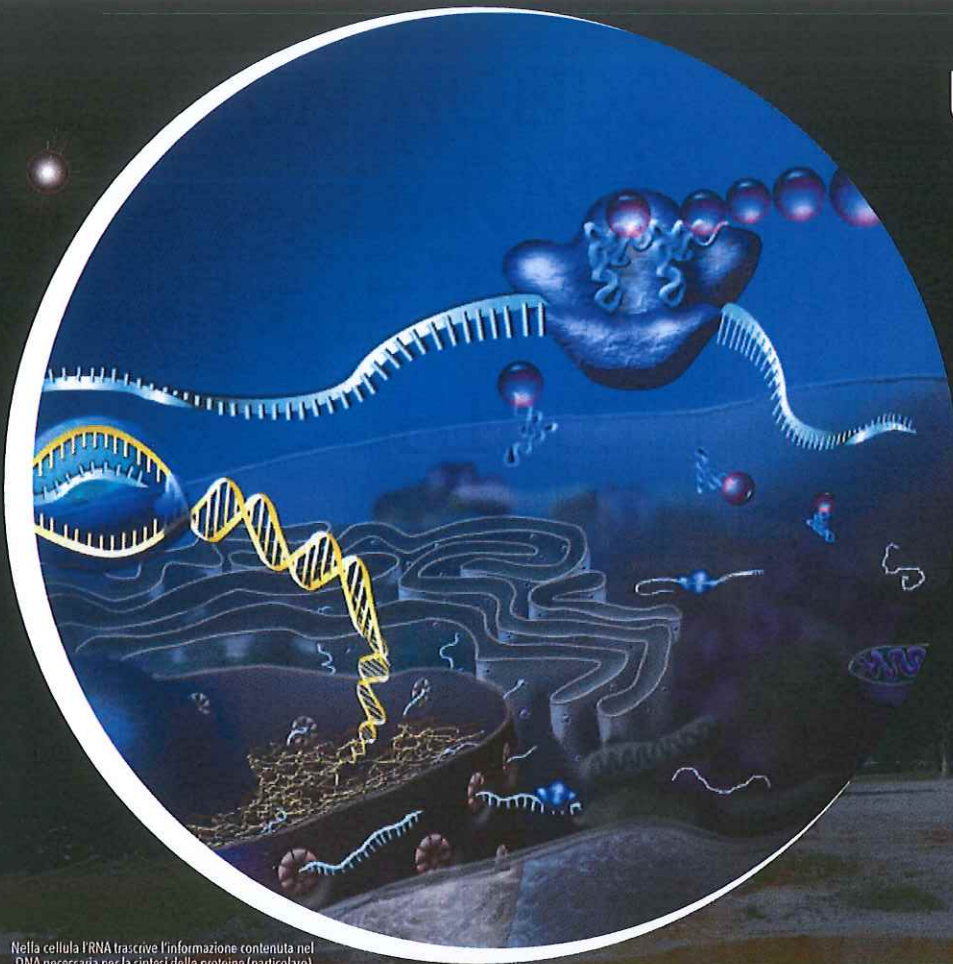


UN MONDO DI RNA E LE PRIME CELLULE

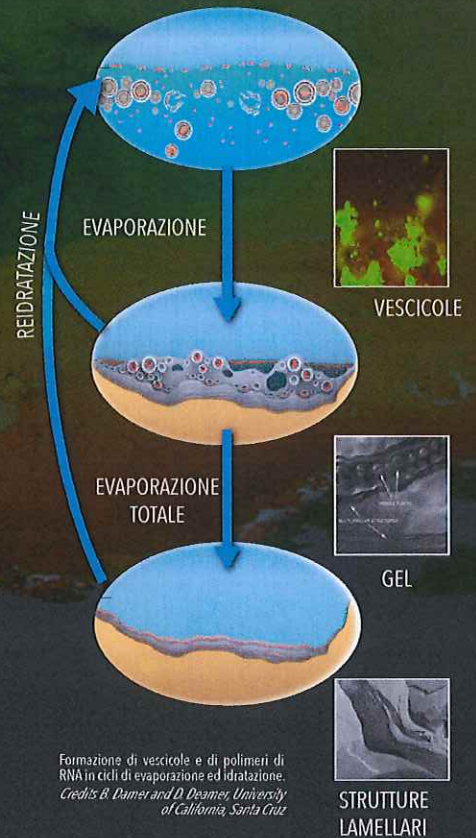


Nella cellula l'RNA trascrive l'informazione contenuta nel DNA necessaria per la sintesi delle proteine (particolare).
Credits: Nicole Roger Fuller

- La vita che noi conosciamo si fonda su DNA, RNA e proteine. La vita primordiale doveva essere certamente più semplice. Poteva bastare solo l'RNA, poiché ha la duplice capacità di contenere l'informazione, in quanto è una molecola simile al DNA, e di svolgere l'attività enzimatica delle proteine. Solo in seguito sarebbero sorti il DNA e le proteine come soluzioni più efficienti. Questa teoria, nota come "RNA world" (mondo di RNA) trova conferme nelle recenti scoperte di speciali filamenti di RNA capaci di comportarsi come gli enzimi, che per questo prendono il nome di "ribozimi", e dal fatto che la parte più conservata del ribosoma è costituito da RNA e non da proteine.
- Le prime cellule invece potrebbero essersi formate grazie alle proprietà degli acidi grassi, antenati più semplici degli

odierni lipidi. Queste molecole con testa polare e code idrofobiche, disciolte in acqua, formano spontaneamente micelle, membrane e vescicole. Queste ultime possono ospitare al loro interno l'RNA, creando un ambiente protetto e separato dall'esterno, che prende il nome di "protocellula".

