

Avanzamento della scienza interstellare: un quadro globale per lo studio completo degli oggetti interstellari

AUTORE: Avi Loeb - 30 Settembre 2025 - Vai all'articolo originale [LINK](#)



(Credit immagine: Omer Eldadi)

di Omer Eldadi (1), Gershon Tenenbaum (1) e Avi Loeb (2)

1. *Dipartimento di Psicologia, Università Reichman, Herzliya, Israele*
 2. *Dipartimento di Astronomia, Università di Harvard, Cambridge, MA, USA*
- (Libro bianco presentato al sistema delle Nazioni Unite)

Riepilogo

L'operatività del Legacy Survey of Space and Time (LSST) dell'Osservatorio Vera C. Rubin segna un momento di trasformazione nella capacità dell'umanità di rilevare e caratterizzare oggetti interstellari (ISO). Con proiezioni che indicano un aumento da pochi rilevamenti per decennio a potenzialmente uno ogni pochi mesi, l'umanità si trova sulla soglia di un'opportunità scientifica senza precedenti, offrendo spunti rivoluzionari sulla natura dei materiali rocciosi, dei mattoni della vita e dei prodotti tecnologici provenienti da altri sistemi stellari.

Questo documento tecnico propone l'istituzione del Comitato delle Nazioni Unite sugli Oggetti Interstellari (UNCIO), un organismo specializzato progettato per coordinare la ricerca scientifica globale, massimizzare la copertura osservazionale e garantire un rendimento scientifico ottimale da questi straordinari oggetti provenienti da fuori dal sistema solare attraverso un'indagine sistematica in cosmochimica, astrobiologia, scienze planetarie, fisica fondamentale, tecnologie avanzate e scienza dei materiali.

Il quadro proposto affronta lacune critiche nella nostra attuale infrastruttura internazionale: l'assenza di capacità coordinate di rilevamento, classificazione e intercettazione, protocolli insufficienti per una rapida risposta scientifica e decisioni politiche internazionali tempestive rispetto alle osservazioni, e la necessità di un'efficace comunicazione scientifica per mantenere il sostegno governativo e pubblico a queste ambiziose indagini e alle minacce globali alla Terra. Attingendo alle collaborazioni internazionali di successo in settori come la Stazione Spaziale Internazionale (ISS) e l'Organizzazione Europea per la Ricerca Nucleare (CERN), UNCIO opererebbe attraverso una struttura duale: un consiglio esecutivo per decisioni scientifiche urgenti e un comitato allargato per una rappresentanza completa degli stakeholder.

Questa iniziativa non è semplicemente aspirazionale, ma urgentemente pratica. Le recenti scoperte di 1I/Oumuamua (2017), 2I/Borisov (2019) e 3I/ATLAS (2025) hanno dimostrato la diversità delle caratteristiche degli ISO, dall'insolita accelerazione di 1I/Oumuamua senza visibile degassamento al comportamento

simile a una cometa di Borisov, fino alle dimensioni insolite e all'allineamento con il piano eclittico di 3I/ATLAS, evidenziando la necessità di osservazioni multi-messaggero complete. La finestra d'azione è stretta: gli oggetti attraversano il nostro sistema solare su traiettorie iperboliche, offrendo un tempo di osservazione limitato prima che diventino permanentemente inaccessibili. Ogni ISO non studiato rappresenta una perdita irre recuperabile di conoscenza sulla nucleosintesi stellare, sulla chimica dei dischi protoplanetari, sulla distribuzione dei composti organici e sui relitti tecnologici in tutta la galassia.

Raccomandazioni chiave:

- a) Istituzione immediata dell'UNCIO sotto l'ONU;
- b) Sviluppo di una rete globale di rilevamento e tracciamento degli ISO;
- c) Capacità di missione di intercettazione preposizionate per un rapido dispiegamento;
- d) Implementazione di un sistema di classificazione ISO completo per valutare le potenziali minacce globali;
- e) Creazione di meccanismi di finanziamento dedicati attraverso i contributi degli Stati membri
- f) Adozione formale della Scala di Loeb (IOSS) come sistema di classificazione standardizzato da 0 a 10 per tutti gli ISO, fornendo soglie quantitative dai fenomeni naturali (Livelli 0-3) attraverso potenziali tecnofirme (Livelli 4-7) all'origine artificiale confermata (Livelli 8-10);
- g) Integrazione di competenze in comunicazione scientifica e coinvolgimento del pubblico;
- h) Istituzione di protocolli per l'interazione elettromagnetica e fisica con gli ISO di origine potenzialmente artificiale.

Pur essendo focalizzato sulla massimizzazione del rendimento scientifico dagli ISO naturali, il design completo di UNCIO garantisce la prontezza per qualsiasi scoperta inaspettata che possa emergere da un'indagine sistematica.

I. Introduzione

1. Fino all'ultimo decennio, gli oggetti interstellari che arrivavano nelle nostre vicinanze rimanevano nell'ambito delle costruzioni teoriche, confinati a modelli matematici e speculazioni cosmologiche. Questo paradigma è cambiato drasticamente con il rilevamento del 19 ottobre 2017 di 1I/'Oumuamua, il primo visitatore interstellare confermato dall'umanità. Le successive scoperte di 2I/Borisov nel 2019 e 3I/ATLAS nel 2025 hanno trasformato gli oggetti interstellari da curiosità astronomiche a una nuova frontiera di indagine scientifica che richiede una collaborazione internazionale coordinata.

2. L'Osservatorio Vera C. Rubin operativo in Cile aumenterà le capacità di rilevamento dell'ISO. Stime conservative suggeriscono il rilevamento di ISO ogni pochi mesi, con alcuni modelli che prevedono tassi ancora più alti. Il drammatico aumento della frequenza di rilevamento cambia fundamentalmente la natura della scienza ISO, passando dalla scoperta fortuita all'indagine sistematica. Questa transizione ci impone di considerare tutte le possibili origini degli ISO, inclusi sia i processi astrofisici naturali che la possibilità teorica di oggetti artificiali provenienti da civiltà tecnologiche extraterrestri.

