

A vela con la luce, cercando civiltà aliene

Quattro secoli fa Keplero suggerì che la luce solare 'spingesse' gli oggetti celesti e che si potesse navigare a vela nello spazio alla ricerca di pianeti abitati; un'idea rilanciata 60 anni fa con l'invenzione del laser e che ha ispirato i cercatori di intelligenze extraterrestri sino ai nostri giorni.

Andrea MACCHI

CNR, Istituto Nazionale di Ottica, sezione "Adriano Gozzini", Pisa
andrea.macchi@ino.cnr.it

Il Natale 2021 fu allietato dalla comparsa della cometa C/2021 A1 'Leonard' dalla lunga coda (**Fig.1**), ben visibile agli emuli di Galileo dotati di un buon telescopio. Negli stessi giorni, i risultati di un esperimento (Mc Ilvenny 2021) condotto da un gruppo di ricerca della Queen's University di Belfast coordinato da Marco Borghesi e con diversi collaboratori (tra cui chi scrive) furono menzionati sui principali rotocalchi internazionali di Fisica (Buchanan 2021; Williams 2021; Hill 2022) e su vari quotidiani nazionali con espressioni anche un poco gergali come «*Irish boffins' laser to help beat cancer*» (dall'*Irish Daily Mirror*), traducibile in «il laser dei cervelloni irlandesi aiuterà a battere il cancro». Poche settimane dopo, in un'intervista al quotidiano La Repubblica (Fraoli 2022) l'astrofisico Abraham 'Avi' Loeb, già direttore del Dipartimento di Astronomia dell'Università di Harvard e autore dei libri divulgativi *Non Siamo Soli* e *Interstellar* dedicati alla ricerca di vita extraterrestre, parlava così del primo asteroide interstellare, ovvero 1I/2017 U1 'Oumuamua' osservato nel 2017 e avente apparenti anomalie nella propria forma e traiettoria: «Potrebbe trattarsi di un manufatto. Una vela solare, costruita proprio per essere spinta dalla luce delle stelle». Cosa lega questi tre eventi, a parte la vicinanza temporale?

Il filo inizia a dipanarsi idealmente nel 1577, quando all'età di sei anni Johannes Kepler (noto agli italiani come Keplero), il futuro 'grande osservatore' del cielo a cui si devono le tre famose leggi sulle orbite dei pianeti del sistema solare, vede la 'grande cometa' il cui moto fu studiato in dettaglio da Tycho Brahe. Nel 1619 Keplero pubblica il *De Cometis Libellis Tres* (Kepler 1619) sulle osservazioni delle comete del 1607 (la cometa di Halley) e del 1618, mostrando che la coda delle comete si orienta sempre in direzione opposta al Sole (e non è quindi una 'scia' del moto come si potrebbe pensare). La **Fig.2** riporta il disegno originale dal *De Cometis*.

La spiegazione di Keplero per l'orientazione della coda è spesso citata nella letteratura moderna come una prima intuizione del fatto che la luce possa esercitare una forza sugli oggetti materiali, spingendoli e mettendoli in moto. Talvolta le interpretazioni e attribuzioni dei documenti originali possono corrompersi nel tempo e diventare inesatte, quando non proprio sbagliate come nel caso di un ritratto dello stesso Keplero largamente diffuso sul web (Shore & Pavlik 2021). Per questo motivo, oltre al ritratto ritenuto autentico (**Fig.3**) riportiamo il testo originale dal *De Cometis* seguito dalla traduzione che proponiamo in parentesi (così come per le citazioni successive) e corredato dalle immagini in **Fig.4**:

[...] existimo sequi aloquid de intima Cometae materia, exireque viam eandem, que perrumpunt Solis raddi atque hoc pacto corpus Cometae perlui, colari, atteri, & denique annihilari [...] cusam mihi praebuit cauda Cometae, de qua constat, quod semper in plagam a Sole auersam proxime porrigatur, & sic à solis radiis formetur (Kepler 1619).

([...] credo che parte della materia interna della Cometa segua e fuoriesca nello stesso modo in cui i raggi del Sole la attraversano e in questo modo il corpo della Cometa viene schiacciato, frantumato, consumato e infine annientato [...] la ragione di ciò mi è stata fornita dalla coda della cometa, la quale è evidente che si estende sempre verso il lato opposto al Sole, ed è quindi formata dai raggi solari).

Keplero ribadisce la propria teoria nel 1625, in una delle appendici al pamphlet *Tychonis Brahei Dani Hyperaspistes* (Kepler 1625) ovvero il proprio contributo alla controversia del 1618 tra Brahe, Galileo e altri sull'origine delle comete (Drake & O'Malley 1961):

Caput quidem, veluti nebulam conglobatam, quadamtenus pellucidam; Syrma vero illud seu Comam, effluuium ex capite, per radios Solis expulsum in plagam oppositam, in cuius effusorem continuam caput ipsum denique insumatur & consumatur; ut sit cauda veluti mors capitis (Kepler 1625).



Fig.1. La cometa “Leonard” fotografata il 2 Gennaio 2022 da Christian Gloor, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2021_A1_\(LEONARD\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2021_A1_(LEONARD).jpg), riprodotta su licenza Creative Commons cc-by-2.0.

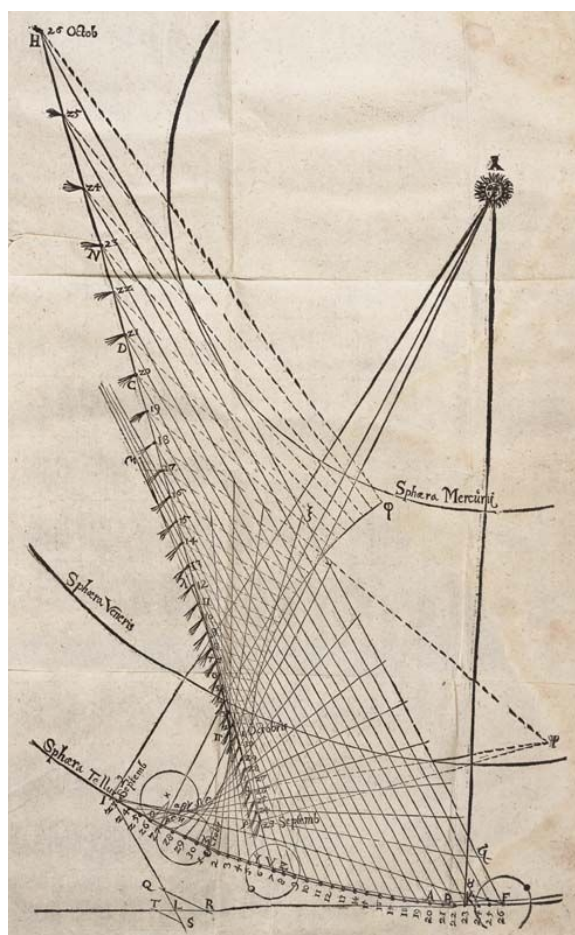


Fig.2. Disegno originale di Johannes Kepler, da *De Cometis Libellis Tres* (1619) che ricostruisce la traiettoria della cometa di Halley insieme all’orientazione della coda, che risulta sempre in direzione opposta alla posizione del Sole. (Immagine nel pubblico dominio, non soggetta a liberatoria per l’utilizzo.)