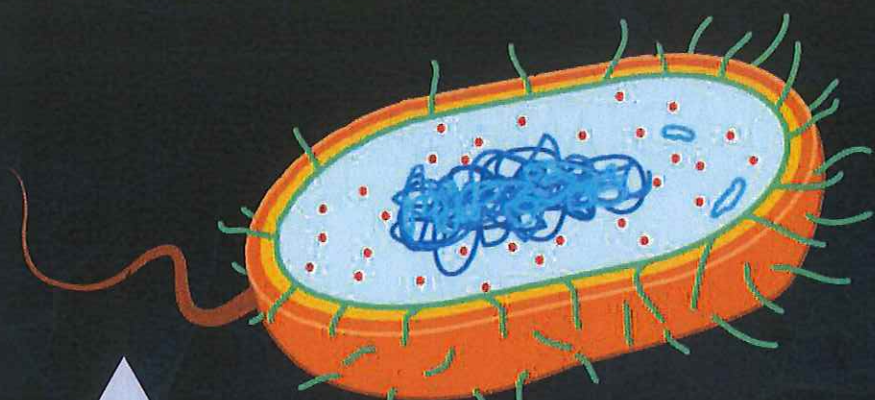
- Sorgenti idrotermali che evaporano periodicamente possono fornire condizioni ottimali alla nascita delle prime rudimentali cellule. Durante la fase secca, i nucleotidi possono reagire tra loro per formare polimeri di RNA. Nella fase idratata, l'RNA è inglobato nelle protocellule. Nel tempo può avvenire un processo di selezione di protocellule particolarmente stabili da sopravvivere in entrambe le condizioni: le prime cellule.



Formazione di vescicole e di polimeri di RNA in cicli di evaporazione ed idratazione.
Credits: B. Damer and D. Deamer, University of California, Santa Cruz

