

# Astrodynamic Space Framework

Giovanni Nicola D'Aloisio

2 gennaio 2022

## Sommario

Negli ultimi anni il peso delle attività spaziali sull'economia mondiale è sempre più grande e si prevede che crescerà ulteriormente negli anni a venire. L'ultima rivoluzione industriale ha messo in luce l'importanza di conservare il mondo e i suoi ecosistemi per le generazioni a venire, avviando le economie circolari. Nuovi rami delle scienze hanno visto la luce e al contempo si sono affermate nuove dinamiche di mercato, dapprima con la digitalizzazione delle transazioni bancarie e poi l'avvento delle criptovalute, e sono nati nuovi approcci ai problemi e alle sfide tecnologiche, come i primi simulatori quantistici commerciali. L'umanità è destinata dunque ad adottare le criptovalute in un'economia planetaria sempre più aperta e mantenere le sue attività con tecnologie, energie e materiali più efficienti, efficaci e puliti, provenienti dall'atomo, il cosmo e le miniere spaziali negli asteroidi e nei satelliti naturali del Sistema solare.

Astrodynamic Space Framework è il progetto di una rete interplanetaria avente l'obiettivo di immettere nell'attuale economia di mercato le risorse del Sistema solare, facilitare la transizione ecologica e migliorare la sicurezza e la flessibilità del volo spaziale, oltre a raggiungere la stella più vicina alla Terra, Proxima Centauri, entro la fine di questo secolo.

## Indice

<b>1 Perché avventurarsi in quest'impresa?</b>	<b>2</b>
1.1 L'esempio di Deep Space 1 e Dawn . . . . .	2
1.2 L'impatto tra Giove e la cometa Shoemaker-Levy 9 . . . . .	3
1.3 I NEO, piccoli ospiti indesiderati . . . . .	4
1.4 Industria e progresso tecnologico . . . . .	5
1.5 Esplorazione spaziale . . . . .	7
<b>2 Architettura</b>	<b>8</b>
2.1 Spektr . . . . .	9
2.2 Kristall . . . . .	10
2.3 Laserfan . . . . .	12
2.4 Kvant . . . . .	14
<b>3 Conclusione</b>	<b>15</b>

# 1 Perché avventurarsi in quest'impresa?

*Seguendo la luce del sole, abbiamo lasciato il Vecchio Mondo:* così Cristoforo Colombo descrive l'inizio della più grande impresa umana dai tempi della nascita dell'Impero Romano. Allo stesso modo, alle 19:28:34 del 4 ottobre 1957, lo Sputnik 1 si alzò in volo, dando inizio alla conquista dello spazio. Da allora, molta strada è stata percorsa: il principale movente, la guerra fredda, è venuto meno, e il bisogno di raggiungere destinazioni via via più lontane è scomparso, complice il bisogno di sapere di più riguardo gli effetti del volo spaziale di lunga durata sul corpo umano e i reali vantaggi che questa impresa potrebbe portare nella vita di tutti i giorni.

## 1.1 L'esempio di Deep Space 1 e Dawn

Dopo i primi flyby delle sonde Galileo e Cassini, nessuna sonda si è più interessata di asteroidi; questo fino al lancio di Deep Space 1 e Dawn, due sonde i cui risultati scientifici hanno ravvivato l'interesse scientifico verso i piccoli corpi celesti che costellano il Sistema Solare comunemente noti come asteroidi. Questi possono essere nuclei di pianeti che non sono riusciti a formarsi, o semplici detriti originatisi dallo scontro tra corpi celesti nelle epoche passate. Il successo di Deep Space 1, primo veicolo spaziale interplanetario a utilizzare un propulsore a griglia elettrostatica, ha posto le basi per i futuri voli spaziali equipaggiati con propulsione ionica, in particolare per Dawn, che ha raggiunto con successo ogni suo obiettivo, totalizzando oltre 51 mila ore di tempo di accensione del propulsore NSTAR. Il concetto di base è molto semplice: si usano elettrodi ad alta tensione per accelerare un gas ionizzato mediante forze elettrostatiche, producendo una spinta come quanto avviene in un palloncino. Il concetto alla base di Laserfan, come si vedrà più in avanti, è esattamente lo stesso alla base di questi propulsori.

