare un pianeta a partire dagli effetti che esso induce sulla (o che vengono indotti dalla) stella ospite.

Per confermare la scoperta di un pianeta e meglio definirne le caratteristiche fisiche è necessario l'utilizzo di più tecniche differenti.

Coronografia

E' una tecnica di rilevamento diretto in cui si sfrutta una maschera che blocca la luce della stella. Questo purtroppo causa un alone di diffrazione, che però può essere attenuato tramite un'altra maschera, detta Lyot stop.



Un pianeta gigante rilevato nel punto β Pictoris b

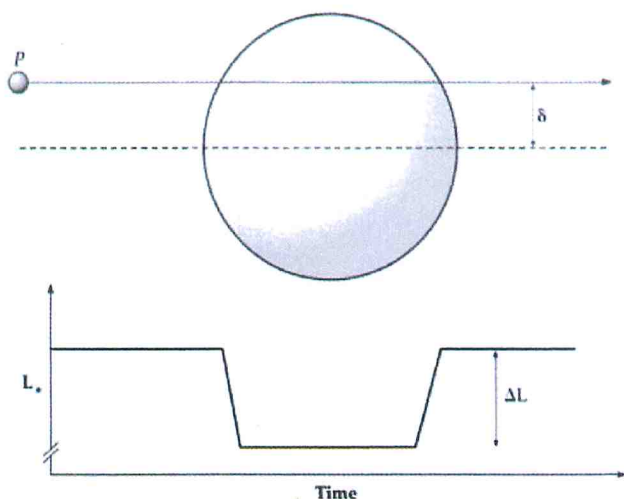
Transito

Il metodo detto del transito è un metodo indiretto che consiste nella rilevazione della diminuzione di luminosità della curva di luce di una stella quando un pianeta transita di fronte a essa.

Esso consente di stimare raggio, inclinazione dell'orbita, massa esatta e densità media.

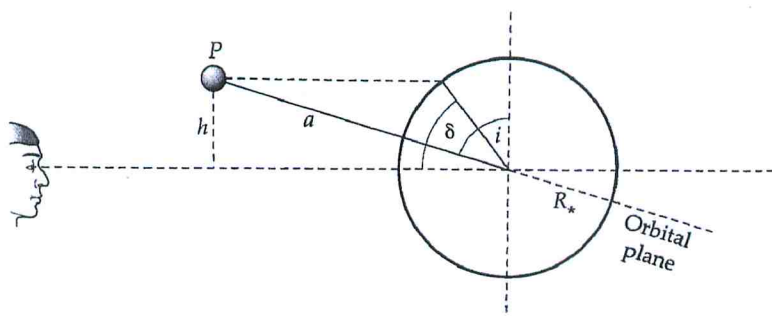
La diminuzione è correlata alla dimensione relativa della stella madre, del pianeta e della sua orbita. Approssimando, il rapporto tra la variazione di luminosità apparente ΔL e la luminosità apparente della stella L_s è all'incirca uguale al quadrato del rapporto tra il raggio del pianeta R_p e il raggio della stella R_s , come espresso dalla formula:

$$\frac{\Delta L}{L_s} \cong \left(\frac{R_p}{R_s} \right)^2$$

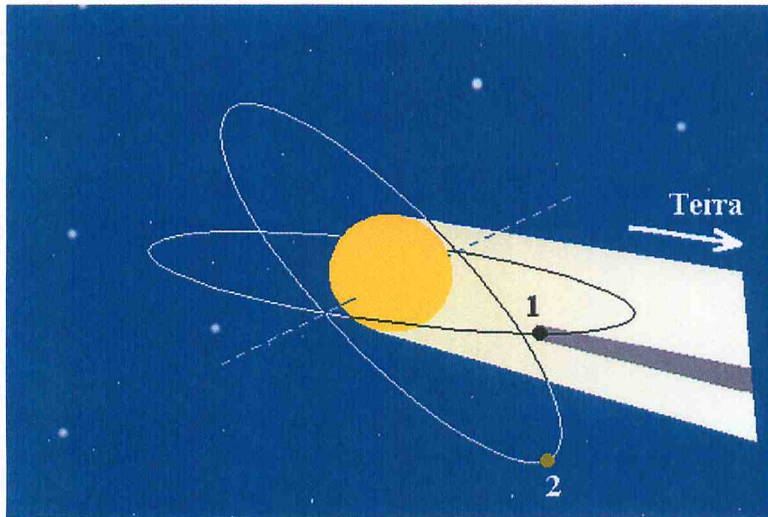


Valori tipici sono una diminuzione di luminosità di circa l'1% per i pianeti gioviani e dello 0,008% circa per i pianeti di tipo terrestre: nel caso di HD 209458, la diminuzione di luce è dell'ordine dell' 1,7%. Valori del primo tipo possono essere rilevati da terra, mentre i secondi hanno bisogno di missioni spaziali dedicate, come quella del telescopio orbitante Kepler.

Una volta stimato il periodo di rivoluzione del pianeta tramite osservazioni ripetute, il semiasse maggiore può essere stimato tramite la terza legge di Keplero, mentre l'inclinazione dell'orbita rispetto al piano di vista può essere calcolata a partire dalla durata del transito osservato e dalla durata massima possibile per un pianeta di quel raggio.



Purtroppo, anche per i pianeti grandi come Giove, la rivelazione per mezzo del transito rimane un evento piuttosto raro e di notevole complessità. Infatti, perché un transito si possa osservare, è necessario che la stella ed il pianeta siano allineati con la Terra (dove si trova l'osservatore) entro un angolo molto stretto. Nella figura in basso, solo il pianeta (1) oscura la luce della stella diretta verso la Terra, cioè verso l'osservatore; il pianeta (2), invece, non produce mai alcun oscuramento e non è quindi rilevabile con il metodo dei transiti.



Questo fa sì che il fatto che un pianeta sia scoperto con il metodo dei transiti sia piuttosto difficile: la probabilità di osservare un transito è uguale al rapporto tra il raggio della stella R_s e il semiasse maggiore del pianeta a .

$$P_{\text{transit}} = \frac{R_s}{a}$$

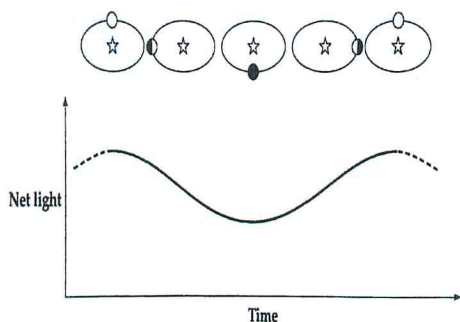
L'ovvia implicazione è che su un grande numero di sistemi con inclinazioni casuali i pianeti di piccola orbita che ruotano intorno ad una grande stella hanno più possibilità di essere individuati.

Per fare un esempio, la configurazione Terra-Sole ha P_{transit} uguale a circa 0.005, il che vuol dire che in media dobbiamo esaminare almeno 200 sistemi prima di poter individuare un pianeta.

Per ovviare a questo inconveniente, sono state avviate osservazioni non di singole stelle, ma di interi ammassi stellari: in questo modo il telescopio orbitante Kepler ha trovato oltre 4000 candidati in soli 6 anni.

Tuttavia, oltre alla luce emessa dalla stella e a eventuali variazioni di luminosità (dovuti ad esempio a macchie stellari), dobbiamo poi considerare la variazione della luce riflessa dal pianeta quando rivolge la faccia illuminata verso di noi e quando invece viene il pianeta è occultato.

Questa variazione può essere misurata, specialmente per i pianeti gioviani caldi, consentendo uno studio dello spettro d'emissione del pianeta (oltre a quello d'assorbimento).



Variazione della luce riflessa osservata col metodo del transito

Altri metodi

Oltre alla coronografia e ai transiti esistono molti altri metodi per individuare i pianeti. I più usati sono il metodo della risoluzione spaziale, il metodo delle velocità radiali, il metodo delle velocità trasversali e quello della lente gravitazionale.