(La testa è in effetti come una nube condensata, in qualche modo trasparente; lo strascico, ovvero la chioma, è un effluvio dalla testa spinto dai raggi del Sole nella parte opposta, nel cui flusso continuo la testa stessa, infine, si consuma e si dissolve; così che la coda è come la morte della testa.)

Qui l'uso di 'chioma' per 'coda' è per evidente coerenza stilistica con 'testa', mentre il termine greco *Syrma* indica uno strascico portato in scena dalle attrici. L'immagine dal testo originale è mostrata in Fig.5.

L'affermazione di Keplero che i raggi solari consumassero la testa della cometa certificava la 'mortalità' di un oggetto celeste, il che aveva potenziale valenza eversiva rispetto alla dottrina teologica dell'epoca. Appare eversiva anche l'ipotesi che i pianeti del sistema solare fossero abitati da altre specie viventi, che troviamo nella *Dissertatio cum Nuncio Sidereo* (Kepler 1610), l'opera in cui Keplero si rivolge a Galileo commentandone positivamente il *Sidereus Nuntius* messo poi all'indice dall'Inquisizione (la Fig.6 riporta l'immagine del testo citato):

Veri non absimile, non tantum in Luna, sed etiam in Iove ipso incolas esse [...] Colonos vero, primum atq (?) quis artem volandi docuerit, ex nostra hominum gente non defuturos. [...] Da naves, aut vela caelesti aerae accommoda, erunt qui ne ab illa quidem vastitate sibi metuat (Kepler 1610).

(Non è improbabile che ci siano abitanti non solo sulla Luna ma anche su Giove [...] Appena qualcuno scoprirà l'arte di volare, non mancheranno i coloni dalla nostra specie umana [...] Date navi e vele adatte per le brezze celesti, ci saranno coloro che non si tireranno indietro da quella così vasta distesa.)

La tentazione di identificare le 'brezze celesti' con la luce solare e di dedurne che Keplero avesse immaginato vele spinte dalla luce per navigare lo spazio è molto suggestiva ma non pare sufficientemente fondata, tanto più che la *Dissertatio* è largamente precedente al *De Cometis*. In quest'ultima opera, inoltre, nel tentativo di spiegare la curvatura della coda Keplero scrive un po' ambiguamente «*finge interflare ventum, etsi in coelo ventus non est*» ovvero «si immagini il vento che soffia, anche se non c'è vento in cielo». Associare l'esplorazione dell'ignoto alla navigazione a vela pare del tutto naturale senza che questo implichi avere un'idea precisa della natura dei venti. In ogni caso il prestigio di Keplero è tale da non risentire dell'attribuzione o meno della scoperta dell'azione meccanica della luce o del concetto di vela solare.

Oggi chiamiamo 'vento solare' il flusso di particelle massive dal Sole che produce, tra l'altro, le aurore boreali interagendo col campo magnetico terrestre. La formazione della coda delle comete è dominata da questo vento di particelle materiali, la cui natura era ovviamente era al di là delle possibili interpretazioni di Keplero. Ma oggi sappiamo per certo che anche la luce esercita una forza meccanica sugli oggetti, come previsto da James C. Maxwell sulla base della sua celebrata teoria elettromagnetica della luce (Maxwell 1873) e indipendentemente dal meno noto Adolfo Bartoli, fisico fiorentino formatosi alla Scuola Normale Superiore e all'Università di Pisa, sulla base di argomenti termodinamici (Bartoli 1884). La forza per unità di superficie, ovvero la cosiddetta 'pressione di radiazione' su un materiale riflettente risulta proporzionale al rapporto tra l'intensità della luce incidente e la sua velocità nel vuoto, ovvero la costante universale c pari a 299792 chilometri al secondo.

La pressione di radiazione dà la possibilità di navigare nello spazio spinti dalla luce del Sole. L'idea appare brevemente nel romanzo *Dalla Terra alla Luna* di Jules Verne, nelle parole che l'autore fa pronunciare al personaggio dell'esploratore Michel Ardan:

La nostra velocità non oltrepasserà novemila e novecento leghe [all'ora] [...] è evidente che tutto ciò verrà superato un bel giorno da velocità maggiori i cui agenti meccanici saranno probabilmente la luce o l'elettricità (Verne 1872).

Verne, scrittore ispirato dal progresso scientifico, conosceva le scoperte di Maxwell sull'elettromagnetismo pubblicate a partire dal 1862. La pressione di radiazione viene però discussa esplicitamente da Maxwell come conseguenza della teoria elettromagnetica solo con la pubblicazione del *Treatise* (Maxwell 1873) successiva al romanzo. Colpisce quindi la precisione con cui Verne indica la luce come 'agente meccanico'.

La pressione della luce è alla base dell'idea della 'panspermia' di Svante Arrhenius, premio Nobel per la chimica 1903:



Fig.3. August Köhler, Ritratto di Johannes Kepler (1620), Kepler-Museum in Weil der Stadt. (Immagine nel pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9406242>.) Si veda Shore & Pavlik (2021) per le questioni legate alla corretta identificazione dei ritratti di Kepler.