COMPLESSITA' CHIMICA

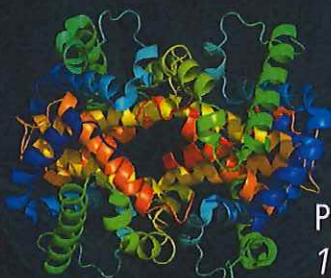
PESO MOLECOLARE



LUCA



Gene
1000 kDa



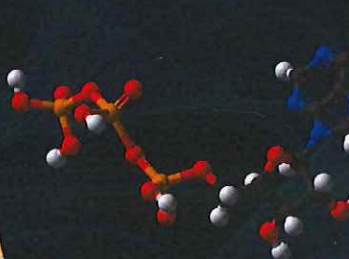
Proteina
100 kDa

1 Dalton (Da) equivale a circa $1,66 \times 10^{-27}$ kg

MACROMOLECOLE,
INTERAZIONI CON IL SOLVENTE



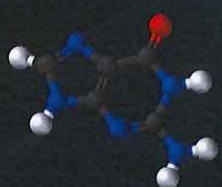
Ribozima > 15 kDa



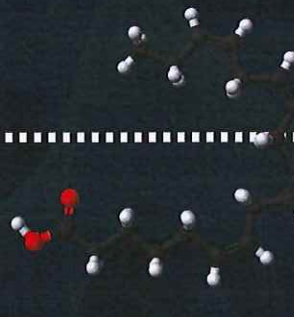
ATP
507 Da

TERRA

METEORITI



Guanina
151 Da



Acido Oleico
282 Da

COMETE

MEZZO INTERSTELLARE



Glicina
75 Da

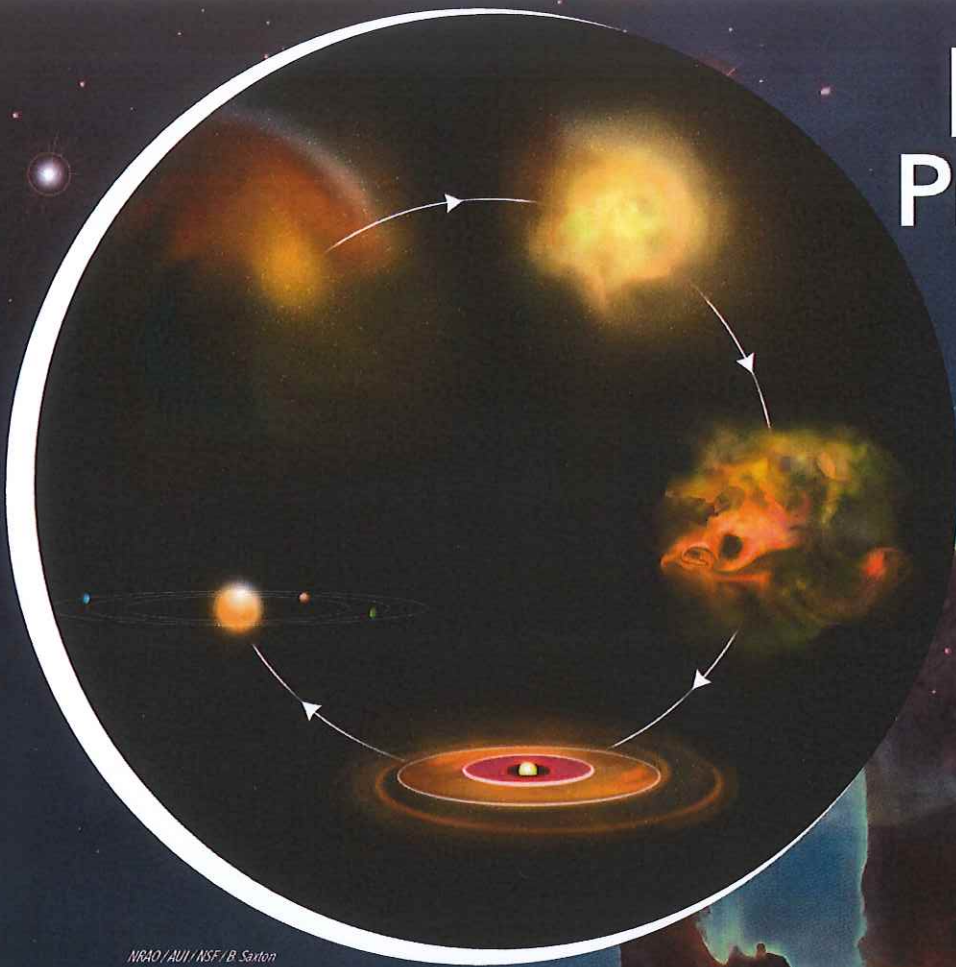
HCN
27 Da

Formaldeide
30 Da

Formamide
45 Da

Glicolaldeide
60 Da

DISCHI PROTOPLANETARI



NRAO/AUI/NSF/B. Saxton

- Le stelle e i sistemi planetari nascono nelle nubi molecolari. Sotto l'effetto del loro stesso peso, queste nubi collassano su sé stesse per via della gravità. Durante la fase di collasso, il materiale intorno alla giovane protostella si dispone in una struttura piatta in rotazione: è nato un disco protoplanetario.
- Questi dischi sono composti al 99% da gas e all'1% da polvere, simile a granelli di sabbia. La polvere è costituita dagli stessi materiali di cui saranno fatti i pianeti; per questo motivo tali dischi sono considerati la culla della formazione planetaria.

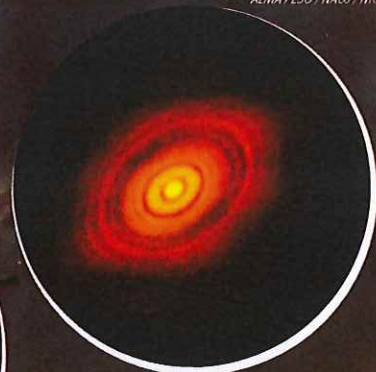
Il telescopio ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), in Cile, ci permette oggi di osservare in dettaglio i dischi protoplanetari, e di vedere gli effetti della formazione planetaria in atto. I dischi non sono uniformi, ma appaiono perlopiù formati da anelli. I solchi che separano gli anelli sono scavati da pianeti neonati che ancora non siamo in grado di vedere direttamente.



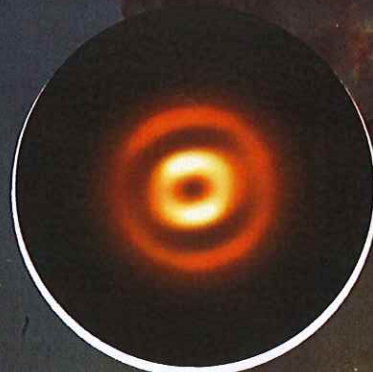
ALMA/ESO/NAOJ/NRAO/AUI/NSF/A. Isella/B. Saxton