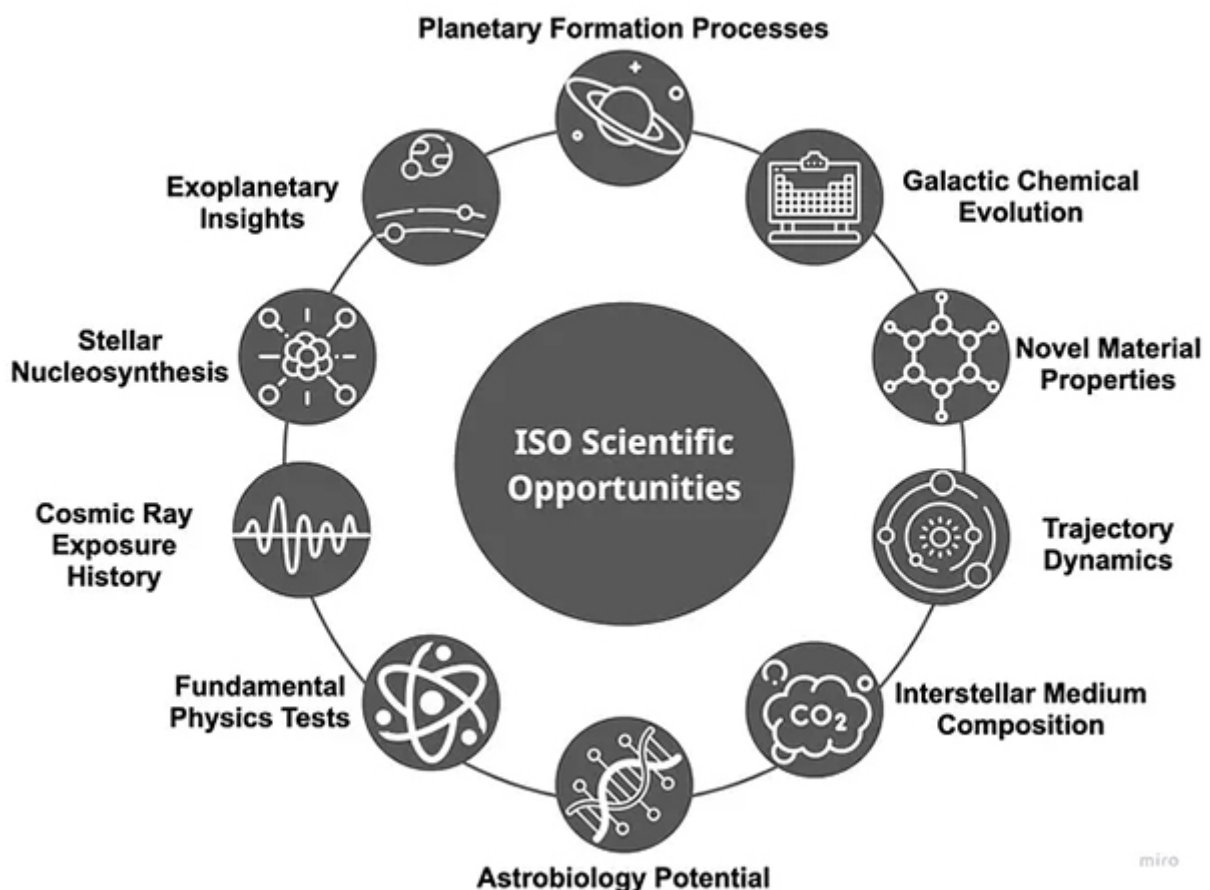
A. Opportunità scientifiche e sfide di coordinamento per la ricerca ISO

3. Gli oggetti interstellari presentano opportunità scientifiche uniche che trascendono i confini nazionali e le divisioni disciplinari. Gli ISO attraversano il nostro sistema solare su traiettorie iperboliche, rimanendo tipicamente osservabili solo per pochi mesi. Le loro velocità estreme (finora, fino a 60 km/s per 3I/ATLAS al di fuori del sistema solare) e le direzioni di arrivo imprevedibili rendono lo studio completo una sfida senza risorse preposizionate e una rapida coordinazione internazionale.

4. Requisiti tecnologici: Un'indagine ISO efficace richiede l'integrazione di dati da telescopi terrestri, osservatori spaziali e missioni scientifiche a risposta rapida. Nessuna singola nazione possiede tutte le capacità necessarie, rendendo la cooperazione internazionale essenziale piuttosto che opzionale.

5. Lo studio sistematico degli ISO offre risultati scientifici senza precedenti in molteplici discipline, dalla scienza planetaria all'astrobiologia (vedi Figura 1).

Massimizzare queste opportunità garantendo al contempo un accesso equo ai dati e alle scoperte richiede quadri internazionali coordinati e un'efficace comunicazione scientifica per mantenere il sostegno pubblico a queste ambiziose indagini. La scoperta di ISO con proprietà anomale, come l'accelerazione non gravitazionale di 1I/'Oumuamua e l'insolita geometria piatta con un rapporto d'aspetto estremo, sottolinea l'importanza di mantenere l'apertura scientifica a tutte le ipotesi esplicative pur applicando rigorosi standard empirici.



Nota. Le opportunità scientifiche interconnesse presentate dall'indagine sistematica ISO. Le capacità di rilevamento migliorate dell'Osservatorio Vera C. Rubin consentiranno scoperte rivoluzionarie in molteplici domini scientifici, dalla fisica fondamentale all'astrobiologia e alle tecnologie avanzate. Ogni dominio beneficia e contribuisce agli altri, creando rendimenti scientifici moltiplicativi dalla ricerca internazionale coordinata.

B. Imparare dai precedenti

6. La comunità internazionale ha ottenuto con successo notevoli

progressi scientifici attraverso quadri internazionali specializzati:

- (a) L'Organizzazione europea per la ricerca nucleare (CERN) dimostra come le nazioni possano mettere in comune le risorse per costruire e gestire infrastrutture scientifiche oltre le capacità di un singolo paese;
- (b) La partnership della Stazione Spaziale Internazionale (ISS) mostra come si possano raggiungere decisioni rapide e la condivisione delle risorse nelle operazioni spaziali critiche in termini di tempo;
- (c) Il Comitato delle Nazioni Unite sull'utilizzazione pacifica dello spazio extra-atmosferico (COPUOS) fornisce modelli per la governance dello spazio e la cooperazione internazionale nella scienza spaziale;
- (d) Il Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (IPCC) illustra come valutazioni scientifiche complesse possano informare le politiche attraverso la ricerca internazionale coordinata.

