

L'ORIGINE DELLA SOTTILE ATMOSFERA LUNARE

Grazie all'analisi dei campioni di suolo lunare raccolti durante le missioni Apollo, si è scoperto che la vaporizzazione da impatto è il processo principale con cui la Luna ha generato e sostenuto la sua atmosfera estremamente sottile nel corso di miliardi di anni. Si è arrivati a questa conclusione misurando il rapporto specifico tra isotopi leggeri e pesanti presenti nel suolo lunare. Tutti i dettagli su Science Advances.

Da MEDIA INAF del 7 agosto 2024 riprendiamo, con autorizzazione, un articolo di Maura Sandri.

Pur non avendo aria respirabile, la Luna ha un accenno di atmosfera. Dagli anni Ottanta gli astronomi hanno osservato un **sottilissimo strato di atomi** che “rimbalzano” sulla superficie lunare. Questa sottile atmosfera – tecnicamente nota come esosfera – è probabilmente il prodotto di un qualche tipo di agente atmosferico spaziale ma è sempre stato difficile stabilire con certezza quale sia il processo coinvolto.

Ora, gli scienziati del Mit e dell'Università di Chicago affermano di aver identificato il processo principale che ha formato l'atmosfera lunare e continua tuttora a sostenerla. In uno studio pubblicato su *Science Advances*, il team riferisce che l'atmosfera lunare è principalmente il prodotto della **vaporizzazione da impatto**.

Nel loro studio, i ricercatori hanno analizzato **campioni di suolo lunare** raccolti dagli astronauti durante le missioni Apollo della Nasa. La loro analisi suggerisce che, nel corso dei 4,5 miliardi di anni di storia della Luna, la sua superficie è stata continuamente bombardata, prima da massicci meteoriti e poi, più recentemente, da **micrometeoroidi**, grandi come grani di polvere. Questi impatti costanti hanno smosso il suolo lunare, vaporizzando alcuni atomi al contatto e facendo volare in aria le particelle. Alcuni atomi vengono espulsi nello spazio, mentre altri rimangono sospesi sulla Luna, formando una tenue atmosfera che viene costantemente rifornita quando altri meteoriti continuano a colpire la superficie.

Ma vediamo come è avvenuta la scoperta.

Nel 2013 la Nasa inviò un *orbiter* intorno alla Luna per effettuare una **dettagliata ricognizione atmosferica**. Il Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer (Ladee, pronunciato *laddie*) aveva il compito di raccogliere a distanza informazioni sulla sottile atmosfera lunare, sulle condizioni della superficie e su eventuali influenze ambientali sulla polvere lunare. Gli scienziati speravano che le misurazioni della sonda sulla composizione del suolo e dell'atmosfera potessero essere correlate a determinati processi di erosione spaziale che avrebbero potuto spiegare come si è formata l'atmosfera lunare.