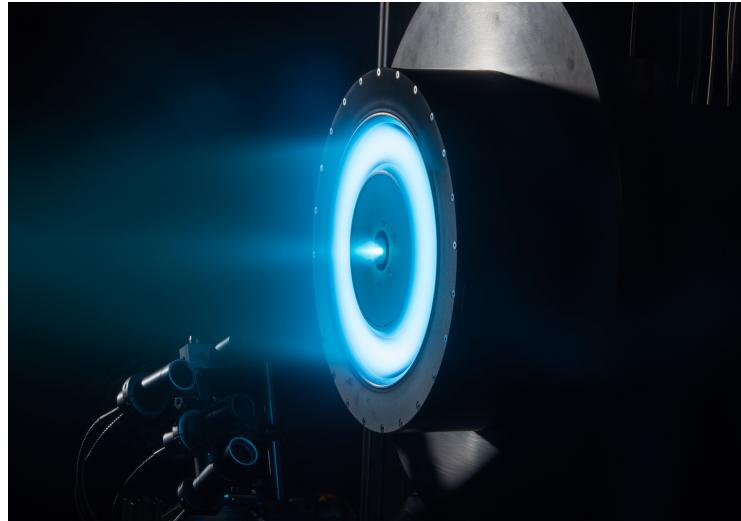


Figura 1: Un propulsore ionico a effetto Hall (NASA).

## 1.2 L'impatto tra Giove e la cometa Shoemaker-Levy 9

Contemporaneamente a questi eventi di importantissima rilevanza tecnologica, avveniva uno dei più spettacolari urti mai documentati dall'uomo: quello tra Giove e la cometa Shoemaker-Levy 9. Scoperta il 25 marzo 1993, era stata catturata tra la seconda metà degli anni sessanta ed i primi anni settanta da Giove, e le interazioni tra il gigante gassoso e la cometa ne avevano causato la disgregazione in 21 frammenti.



Figura 2: La cometa Shoemaker-Levy 9 prima dell'urto.

Gli studi dell'orbita della cometa portarono alla conclusione che essa sarebbe precipitata sul pianeta nel luglio del 1994. Fu quindi avviata un'estesa campagna osservativa che coinvolse numerosi osservatori a Terra e diverse sonde nello spazio per la registrazione dell'evento. Tra il 16 ed il 22 luglio del 1994, i frammenti della cometa caddero su Giove in un vero e proprio bombardamento. Le macchie scure

che si formarono sul pianeta furono osservabili dalla Terra per diversi mesi prima di essere riassorbite dall'atmosfera di Giove. L'evento ebbe una rilevanza mediatica considerevole, ma contribuì notevolmente anche alle conoscenze scientifiche sul Sistema solare. In particolare, permise di effettuare misurazioni sugli strati profondi dell'atmosfera gioviana, normalmente inaccessibili, e sottolineò il ruolo svolto da Giove nel ridurre i detriti spaziali presenti nel Sistema solare interno.