7. Ulteriori precedenti di successo includono:

- (a) Le collaborazioni LIGO/Virgo/KAGRA (LVK) e Event Horizon Telescope (EHT) hanno unito osservatori di tutto il mondo per raggiungere obiettivi scientifici impossibili per una singola nazione;
 - (b) Il Progetto Genoma Umano ha dimostrato come campi scientifici competitivi possano collaborare per scoperte rivoluzionarie;
 - (c) L'International Ocean Discovery Program mostra come le nazioni condividano costi e benefici dell'esplorazione delle frontiere terrestri.
- Questi precedenti dimostrano la fattibilità del nostro quadro proposto, pur riconoscendo gli aspetti unici della scienza ISO che richiedono metodologie adattate.

II. Valutazione dello stato attuale

1. Capacità e limiti scientifici

- (a) Infrastruttura di rilevamento: Fino al 2025 il rilevamento ISO si basa principalmente su telescopi per survey a campo largo originariamente progettati per altri scopi. L'osservatorio Pan-STARRS che ha rilevato 1I/'Oumuamua, lo Zwicky Transient Facility (ZTF) e il Catalina Sky Survey operano senza ottimizzazione specifica per l'ISO. L'Osservatorio Vera C. Rubin sta migliorando

drasticamente i tassi di rilevamento, ma manca di risorse dedicate al follow-up;

(b) Lacune nella caratterizzazione: la nostra capacità di determinare la composizione, la struttura e l'origine degli ISO rimane gravemente limitata. Le osservazioni spettroscopiche di 1I/'Oumuamua sono state inconcludenti, mentre 3I/ATLAS mostra proprietà spettrali insolite che richiedono ulteriori indagini. La mancanza di rilevamento a infrarossi di degassamento o polvere da 1I/'Oumuamua nonostante la sua accelerazione non gravitazionale rimane inspiegabile, evidenziando la nostra necessità di strumenti di rilevamento più sensibili e capacità di risposta rapida. Senza osservazioni coordinate a più lunghezze d'onda e possibili missioni di ritorno di campioni, domande fondamentali sulla formazione planetaria e sull'evoluzione stellare rimangono senza risposta;

(c) Vincoli sui tempi di risposta: Il tempo mediano di preavviso per il rilevamento degli ISO è di pochi mesi prima del massimo avvicinamento. Gli attuali cicli di pianificazione delle missioni richiedono anni di preparazione, rendendo difficile un'indagine scientifica rapida senza capacità preposizionate.

2. Quadri istituzionali

(a) Coordinamento frammentato: La ricerca ISO opera attualmente attraverso collaborazioni scientifiche informali, senza accordi internazionali vincolanti o meccanismi di finanziamento coordinati. L'Unione Astronomica Internazionale (IAU) fornisce standard di nomenclatura, ma manca di autorità operativa per coordinare osservazioni o missioni;

(b) Lacune nella comunicazione scientifica: non esistono protocolli stabiliti per coordinare la rapida condivisione dei dati scientifici e le pubblicazioni congiunte. Le diverse interpretazioni delle proprietà di 1I/'Oumuamua evidenziano la necessità di quadri sistematici di analisi collaborativa;

(c) Limitazioni dei finanziamenti: la ricerca ISO compete con le priorità astronomiche consolidate per risorse limitate. La natura imprevedibile degli arrivi ISO rende difficile un finanziamento continuativo all'interno dei cicli di sovvenzione tradizionali. Inoltre, le assegnazioni di bilancio rivelano nette disparità: mentre l'Osservatorio dei Mondi Abitabili (HWO) dovrebbe ricevere 11

miliardi di dollari nei prossimi due decenni per cercare biosignature microbiche, le ricerche sugli oggetti interstellari che potrebbero potenzialmente ospitare sia firme biologiche che tecnologiche non ricevono un sostegno federale sostanziale.

3. Collaborazione scientifica e coinvolgimento del pubblico

Recenti ricerche evidenziano opportunità per una maggiore collaborazione scientifica e coinvolgimento del pubblico:

(a) Miglioramento della collaborazione scientifica: La rapida risposta internazionale a 1I/'Oumuamua, nonostante la mancanza di quadri formali, ha dimostrato la capacità di auto-organizzazione della comunità scientifica. Tuttavia, un prezioso tempo di osservazione è andato perso a causa dei ritardi di coordinamento, evidenziando la necessità di protocolli predefiniti.

(b) Opportunità di coinvolgimento del pubblico: La fascinazione del pubblico per gli ISO presenta opportunità senza precedenti per l'educazione scientifica e l'impegno nelle discipline scientifiche, tecnologiche, ingegneristiche e matematiche (STEM). L'interesse globale per 1I/'Oumuamua e 3I/ATLAS ha generato un coinvolgimento pubblico nell'astronomia maggiore rispetto a qualsiasi altro evento nell'ultimo decennio, dimostrando il potenziale della scienza ISO di ispirare l'alfabetizzazione scientifica a livello globale.

(c) Canali di comunicazione moderni: Le piattaforme digitali e gli strumenti di comunicazione scientifica assistiti dall'IA offrono nuove possibilità per la visualizzazione dei dati in tempo reale e la partecipazione del pubblico alla scienza ISO attraverso programmi di citizen science, creando opportunità per un coinvolgimento globale nella scoperta scientifica.

III. Quadro proposto: Comitato delle Nazioni Unite sugli Oggetti Interstellari (UNCIO)

1. Mandato e Obiettivi

Il Comitato delle Nazioni Unite sugli Oggetti Interstellari (UNCIO) fungerà da principale organismo internazionale per il coordinamento delle indagini scientifiche globali sugli oggetti interstellari. Il suo mandato comprende:

(a) Obiettivi primari:

- (i) Coordinare l'individuazione, il tracciamento e la caratterizzazione globale degli oggetti interstellari;
- (ii) Sviluppare e mantenere capacità di ricerca rapida per gli ISO ad alta priorità;
- (iii) Stabilire protocolli scientifici per l'indagine sugli ISO e la condivisione dei dati;
- (iv) Coordinare gli annunci scientifici delle scoperte sugli ISO;
- (v) Massimizzare i risultati scientifici derivanti dagli ISO;
- (vi) Garantire un accesso globale equo alla conoscenza derivata dagli ISO;
- (vii) Implementare la Scala di Loeb (Scala di Significatività degli Oggetti Interstellari; IOSS) come quadro di classificazione ufficiale dell'ISO, garantendo protocolli di valutazione del rischio globali coerenti;
- (viii) Sviluppare protocolli per potenziali segnalazioni elettromagnetiche o interazioni fisiche con gli ISO basati sulle loro caratteristiche osservate.