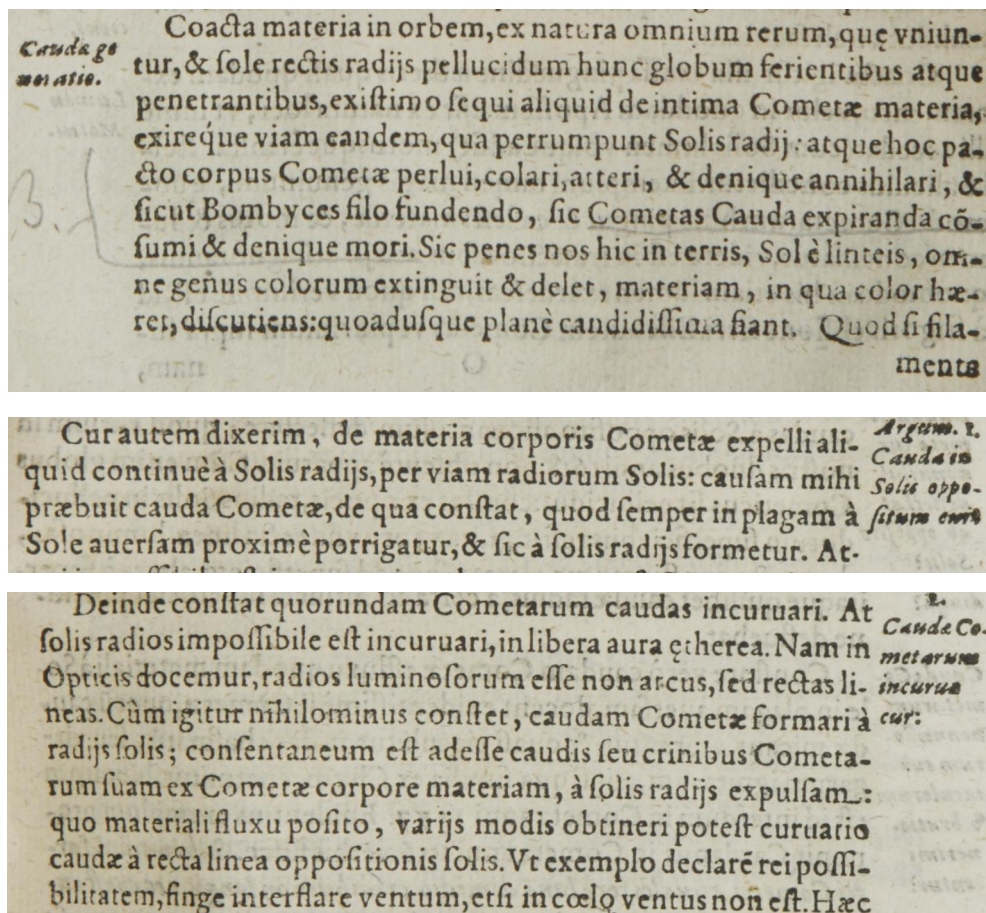


Fig.4. Parti del testo del *De Cometis* di Kepler che riportano i passi citati riguardo all'origine della coda delle comete. Immagini tratte dalla copia presso la Biblioteca Reale di Copenaghen e ottenute via Early European Books, copyright © 2009 Proquest LLC, riproduzione consentita secondo le regole di utilizzo (<https://proquest.libguides.com/termsfuse>).

Quibus argumentis effectum, ut hæc mea Opinio, esset non mea, sed exponeretur in ipso ortu & abdicaretur, adoptata contraria, quam hætenus & pro mea agnosco & educo: quæ Cometas tam ipsos, quam eorum barbas, crines vel radios corpora statuit, densitatis & raritatis gradibus & inter se & ab ætheris purissima substantia differentia: Caput quidem, veluti nebulam conglobatam, quadamtenus pellucidam; Syrma verò illud seu Comam, effluuium ex capite, per radios Solis expulsum in plagam oppositam, in cuius effusionem continuam caput ipsum denique insumatur & consumatur; ut sit cauda veluti mors capitis.

Fig.5. Parte del testo del *Tychonis Brahei Dani Hyperaspistes* di Kepler che riporta il passo citato riguardo all'origine della coda delle comete. Immagine tratta dalla copia presso l'Università di Torino e ottenuta via The Internet Archive, riproduzione consentita secondo le regole di utilizzo (<https://archive.org/details/tychonibraheida00kepl>).

Interim temperare non possum; quin Paradoxos illos ex tuis inventis etiam hæc in parte juvem; moneamq; veri non ab simile, non tantum in Luna, sed etiam in Iove ipso incolas esse; aut (quod nuperrimo congressu quorundam philosophantium, jucundè motum) detegi nunc primum regiones illas; Colonos verò, primum atq; quis artem volandi docuerit, ex nostra hominum gente non defuturos. Quis credidisset olim, tranquilliores & tutiores esse navigationem vastissimi Oceani, quàm angustissimi sinus Adriatici, maris Balthici, freti Anglicani? Da naves, aut vela cælesti auræ accommoda, erunt qui ne ab illa quidem vastitate sibi metuât. Adeoq; quasi propediem affuturis, qui hoc iter tentent, Ego Lunarem, tu Galilæe Iovialem condamus Astronomiam.

Fig.6. Parte del testo della *Dissertatio cum Nuncio Sidereo* di Kepler che riporta il passo citato riguardo alle navi spinte da venti celesti e alla possibilità che i pianeti del sistema solare fossero abitati. Immagine tratta dalla copia presso l'Universidad Complutense de Madrid e ottenuta via HathiTrust (<https://www.hathitrust.org/about/>), documento nel pubblico dominio (<https://hdl.handle.net/2027/ucm.532025795x>).

It is very probable that there are organisms so small that the radiation pressure of a sun would push them out into space, where they might give rise to life on planets, provided they met with favorable conditions for their development (Arrhenius 1908).

(È molto probabile che ci siano organismi così piccoli che la pressione di radiazione di un sole li spingerebbe nello spazio, dove essi potrebbero far nascere la vita su pianeti nel caso trovassero condizioni favorevoli per il loro sviluppo.)

Un semplice calcolo, alla portata (sperabilmente) di studenti alle prime armi con la Fisica a livello universitario (Macchi 2023), mostra infatti che la forza esercitata dalla luce del Sole può eccedere l'attrazione gravitazionale dello stesso per corpuscoli micrometrici, con massa e dimensioni dell'ordine delle 'spore' immaginate da Arrhenius, accelerandoli verso l'esterno del sistema solare.

Nel corso del XX secolo concetti di vele solari sono stati discussi da diversi pionieri dell'astronautica e nel XXI secolo alcuni prototipi sono stati testati dalle agenzie spaziali americana (NASA) e giapponese (JAXA). Il vantaggio sta ovviamente nella leggerezza di un'astronave non dotata né di motore né di combustibile; il peso è in effetti ciò che limita maggiormente le nostre possibilità di esplorazione spaziale. Da questo punto di vista, la definizione in Inglese di 'light sail' è molto suggestiva essendo leggibile sia come 'vela a luce' che come 'vela leggera'. Tuttavia la pressione della luce solare decresce con l'inverso del quadrato della distanza da Sole (come la gravità) e in corrispondenza dell'orbita della Terra è solo un decimo di milionesimo della pressione atmosferica alla superficie terrestre. Nonostante nello spazio la luce del Sole sia disponibile con continuità '24/7', ottenere le velocità necessarie a esplorare lo spazio in tempi umanamente accettabili richiede una leggerezza estrema del veliero.

Qui entrano in gioco i progressi recenti della fisica dei materiali e della microelettronica. Nel 2016 la fondazione 'Breakthrough', nota per conferire ogni anno dei premi noti informalmente come 'oscar della scienza', ha presentato il progetto 'Starshot' basato su 'Starchip', un concetto di sonda spaziale dotato di una vela di 16 metri quadri costituita di carbonio in forma di grafene o nanotubi, equipaggiata di strumentazione concentrata in una scheda di pochi centimetri; il tutto per un peso di circa 10 grammi. Un altro semplice calcolo mostra che partendo dalla Terra la sonda sarebbe spinta dalla luce solare sino a velocità dell'ordine di un duecentesimo di c , centomila volte maggiori della velocità raggiunta dalla sonda Voyager 1, di fatto l'oggetto più veloce mai costruito dall'umanità. Lanciata nel 1977, Voyager 1 è stata il primo oggetto prodotto dall'umanità a uscire dai confini del sistema solare nel 2013 e si trova attualmente a circa un giorno luce dalla Terra.