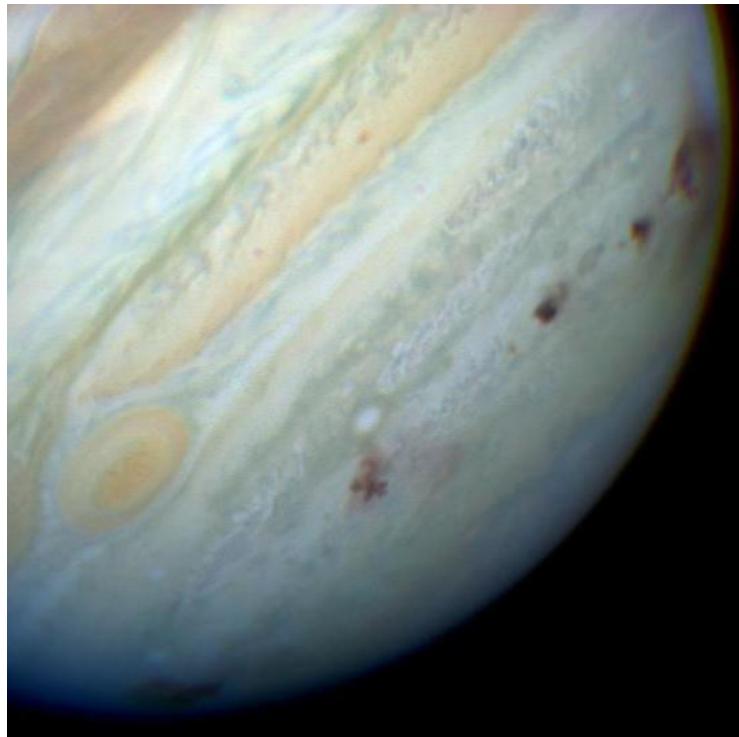


Figura 3: Giove dopo l'urto con la cometa. Si notino le estese macchie nere nella fitta atmosfera.

### 1.3 I NEO, piccoli ospiti indesiderati

Esistono degli oggetti analoghi nello spazio circumterrestre: si chiamano NEO, Near-Earth Objects, e sono tanto interessanti quanto pericolosi per la Terra. Con un raggio medio non molto diverso da quello di questi oggetti, i suoi frammenti più grandi si distrussero solo a una pressione di 2.5 bar,, e i segni lasciati dall'evento rimasero visibili a lungo e furono descritti come più visibili della famosa Grande Macchia Rossa. Probabilmente furono i fenomeni transitori più importanti mai osservati sul pianeta, e mentre la Grande Macchia Rossa risalta per il suo colore, non fu mai registrata alcuna macchia di dimensioni e colori simili a quelle provocate dalla cometa. Le osservazioni spettroscopiche mostrarono che l'ammoniaca e il solfuro di carbonio rimasero nell'atmosfera almeno per quattordici mesi dopo l'evento. La temperatura atmosferica tornò ai livelli normali molto più velocemente nei punti

di impatto maggiori rispetto a quelli minori. Nei primi, infatti, le temperature aumentarono in una regione ampia da 15000 a 20000 km, ma scesero a valori normali entro una settimana dall'evento. Nei punti più piccoli, temperature di 10 K superiori rispetto ai siti circostanti persistettero invece per almeno due settimane. Le temperature della stratosfera aumentarono immediatamente dopo gli impatti, per scendere due o tre settimane dopo a valori di temperatura inferiori rispetto alla situazione precedente agli impatti. Soltanto in seguito tornarono lentamente a valori normali.

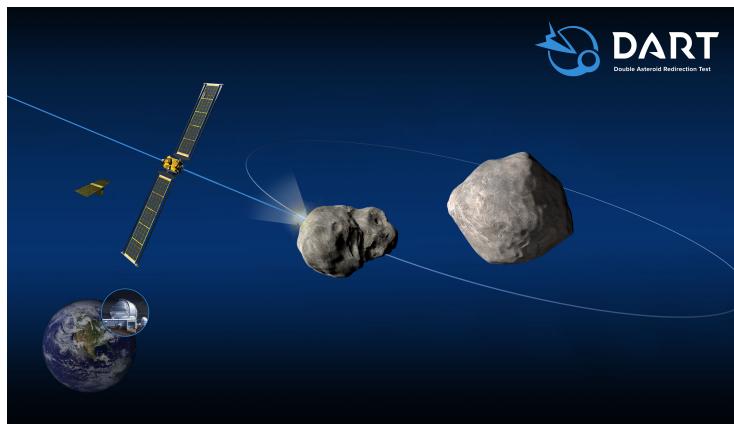


Figura 4: Double Asteroid Redirection Test (DART) (NASA).

Le conseguenze di un evento come questo sarebbero state molto più drastiche su un pianeta come la Terra, ma il modo migliore per proteggere la Terra da un simile evento è minare le risorse preziose del NEO in questione, per riapplicarle nell'industria e nell'economia globale. L'idea è molto semplice: dalle analisi spettroscopiche si rileva la composizione dell'oggetto, e in base a queste si decide se farlo esplodere mediante una convenzionale bomba H (altrimenti inutilizzata) impiantata da un idoneo veicolo spaziale, oppure reindirizzarlo in un pre-esistente network di sfruttamento minerario dei NEO noti. In questo senso, sono fondamentali gli studi in corso nell'ambito della Asteroid Redirect Robotic Mission (ARRM), e dopo il lancio della prima sonda direttamente rivolta alla difesa planetaria mediante deflezione del corpo celeste con un proiettile (Double Asteroid Redirection Test, DART), si prevede di lanciare anche la prima sonda che studierà un asteroide metallico, Psyche.