ALMA/ESO/NAOJ/NRAO/AUI/NSF/S. Andrews/B. Saxton



ALMA/ESO/NAOJ/NRAO



ALMA/ESO/NAOJ/NRAO/D. Fedele

EXOPLANETS



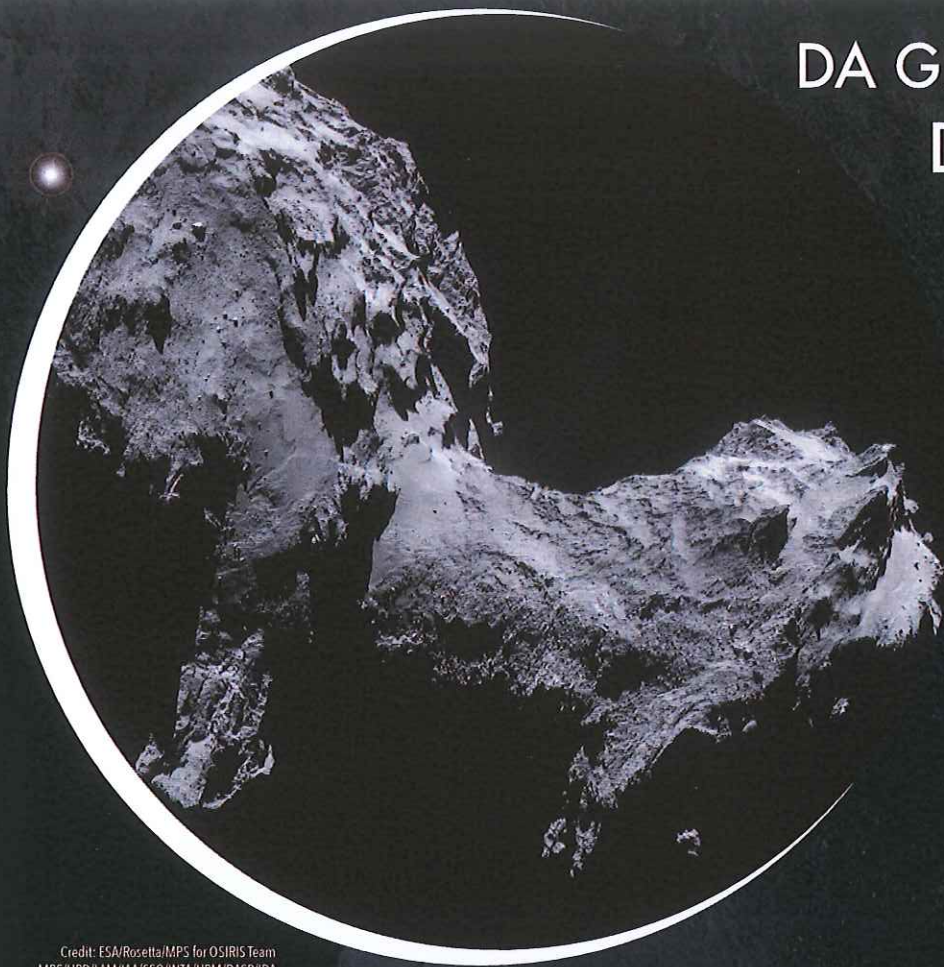
DA GRANELLI DI POLVERE A PIANETI

I pianeti si formano a partire da granelli di polvere simili a sabbia presenti all'interno dei dischi protoplanetari. Questi grani, aggregandosi fra loro in rocce sempre più grandi, portano alla formazione dei cosiddetti "planetesimi" (corpi rocciosi del diametro di alcuni km) prima, di comete ed asteroidi poi, e infine dei pianeti rocciosi e dei nuclei dei giganti gassosi.

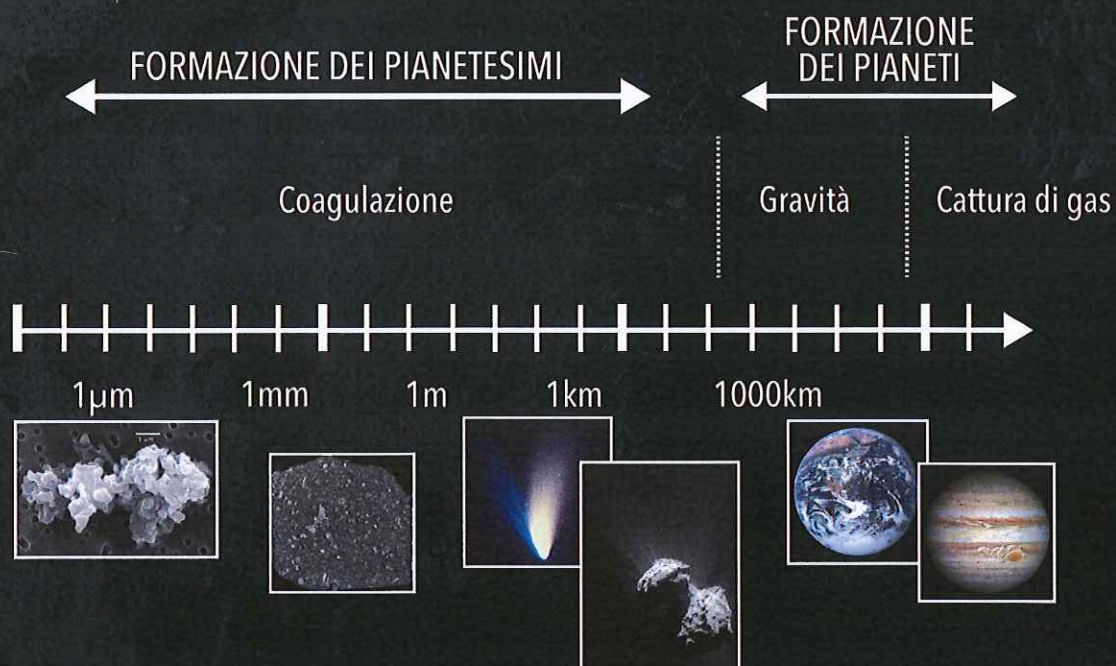
Nelle regioni in cui il disco è più freddo, grani di polvere vengono coperti da mantelli di ghiaccio la cui composizione chimica iniziale è ereditata da quella del gas che compone il disco protoplanetario.

