

NUOVI STUDI SU ENCELADO, LUNA DI SATURNO

Riprendiamo da MEDIA INAF del 2 e del 3 ottobre 2025, con autorizzazione, due articoli dedicati a recenti studi su Encelado, la luna ghiacciata di Saturno.

ENCELADO E LA COMPLESSA CHIMICA DEI SUOI PENNACCHI

Identificate diverse molecole organiche complesse nei geyser di Encelado, analizzando i dati ottenuti dalla sonda Cassini durante un sorvolo nel 2008. I composti si formerebbero direttamente nell'oceano sotterraneo della luna e potrebbero rappresentare precursori di molecole biologicamente rilevanti. La scoperta è stata pubblicata su Nature Astronomy.

Che Encelado, una delle lune di Saturno, fosse un corpo celeste di grande interesse astrobiologico lo si era capito già nel 2005, quando la sonda Nasa/Esa/Asi Cassini individuò per la prima volta le prove dell'esistenza di un vasto oceano d'acqua nascosto sotto la sua crosta ghiacciata. L'evidenza rivelatrice fu la scoperta di getti simili a geyser, contenenti vapore acqueo e particelle di ghiaccio, emessi dalle cosiddette *tiger stripes*, fratturazioni della superficie presenti al polo sud del satellite naturale.

Nel corso degli anni, l'analisi di questi pennacchi ha rivelato che la luna possiede la maggior parte degli ingredienti chimici necessari alla vita, incluse alcune molecole precursori degli amminoacidi – i mattoncini per la costruzione delle proteine –, consolidando l'idea che Encelado sia uno dei luoghi più promettenti per la ricerca di biofirme.

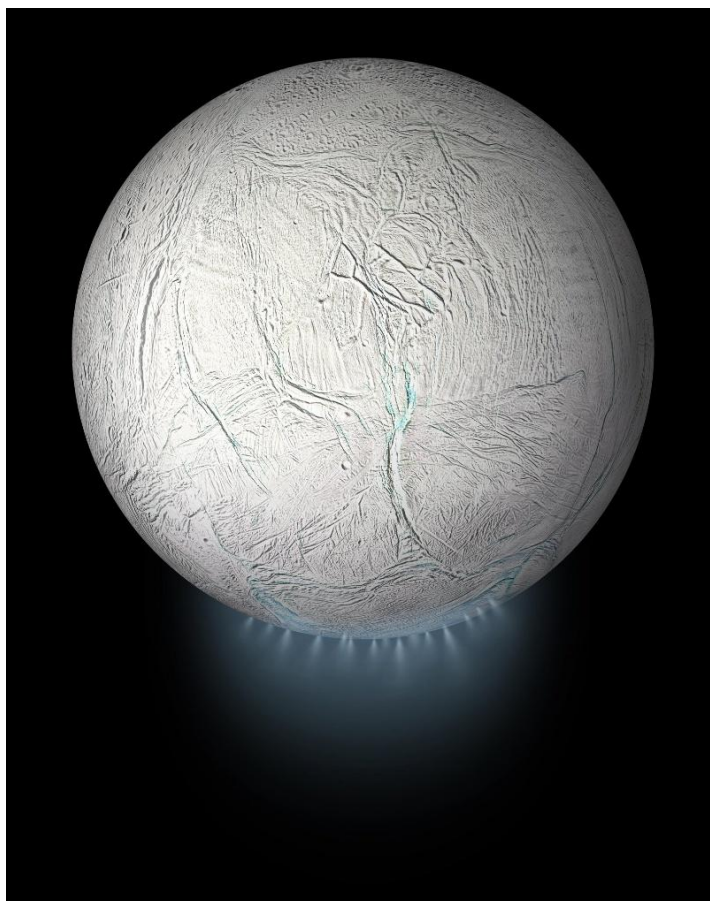


Illustrazione artistica mostra la luna ghiacciata di Saturno, Encelado, con il pennacchio di particelle di ghiaccio e vapore acqueo che fuoriescono dalle fratture nella regione del polo sud della luna. Crediti: Nasa/Jpl-Caltech

Un'ulteriore conferma di questo interesse astrobiologico arriva ora grazie a uno studio condotto da un team di scienziati guidato dall'Università di Stoccarda, in Germania: utilizzando i dati ottenuti dalla sonda Cassini durante un *flyby* del 2008, gli autori hanno scoperto che i giganteschi pennacchi eruttati dalla luna contengono una varietà di molecole organiche che possono fungere da precursori per la formazione di molecole biologiche. I risultati della ricerca, pubblicati oggi su *Nature Astronomy*, suggeriscono che all'interno dell'oceano sottosuperficiale della luna avvengano reazioni complesse potenzialmente rilevanti per la biologia. Una scoperta che rafforza la necessità di una missione dedicata per migliorare le nostre conoscenze su questo mondo oceanico.