#### 1.4 Industria e progresso tecnologico

Riprendendo il filo del network di asteroid mining, immaginiamo di avere un asteroide metallico, dotato di un campo magnetico. Vincoliamolo a ruotare attorno a un asse, dopodiché circondiamolo di conduttori: abbiamo ottenuto una macchina elettrica sincrona che, al posto di avere un magnete permanente, presenta un intero asteroide a sua disposizione. I campi magnetici planetari possono raggiungere valori di tesla molto elevati, e l'energia generata può essere inviata mediante onde

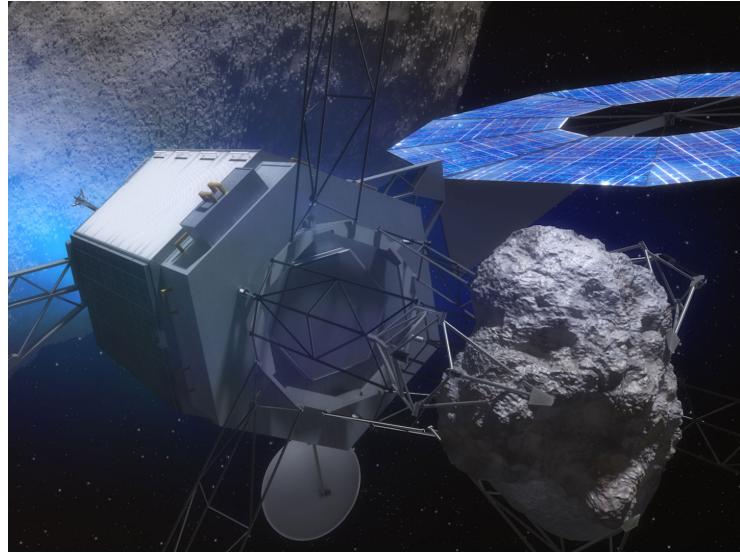


Figura 5: Asteroid Redirect Robotic Mission (ARRM) (NASA).

elettromagnetiche laddove è richiesta. Inoltre, sistemi robotizzati possono autonomamente inviare, come fatto da numerose missioni passate (Stardust, OSIRIS-REx, ...) materiale da miniera, eliminando la piaga dei lavori fisicamente provanti dalla faccia della Terra.

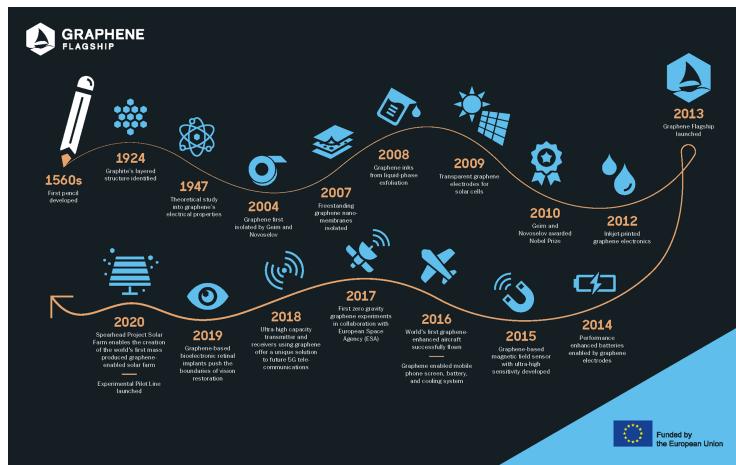


Figura 6: Lo sviluppo del grafene nei secoli.