Poiché in diverse regioni del disco dominano processi chimici diversi, pianeti che si formano a distanze diverse dalla protostella possiedono caratteristiche chimiche differenti.

Lo studio della chimica dei dischi protoplanetari ci aiuta quindi ad avere informazione sulle proprietà chimiche che contraddistinguono i pianeti nel momento della loro nascita.



Credit: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team
MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA



ASTROCHIMICA

• LE NUBI MOLECOLARI

Il materiale delle nubi molecolari è lo stesso che porterà alla formazione di dischi prima e pianeti poi. L'osservazione di nubi molecolari ci dà informazioni sulla chimica agli albori della formazione stellare e planetaria. L'acqua presente sulla Terra, ad esempio, si è formata già nelle nubi molecolari.

• LE COMETE

I processi chimici che avvengono sulla Terra sono inevitabilmente affetti dalla presenza di vita. Per studiare le condizioni chimiche all'inizio della formazione dei pianeti dobbiamo invece studiare le comete, che sono fatte di roccia e ghiaccio primordiali: questo è lo scopo della missione Rosetta.

• DISCHI PROTOPLANETARI

Lo studio di altri dischi protoplanetari con il telescopio ALMA ci mostra che le molecole organiche attorno ad altre stelle sono simili a quelle osservate sulle comete nel Sistema solare: la chimica deve dunque essere la stessa!



HCN: estremamente reattivo, e fondamentale per la chimica delle basi azotate



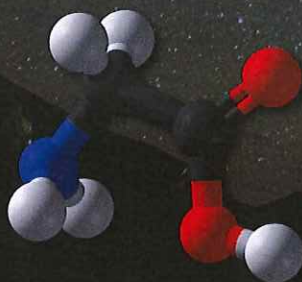
Glicolaldeide: come la formaldeide, porta alla formazione di zuccheri



Metanoio: punto di partenza per la formazione di molecole ancora più complesse



Formaldeide



Glicina: amminoacido osservato da ROSETTA sulla cometa 67P



JAMES WEBB SPACE TELESCOPE: IL FUTURO HA INIZIO



Fasi di costruzione del James Webb Space Telescope
Credits: NASA

- Il James Webb Space Telescope (JWST) è il più importante telescopio del prossimo decennio, sviluppato da NASA con ESA, CSA; sarà operativo dal 2021.

- Verrà usato per esaminare tutte le fasi dello sviluppo dell'Universo, dai primi bagliori del Big Bang alla formazione di galassie e pianeti, fino all'evoluzione del nostro stesso Sistema solare.

- La sua concezione risale a più di 20 anni fa, quando non si sapeva quasi nulla riguardo agli esopianeti. Fosse progettato oggi, sarebbe impostato molto diversamente; risulterà comunque molto utile nella ricerca di nuovi candidati esopianeti soprattutto attraverso il metodo dei transiti. Ulteriori dettagli su questi possibili esopianeti arriveranno da studi congiunti con osservazioni da terra.

- Spesso non si avrà un'immagine diretta

del pianeta rilevato, ma si potranno solo osservare le variazioni di luminosità della stella attorno cui esso orbita. Tuttavia, nel caso la stella sia particolarmente luminosa, sarà possibile anche effettuare direct imaging (tramite coronografia).

- Con un'indagine spettrografica, sarà inoltre possibile riconoscere quali lunghezze d'onda vengono assorbite dalla

atmosfera di un certo esopianeta, della quale si può quindi determinare la composizione.

- JWST lavorerà soprattutto nel campo degli infrarossi, il che consente di concentrare la ricerca su oggetti molto distanti da noi (caratterizzati da un forte redshift) e su pianeti simili alla Terra.



Ricostruzione artistica delle potenzialità del James Webb Space Telescope e dei suoi strumenti scientifici. *Credits: NASA*

EXOPLANETS

COME SCOPRIAMO UN ESOPIANETA?

RIVELAZIONE DIRETTA O IMAGING

Consiste nell'osservare la luce dell'esopianeta tramite uno strumento detto coronografo che, posizionato opportunamente nel telescopio, blocca la luce della stella al centro dell'immagine e la attenua nel resto del campo inquadrato. Senza il coronografo, la stella risulterebbe almeno centomila volte più brillante del pianeta e quindi lo nasconderebbe del tutto in una immagine ripresa direttamente.