A svelare la ricca chimica organica dei pennacchi di Encelado è stato il Cosmic Dust Analyser di Cassini, uno strumento in grado di rilevare particelle grandi appena un millesimo di millimetro e di determinarne la composizione. L'occasione si è presentata durante il sorvolo delle *tiger stripes* situate nei pressi di Alexandria Sulcus, una struttura geologica a sud della luna, effettuato dalla sonda il 9 ottobre del 2008 a una distanza di 21 chilometri. L'incontro è stato unico nel suo genere, poiché è avvenuto alla velocità più alta mai raggiunta in un *flyby* di Encelado: quasi 18 chilometri al secondo. Una scelta, questa della velocità del sorvolo, che è stata fondamentale per la scoperta.

«I grani di ghiaccio non contengono soltanto acqua congelata, ma anche altre molecole, comprese quelle organiche. A velocità di sorvolo basse, il ghiaccio che colpisce lo strumento può aggregarsi, mascherando il segnale di alcune molecole organiche», spiega **Nozair Khawaja**, ricercatore all'Università di Stoccarda e primo autore dello studio. Ma quando i grani di ghiaccio colpiscono il Cosmic Dust Analyser ad alta velocità, le molecole d'acqua non si aggregano e abbiamo così la possibilità di rilevare segnali che prima restavano nascosti».

L'analisi dei dati ha svelato un vero e proprio ecosistema di molecole organiche: composti aromatici, aldeidi, esteri, alcheni ed eteri, tutte molecole che sulla Terra sono coinvolti in vie chimiche che portano alla formazione di molecole più complesse, fondamentali per la vita.

I composti aromatici sono molecole cicliche a base di carbonio che possono fungere da nuclei per la sintesi di altri composti organici più complessi, cruciali per la cosiddetta chimica prebiotica, ovvero la chimica che precede l'origine della vita. Le aldeidi, una classe di molecole organiche contenenti atomi di ossigeno, sono intermedi fondamentali delle reazioni che portano alla formazione di molecole biologicamente importanti come gli acidi carbossilici e gli amminoacidi. Gli esteri e gli alcheni sono due classi di composti organici alla base dei percorsi chimici che portano alla formazione dei fosfolipidi, le molecole delle membrane cellulari, e delle reazioni chimiche che diversificano le molecole prodotte nei siti idrotermali. Gli eteri, infine, sono composti che svolgono ruoli importanti nei contesti biologici terrestri: la loro scoperta su Encelado amplia la gamma di molecole potenzialmente utili per la vita, arricchendo ulteriormente l'inventario chimico del suo oceano.

«Ci sono molti percorsi chimici possibili che dalle molecole organiche identificate nei dati di Cassini possono portare alla formazione di composti potenzialmente rilevanti per la biologia, il che aumenta la probabilità

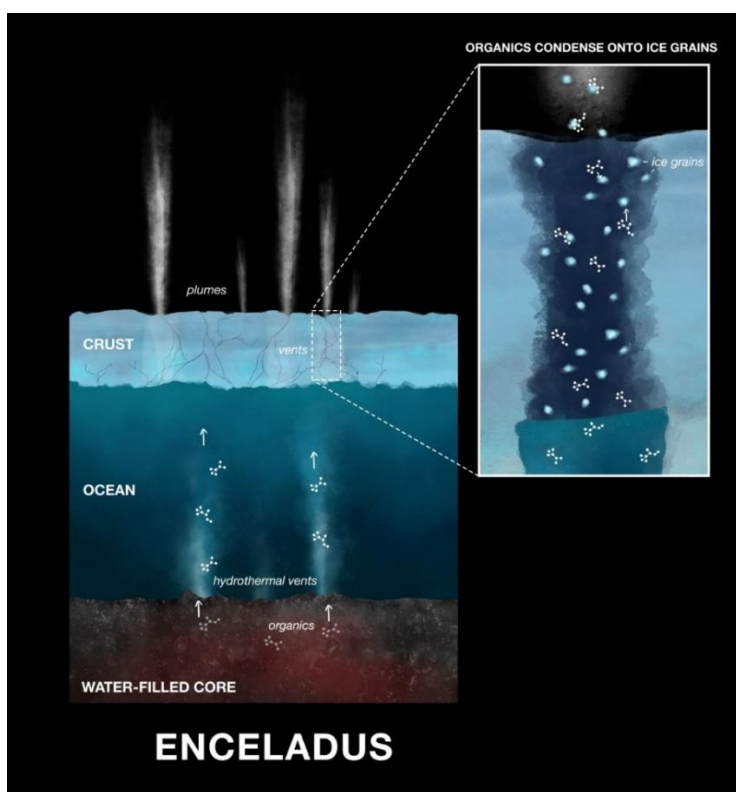


Illustrazione artistica che mostra la stratigrafia di Encelado e il probabile processo che porta all'emissione di pennacchi dalle fessurazioni. Crediti: Nasa/Jpl-Caltech

che la luna sia abitabile», sottolinea Nozair. «Abbiamo ancora molti dati da analizzare», continua lo scienziato, «per questo, nel prossimo futuro ci aspettiamo altre scoperte».