Come già avvenuto nei precedenti programmi spaziali, anche qui le ricadute tecnologiche possono essere particolarmente rilevanti per il futuro dell'umanità. Dato che la fusoliera del veicolo Kvant sarà la prima struttura di spazioplano interamente realizzata in un materiale composito di fibra di carbonio e aerogel di grafene, mentre si prevede di utilizzare pannelli fotovoltaici e batterie al grafene, la ricerca sui

materiali derivati dagli stati allotropici del carbonio potrebbe subire una rilevante spinta, con applicazioni nel settore dei trasporti (batterie e telai di automobili, aerei, navi e treni convenzionali), dell'edilizia e numerosi altri. L'Astrodynamic Space Framework è una sorta di rete neurale, in cui le componenti sono tante e l'efficacia degli algoritmi di machine learning è fondamentale, e questi algoritmi possono trovare numerose applicazioni anche nella vita di tutti i giorni, in particolare sull'analisi statistica dei dati e sull'intelligenza artificiale.

## 1.5 Esplorazione spaziale

Non da ultimo, un framework del genere permetterebbe di esplorare lo spazio interplanetario e interstellare in modo da accelerare la ricerca scientifica e la colonizzazione dello spazio, continuando quel che il dr. Wernher von Braun e gli altri pionieri dell'esplorazione spaziale hanno cominciato un secolo fa, e che gli scienziati attualmente faticano a realizzare.

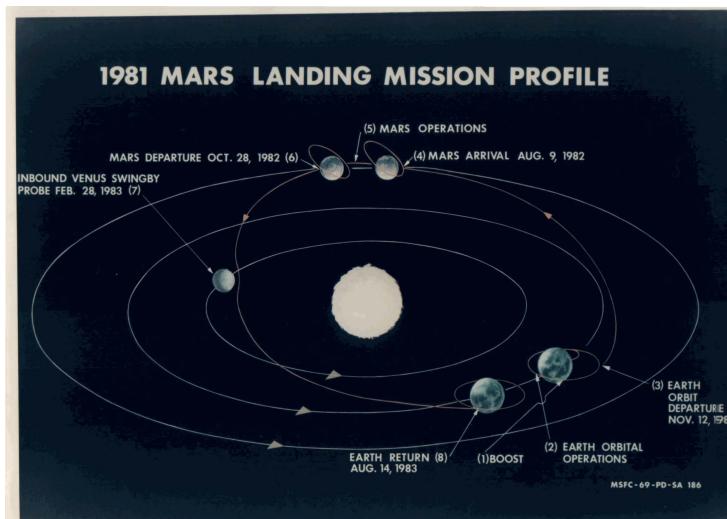


Figura 7: Proposta di profilo di missione per uno sbarco su Marte del 1981, di Wernher von Braun (datato 1969).

Alcune delle principali aree di ricerca che possono essere abilitate dall'ASF sono:

- Ingegnerizzazione delle tecniche di In-Situ Research Utilization, per la costituzione di colonie stabili su altri corpi celesti;
- Consolidamento della conoscenza in materia di criogenia e risveglio nello spazio per voli di lunga durata;
- Approfondimento degli effetti della lunga permanenza dello spazio sul fisico e sulla psiche degli esseri viventi;
- Ricercare in modo diretto evidenze di vita extraterrestre, più o meno sviluppata, sui corpi del Sistema Solare e delle stelle più vicine;

- Esperimenti di astrofisica, fisica delle particelle e fisica della materia nello spazio;
- Testing di tecnologie terrestri nello spazio e certificazione di prodotti industriali;
- Studio degli effetti del vento solare e dei raggi cosmici sui materiali e sulle forme di vita a livelli diversi di schermatura;
- ...

Questo elenco chiaramente non vuole essere un elenco esaustivo, in quanto verrà ampliato dalla comunità scientifica in base all'occorrenza, in modo analogo a quanto avviene con il telescopio spaziale Hubble.