(b) Principi operativi:

- (i) Integrità scientifica e processo decisionale basato sull'evidenza;
- (ii) Trasparenza nelle operazioni e nei risultati;
- (iii) Rappresentanza equa di tutte le nazioni e parti interessate;
- (iv) Capacità di ricerca rapida bilanciata con una valutazione deliberativa;
- (v) Integrazione di molteplici discipline tra cui astronomia, scienza planetaria, astrofisica e astrobiologia.

2. Struttura organizzativa

(a) Consiglio esecutivo

Un organo decisionale snello per opportunità scientifiche sensibili:

Composizione:

- Direttore generale (proposto: professor Abraham Loeb, Università di Harvard);
- Vicedirettore per le operazioni scientifiche;
- Vicedirettore per la collaborazione internazionale;
- Vicedirettore per l'educazione del pubblico;
- Rappresentante del Segretario generale (proposta: onorevole Anna Paulina Luna);
- Rappresentanti regionali a rotazione;
- Capo consigliere scientifico.

(b) Responsabilità:

- Determinare e convalidare la classificazione ISO sulla Scala di Loeb (IOSS) entro 72 ore dalla prima rilevazione;
- Attivare i protocolli di osservazione per gli ISO prioritari;
- Autorizzare il dispiegamento di missioni scientifiche a risposta rapida;
- Coordinare le osservazioni in tempo reale durante i passaggi degli ISO;
- Coordinare la pubblicazione dei dati scientifici;
- Riferire all'Assemblea Generale delle Nazioni Unite sui progressi scientifici.

(c) Composizione del Comitato allargato (35 membri):

- Membri scientifici (12): astronomi, astrobiologi, planetologi, fisici;
- Specialisti in psicologia e comunicazione scientifica (3);
- Esperti di educazione al pubblico (2)
- Rappresentanti governativi (10): agenzie spaziali, ministeri della ricerca, affari esteri;
- Società civile (5): ONG, istituzioni educative, gruppi di interesse pubblico;
- Settore privato (3): industria spaziale (SpaceX, Blue Origin, Planet Labs), aziende tecnologiche.

(d) Responsabilità:

- Sviluppare piani strategici a lungo termine;
- Revisionare e approvare i bilanci annuali;
- Stabilire le priorità scientifiche e l'allocazione delle risorse;
- Supervisionare i programmi di educazione pubblica e divulgazione;
- Condurre revisioni periodiche delle operazioni dell'UNCIO.

3. Infrastruttura tecnica

(a) Sistema di monitoraggio ISO globale (GIMS)

(i) Rete di rilevamento:

- Integrazione dei telescopi di rilevamento esistenti attraverso accordi di condivisione dei dati;
- Algoritmi di ricerca ISO dedicati e ottimizzati per orbite iperboliche;
- Sistema di allerta in tempo reale con notifica globale in meno di 1 ora.

(ii) Attività di caratterizzazione:

- Tempo garantito sui principali osservatori (minimo 500 ore all'anno);
- Capacità di follow-up spettroscopico dedicato;
- Capacità di monitoraggio multi-lunghezza d'onda, incluso l'infrarosso per la rilevazione di degassamento;
- Sensori di campo magnetico per la valutazione della composizione metallica;
- Osservazioni radar coordinate per l'affinamento della traiettoria.

(b) Programma di Missioni Scientifiche Rapide (RSMP)

(i) Missioni preposizionate:

- Tre veicoli spaziali di ricerca standardizzati mantenuti in stato di prontezza;
- Pacchetti di strumenti modulari per diversi tipi di ISO;
- Prontezza al lancio entro 30 giorni dall'autorizzazione.

(ii) Profili di missione:

- Missioni di sorvolo per la caratterizzazione iniziale;
- Missioni di rendez-vous per osservazioni prolungate;
- Missioni di ritorno campioni per gli obiettivi di massima priorità.

(c) Piattaforma di gestione e analisi dei dati:

(i) Tutte le osservazioni ISO accessibili tramite portale unificato;

(ii) Formati dati e metadati standardizzati;

(iii) Strumenti di apprendimento automatico per il riconoscimento di modelli e la classificazione.

(d) Protocollo di gestione ISO simultaneo:

Date le proiezioni dei tassi di rilevamento dall'Osservatorio Vera C. Rubin, l'UNCIO deve prepararsi a molteplici passaggi ISO simultanei, uno scenario senza precedenti nella storia umana, che richiede strutture sistematiche di prioritizzazione.

(i) Matrice di allocazione delle risorse:

- Assegnazione prioritaria primaria: gli ISO classificati di livello 4+ ricevono automaticamente lo status di priorità, con l'allocazione delle risorse proporzionale al livello di classificazione;
- Prioritizzazione basata sulla traiettoria: gli oggetti con traiettorie che si avvicinano alla Terra ($<0,1$ UA) ricevono un monitoraggio intensificato indipendentemente dalla classificazione iniziale;

- Valutazione del valore scientifico: Per più ISO a basso livello, dare priorità in base a: accessibilità per missioni di intercettazione, firme composizionali uniche, potenziale di ritorno di campioni e geometria osservativa.

(ii) Deconflitto operativo:

- Coordinatori ISO dedicati: Assegnare direttori di missione individuali per ogni ISO attivo per prevenire conflitti di risorse;
- Assegnazione nel dominio del tempo: Implementare programmi di osservazione rotanti con protocolli di handover automatici tra le strutture;
- Programma di Missioni Scientifiche Rapide (RSMP) Gestione della flotta: Se sono presenti contemporaneamente più ISO di livello 4+, mantenere almeno un veicolo spaziale di riserva per l'obiettivo di massima priorità;

(iii) Condivisione internazionale degli oneri:

- Assegnazioni dei responsabili regionali: Designare la responsabilità principale di tracciamento in base alla geometria di osservazione ottimale;
- Protocolli di attivazione del consorzio: accordi pre-negoziati per la rapida messa in comune delle risorse quando la densità ISO supera le capacità di una singola nazione
- Autorità di emergenza: Direttore generale autorizzato a riassegnare le risorse impegnate per rilevamenti simultanei di livello 6+.