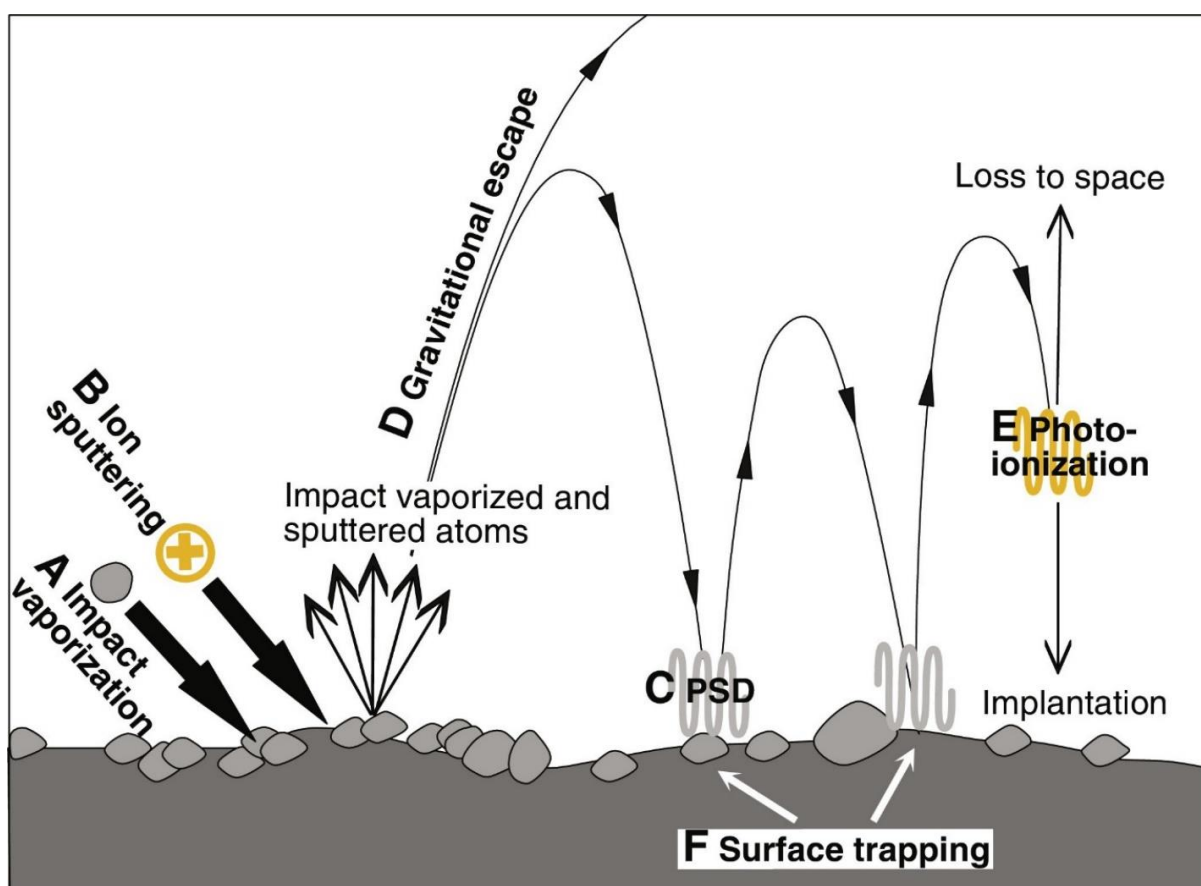
Già all'epoca sospettavano che due processi meteorologici spaziali avessero un ruolo nella formazione dell'atmosfera lunare: la vaporizzazione da impatto e lo *sputtering* ionico, un fenomeno che coinvolge il vento solare, che trasporta particelle cariche energetiche dal Sole attraverso lo spazio. Quando queste particelle colpiscono la superficie lunare, possono trasferire la loro energia agli atomi del suolo e farli schizzare in aria.

«In base ai dati di Ladee, sembra che entrambi i processi svolgano un ruolo importante», spiega **Nicole Nie** del Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences del Mit. «Per esempio, è emerso che durante le piogge di meteoriti si vedono più atomi nell'atmosfera, il che significa che gli impatti hanno un effetto. Ma ha anche mostrato che quando la Luna è protetta dai raggi del Sole, come durante un'eclissi, ci sono cambiamenti negli atomi dell'atmosfera, il che significa che anche il Sole ha un impatto».

Per individuare con maggiore precisione le origini dell'atmosfera lunare, Nie ha preso in considerazione i campioni di suolo lunare raccolti dagli astronauti durante le missioni Apollo della Nasa. Insieme ai suoi colleghi dell'Università di Chicago ha acquisito 10 campioni di suolo lunare, ognuno dei quali misurava circa 100 milligrammi, una quantità minima che, secondo le sue stime, potrebbe stare in una singola goccia di pioggia. Da ogni campione ha cercato di isolare due elementi: il **potassio** e il **rubidio**. Entrambi gli elementi sono volatili, cioè facilmente vaporizzabili con urti e *sputtering* ionico.

Ogni elemento esiste sotto forma di diversi isotopi, dove un isotopo è una variazione dello stesso elemento che presenta lo stesso numero di protoni ma un numero leggermente diverso di neutroni. Per esempio, il potassio può esistere in tre isotopi, ognuno dei quali ha un neutrone in più ed è leggermente più pesante del precedente. Allo stesso modo, esistono due isotopi del rubidio.