## 2 Architettura

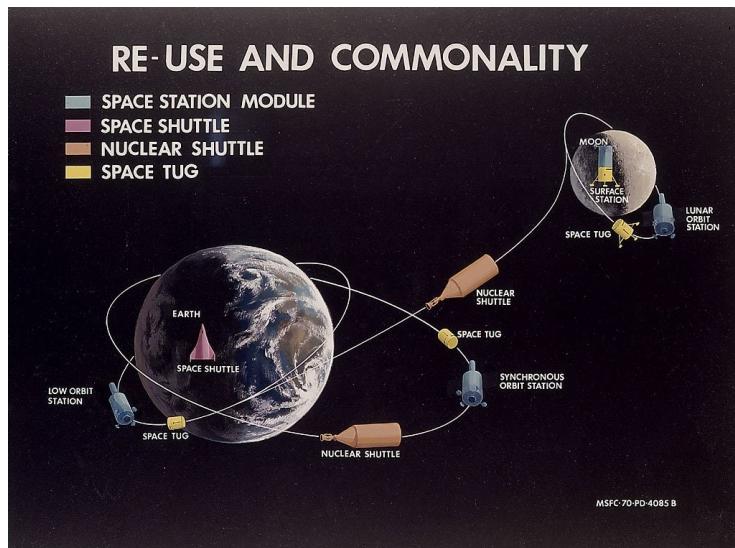


Figura 8: Integrated Program Plan "Maximum Rate" Traffic Model (1970).

La rete è formata da stazioni spaziali chiamate Kristall e navette di trasporto interplanetario chiamate Kvant. Per abbattere i costi e i tempi di sviluppo, sono previsti gli Array, che sono centri di raccolta, smistamento e ricondizionamento di materiali di scarto, progettazione, costruzione, collaudo e lancio di nuove infrastrutture orbitali, e assistenza, gestione e amministrazione del framework. I primi Kvant e Kristall dovrebbero essere costruiti negli Array, ma a partire dagli anni Trenta la rete orbitale dovrebbe già essere in grado di sostenersi e replicarsi in modo autonomo.

Un Kristall è indicato da una sigla KRS-X-Y, con X un numero che rappresenta il pianeta per distanza dal Sole e Y una lettera che indica l'ordine di arrivo su tale pianeta. Un Map è identificato da una sigla KNT-XXY, dove XX sono le ultime

due cifre dell'anno di immatricolazione e Y è una lettera che indica l'ordine di immatricolazione in quell'anno.

È evidente che un piano del genere comporta un gran numero di variabili da esaminare, in particolare per quanto riguarda i rischi legati al cosmo (detriti spaziali, fasci di particelle ad alta energia, asteroidi e comete) e al fattore umano. È per questo motivo che ogni studio dev'essere condotto con la massima cura e ridondanza e da un team fortemente coeso sul piano ideologico.

## 2.1 Spektr

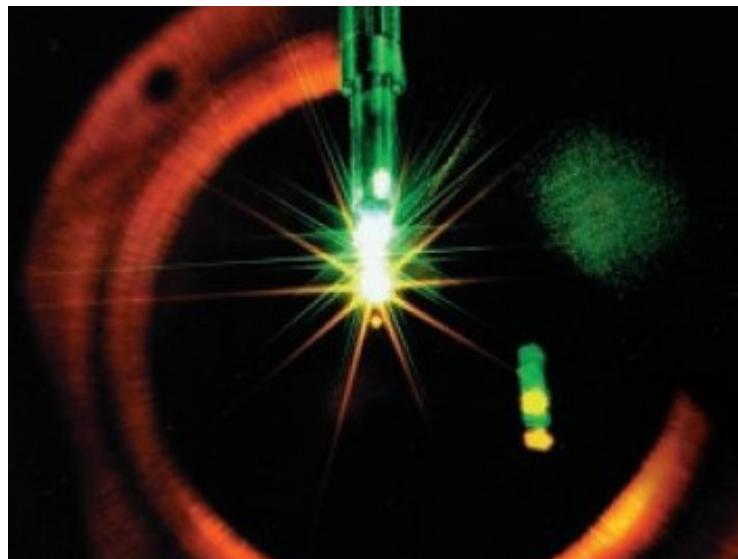


Figura 9: Nova, una fusione a confinamento inerziale, che ha prodotto condizioni paragonabili a quelle all'interno del nucleo solare.

Spektr è il reattore a fusione nucleare progettato per alimentare i Kristall più lontani dal Sole e i Kvant per l'esplorazione interstellare. Sfrutta le proprietà della materia degenera e l'effetto Seebeck per produrre energia elettrica destinata ad alimentare i sistemi di bordo.