4. Protocollo di classificazione ISO: La scala di Loeb

Proponiamo che l'UNCIO adotti la Scala di Loeb come suo sistema di classificazione ufficiale. Questa scala da 0 a 10 fornisce:

(a) Soglie quantitative per la valutazione delle anomalie e del rischio globale;

(b) Chiari trigger di escalation per un'osservazione potenziata (Livello 4+);

(c) Protocolli per la valutazione di potenziali tecnofirme;

(d) Integrazione con i sistemi IAU e MPC esistenti;

(e) Trigger di classificazione per protocolli di risposta automatica:

(i) Livelli 0-1: Monitoraggio di routine;

(ii) Livelli 2-3: Assegnazione di osservazione potenziata;

- (iii) Livello 4+: Attivazione immediata delle capacità del Programma di Missione Scientifica Rapida (RSMP);
- (iv) Livelli 4+: Notifica al Consiglio di Sicurezza delle Nazioni Unite;
- (v) Livelli 8–10: Protocolli di emergenza globale.

IV. Tabella di marcia per l'attuazione

1. Fase 1: Fondazione (Mesi 1–6)

(a) Istituzione:

- (i) Risoluzione dell'Assemblea Generale delle Nazioni Unite che istituisce l'UNCIO;
- (ii) Nomina del Direttore Generale attraverso le procedure standard delle Nazioni Unite;
- (iii) Istituzione della sede principale a Cambridge, MA, USA, sfruttando la vicinanza all'Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics e al MIT;
- (iv) Dotazione iniziale di personale per 25 posizioni chiave;
- (v) Adozione formale della Scala di Loeb attraverso la collaborazione con l'IAU.

(b) Operazioni preliminari:

- (i) Protocolli d'intesa con le principali agenzie spaziali;
- (ii) Accordi quadro con osservatori a terra;
- (iii) Assegnazione iniziale del budget e protocolli finanziari;
- (iv) Realizzazione dell'infrastruttura di comunicazione.

(c) Mobilitazione degli stakeholder:

- (i) Prima Assemblea Generale degli Stati membri;
- (ii) Formazione del Comitato Scientifico Consultivo;
- (iii) Sviluppo del quadro di partenariato industriale;
- (iv) Costituzione del consorzio educativo.

2. Fase 2: Sviluppo delle infrastrutture (mesi 7-18)

(a) Implementazione del Sistema di Monitoraggio ISO Globale (GIMS):

- (i) Integrazione di 10 osservatori primari;
- (ii) Test del sistema di allerta GIMS con iniezione simulata di ISO nei flussi di dati in tempo reale da Pan-STARRS, ZTF, Catalina, ATLAS e Vera C. Rubin, ottenendo un tasso di falsi positivi inferiore al 5%;
- (iii) Esercizi di verifica del sistema di allerta;

(iv) Ottimizzazione della pipeline di dati.

(b) Sviluppo del Programma di Missione Scientifica Rapida (RSMP):

(i) Selezione della piattaforma modulare per veicoli spaziali basata sulla prontezza al lancio in 30 giorni

(ii) Specifiche del pacchetto strumenti;

(iii) Accordi con il fornitore del lancio;

(iv) Realizzazione della rete di stazioni di terra.

(c) Sviluppo delle capacità:

(i) Programmi di formazione all'osservazione ISO;

(ii) Workshop sull'analisi dei dati;

(iii) Certificazione in comunicazione scientifica;

(iv) Sviluppo di piattaforme di citizen science.

(d) Sviluppo di protocolli di risposta alla classificazione:

Matrice di risposta ISO Implementazione:

– Livelli 0–3: Coda di osservazione standard, raccolta dati di routine;

– Livelli 4–5: Notifica al Consiglio di Sicurezza delle Nazioni Unite entro 24 ore, assegnazione immediata di oltre 200 ore di tempo telescopico, attivazione di un veicolo spaziale RSMP in stato di prontezza;

– Livelli 6–7: Autorizzazione al dispiegamento completo di RSMP, attivazione delle risorse del Progetto Galileo;

– Livello 8+: Implementazione di protocolli di segnalazione elettromagnetica predeterminati, sessione d'emergenza del G20, attivazione delle disposizioni dell'articolo 99 della Carta delle Nazioni Unite.

Documentazione del protocollo:

– Diagrammi di flusso decisionali per ogni livello di classificazione;

– Quadri giuridici per l'autorizzazione alla risposta alle emergenze;

– Modelli di comunicazione per annunci pubblici;

– Catene e tempistiche di notifica internazionali.

3. Fase 3: Test operativi (mesi 19-24)

(a) Validazione del sistema:

(i) Esercizi di simulazione completa della rete;

- (ii) Osservazione di asteroidi come proxy ISO;
- (iii) Stress test del flusso dati;
- (iv) Esercitazioni di coordinamento internazionale.

(b) Pronti per la missione:

- (i) Integrazione del primo veicolo spaziale del programma della missione scientifica rapida (RSMP);
- (ii) Procedure di prova di lancio;
- (iii) Certificazione del laboratorio di analisi dei campioni.

(c) Parametri di riferimento delle prestazioni:

(i) Sensibilità di rilevamento:

- Specifiche tecniche: magnitudine 23,5 per oggetti in movimento;
- Significato pratico: in grado di rilevare un oggetto scuro come il carbone di 50 metri di diametro alla distanza Terra-Sole (1 UA);
- Confronto: 2,5 volte più sensibile del sistema che ha scoperto 1I/Oumuamua;
- Vantaggio: fornisce un preavviso di 3-6 mesi per gli incontri tipici con gli ISO.

(ii) Determinazione dell'orbita: incertezza inferiore a 1000 km a 1 UA;

(iii) Distribuzione degli allarmi: inferiore a 30 minuti a livello globale;

(iv) Disponibilità dei dati: uptime del 95%.

4. Fase 4: Operazioni a pieno regime (Anno 3+)

(a) Operazioni di routine:

- (i) Copertura di monitoraggio 24 ore su 24, 7 giorni su 7;
- (ii) Esercizi di rilevamento mensili;
- (iii) Riunioni di coordinamento trimestrali;
- (iv) Revisioni annuali delle prestazioni.

(b) Miglioramento continuo:

- (i) Revisione annuale della tecnologia per: sensori quantistici per l'analisi della composizione, potenziamento del rilevamento delle anomalie basato sull'IA e sistemi di comunicazione laser per una trasmissione dati 10 volte più veloce dalle missioni di intercettazione;
- (ii) Espansione della rete di osservatori;
- (iii) Capacità analitiche migliorate;

(iv) Profili di missione estesi.