BIOSIGNATURES

Una volta individuato un pianeta, come facciamo a comprendere se ospita la vita?

Alcuni elementi possono fornire una risposta a questa domanda.

Ossigeno

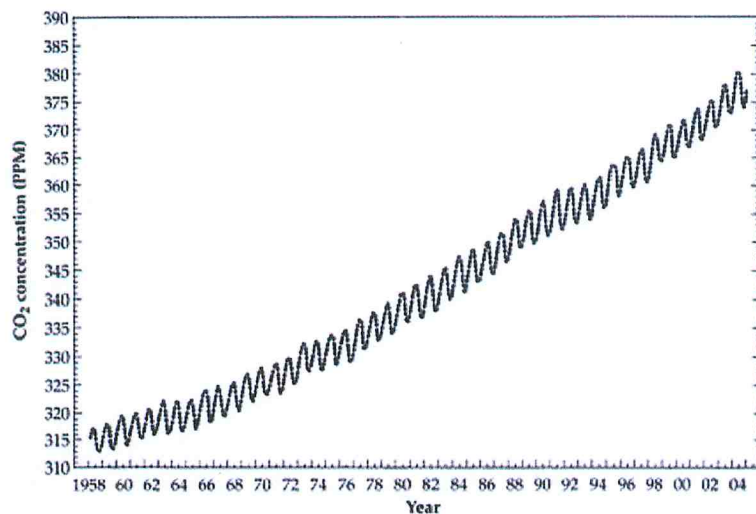
Grandi quantità di ossigeno indicano una situazione di squilibrio causato da organismi fotosintetici (in mancanza di vita, tutto l'ossigeno ossida rapidamente i minerali sulla superficie, come è successo su Marte).

Metano

Il metano è prodotto da batteri, ma si ossida rapidamente in acqua e diossido di carbonio (tutto il metano sulla Terra scomparirebbe in 10 anni se la vita si estinguesse). La sua presenza è quindi un probabile segnale della presenza di attività biologiche

Diossido di carbonio

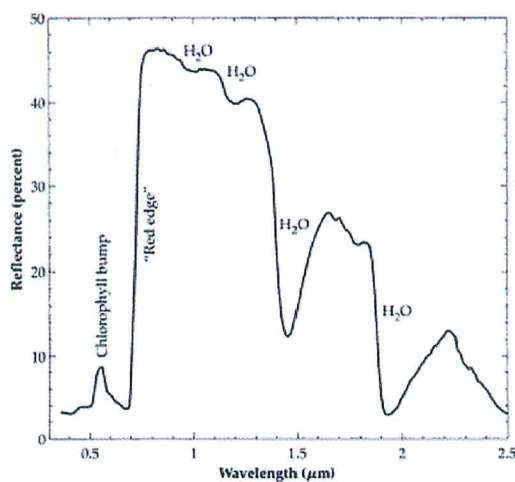
Variazioni annuali in uno specifico ambiente sono dovuti a un cambio stagionale nell'attività fotosintetica (durante l'inverno la quantità di anidride carbonica aumenta); ovviamente questo fenomeno è invertito per i due emisferi.



Picchi stagionali di CO₂ sulla Terra e aumento a lungo termine (effetto antropico), segno di produzione industriale basata su combustibili fossili.

“Red edge” della vegetazione

La clorofilla, necessaria per la fotosintesi ossigenica, causa un’emissione nella parte verde dello spettro del visibile, ma la riflessione aumenta esponenzialmente nell’infrarosso, causando un fenomeno detto “red edge”. Questa particolare emissione nell’infrarosso potrebbe essere un segno della presenza di organismi fotosintetici su altri pianeti, tuttavia esistono reazioni inorganiche che producono simili effetti, mentre la vita fotosintetica intorno a stelle con differenti emissioni potrebbe essersi adattata diversamente.