Possiamo allora mandare le leggerissime vele Starchip sino ad Alpha Centauri, il trio di stelle più vicine al Sole a poco più di quattro anni luce di distanza, dove si sa dal 2016 che esistono pianeti orbitanti? Un calcolo un poco più raffinato dei precedenti (Heller & Hippke 2017) stima che una sonda Starchip potrebbe accelerare con la luce del Sole e poi frenare all'arrivo grazie alla luce delle stelle di Alpha Centauri, impiegando per il viaggio circa 200 anni. Questo è un tempo brevissimo al confronto col Voyager (che se diretto verso Alpha Centauri impiegherebbe circa 75000 anni) ma lungo rispetto alla vita umana, rendendo difficile (anche psicologicamente) la gestione di una missione di tale durata. La stima è inoltre ottimistica e prescinde da irrisolti problemi tecnologici, tra i quali il fatto che la sonda dovrebbe iniziare ad accelerare in prossimità del Sole dove il vento solare è così intenso e caldo da poterla danneggiare e comprometterne il volo: l'ambizione di volare (a vela) vicino al Sole ci farebbe fare la fine di Icaro.

Per percorrere quattro anni luce in un tempo significativamente minore di un secolo occorre banalmente raggiungere velocità prossime a c . Questo richiede una sorgente luminosa assai più intensa del Sole e necessariamente artificiale. Ispirati dall'invenzione del laser (la 'soluzione in cerca di un problema') nel 1960, l'ungherese György Marx e l'americano Robert L. Forward proposero indipendentemente l'idea di un laser gigante per accelerare dalla Terra un veliero solare. Marx calcolò il moto di una vela spinta dalla pressione della luce, col risultato promettente che più la velocità della vela aumenta più la conversione dell'energia luminosa in energia cinetica è efficiente (Marx 1966), fino al 100% nel limite ideale di velocità uguale a c . Curiosamente, Marx commise errori di cinematica relativistica nonostante fosse un fisico teorico di notevole livello e il calcolo sia accessibile a studenti del secondo anno di Fisica. La conclusione di Marx era comunque giusta (Simmons & McInnes, 1992) ma di valore speculativo, dato che un sistema laser in grado di

fornire l'energia richiesta per accelerare un oggetto macroscopico a velocità prossime a c era assolutamente oltre lo stato dell'arte all'epoca e la sua fattibilità era tutta da dimostrare.

Dal tempo di Marx lo sviluppo della tecnologia laser è stato impetuoso e oggi consente di convertire in luce un'energia mille miliardi di volte maggiore rispetto ai primi dispositivi. Forte di questi progressi, l'idea è stata riproposta nel 2016 dal sopracitato progetto Starshot alla cui presentazione parteciparono personalità della Fisica mondiale quali Stephen Hawking e Freeman Dyson. L'obiettivo era di costruire un impianto laser in grado di accelerare delle Starchip fino a circa un quinto di c e raggiungere Alpha Centauri in venti anni (Finkbeiner 2017). La **Fig.7** mostra una illustrazione schematica del concetto, con un sommario di alcuni dei parametri richiesti per la vela e il laser. La **Fig.8** mostra l'illustrazione di un progetto di vela di forma circolare, del quale colpisce la somiglianza con l'immagine iconica dei 'dischi volanti' (ma in moto con velocità perpendicolare alla propria superficie).

Sfortunatamente le caratteristiche del laser richieste dal progetto sono ben oltre l'attuale tecnologia. Al momento il sistema laser più grande al mondo è operativo presso la National Ignition Facility (NIF) in California ed è dedicato a esperimenti sulla fusione termonucleare. Il laser NIF occupa uno spazio pari a circa tre campi di football, è costato circa un miliardo di dollari e produce un impulso di un milionesimo di secondo al giorno, al costo di circa un milione di dollari per impulso. Il laser necessario al progetto Starshot dovrebbe fornire un'energia pari a circa un milione di volte quella di NIF in un centinaio di secondi: in effetti dovrebbe essere un sistema composto da migliaia di laser sincronizzati. Una semplice e ottimistica stima dei costi, basata su un'interpolazione sullo sviluppo futuro delle tecnologie laser, indica almeno 100 miliardi di dollari, suggestivamente dell'ordine del costo totale del programma Apollo della NASA che portò i primi uomini sulla Luna (Milchberg 2016). Va ricordato che tutte le stime sono relative a sonde superleggere con un peso complessivo di decine di grammi; dato che l'energia del laser e i relativi costi sono sostanzialmente proporzionali alla massa da accelerare, un veliero a propulsione laser con equipaggio umano appare oltre ogni frontiera tecnologica futuribile e quindi non esce dai confini della fantascienza. Peraltro le dimensioni richieste per il laser non sono l'unico ostacolo per Starshot: i problemi tecnologici irrisolti includono la sincronizzazione delle migliaia di fasci laser, la loro propagazione in atmosfera (con effetti difficilmente controllabili dovuti all'alta intensità) e la messa a fuoco con estrema precisione sulla vela di pochi metri da mantenere per una lunghezza di circa 10 milioni di km. Se si può attribuire a queste difficoltà l'apparente perdita d'impulso di Starshot a un decennio dalla sua proposta, nondimeno le sfide tecnologiche poste dalla missione verso Alpha Centauri hanno stimolato un notevole *corpus* di studi e pubblicazioni, con possibili ricadute su tecnologie più pronte all'uso. Per approfondire si possono vedere rassegne recenti (Lin et al., 2025; Carlidge 2026; Sengupta et al., 2026).