V. Opportunità scientifiche e mitigazione dei rischi

1. Potenziale di Scienza Trasformativa (vedi Figura 1.)

(a) Approfondimenti sulla formazione planetaria:

- (i) Campionamento diretto dei resti del disco protoplanetario;
- (ii) Rapporti isotopici che rivelano le condizioni della nursery stellare;
- (iii) Distribuzione dimensionale che vincola i meccanismi di espulsione;
- (iv) Mappatura della composizione superficiale che vincola le temperature di formazione.

(b) Comprensione dell'evoluzione galattica:

- (i) Gradienti chimici attraverso le regioni galattiche;
- (ii) Tempi di miscelazione delle popolazioni stellari;
- (iii) Processi di arricchimento del mezzo interstellare;
- (iv) Conservazione delle firme delle fusioni galattiche.

(c) Implicazioni per l'astrobiologia:

- (i) Sopravvivenza delle molecole organiche nello spazio interstellare;
- (ii) Vincoli sull'ipotesi della panspermia;
- (iii) Percorsi della chimica prebiotica;
- (iv) Distribuzione dell'acqua e dei volatili.

2. Gestione del rischio tecnico

(a) Completezza della rilevazione:

- (i) Sfida: Lacune nella copertura del cielo;
- (ii) Soluzione: Espansione della rete di osservatori partner;
- (iii) Metrica di successo: Copertura del cielo al 95% entro l'anno 3.

(b) Tassi di successo delle missioni:

- (i) Sfida: Incontri a singola opportunità;
- (ii) Soluzione: Veicoli spaziali ridondanti, progetti robusti;
- (iii) Metrica di successo: Tasso di successo delle missioni dell'80%.

(c) Garanzia della qualità dei dati:

- (i) Sfida: Fonti di dati eterogenee;
- (ii) Soluzione: Protocolli di standardizzazione, reti di calibrazione;
- (iii) Metrica di successo: Conformità dei dati agli standard al 99%.

3. Oltre i rischi tecnici

- (a) Rischi di contaminazione (in entrambe le direzioni);
- (b) Sicurezza delle informazioni per scoperte sensibili;
- (c) Impatto sociale/psicologico dei rilevamenti di alto livello;
- (d) Scenari di interruzione del mercato/economica;
- (e) Interessi nazionali concorrenti negli intercettamenti ISO.

4. Eccellenza operativa

- (a) Coordinamento internazionale:
 - (i) Riunioni di coordinamento virtuali trimestrali;
 - (ii) Conferenze annuali in presenza;
 - (iii) Protocolli operativi condivisi;
 - (iv) Programmi di formazione incrociata.
- (b) Ottimizzazione delle risorse:
 - (i) Assegnazione dinamica del tempo di telescopio;
 - (ii) Architettura di missione flessibile;
 - (iii) Sviluppo tecnologico condiviso;
 - (iv) Vantaggi derivanti dall'approvvigionamento congiunto.
- (c) Monitoraggio delle prestazioni:
 - (i) Sistemi di dashboard in tempo reale;
 - (ii) Rapporti trimestrali sulle prestazioni;
 - (iii) Revisioni annuali indipendenti;
 - (iv) Protocolli di miglioramento continuo.
- (d) Valutazione della tecnofirma:
 - (i) Implementazione dei criteri della scala di Loeb di livello 4-10;
 - (ii) Requisiti di evidenza convergente da più osservabili;
 - (iii) Attivazione automatica per osservazioni migliorate al livello 4;
 - (iv) Requisiti di notifica internazionale per i livelli 6+.

5. Integrazione con i programmi esistenti

(a) Il Progetto Galileo, istituito all'Università di Harvard nel 2021, fornisce un quadro complementare che l'UNCIO dovrebbe integrare formalmente. La ricerca sistematica di firme tecnologiche extraterrestri del Progetto attraverso la sua rete di osservatori a terra offre:

(i) Infrastruttura operativa:

- Rete di osservatori esistente con rilevamento delle anomalie basato sull'IA;
- Protocolli collaudati per la raccolta dati imparziale;
- Meccanismi di revisione paritaria consolidati.

(ii) Metodologia scientifica:

- Approccio agnostico alla determinazione dell'origine ISO;
- Politiche trasparenti di condivisione dei dati;
- Protocolli di classificazione rigorosi (implementazione della Scala di Loeb).

(iii) Capacità di risposta rapida:

- Strumentazione preposizionata per la caratterizzazione ISO;
- Sistemi di monitoraggio attivi 24 ore su 24, 7 giorni su 7;
- Team internazionale di esperti in stato di allerta.

(iv) Altre iniziative complementari includono:

- le capacità radio/optiche di Breakthrough Listen;
- l'architettura della missione Comet Interceptor dell'ESA;
- l'eredità di Hayabusa della JAXA per le missioni di ritorno campioni.

L'UNCIO dovrebbe stabilire protocolli d'intesa formali con questi programmi per evitare duplicazioni e massimizzare il ritorno scientifico attraverso osservazioni coordinate.

VI. Strategia di Impegno Globale

1. Integrazione della comunità scientifica

(a) Il successo di UNCIO dipende dalla creazione di un ecosistema di ricerca globale inclusivo che massimizzi la partecipazione scientifica mantenendo l'eccellenza operativa. Il Comitato istituirà ampie opportunità di ricerca attraverso bandi trimestrali aperti, garantendo un accesso equo ai dati ISO e al tempo di osservazione. Piuttosto che operare come un consorzio chiuso, UNCIO funzionerà

da catalizzatore scientifico, amplificando le capacità di ricerca esistenti in tutto il mondo.

(b) Il quadro di collaborazione si concentrerà su gruppi di lavoro dinamici organizzati attorno a specifici incontri ISO, con l'adesione adattata in base alle caratteristiche dell'oggetto e alle competenze richieste. Quando un ISO raggiunge il livello 4 o superiore sulla scala di Loeb, verranno attivati team specializzati di risposta rapida, attingendo a ricercatori prequalificati di diverse discipline. I programmi di accesso anticipato ai dati premieranno le istituzioni che contribuiscono, garantendo al contempo il rilascio pubblico entro 6 mesi, bilanciando il vantaggio competitivo con i principi della scienza aperta.

(c) La diffusione della conoscenza avverrà attraverso conferenze annuali a rotazione tra i continenti, con la partecipazione virtuale che garantirà l'accessibilità globale. Sarà posta particolare attenzione alle piattaforme di visualizzazione dati in tempo reale che consentono ai ricercatori di tutto il mondo di monitorare le osservazioni ISO man mano che avvengono, creando un'esperienza globale condivisa di scoperta.