LA MISSIONE GALILEO

Nel 1990, prima di partire per Giove, la sonda Galileo puntò i suoi strumenti sulla Terra per capire se saremmo stati in grado di individuare un pianeta abitato. L’analisi dello spettro del nostro pianeta ha consentito di individuare tracce di acqua, anidride carbonica, metano, e ossigeno, oltre che di stimarne la quantità, mentre un picco nell’emissione del vicino infrarosso ha consentito di stimare la presenza di pigmenti foto sintetici. Oltre a queste possibili prove dell’esistenza di organismi biologici, il rilevamento

di onde radio, altrimenti non esistenti in natura, non lascia alternativa ad interpretarle come l'opera di forme di vita intelligenti.

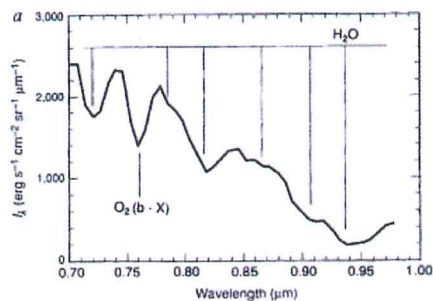
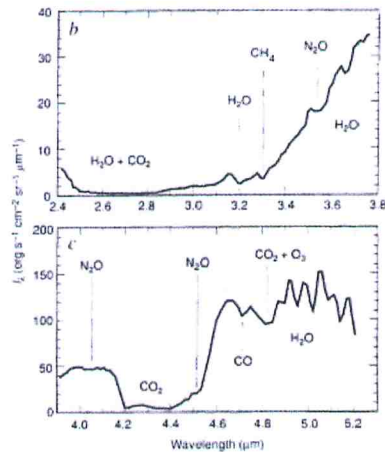


FIG. 1 a, Galileo long-wavelength-visible and near-infrared spectra of the Earth over a relatively cloud-free region of the Pacific Ocean, north of Borneo. The incidence and emission angles are 77° and 57° respectively. The (b' $\sum_{\lambda} - X^2 \sum_{\lambda}$) O-O band of O₂ at 0.76 μ m is evident, along with a number of H₂O features. Using several cloud-free regions of varying airmass, we estimate an O₂ vertical column density of 1.5 km-amagat $\pm$ 25%. b and c, Infrared spectra of the Earth in the 2.4–5.2 μ m region. The strong ν_3 CO₂ band is seen at the 4.3 μ m, and water vapour bands are found, but not indicated, in the 3.0 μ m region. The ν_2 band of nitrous oxide, N₂O, is apparent at the edge of the CO₂ band near 4.5 μ m, and N₂O combination bands are also seen near 4.0 μ m. The



methane (0010) vibrational transition is evident at 3.31 μ m. A crude estimate¹⁰ of the CH₄ and N₂O column abundances is, for both species, of the order of 1 cm-amagat ($\approx$ 1 cm path at STP).

716

NATURE · VOL 365 · 21 OCTOBER 1993

TABLE 1 Constituents of the Earth's atmosphere (volume mixing ratios)			
Molecule	Standard abundance (ground-truth Earth)	Galileo value*	Thermodynamic equilibrium value Estimate 1† Estimate 2‡
N ₂	0.78		0.78
O ₂	0.21	0.19 $\pm$ 0.05	0.21§
H ₂ O	0.03–0.001	0.01–0.001	0.03–0.001
Ar	9 $\times$ 10 ^{–3}		9 $\times$ 10 ^{–3}
CO ₂	3.5 $\times$ 10 ^{–4}	5 $\pm$ 2.5 $\times$ 10 ^{–4}	3.5 $\times$ 10 ^{–4}
CH ₄	1.6 $\times$ 10 ^{–6}	3 $\pm$ 1.5 $\times$ 10 ^{–6}	< 10 ^{–35} 10 ^{–145}
N ₂ O	3 $\times$ 10 ^{–7}	< 10 ^{–6}	2 $\times$ 10 ^{–20} 2 $\times$ 10 ^{–19}
O ₃	10 ^{–7} –10 ^{–8}	> 10 ^{–8}	6 $\times$ 10 ^{–32} 3 $\times$ 10 ^{–30}

* Galileo values for O₂, CH₄ and N₂O from NIMS data; O₃ estimate from UVS data.