Se il viaggio interstellare è per adesso fuori portata, c'è però un'applicazione tecnologicamente accessibile del concetto di vela laser ottenuta grazie a una 'miniaturizzazione' estrema del concetto. Le equazioni del moto della vela mostrano che la sua velocità finale dipende dal rapporto tra l'energia dell'impulso laser e la massa della vela: quindi, applicando delle semplici leggi di scala, se riduciamo la larghezza della vela a pochi micrometri e lo spessore a pochi nanometri per farle raggiungere le stesse velocità previste per la Starchip (ovvero un quinto della velocità della luce) ci basta un'energia più o meno pari a quella acquisita da un sassolino di dieci grammi gettato dalla Torre di Pisa. Concentrando questa modesta energia sia comprimendo la durata degli impulsi laser in alcuni femtosecondi, cioè milionesimi di milionesimi di secondo, e focalizzandoli con moderni 'specchi ustori' in regioni con un raggio di pochi micrometri si possono ottenere intensità estremamente alte e corrispondenti valori di pressione della luce e di accelerazione delle 'nanovele' che sono di gran lunga i più alti mai generati in un laboratorio (in Inglese potremmo dire che '*light is heavy*'). Questi esperimenti sono realizzabili con impianti laser che occupano stanze di poche decine di metri quadri, come quello operativo presso la sezione pisana dell'Istituto Nazionale di Ottica del CNR. Le possibili applicazioni future di un siffatto acceleratore di materia, particolarmente in campo biomedico (per una rassegna si può vedere Borghesi & Macchi 2016) motivano l'interesse verso i risultati 'irlandesi' citati nell'introduzione che

sfruttano il meccanismo della light sail. Va detto che le prospettive di 'battere il cancro' sono ancora molto remote: al momento si può parlare di studi preliminari di radioterapia con fasci di ioni ad alta intensità, nei regime del cosiddetto 'effetto Flash' per cui si prevede un aumento dell'efficienza radioterapica (Gizzi & Andreassi 2021).

Tornando alla vastità dello spazio, nelle conclusioni del suo articolo (Marx 1966), Marx si dichiarò così convinto che i viaggi interstellari fossero possibili solo con vele a propulsione laser che anche un'ipotetica civiltà extraterrestre le avrebbe utilizzate per esplorare lo spazio e eventualmente tentare di invadere la Terra. Ma un'invasione inaspettata, notava Marx, sarebbe stata impossibile dato che l'astroveliero alieno non avrebbe potuto frenare e fermarsi una volta giunto in prossimità della Terra! Questo argomento, secondo Marx, fornisce una possibile spiegazione dell'assenza di ogni indizio di visite extraterrestri nella storia del nostro pianeta; un'assenza storicamente vista da alcuni come paradossale, dato che l'enorme numero di stelle simili al Sole nell'Universo e quindi di pianeti extrasolari renderebbe statisticamente probabile lo sviluppo di vita e di civiltà extraterrestri.

Questo punto di vista è sintetizzato nel celebre 'paradosso di Fermi': «se l'Universo pullula di alieni, dove sono tutti quanti?» La frase fu pronunciata da Enrico Fermi durante una pausa pranzo a Los Alamos nel 1950, in una chiaccherata probabilmente originata da una vignetta pubblicata sul *New Yorker* che, ironizzando sulla 'misteriosa' scomparsa di cestini della nettezza urbana a New York, ipotizzava che fossero stati rubati dagli alieni (Fig.9). Sostanzialmente quella di Fermi fu solo una battuta, ma giustamente del 'Papa Enrico' della fisica italiana non si butta via nulla: va però detto che sia l'attribuzione del 'paradosso' sia la sua sostanza logica e scientifica sono state criticate, si veda e.g. Gray (2015). Al netto di queste critiche, l'argomento di Marx fornisce una risposta di carattere assai pratico al paradosso di Fermi.

L'episodio di Los Alamos è ricordato da Marx nel proprio libro *The Voice of the Martians* (Marx 2001) dedicato agli scienziati ungheresi formati nella prima metà del 1900 che, anche per l'antisemitismo crescente in Europa, si trasferirono negli USA dando un contributo fondamentale allo sviluppo della fisica e tecnologia nel secolo XX: i nomi (inglesizzati) più celebri sono quelli di Theodore von Kármán, John von Neumann, Edward Teller, Eugene P. Wigner, Leo Szilard. Si trattava di una tale generazione di fenomeni da far sorgere la diceria scherzosa che fossero dei 'marziani', ovvero degli alieni superintelligenti sbarcati sulla Terra. Lo scherzo dei marziani ungheresi e il Paradosso di Fermi potrebbero avere un'origine correlata stando a quanto scrive Francis Crick, il co-scopritore della struttura del DNA e Nobel per la Medicina nel 1962, nella prefazione al proprio libro *Life itself* sull'origine della vita (Crick 1981) «fu Leo Szilard a dare la perfetta risposta alla retorica di Fermi: '[Gli alieni] sono tra noi! Ma si chiamano ungheresi!'» (a riferire a Szilard della battuta di Fermi potrebbe essere stato Teller, presente al pranzo di Los Alamos e in seguito divertito sostenitore del mito dei marziani). Per inciso, Crick era interessato all'argomento della vita extraterrestre e dei viaggi interstellari data la sua ipotesi della 'directed panspermia', ovvero che la vita potesse essere stata deliberatamente trasmessa nello spazio da esseri intelligenti (Crick & Orgel 1973).

Con queste premesse, si può ipotizzare che nel suo articolo del 1966 Marx volesse contribuire allo scherzo dei marziani ungheresi, assicurando il mondo sul fatto che i propri connazionali non potessero essere atterrati dallo spazio profondo (ma i più fervidi sostenitori del mito l'avrebbero considerato un depistaggio). Si può sospettare ulteriore umorismo in uno scienziato di nome Marx e residente 'oltre cortina' che si riferisce agli alieni come invasori ostili, riflettendone un'immagine stereotipata ma assai popolare all'epoca negli USA dove rappresentava un'allusione al pericolo comunista. Questa visione (se presa senza ironia) potrebbe essere piaciuta a Teller, co-inventore della bomba H e grande sostenitore della deterrenza nucleare, nonché in seguito proponente dell'uso di potenti laser come armi di difesa anti-missile ovvero il controverso e fallimentare progetto di 'guerre stellari' (*Star Wars*) negli anni '80 sotto la presidenza di Ronald Reagan. Alcuni degli argomenti allora sollevati contro la fattibilità del progetto (in particolare relativi alla difficoltà di controllare la propagazione di impulsi laser di alta potenza in atmosfera) si applicano oggi a Starshot.

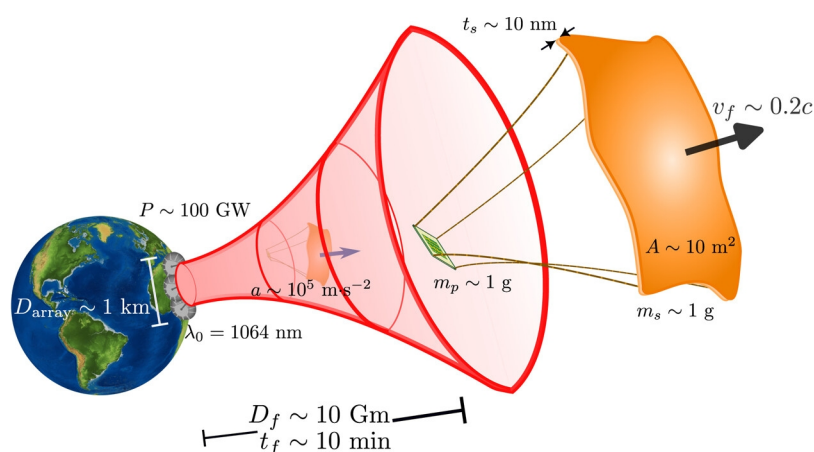


Fig.7. Illustrazione del concetto di vela spaziale a propulsione laser (*light sail*) da sorgente posta dalla Terra. Sono indicati gli ordini di grandezza di vari parametri della vela (A : area, t_s : spessore, m_s : massa della vela, m_p : massa del carico), del laser (P : potenza, λ_0 : lunghezza d'onda, D_{array} : estensione dello schieramento delle sorgenti laser) e del moto (v_f : velocità finale, a : accelerazione, D_f : distanza di accelerazione, t_f : tempo di accelerazione). Riprodotta con autorizzazione da Lin J. Y. et al (2025) *ACS Photonics* 12, pp.4818-4850. Copyright © 2025 American Chemical Society.