2. Coinvolgimento del pubblico e comunicazione scientifica

(a) La scoperta di ogni ISO rappresenta un'opportunità unica per coinvolgere l'umanità nella meraviglia dell'esplorazione cosmica. UNCIO implementerà una strategia di comunicazione a più livelli che si adatta all'importanza di ogni scoperta, dalle rilevazioni di routine agli incontri che potrebbero cambiare il paradigma.

(b) Le iniziative educative copriranno tutti i livelli, dai moduli curriculari K-12 che utilizzano gli ISO per insegnare fisica e astronomia, alle opportunità di ricerca post-laurea all'avanguardia della scienza planetaria. Le partnership tra musei e planetari creeranno esperienze immersive che permetteranno al pubblico di "viaggiare insieme" agli ISO attraverso il nostro sistema solare, utilizzando dati di traiettoria e osservazioni reali.

(c) Fondamentale è che l'UNCIO manterrà un team di risposta rapida per la comunicazione scientifica, addestrato a gestire le reazioni del pubblico alle classificazioni ISO di alto livello. Quando un oggetto raggiunge il Livello 4 o

superiore, questo team coordinerà la messaggistica globale per garantire informazioni accurate e coerenti, prevenendo al contempo la diffusione di disinformazione. Le partnership documentaristiche e l'impegno sui social media manterranno l'interesse pubblico tra i rilevamenti, costruendo un elettorato sostenibile per la scienza ISO.

(d) L'UNCIO istituirà e manterrà il Global Interstellar Object Tracker (GIOT) all'indirizzo www.interstellar-objects.org, un portale pubblico completo aggiornato in tempo reale man mano che arrivano nuovi dati. Questo sito web servirà come finestra dell'umanità sulla scienza ISO, presentando:

- (i) Cruscotto di stato in tempo reale: posizione attuale, velocità e livello di classificazione (scala di Loeb) per tutti gli ISO attivi, con traiettorie visive che mostrano i loro percorsi attraverso il nostro sistema solare;
- (ii) Aggiornamenti giornalieri Sezione: Sintesi in linguaggio semplice di nuove osservazioni, scritte per un pubblico generico senza sacrificare l'accuratezza scientifica;
- (iii) Formato "Cosa sappiamo/non sappiamo": Presentazione trasparente che distingue i dati confermati dalle domande aperte, prevenendo la diffusione di disinformazione;
- (iv) Visualizzazione 3D interattiva: consentire agli utenti di "volare accanto" agli ISO, comprendendo le loro traiettorie rispetto alla Terra e ad altri pianeti;
- (v) Calendario delle osservazioni: quando e dove gli ISO sono visibili agli astronomi amatoriali, con mappe per il cercatore per gli utilizzatori di telescopi;
- (vi) Cronologia della classificazione: Cronologia completa che mostra come la nostra comprensione di ciascuna ISO si è evoluta, dalla rilevazione iniziale fino alla classificazione finale;
- (vii) Sistema di allerta: Notifiche opzionali per eventi significativi (nuovi rilevamenti, modifiche di classificazione, passaggi al perielio);
- (viii) Risorse educative: Contenuti adatti all'età che spiegano la scienza ISO, dalle spiegazioni elementari ai documenti tecnici.

La piattaforma GIOT si aggiornerà entro 6 ore da qualsiasi osservazione significativa, garantendo che il pubblico venga a conoscenza delle scoperte contemporaneamente alla comunità scientifica. Durante eventi di grande interesse come il passaggio al perielio di 3I/ATLAS, il sito fornirà aggiornamenti

ogni ora, trasformando il monitoraggio di ISO da un'attività scientifica esclusiva in un'esperienza umana condivisa. Tutti i contenuti saranno disponibili nelle sei lingue ufficiali delle Nazioni Unite più le dieci lingue più parlate a livello globale, garantendo un accesso veramente universale a questi incontri cosmici.

3. Partenariati strategici e coordinamento delle risorse

(a) Un'efficace indagine ISO richiede una coordinazione senza soluzione di continuità tra le agenzie spaziali, le istituzioni accademiche e le capacità del settore privato (SpaceX, Blue Origin e Planet Labs). UNCIO stabilirà protocolli d'intesa vincolanti con le principali agenzie spaziali (come NASA, ESA, CNSA, ISRO) che specificheranno tempi di risposta garantiti, impegni di risorse e protocolli di condivisione dei dati.

(b) Le partnership accademiche si estenderanno oltre i tradizionali dipartimenti di astronomia per includere programmi di geologia, chimica, biologia, informatica, intelligenza artificiale e ingegneria. Il Comitato istituirà Centri di Ricerca ISO presso università strategicamente situate, creando poli regionali per l'analisi specializzata e la formazione degli studenti. Il coinvolgimento del settore privato sfrutterà le capacità spaziali commerciali, dai servizi di lancio allo sviluppo di sensori avanzati, attraverso contratti basati sulle prestazioni che premiano la caratterizzazione ISO di successo.

4. Protocolli di interazione ISO: Osservazione, valutazione e potenziale comunicazione

Attingendo alle lezioni apprese da 3I/ATLAS, il cui raro allineamento eclittico, le dimensioni insolite, un bagliore di fronte all'oggetto, la rilevazione di nichel ma non di ferro e altre caratteristiche insolite, meritano la classificazione di Livello 4 sulla Scala di Loeb, l'UNCIO stabilisce un quadro di risposta graduale per gli incontri con gli ISO. Questo quadro di riferimento riconosce che ogni ISO rappresenta sia un'opportunità scientifica che un punto decisionale che richiede un'attenta valutazione prima di qualsiasi forma di interazione.

(a) Struttura decisionale temporale:

(i) Il Comitato adotta un principio di "osservazione prudente", come esemplificato dall'approccio 3I/ATLAS: monitoraggio intensivo attraverso il perielio prima di

considerare qualsiasi forma di segnalazione elettromagnetica. Gli oggetti naturali mostrano tipicamente un'aumentata degassazione vicino al Sole, fornendo una classificazione definitiva. Gli oggetti che mantengono caratteristiche anomale dopo il perielio attivano protocolli avanzati.