La rivelazione di queste molecole nei grani freschi espulsi da Encelado non solo amplia la nostra comprensione del potenziale di abitabilità della luna, ma suggerisce anche che la sua ricca composizione organica derivi da processi idrotermali interni, piuttosto che da trasformazioni dovute all'esposizione alle radiazioni spaziali. A proposito di quest'ultimo punto, vale la pena ricordare che uno degli anelli di Saturno – l'anello E, il più esterno di tutti – è alimentato proprio dai pennacchi di Encelado. Studiare la sua composizione significa dunque, indirettamente, studiare l'oceano sotterraneo della luna. E in effetti diversi studi hanno analizzato la composizione dell'anello per inferire la composizione dei pennacchi, trovando diverse molecole organiche, compresi i precursori degli amminoacidi. Tuttavia, c'è un'obiezione per questo tipo di ricerche: poiché i grani di ghiaccio dell'anello possono restare esposti per secoli alla radiazione, è possibile che la loro composizione chimica sia alterata. Da qui la necessità di studiare la composizione dei pennacchi in maniera diretta, subito dopo la loro emissione.

«Le molecole organiche che abbiamo trovato nel materiale fresco emesso da Encelado dimostrano che i composti complessi trovati da Cassini nell'anello E non sono semplicemente un prodotto dell'esposizione allo spazio, ma sono effettivamente disponibili nell'oceano della luna», dice a questo proposito **Frank Postberg**, ricercatore all'Università libera di Berlino, in Germania e coautore dello studio.

Questi risultati sono preziosi anche per pianificare future missioni dedicate a Encelado. L'Esa, in particolare, sta valutando di lanciare una missione verso il satellite naturale che, oltre al *flyby*, prevede anche di atterrare sul suo polo sud per raccogliere campioni. Ispirata all'esperienza delle missioni *Juice* e Cassini, la nuova missione, il cui lancio potrebbe avvenire intorno al 2040, potrebbe svelare i segreti di questo mondo oceanico.

Giuseppe Fiasconaro

<https://www.media.inaf.it/2025/10/02/chimica-oceano-encelado/>

Nozair Khawaja, Frank Postberg, Thomas R. O'Sullivan, Maryse Napoleoni, Sascha Kempf, Fabian Klenner, Yasuhito Sekine, Maxwell Craddock, Jon Hillier, Jonas Simolka, Lucía Hortal Sánchez e Ralf Srama, "Detection of Organic Compounds in Freshly Ejected Ice Grains from Enceladus's Ocean" *Nature Astronomy*, Published: 1 October 2025

V. su *Media Inaf* l'intervista a Grace Richards "Quattro chiacchiere sui pennacchi di Encelado"

QUANTO GHIACCIO PERDE ENCELADO?

Encelado, luna di Saturno, espelle pennacchi di ghiaccio e vapore da un oceano sotterraneo. Un nuovo studio ha stimato che la quantità di materiale emessa è fino al 40 per cento inferiore rispetto a quanto si pensava. Grazie a supercomputer e modelli avanzati, si simula con precisione il comportamento di questi getti, dati utili per future missioni Nasa ed Esa alla ricerca di vita. Lo studio è pubblicato su Journal of Geophysical Research: Planets.

Encelado è una delle lune più affascinanti di Saturno. Con i suoi soli 500 chilometri di diametro, è un mondo minuscolo che, sotto la sua crosta ghiacciata, nasconde un oceano di acqua liquida. Dalle fessure della superficie fuoriescono pennacchi di vapore acqueo e particelle di ghiaccio che si disperdono nello spazio, contribuendo a formare parte degli anelli del pianeta. Ma quanto materiale viene effettivamente espulso?

Un nuovo studio, pubblicato su *Journal of Geophysical Research: Planets*, ha fornito stime più precise e aggiornate della massa di ghiaccio che Encelado perde nello spazio: tra il 20 e il 40 per cento in meno rispetto a quanto si pensava finora. Gli autori dello studio hanno sviluppato simulazioni avanzate basate sul metodo Direct Simulation Monte Carlo (Dsmc) in grado di modellare con grande dettaglio il comportamento delle particelle di gas e ghiaccio nei pennacchi criovulcanici della luna.

