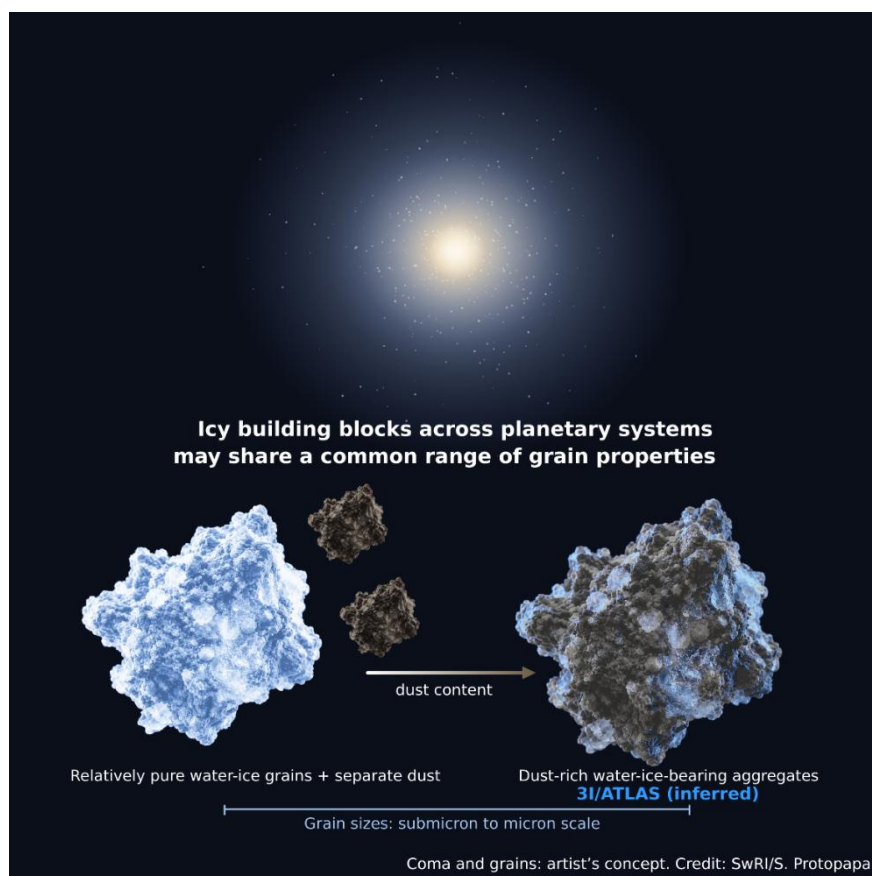


IL GHIACCIO SPORCO DELLA COMETA INTERSTELLARE 3I/ATLAS

Un nuovo studio condotto con il telescopio spaziale James Webb analizza i grani di ghiaccio nella chioma del terzo oggetto interstellare confermato. La combinazione tra ghiaccio d'acqua e polveri refrattarie rivela una parentela inaspettata con i corpi della Fascia di Kuiper e suggerisce un processo universale di formazione dei planetesimi. Da MEDIA INAF del 28 ottobre 2026 riprendiamo, con autorizzazione, un articolo di Albino Carbognani.

Gli oggetti provenienti dallo spazio interstellare rappresentano un'opportunità unica per l'astrofisica moderna: sono frammenti di roccia e ghiaccio espulsi da altri sistemi planetari durante le fasi caotiche della loro formazione. Analizzare la loro composizione significa studiare da vicino la chimica dei dischi protoplanetari alieni senza dover viaggiare per decine di anni luce. Dopo lo storico avvistamento di 1I/'Oumuamua nel 2017 e della cometa attiva 2I/Borisov nel 2019, la recente scoperta di 3I/Atlas ha offerto una nuova opportunità. A differenza di 'Oumuamua, privo di attività visibile, 3I/Atlas ha mostrato una chioma cometaria ricca di gas e polveri durante il suo passaggio nel Sistema solare interno, offrendo agli astronomi la possibilità di studiare direttamente il materiale volatile sublimato dal suo nucleo.



Per le comete del Sistema solare i granelli di ghiaccio sono stati interpretati come ghiaccio relativamente puro, con la polvere concentrata in granelli separati (a sinistra). Gli spettri di 3I/Atlas ottenuti da Webb si spiegano meglio ipotizzando la presenza di minuscoli aggregati di ghiaccio d'acqua mescolati a polvere (a destra). Entrambe le tipologie di granelli hanno dimensioni pari o inferiori a un micron. Gli spettri della cometa ricordano quelli di alcuni corpi ghiacciati situati oltre Nettuno. Crediti: Courtesy of Swri/Silvia Protopapa