(ii) I punti decisivi chiave includono:

- Rilevamento iniziale: Classificazione e allocazione delle risorse entro 72 ore;
- Pre-perielio: Massima copertura osservativa, nessun segnale attivo;
- Passaggio al perielio: Finestra di classificazione critica per la determinazione naturale vs. anomala;
- Post-perielio: Potenziale finestra di comunicazione se le caratteristiche di Livello 4+ confermate.

(b) Protocolli di prontezza alla comunicazione:

(i) Qualora un ISO presenti caratteristiche che giustifichino potenziali tentativi di comunicazione (Livello 4+), l'UNCIO attuerà un approccio a tappe:

- Fase 1 - Monitoraggio passivo: Sorveglianza completa dello spettro elettromagnetico, analisi dei modelli per segnali strutturati;
- Fase 2 - Consultazione internazionale: periodo di deliberazione di 72 ore che coinvolge il Consiglio di Sicurezza delle Nazioni Unite, il comitato consultivo scientifico e i rappresentanti culturali/religiosi;
- Fase 3 - Formulazione del messaggio: Se approvato, creazione di un messaggio basato su costanti matematiche/fisiche universali, evitando presupposti culturali;
- Fase 4 - Trasmissione Controllata: Segnale iniziale a bassa potenza dalla struttura designata, con protocolli di escalation basati sulla risposta.

(c) Quadro di mitigazione dei rischi:

Riconoscendo che gli ISO con intelligenza potrebbero percepire le comunicazioni non richieste come minacciose, l'UNCIO stabilisce confini chiari:

- (i) Nessuna trasmissione verso oggetti su traiettorie di intercettazione diretta con la Terra;
- (ii) Periodo di osservazione obbligatorio di 30 giorni prima di qualsiasi considerazione di segnalazione;
- (iii) Divieto automatico di comunicazione per oggetti che mostrano firme tecnologiche combinate con correzioni di rotta verso la Terra;

(iv) Integrazione con i protocolli di difesa planetaria per oggetti che presentano caratteristiche ostili.

(d) Considerazioni etiche e filosofiche:

(i) L'UNCIO proposto manterrebbe un comitato etico permanente composto da scienziati e filosofi per guidare il processo decisionale. Le procedure di notifica pubblica pianificate garantirebbero la trasparenza prevenendo al contempo il panico, con protocolli di divulgazione graduale basati sui livelli di certezza.

(ii) Il quadro riconosce esplicitamente che, come nel caso di 1I/Oumuamua e 3I/ATLAS, potremmo incontrare oggetti la cui natura rimane ambigua nonostante studi intensivi. In tali casi, l'UNCIO opta per una continua osservazione piuttosto che per un'interazione prematura, accettando che alcuni misteri cosmici possano rimanere irrisolti durante un singolo passaggio. Ogni incontro con un ISO, sia definitivamente naturale che allettantemente ambiguo, contribuisce alla nostra crescente comprensione del nostro vicinato cosmico e alla nostra preparazione per un eventuale contatto confermato con intelligenza extraterrestre.

VI. Conclusione

1.Cogliere l'opportunità cosmica

L'istituzione dell'UNCIO rappresenta un'evoluzione naturale nelle capacità astronomiche dell'umanità, basata su secoli di collaborazione scientifica internazionale. Poiché l'Osservatorio Vera C. Rubin trasformerà le rilevazioni ISO da eventi rari a osservazioni di routine, la comunità internazionale ha un'opportunità unica per massimizzare il ritorno scientifico da questi oggetti celesti.

Il quadro qui presentato offre un percorso pratico e realizzabile verso un'azione globale coordinata. Attingendo da precedenti di successo come il CERN, la ISS, LVK e l'EHT, UNCIO creerebbe l'infrastruttura necessaria per estrarre il massimo valore scientifico da ogni incontro ISO.

L'investimento richiesto è modesto rispetto ai potenziali rendimenti. Per meno del costo di una singola missione spaziale ammiraglia, l'umanità può stabilire una capacità permanente di studiare materiale proveniente da altri sistemi stellari, facendo progredire la nostra comprensione della formazione planetaria,

dell'evoluzione galattica e della distribuzione dei mattoni della vita in tutto il cosmo.

La scelta è chiara: procedere con sforzi nazionali frammentati che rischiano di perdere osservazioni cruciali per valutare minacce globali senza precedenti dallo spazio interstellare, oppure unire le nostre capacità per garantire che nessun ISO attraversi il nostro sistema solare senza rivelare il suo contenuto di informazioni scientifiche. Quest'ultimo percorso offre non solo una scienza superiore, ma anche un modello per affrontare altre sfide globali attraverso un'azione internazionale coordinata.

APPENDICE A: Stima del bilancio proposto

Investimento iniziale (Anno 1-2):

- Sviluppo delle infrastrutture: 50 milioni di dollari
 - Programma di missioni scientifiche rapide (RSMP) Veicoli spaziali (3 unità): 300 milioni di dollari
 - Software/Sistemi dati: 20 milioni di dollari
 - Istituzione della Sede Centrale: 10 milioni di dollari
- Totale: 380 milioni di dollari

Costi operativi annuali:

- Personale chiave (25 posizioni): 15 milioni di dollari
- Assegnazione del tempo di osservazione: 20 milioni di dollari
- Manutenzione della missione: 30 milioni di dollari
- Istruzione/Divulgazione: 5 milioni di dollari
- Amministrazione: 10 milioni di dollari

Totale: 80 milioni di dollari all'anno

Confronto dei costi:

- Telescopio Spaziale James Webb: 10 miliardi di dollari

Totale in 10 anni di UNCIO: 1,08 miliardi di dollari (11% di un'unica missione di punta)



L'AUTORE

Avi Loeb è il responsabile del Progetto Galileo, direttore fondatore della Black Hole Initiative dell'Università di Harvard, direttore dell'Istituto di Teoria e Calcolo dell'Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics ed ex presidente del dipartimento di astronomia dell'Università di Harvard (2011-2020). È stato membro del Consiglio dei consulenti scientifici e tecnologici del Presidente e presidente del Comitato per la fisica e l'astronomia delle Accademie Nazionali. È autore del bestseller "Extraterrestrial: The First Sign of Intelligent Life Beyond Earth" (Extraterrestre: il primo segno di vita intelligente oltre la Terra) e coautore del libro di testo "Life in the Cosmos" (La vita nel cosmo), entrambi pubblicati nel 2021. L'edizione tascabile del suo nuovo libro, intitolato "Interstellar", è stata pubblicata nell'agosto 2024. (Image Credit: Chris Michel, National Academy of Sciences, 2023)