† From ref. 16 (P, 1 bar; T, 280 K).

‡ From ref. 17 (P, 1 bar; T, 298 K).

§ The observed value; it is in thermodynamic equilibrium only if the under-oxidized state of the Earth's crust is neglected.

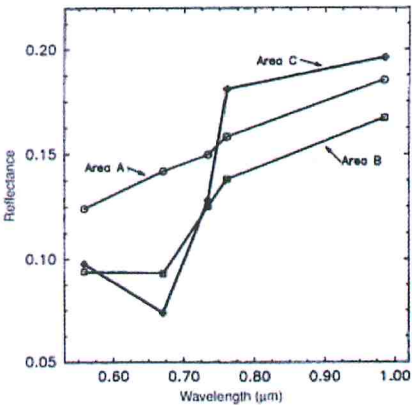


FIG. 3 Representative spectra from three areas on the land surface (see Fig. 2c). A gently sloping spectrum (circles, Area A) is consistent with any of several types of rock or soil. An intermediate spectrum (squares, Area B) shows some evidence of an absorption band near 0.67 μ m (RED). Substantial areas on the surface have an unusual spectrum (diamonds, Area C) with a strong absorption in the RED band and a steep band edge just beyond 0.7 μ m. This spectrum is inconsistent with all likely rock and soil types, and is plausibly associated with photosynthetic pigments (see text).

TECNICHE PER IL FUTURO

Un gruppo di studiosi della Cornell University e del Max-Planck-Institut di Heidelberg ha proposto recentemente sulla rivista Pnas un nuovo metodo per la ricerca di forme di vita. Si tratta di analizzare tramite spettroscopia la luce emessa da altri pianeti e confrontarla con gli spettri della luce riflessa da alcuni microorganismi, per capire se tali pianeti ospitano forme di vita simili. Questa tecnica, al contrario

della ricerca delle lunghezze d'onda tipiche di ossigeno e metano nell'atmosfera, o del picco nell'infrarosso della vegetazione terrestre -che sono indizi di vita potenziale e quindi non risolutivi- potrebbe fornire una prova dell'esistenza di vita altrove.

CONCLUSIONI

Anche se la tecnologia spaziale, per esempio applicata ai telescopi, potrebbe in un prossimo futuro trovare indizi sulla presenza di forme di vita sui pianeti intorno ad altre stelle, molto c'è ancora da scoprire nel nostro sistema solare. Forme di vita microbica potrebbero essere presenti al di sotto della superficie di Marte e di alcune lune ghiacciate di Saturno e Giove. Il futuro forse risponderà ad una delle più antiche domande dell'uomo: siamo soli?

«Se fosse possibile assodare la questione mediante una qualche esperienza, io sarei pronto a scommettere tutti i miei averi che almeno in uno dei pianeti che noi vediamo vi siano degli abitanti. Secondo me, perciò, il fatto che anche in altri mondi vi siano abitanti non è semplicemente oggetto di opinione, bensì di una salda fede (sull'esattezza di tale credenza, io arrischierei infatti molti vantaggi della vita).»

Immanuel Kant, Critica della ragion pura, Riga 1787 (1° ed. 1781)

SITOGRAFIA:

<http://www.te.astro.it/infoservizi/attivita divulg/venere/transiti.html>

BIBLIOGRAFIA:

A. Balbi (2015) - Materiale del modulo di Astrobiologia - Università di Roma Tor Vergata

D. Billi (2015) - Materiale del modulo di Astrobiologia - Università di Roma Tor Vergata

"Come ottenere i principali parametri planetari dall'osservazione di un transito extrasolare",
AstronomiaNova, numero 3 luglio 2011

"A search for life from the Galileo spacecraft", Nature, vol. 365, 21 ottobre 1993

"Surface biosignatures of exo-Earths: Remote detection of extraterrestrial life", PNAS, 16 marzo 2015