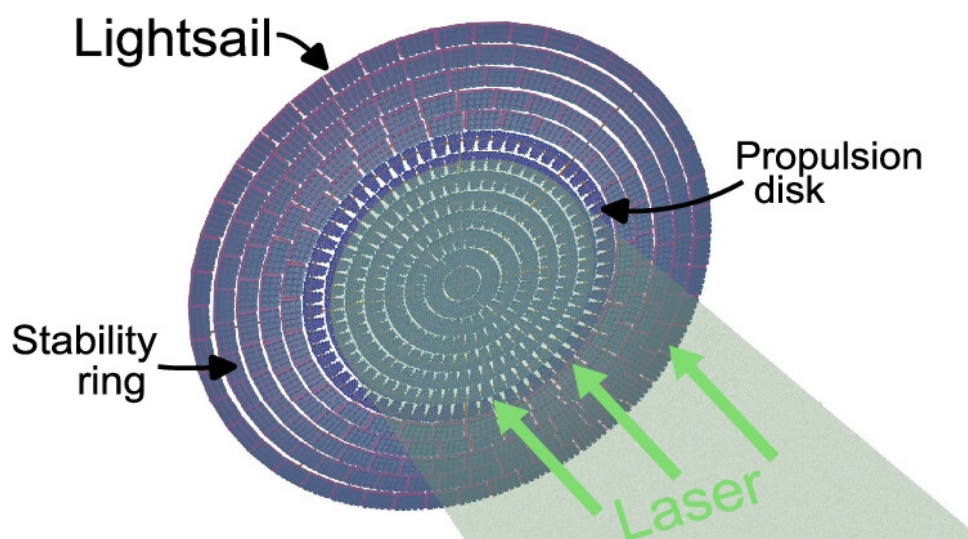


Fig.8. Illustrazione di un modello avanzato di *light sail* di forma circolare. Riprodotta con autorizzazione da Lin J. Y. et al (2025) *ACS Photonics* 12, pp.4818-4850. Copyright © 2025 American Chemical Society.

Al momento, il laser di NIF rimane l'unico sistema 'gigante' funzionante (nonostante uno sviluppo travagliato) che ha ottenuto risultati scientifici di grande rilievo (meno noto l'impatto della sua applicazione al programma di mantenimento dell'arsenale nucleare americano). In un curioso twist narrativo, anche il laser di NIF ha trovato il proprio posto nel contesto dei viaggi interstellari alla ricerca di civiltà aliene pur se solo sul lato della fantascienza: nel film *Into Darkness* della serie *Star Trek* la sala laser di NIF appare nel ruolo della sala macchine dell'astronave Enterprise.

Dal punto di vista tecnico, l'argomento di Marx sull'impossibilità che gli alieni potessero 'frenare' in vicinanza della Terra non considerava né che gli extraterrestri potessero sfruttare la luce solare per frenare il proprio astroveliero, né un'ingegnosa proposta di Forward (Forward 1984) per riuscire a rallentare la vela con lo stesso laser usato per accelerare. L'idea di Forward richiederebbe lenti speciali orbitanti e vele scomponibili, entrambe del diametro di centinaia di km, molto oltre le possibilità tecnologiche attuali (Macchi 2020). Nondimeno l'idea è suggestiva e in linea col profilo di Forward, scienziato di buon livello noto fra l'altro per aver contribuito alle prime ricerche sulle onde gravitazionali e quindi sicuramente teso a guardare 'avanti' (nomen omen) verso imprese apparentemente impossibili, oltre che apprezzato scrittore di fantascienza basata su tecnologie futuribili e 'solidi principi scientifici' (Lundquist 2012). Le idee di Forward sulla propulsione spaziale sono state di ispirazione per le astronavi terrestri nel film di grande successo *Avatar*, il che nella finzione consente (purtroppo) agli umani di invadere il pianeta Pandora. Si tratta di fantascienza ma, anche qui, con un chiaro riferimento allusivo alla storia americana ovvero alle violente conquiste dei colonizzatori a scapito dei nativi, con i terrestri stavolta nella parte dei 'cattivi' al contrario dell'articolo di Marx.

Recentemente l'astronomo e divulgatore Seth Shostak, già direttore dell'istituto internazionale SETI per la ricerca di intelligenze extraterrestri, ha sostenuto che gli scenari più estremi sui possibili sviluppi dell'intelligenza artificiale suggeriscono che civiltà tecnologicamente avanzate potrebbero evolversi verso forme di intelligenza digitale *in silico* (Shostak 2021). Queste forme intelligenti (che siano da ritenersi 'vive' o meno) sarebbero 'contenute' in dispositivi assai più leggeri di un corpo umano e in grado di resistere alle condizioni estreme di un viaggio spaziale per tempi molto lunghi rispetto a una vita umana. Per questi motivi non si può escludere a priori che una civiltà superiore alla nostra, dotata di più ingenti risorse energetiche ed evoluta verso condizioni favorevoli a lunghissimi viaggi spaziali possa lanciare astrovelieri per l'esplorazione interstellare.

Ancor prima dell'osservazione di 1I/2017 U1 'Oumuamua, Loeb ha cercato indicazioni astronomiche di velieri alieni. Nel decennio precedente al 2017 vi erano state osservazioni di misteriosi 'lampi' astronomici di radiazione elettromagnetica nella regione delle onde radio ('fast radio burst', FRB) che non avevano trovato una spiegazione soddisfacente. Loeb e collaboratori hanno investigato la possibilità che tale emissione radio fosse dovuta al rilascio di energia nel lancio di una vela a propulsione laser, generando un'emissione elettromagnetica abbastanza intensa da essere rilevabile anche a distanze extragalattiche (Lingam & Loeb 2017).