Il modello simula milioni di molecole su scale temporali dell'ordine dei microsecondi, permettendo di calcolare con precisione la densità, la velocità e la temperatura dei getti provenienti da oltre cento sorgenti attive sulla superficie. A differenza dei modelli precedenti, quello Dsmc tiene conto anche della debole gravità di Encelado, troppo bassa per trattenere il materiale espulso.

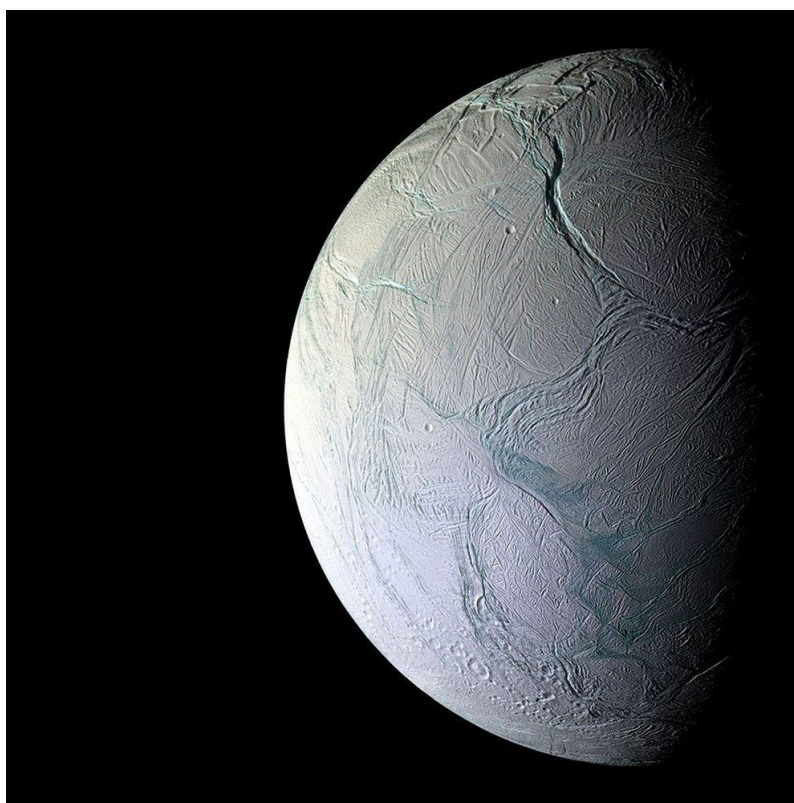




Rappresentazione artistica della sonda Cassini mentre attraversa i pennacchi che fuoriescono dalla luna oceanica di Saturno, Encelado.

Crediti: Nasa's Goddard Space Flight Center

I giganteschi geyser della luna sono stati scoperti per la prima volta dalla sonda Cassini-Huygens della Nasa, che a partire dal 2005 ha rivoluzionato lo studio di Saturno e del suo sistema di satelliti. I pennacchi di Encelado rappresentano una finestra naturale sull'ambiente sotterraneo, consentendo di esplorare indirettamente l'oceano nascosto sotto la crosta ghiacciata, senza bisogno di perforarla. Comprenderne la composizione e il comportamento è cruciale per la progettazione delle future missioni spaziali. Sia la Nasa che l'Agenzia spaziale europea (Esa) stanno valutando missioni ambiziose che prevedono l'atterraggio su Encelado e la perforazione della crosta per esplorare direttamente l'oceano alla ricerca di segni di vita.



Encelado, la luna "palla di neve" di Saturno, potrebbe forse ospitare forme di vita nell'acqua liquida sotto la sua superficie.

Crediti: Nasa

Il progetto ha potuto contare sulle risorse di calcolo messe a disposizione dal Tacc (Texas Advanced Computing Center), che hanno reso possibile la simulazione dell'intera regione che va dalla superficie di Encelado fino a dieci chilometri di altitudine, dove i pennacchi si espandono nello spazio. La potenza dei supercomputer, attraverso le simulazioni, ci permette di avvicinarci sempre di più alla realtà dei mondi lontani e difficilmente raggiungibili, fornendo risposte a domande che fino a 10 o 15 anni fa non avremmo potuto neanche immaginare.

Giulia Mantovani

<https://www.media.inaf.it/2025/10/03/quanto-ghiaccio-perde-encelado/>

A. Mahieux, D. B. Goldstein, P. L. Varghese, L. M. Trafton, G. Portyankina, L. W. Esposito, M. E. Perry, J. H. Waite, B. S. Southworth, S. Kempfeggi, "Enceladus Water Plume Modeling Using DSMC", *Journal of Geophysical Research: Planets*, Volume 130, Issue 9, September 2025, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2025JE009008>