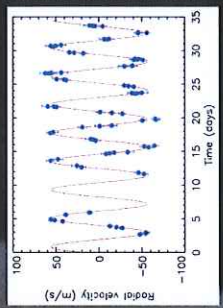
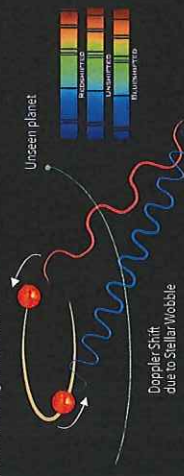


Gli esopianeti così scoperti rappresentano solo l'1% di tutti quelli noti ad oggi. La stragrande maggioranza di essi sono stati individuati con tecniche indirette, che non prevedono cioè l'osservazione della luce del pianeta ma consentono di rivelare gli effetti della presenza dei pianeti sulle loro stelle.

Sistema planetario della stella HD15129 contenente quattro pianeti giganti osservato nel vicino infrarosso con l'interferometro Keck alle Isole Hawaii. Si nota chiaramente che nel corso di sette anni (dal 2009 al 2016) i pianeti si sono mossi lungo le loro orbite. Credit: J. Wang e C. Mather

IL METODO DOPPLER

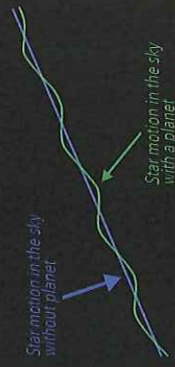
Il moto di una stella nello spazio risente della presenza di un pianeta intorno ad essa: la stella viene costretta ad oscillare a causa della forza di gravità del pianeta. È possibile allora rivelare uno o più esopianeti (nel caso di un sistema multiplo) misurando l'avvicinamento e l'allontanamento periodici della stella grazie al co-



Misura della velocità radiale di una stella nel tempo lungo la sua direzione di osservazione dalla stella 51 Pegasi (orbita blu). Credit: NASA

L'ASTROMETRIA

Permette di rivelare il moto della stella indotto dalla presenza di uno o più pianeti tramite le misure della posizione apparente della stella rispetto ad altre stelle di riferimento.

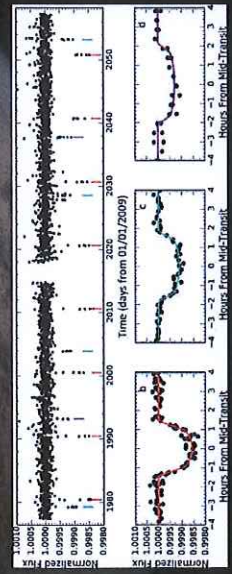


Moto apparente di una stella, indotto, invece, dalla presenza di uno o più pianeti (in rosso) orbitanti attorno ad essa. Credit: NASA

Oltre 3700 esopianeti e 600 sistemi planetari multipli sono noti ad oggi. Il metodo dei transiti e quello Doppler hanno portato al maggior numero di scoperte, avendo permesso di individuare rispettivamente il 78% e il 18% degli esopianeti noti.

I TRANSITI (O ECLISSI PLANETARIE)

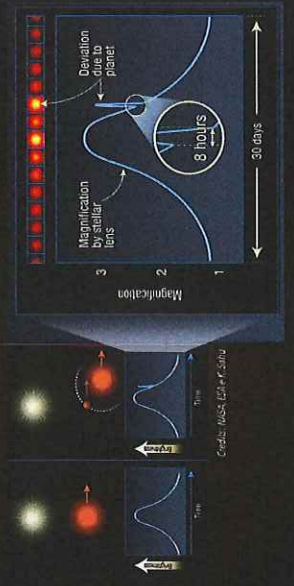
Consentono di individuare un esopianeta tramite l'osservazione della diminuzione di luce stellare provocata dal passaggio di un pianeta davanti alla sua stella. Durante il transito (o eclissi) il pianeta copre infatti una parte della stella causando un abbassamento della sua luce che è tanto maggiore quanto più grande è il pianeta e/o più



Misure della luce in funzione del tempo (in ore) di una stella durante il transito di un pianeta. Credit: NASA

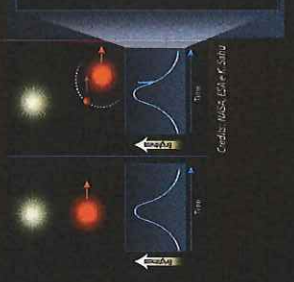
LE MICROLENTI GRAVITAZIONALI

Secondo la Relatività generale di Einstein, un corpo dotato di massa deforma lo spazio che lo circonda e la luce, nel suo propagarsi, è costretta a seguire tale deformazione. Di conseguenza, una stella può agire come una lente che amplifica la luce emessa da un'altra stella