Sfortunatamente per Loeb, sia i FRB che le anomalie nella traiettoria di 'Oumuamua hanno trovato spiegazioni fisiche che non implicano tecnologie aliene. Numerosi studi osservativi hanno associato i FRB alle emissioni da ambienti 'estremi' dell'universo quali rare stelle di neutroni compatte (*magnetar*) in nebulose di gas ionizzato (Fiasconaro 2026). L'accelerazione anomala di 'Oumuamua è stata spiegata con l'effetto della radiazione solare che ha causato l'espulsione di idrogeno dal corpo dell'asteroide (Bergner & Seligman 2023); l'analogia con la formazione della coda delle comete come immaginata da Keplero suona un poco beffarda rispetto alle aspettative di Loeb, tanto più che «molto probabilmente 'Oumuamua è una cometa oscura» ovvero priva di una coda visibile (Carbognani 2023).

Il fatto che 'Oumuamua non sia il relitto di un veliero spaziale non ha fermato l'ambizioso 'Galileo project' coordinato da Loeb per «la sistematica ricerca scientifica di evidenza di manufatti tecnologici extraterrestri», nonostante la tentazione maliziosa di notare che il termine inglese 'artifact' usato da Loeb possa significare sia 'manufatto' che 'artefatto', cioè un risultato scientifico fasullo o ingannevole. Nell'intervista citata Loeb giustifica così il nome dato al progetto: «Ci si deve affidare alla verità raccontata dai dati piuttosto che ai pregiudizi. E questo è proprio l'insegnamento

di Galilei». Non si può che essere d'accordo, specialmente quando i dati raccontano una verità diversa da quella attesa o sperata.

Le grandi difficoltà nell'esplorare direttamente lo spazio oltre i dintorni della Terra e nel cercare evidenze di vita extraterrestre non implica che tali questioni non rimangano di interesse fondamentale per l'umanità, così come lo erano oltre sei secoli fa. Galileo avrebbe avuto molto piacere che le navi spinte dai venti celesti immaginate da Keplero fossero state disponibili all'epoca, così da consentire a chi non credeva nelle sue osservazioni di salire in cielo a verificare di persona; esperienza da consigliare oggi a chi mette in dubbio la forma stessa della Terra. Ma purtroppo rimangono attuali le parole scritte da Galileo all'amico il 19 agosto 1610:

Volo, mi Keplere, ut rideamus insignem vulgi stultitiam. Quid dices de primariis huius Gimnasii philosophis, qui, aspidis pertinacia replet, numquam, licet me ultro dedita opera milies offerente, nec Planetas, nec Lunam, nec perspicillum videre volerunt? Verum ut ille aures, sic isti oculos, contra veritatis lucem obturarunt. (Galilei 1900)

(Voglio, Keplero mio, che ridiamo della straordinaria stupidità della gente. Che dirai dei filosofi più importanti di questo Ginnasio i quali, pieni di testardaggine come un'aspide, nonostante abbia offerto mille volte il mio aiuto non hanno mai voluto vedere né i pianeti, né la luna, né il telescopio? Ma come quello che si è tappato le orecchie, così costoro hanno chiuso gli occhi alla luce della verità).

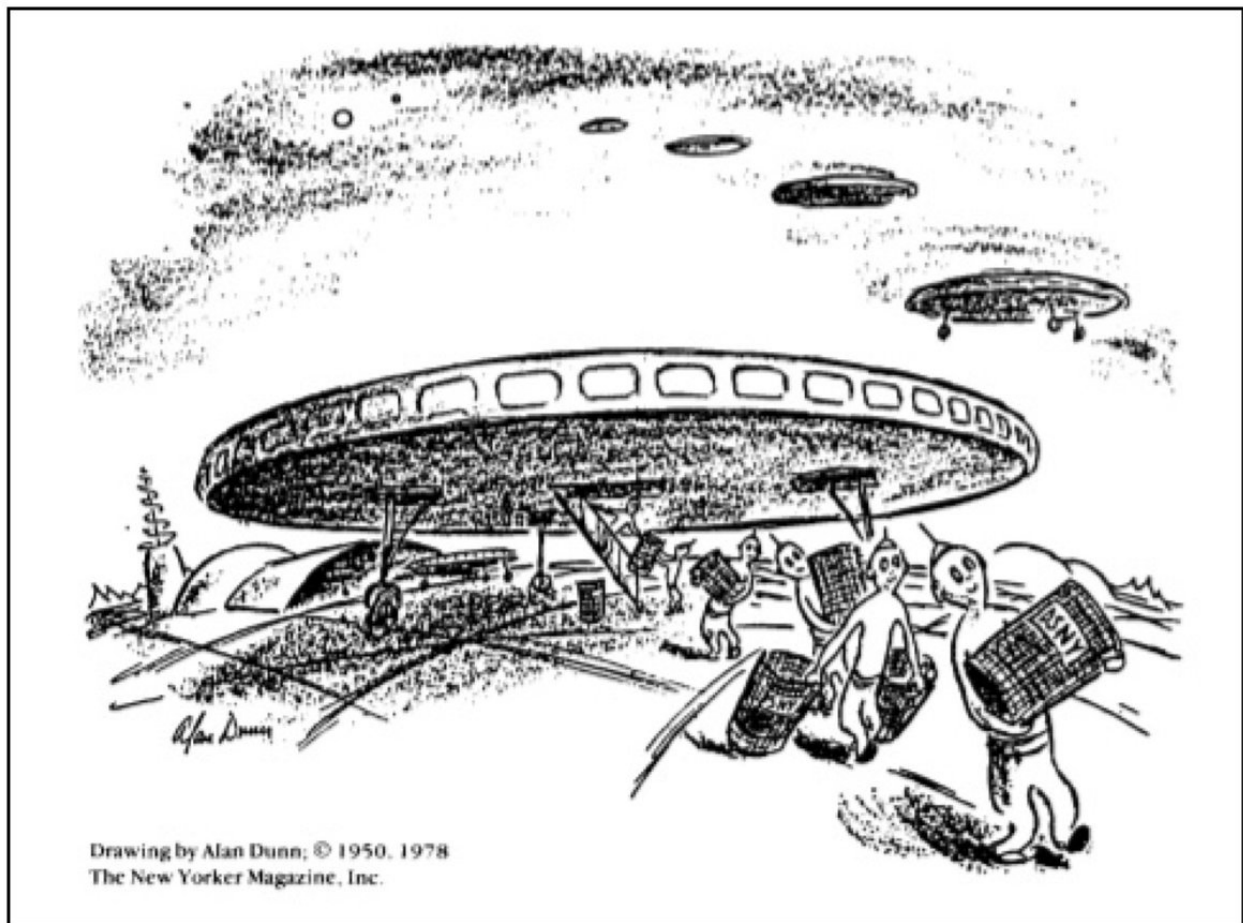


Fig.9. La vignetta di Alan Dunn su *The New Yorker Magazine* (1950) che mostra alieni portare sul proprio pianeta cestini della nettezza urbana di New York e dalla quale sarebbe originata la conversazione che ha dato origine al Paradosso di Fermi e, forse, anche lo scherzo dei marziani ungheresi. © 1950, 1978 The New Yorker Magazine, Inc. Riprodotta per finalità di critica e discussione scientifica ai sensi dell'art. 70 L. 633/1941. Quest'opera è esclusa dalla licenza Creative Commons (CC BY 4.0) applicata al resto dell'articolo; tutti i diritti rimangono riservati al legittimo titolare.