Il team ha pensato che se l'atmosfera lunare fosse costituita da atomi che sono stati vaporizzati e sospesi nell'aria, gli isotopi più leggeri dovrebbero essere trasportati più facilmente, mentre quelli più pesanti avrebbero maggiori probabilità di depositarsi al suolo. Inoltre, la vaporizzazione da impatto e lo *sputtering* di ioni dovrebbero determinare proporzioni isotopiche molto diverse nel suolo. In particolare, il **rapporto specifico tra isotopi leggeri e pesanti che rimangono nel suolo**, sia per il potassio che per il rubidio, dovrebbe rivelare il processo principale che contribuisce alle origini dell'atmosfera lunare.



All'origine della sottile atmosfera lunare potrebbe esserci (A) la vaporizzazione da impatto di meteoriti, (B) lo sputtering ionico da vento solare e (C) il desorbimento stimolato dai fotoni. La vaporizzazione da impatto e lo sputtering ionico del vento solare liberano gli atomi dalle rocce, mentre la (C) rilascia solo gli atomi adsorbiti debolmente legati. Una volta che gli atomi sono stati rilasciati da (B) o (A), una frazione di essi viene persa nello spazio attraverso la fuga gravitazionale (D). La (C) non provoca alcuna fuga gravitazionale a causa della sua bassa energia. Gli atomi che non fuggono direttamente nello spazio possono rimbalzare più volte sulla superficie lunare finché non vengono persi nello spazio o reimpiantati sulla superficie lunare tramite (E) fotoionizzazione o (F) essere intrappolati in modo permanente sulla superficie lunare. Crediti: *Science Advances*, Nie et al.

Tenendo conto di tutto ciò, Nie ha analizzato i campioni Apollo dapprima frantumandoli in polvere fine, poi sciogliendo le polveri in acidi per purificare e isolare le soluzioni contenenti potassio e rubidio.

Successivamente, ha fatto passare queste soluzioni attraverso uno spettrometro di massa per misurare i vari isotopi di potassio e rubidio presenti in ogni campione.

Alla fine, il team ha scoperto che i terreni contenevano soprattutto **isotopi pesanti di potassio e rubidio**. I ricercatori sono stati in grado di quantificare il rapporto tra isotopi pesanti e leggeri sia del potassio che del rubidio e, confrontando i due elementi, hanno scoperto che la vaporizzazione da impatto è molto probabilmente il processo dominante attraverso il quale gli atomi vengono vaporizzati e trasportati a formare l'atmosfera lunare.

«Con la vaporizzazione da impatto, la maggior parte degli atomi rimane nell'atmosfera lunare, mentre con lo *sputtering* ionico molti atomi vengono espulsi nello spazio», spiega Nie. «Grazie al nostro studio, ora possiamo **quantificare il ruolo di entrambi i processi** e dire che il contributo relativo della vaporizzazione da impatto rispetto allo *sputtering* ionico è di circa 70:30 o più». In altre parole, il 70% o più dell'atmosfera lunare è il prodotto dell'impatto di meteoriti, mentre il restante 30% è una conseguenza del vento solare.

«La scoperta di un effetto così sottile è notevole, grazie all'idea innovativa di combinare le misurazioni degli isotopi di potassio e rubidio con un'attenta modellazione quantitativa», afferma **Justin Hu**, postdoc che studia i suoli lunari all'Università di Cambridge, che non ha partecipato allo studio. «Questa scoperta va oltre la comprensione della storia della Luna, poiché tali processi potrebbero verificarsi ed essere più significativi su altre lune e asteroidi, che sono al centro di molte missioni di ritorno programmate».

«Senza questi campioni Apollo, non saremmo stati in grado di ottenere dati precisi e fare misure quantitative per capire le cose in modo più dettagliato», afferma Nie. «È importante riportare campioni dalla Luna e da altri corpi planetari, in modo da poter tracciare immagini più chiare della formazione e dell'evoluzione del Sistema solare».

Maura Sandri

<https://www.media.inaf.it/2024/08/07/origine-atmosfera-lunare/>

Nicole X. Nie, Nicolas Dauphas, Zhe J. Zhang, Timo Hopp e Menelaos Sarantos, "Lunar soil record of atmosphere loss over eons", *Science Advances*, Vol. 10, Issue 31, 2 Aug 2024



Immagine artistica della navicella spaziale Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer (LADEE) in orbita attorno alla Luna. Crediti: NASA Ames / Dana Berry
<https://science.nasa.gov/mission/ladee/>