Per decifrare la natura del ghiaccio di 3I/Atlas, un team internazionale guidato dall'astrofisica **Silvia Protopapa** del Southwest Research Institute (Boulder, Usa) — con la partecipazione di ricercatori europei e dell'Esa (tra cui Marco Micheli dell'Esa Neoc) — ha impiegato la straordinaria sensibilità del telescopio spaziale James Webb (Jwst). Il gruppo ha utilizzato lo spettrografo NirSpec, che garantisce una copertura spettrale continua nel vicino e nel medio infrarosso tra 0,6 e 5,3 micrometri (μm). La cometa è stata osservata in tre epoche chiave, distribuite nell'arco di otto mesi, a cavallo del passaggio al perielio avvenuto il 29 ottobre 2025. L'epoca 1 cade nell'agosto 2025, con la cometa a 3,1 au dal Sole prima del passaggio al perielio; l'epoca 2 è a dicembre 2025, con la cometa a 2,38 au dal Sole, subito dopo il perielio; infine, l'epoca 3 cade nell'aprile 2026, con la cometa già in fase di allontanamento verso lo spazio interstellare, a ben 5,65 au dal Sole.

In condizioni normali, lo spettro infrarosso del ghiaccio d'acqua presenta **tre caratteristiche bande di assorbimento** legate alle vibrazioni della molecola d'acqua: due bande più deboli a 1,5 e 2 μm e una **banda fondamentale molto intensa** e profonda centrata intorno a 3 μm . Quando il team ha analizzato i dati di Jwst su 3I/Atlas, si è trovato di fronte a una vera e propria **anomalia spettrale**: la banda a 3 μm era estremamente marcata e profonda, mentre le altre due bande erano debolissime o del tutto assenti. Nelle comete del Sistema solare a noi note (come la 103P/Hartley 2 o la C/2024 E1), quando il ghiaccio è visibile nella chioma, le tre bande appaiono generalmente tutte ben definite. Perché in 3I/Atlas le due bande a lunghezza d'onda più breve sono cancellate? Attraverso complessi modelli radiometrici basati sulla teoria di Mie e sull'approssimazione del mezzo efficace di Bruggeman, i ricercatori hanno risolto il rompicapo: l'assenza delle bande a 1,5 e 2 μm non indica una mancanza di ghiaccio d'acqua, bensì rivela la sua struttura microfisica. Il ghiaccio nella chioma della 3I/Atlas non è presente sotto forma di grani puri, ma è intimamente mescolato a materiale refrattario (principalmente pirosseni amorfi e carbonio amorfo) in aggregati di dimensioni submicroniche e microniche (0,5-5 μm). La presenza pervasiva di polvere minerale scura all'interno delle singole particelle ghiacciate riduce drasticamente il cammino ottico della luce nel ghiaccio; di conseguenza, **le bande di assorbimento più deboli vengono soppresse, mentre la transizione fondamentale a 3 μm rimane perfettamente visibile**.

Il risultato più affascinante dello studio risiede nel confronto tra lo spettro di 3I/Atlas e le diverse famiglie di corpi minori del nostro Sistema solare. Confrontando i dati di 3I/Atlas con quelli del programma Jwst Disco (dedicato agli oggetti oltre l'orbita di Nettuno), gli autori hanno rilevato una straordinaria sovrapposizione spettrale con i Tno ricchi di anidride carbonica o di materiali organici in superficie. Fino ad oggi, la mancanza delle bande a 1,5 e 2 μm in questa tipologia di Tno aveva portato ad attribuire l'assorbimento a 3 μm a molecole con legami O-H diversi da quello dell'acqua, come il metanolo o materiali organici. Lo studio su 3I/Atlas dimostra, invece, che anche in molti Tno l'assorbimento a 3 μm può essere generato direttamente dal ghiaccio d'acqua intrappolato in aggregati ricchi di polveri minerali.

Le scoperte ottenute su 3I/Atlas conducono a una conclusione di portata cosmologica: **i mattoni primordiali che hanno formato i planetesimi nei dischi protoplanetari mostrano una continuità strutturale e fisica universale**. Sia nel nostro Sistema solare sia nei sistemi esoplanetari alieni, il ghiaccio d'acqua non si distribuisce casualmente, ma varia lungo un continuum fisico che va da grani di ghiaccio relativamente puri fino ad aggregati microscopici fortemente dominati da materiale refrattario. La cometa 3I/Atlas si colloca proprio all'estremo ricco di refrattari di questo spettro. Questo dimostra che, sebbene la composizione chimica esatta possa variare da stella a stella, **i processi di coagulazione delle polveri e del ghiaccio nei dischi protoplanetari seguono regole fisiche comuni in tutta la galassia**.

Albino Carbognani

<https://www.media.inaf.it/2026/10/28/il-ghiaccio-sporco-della-cometa-interstellare-3i-atlas/>

Silvia Protopapa *et al.*, "JWST Reveals Refractory-rich Water Ice in Interstellar Comet 3I/ATLAS: Evidence for a Continuum of Grain Properties across Protoplanetary Disks", *The Astrophysical Journal Letters*, Volume 1011, Number 1, 2026, DOI 10.3847/2041-8213/aea60d

<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/aea60d/pdf>