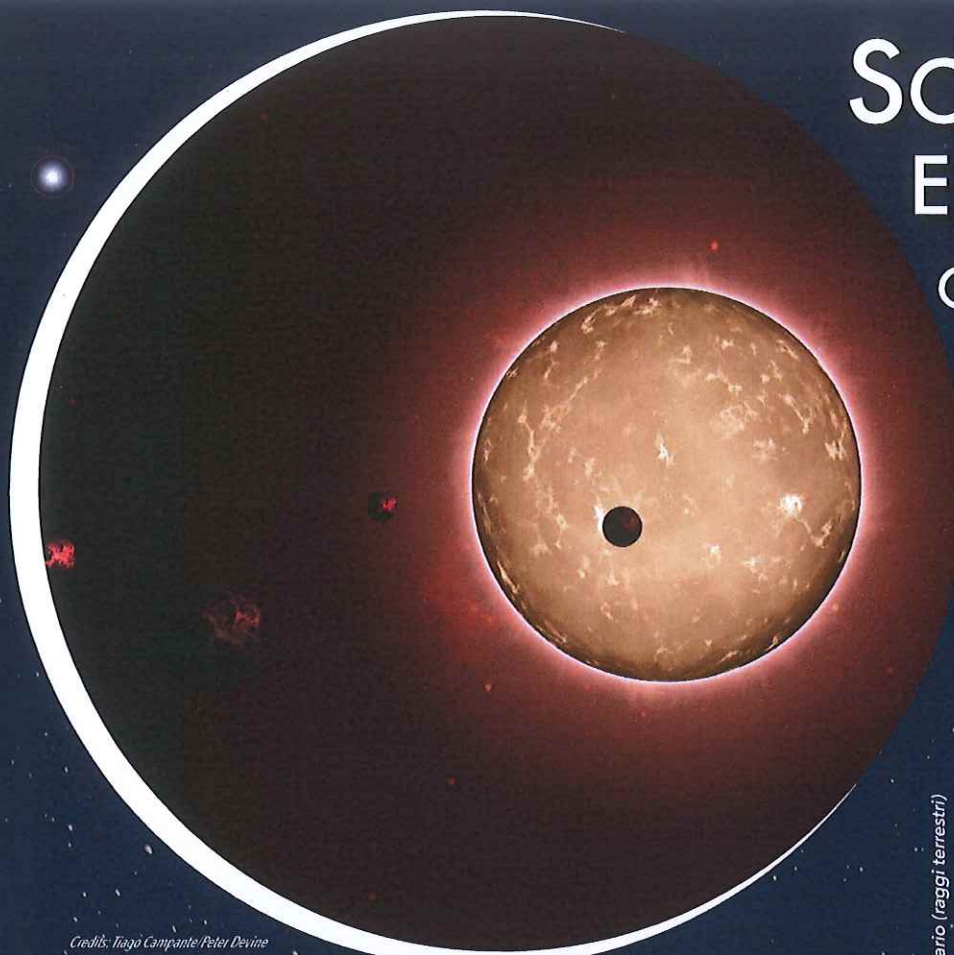
LE MICROLENTI GRAVITAZIONALI

Secondo la Relatività generale di Einstein, un corpo dotato di massa deforma lo spazio che lo circonda e la luce, nel suo propagarsi, è costretta a seguire tale deformazione. Di conseguenza, una stella può agire come una lente che amplifica la luce emessa da un'altra stella



Il segnale di un microlensing gravitazionale. Credit: NASA

SCOPRIRE E STUDIARE GLI ESOPIANETI



Credits: Tiago Campante/Peter Devine

	Periodo orbitale P	Eccentricità orbitale e	Inclinazione orbitale i	Massa planetaria minima $M_p \sin i$	Massa planetaria M_p	Raggio planetario R_p
IMAGING	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TRANSITI	✓	✓	✓	✗	✗	✓
DOPPLER	✓	✓	✗	✓	✗	✗
ASTROMETRIA	✓	✓	✓	✓	✓	✗
MICROLENTI GRAVITAZIONALI	✓	✗	✗	✗	✓	✗

Periodo orbitale P : è il periodo del moto di rivoluzione di un pianeta, ovvero il tempo che un pianeta impiega per compiere un giro completo attorno alla sua stella. È legato alla distanza media stella pianeta a dalla terza legge di Keplero: $P \propto a^3$. Nota P , è dunque possibile calcolare a .

Eccentricità orbitale e : dà un'informazione sulla forma dell'orbita di un esopianeta: quanto più alta è l'eccentricità ($0 \leq e \leq 1$), tanto più l'orbita è ellittica; $e=0$ corrisponde invece ad un'orbita circolare.

✓ Parametro ben determinato
 ✓ Parametro determinato o con grande ipertezza o ben determinato solo in specifici casi
 ✗ Parametro indeterminato

Inclinazione orbitale i : misura l'angolo di inclinazione del piano dell'orbita planetaria (ovvero del piano sul quale il pianeta si muove attorno alla sua stella) rispetto al piano perpendicolare alla nostra direzione di osservazione. Condizione necessaria perché un pianeta sia osservato in transito è che l'orbita planetaria sia orientata all'incirca lungo la nostra linea di vista ($i \approx 90^\circ$).