Bibliografia

- (Arrenhius 1908) Arrenhius S. (1908) *Worlds in the Making: The Evolution of the Universe*. New York: Harper & Row.
- (Bartoli 1884) Bartoli A. (1884) Il calorico raggianti e il secondo principio di termodinamica. *Il Nuovo Cimento* 15, pp.193-202.
- (Bergner & Seligman 2023) Bergner J. B., Seligman D. Z. (2023) Acceleration of 1I/'Oumuamua from radiolytically produced H₂ in H₂O ice. *Nature* 615, pp. 610–613.
- (Buchanan 2021) Buchanan M. (2021) A New Trick to Make Short-Pulse Ion Beams. *Physics (APS magazine)* 14, p.153 (online, doi: 10.1103/Physics.14.153)
- (Carbognani 2023) Carbognani A. (2023). Svelato il mistero di 'Oumuamua. *Media INAF* (online) <https://dx.doi.org/10.20371/INAF/2724-2641/1736730>.
- (Cartlidge 2026) Cartlidge E. (2026). New Optics for Interstellar Flight. *Optics & Photonics News*, June 2026, pp.34-41 (online, doi: 10.1047-6938/26/06/34/8)
- (Crick 1981) Crick F. (1981). *Life Itself: its Origin and Nature*. London: Macdonald, p.15
- (Crick & Orgel 1973) Crick F., Orgel L. (1973) Directed Panspermia. *Icarus* 19, pp.341.346.
- (Fiasconaro 2026) Fiasconaro G. (2026) Frb e sorgenti radio: un'associazione lampante. *Media INAF* (online) <https://dx.doi.org/10.20371/INAF/2724-2641/1777329>
- (Galilei 1900) Galilei G. (1900) *Opere*. Firenze: Tipografia Barbera. Vol.X, n.379, p.423.
- (Finkbeiner 2017) Finkbeiner A. (2017) Verso Alfa Centauri (quasi) alla velocità della luce. *Le Scienze*, 3 Maggio 2017.
- (Forward 1984) Forward R. L. (1984). Roundtrip Interstellar Travel Using Laser-Pushed Lightsails. *Journal of Spacecraft* 21, pp.187-195
- (Fraiooli 2022) Fraiooli L. (2022) Abraham "Avi" Loeb: 'Io astrofisico, a caccia di Ufo per dare un senso alla nostra umanità', *La Repubblica*, 8 Febbraio 2022; https://www.repubblica.it/cultura/2022/02/08/news/l'intervista_l_astrofisico_abraham_avi_loeb_io_a_caccia_di_ufo_per_dare_un_senso_alla_nostra_umanita_-336992245/
- (Gizzi & Andreassi 2021) Gizzi L. A., Andreassi M. G. (2021) L'effetto FLASH: verso una nuova radioterapia contro i tumori. *Sapere*, n.6, pp. 16-20.
- (Heller & Hippke 2017) Heller R., Hippke M. (2017) Deceleration of High-velocity Interstellar Photon Sails into Bound Orbits at α Centauri. *The Astrophysical Journal Letters* 835, L32.
- (Hill 2022) Hill H. M (2022) A laser selectively kicks carbon out of a foil. *Physics Today* 75, pp. 1-19 (doi: 10.1063/PT.3.4916)
- (Kepler 1610) Kepler J. (1610). *Dissertatio cum Nuncio Sidereo*. Praga: Daniel Sedesanus.
- (Kepler 1619) Kepler J. (1619). *De Cometis Libellis Tres: Libellus secundus*. Praga: Andreas Aperger (pp.100-101).
- (Kepler 1625) Kepler J. (1625) *Tychonis Brahei Dani Hyperaspistes*. Francoforte: Gottfried Tampach (p. 205).
- (Lin 2025) Lin J. Y. et al (2025) Lightsails for Interstellar Travel: Photonics for Propulsion, Thermal Management and Stability. *ACS Photonics* 12, pp.4818-4850.
- (Lingam & Loeb 2017) Lingam M. & Loeb A. (2017) Fast Radio Burst from Extragalactic Light Sails. *The Astrophysical Journal Letters* 837, L23.
- (Lundquist 2012) Lundquist C. A. (2012) The Science and Fiction of Robert L. Forward. *Physics Procedia* 38, pp.109 – 115
- (Macchi 2020) Macchi A. (2020) Vele laser, viaggi interstellari e civiltà extraterrestri. *Sapere* n.3, pp. 30-35.
- (Macchi 2023) Macchi A., Moruzzi G., Pegoraro F. (2023) *Problems in Classical Electromagnetism*, 2nd edition. Cham: Springer.
- (Marx 1966) Marx G. (1966) Interstellar Vehicle Propelled By Terrestrial Laser Beam. *Nature* 211, pp.22–23.
- (Marx 2001) Marx G. (2001). *The Voice of The Martians* (3rd Ed.). Budapest: Akadémiai Kiadó.
- (Maxwell 1873) Maxwell J. C. (1873) *A treatise on electricity and magnetism*. Oxford: University Press (pp. 792-793).

(McIlvenny 2021) McIlvenny A. et al. (2021) Selective Ion Acceleration by Intense Radiation Pressure. *Physical Review Letters* 127, p.194801.

(Milchberg 2016) Milchberg H. (2016) Challenges abound for propelling interstellar probes. *Physics Today*, April 26, 2016 (online, doi: 10.1063/PT.5.2035).

(Sengupta 2026) Sengupta D. et al. (2026) From interplanetary to interstellar: Current status of exploration using space sails and required developments. *Acta Astronautica* 245, pp.20-34.

(Shore & Pavlik 2021) Shore S. N. & Pavlík V. (2021) How a fake Kepler portrait became iconic. *Physics Today*, September 2021, p.10.

(Shostak 2021) Shostak S (2021) If we ever encounter aliens, they will resemble AI and not little green martians. *The Guardian*, June 14, 2021 [online: <https://www.theguardian.com/commentisfree/2021/jun/14/aliens-resemble-ai-not-green-martians>, consultata il 10/05/2026]

(Simmons & Mc Innes 1992) Simmons J. F. L., McInnes C. R. (1992) Was Marx right? or How efficient are laser driven interstellar spacecraft? *American Journal of Physics* 61, pp.205-207

(Verne 1972). Verne J. *Dalla Terra alla Luna*. Milano: Edizioni Paolo Carrara. Cap.XIX.

(Williams 2021) Williams A. (2021) Intense radiation pressure enables selective acceleration of carbon ion beams. *Physics World* December 07, 2021 (online)