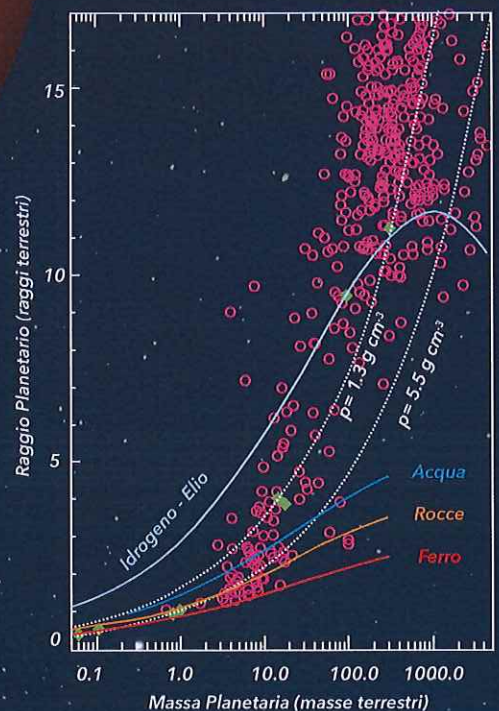


Diagramma massa-raggio in unità terrestri degli esopianeti in transito (cerchi magenta) di cui è stata determinata la massa. I triangoli verdi mostrano i pianeti del sistema solare Mercurio, Marte, Venere, Terra, Urano, Nettuno, Saturno e Giove (da sinistra a destra). Le linee colorate, dal basso verso l'alto, indicano la posizione dei pianeti con composizioni interne di ferro, rocce (silicati), acqua e gas (75% di idrogeno e 25% di elio). Le linee a punti mostrano la posizione dei pianeti con densità di Giove ($\rho = 1.3 \text{ g cm}^{-3}$) e della Terra ($\rho = 5.5 \text{ g cm}^{-3}$).

L'osservazione di un esopianeta con più di una tecnica non solo conferma la sua scoperta ma, in certi casi, permette di determinarne alcune importanti proprietà. Per esempio, l'osservazione combinata con il metodo dei transiti e con quello Doppler consente di determinare la densità media del pianeta, e cioè il rapporto fra la sua massa e il suo volume, dalla relazione

$\rho_p = M_p / (4/3 \pi R_p^3)$. La misura di densità, a sua volta, permette di capire la natura di un pianeta (gassoso, ghiacciato, roccioso) e di stimare la sua composizione.

Con la tecnica dei transiti o l'imaging diretto (eventualmente combinato con il metodo Doppler) è inoltre possibile determinare la composizione chimica e le

proprietà fisico-chimiche delle atmosfere degli esopianeti. Tali tecniche consentiranno anche di cercare nelle atmosfere di pianeti terrestri le "bio-signatures", ovvero molecole indicatrici della possibile presenza di vita come l'ossigeno O_2 , l'ozono O_3 e il metano CH_4 .

EXOPLANETS



Osservatori astronomici di tutto il mondo che si occupano della ricerca e dello studio degli esopianeti. I riquadri colorati accanto ad ogni osservatorio indicano il numero di strumenti scientifici dedicati agli esopianeti e la tecnica da essi adoperata.

- METODO DOPPLER
- TRANSIT
- IMAGING SPATIALE
- MERCENING SPATIALE

- HAWAII**
 - Mauna Kea Observatory, Hawaii
 - Mount Graham International Observatory, Arizona
 - Water Observatory, Arizona
- USA**
 - Hawaii, Cile, Osservatorio, Usa
 - New Mexico, Cile, Osservatorio, Nuova Messico
 - McDonald Observatory, Texas
 - Roque de los Muchachos Observatory, Spagna
 - Canary Islands, Spagna
 - Observatorio del Teide, Spagna
- CANARIE**
 - Observatorio del Teide, Spagna
- SUD AMERICA**
 - Paranal European Southern Observatory, Cile
 - Las Campanas Observatory, Cile
 - La Silla European Southern Observatory, Cile
 - Centra Ibero-Americana Observatory, Cile
- SUD AFRICA**
 - The High Energy Spectroscopic System site, Namibia
 - South African Astronomical Observatory, Sud Africa
- EUROPA**
 - Observatoire de Haute-Provence, Francia
 - Observatoire astronomique di Napoli, Francia
- AUSTRALIA**
 - Siding Spring Observatory, Australia
- NUOVA ZELANDA**
 - Mount John University Observatory, Nuova Zelanda

2035

HabEx
(Habitable Exoplanet Imaging mission) in fase di studio, NASA



LUVOIR
(Large Ultra Violet/Optical/InfraRed survey) in fase di studio, NASA



2028

ARIEL
(Atmospheric Remote-sensing Exoplanet Large-survey) ESA



2026

PLATO
(PLANetary Transits and Oscillations of stars) ESA



2025

WFIRST
(Wide Field Infrared Survey Telescope) NASA



2021

JWST
(James Webb Space Telescope) NASA, ESA, e CSA



2018

TESS
(Transiting Exoplanet Survey Satellite) NASA



CHEOPS
(CHARacterising EXOPlanet Satellite) ESA



2013

Gaia
ESA



2009

Kepler
NASA



2006

CoRoT
(Convection Rotation and planetary Transits) CNES ed ESA



2003

Spitzer
NASA



1990

Hubble Space Telescope
NASA ed ESA



Missioni spaziali interamente o in parte dedicate alla ricerca e allo studio degli esopianeti. I riquadri colorati indicano la tecnica utilizzata da ciascun telescopio spaziale.



EXOPLANETS