In una nana bianca (e, in generale, nelle stelle degeneri) l'energia prodotta dalle reazioni di fusione nucleare non è più in grado di equilibrare la forza gravitazionale, che causerebbe il collasso della stella, quindi si viene a formare un gas di Fermi completamente degenero, in cui la pressione degenerativa degli elettroni riesce a riportare la stella in uno stato relativamente stabile. Il gas è estremamente caldo ma la superficie radiativa è molto ridotta, quindi è necessario un intervallo di tempo estremamente lungo affinché tutto il calore ivi concentrato si irraggi nell'universo.

Eseguendo per confinamento inerziale una reazione di fusione nucleare di un composto leggero dell'idrogeno all'interno di un recipiente a tenuta stagna sufficientemente resistente, l'onda d'urto di ritorno nel fulcro della reazione può portare alla formazione di un gas del tutto analogo a quello che si trova nel nucleo di una nana bianca, ma esponenzialmente più piccolo. L'elevata temperatura raggiunta,

combinata con la bassa superficie di irraggiamento e la pressione degenerativa degli elettroni, può quindi essere sfruttata in un ciclo termico o con termocoppie per produrre energia elettrica.

Il problema principale di questa tecnologia è, naturalmente, il mantenimento di una fonte energetica così intensa all'interno di un recipiente stagno; del resto, il mondo intero sta cercando da decenni di risolvere il problema del confinamento nei tokamak tradizionali.

L'idea di Spektr Mark I è quella di sfruttare il campo magnetico prodotto dal nucleo per indurre una tensione che, a sua volta, genera un campo magnetico uguale e contrario a quello di partenza; la superficie radiativa, di forma sferica, avrebbe un'albedo estremamente elevato, in modo da limitare il riscaldamento per irraggiamento della membrana esterna. Alle estremità di uno o più dei diametri verrebbero montate delle fibre ottiche, adeguatamente schermate, in grado di trasportare le onde elettromagnetiche prodotte dal nucleo verso celle fotovoltaiche e quindi produrre elettricità.

Chiaramente, questa è la più ambiziosa delle parti del progetto, ma con adeguato finanziamento si potrebbe raggiungere nel giro di qualche anno un risultato sperimentale soddisfacente. Per questo è stata ideata una alternativa sicuramente meno problematica dal punto tecnologico, lo Spektr Mark II.

In Spektr Mark II, un cristallo di deuteruro di litio (LiD) viene pesantemente compresso e drogato per impiantazione ionica con atomi di protio, deuterio e/o trizio e posto in una camera, dove una serie di fasci laser irraggiano i nuclei prossimi di idrogeno, innescando tante reazioni di fusione nucleare i cui prodotti, raggi  $\alpha$  e  $\gamma$ , vengono captati da particolari trasduttori alternati con i laser sulle pareti della camera. In questo caso la resa della reazione è condizionata dallo spazio disponibile a bordo, ma la fusione nucleare a raggi X sembra essere una strada relativamente economica, semplice e sicura, in base a quanto dimostrato da Belyayev et al. nel 2018.

Il nome è un tributo alla stazione spaziale Mir, che ha operato in orbita terrestre bassa tra il 1986 e il 2001, e che ha ispirato, in parte, il progetto di Kristall.

## 2.2 Kristall

La Kristall è una stazione spaziale progettata per ospitare scienziati, turisti e ingegneri, composta da quattro sezioni, ciascuna delle quali dispone di strutture e funzioni specifiche e interconnesse:

- Lithium è formato da quattro moduli rigidi, connessi tra loro attraverso altrettanti nodi/airlock/docking compartment, formando un quadrato. Questa sezione è adibita a laboratorio orbitante multiuso compatibile con il modello della Stazione Spaziale Internazionale, e ciascun modulo è diviso in più piani secondo il modello TransHab.
- Platinum è formato da quattro moduli rigidi connessi allo stesso modo tra loro che comunicano trasversalmente con Lithium. Questa sezione è la zona abitativa degli ospiti dell'avamposto, e anche in questo caso sussiste una divisione a piani di tipo TransHab.



Figura 10: La Stazione Spaziale Freedom, che ha fortemente influenzato Kristall.

- Silicium è formato da quattro moduli rigidi connessi tra loro allo stesso modo, che contengono le apparecchiature elettriche, i sistemi di navigazione e comando e le provviste alimentari, e da una struttura reticolare non pressurizzata, che alloggia i pannelli fotovoltaici, le antenne principali, i pezzi di ricambio, i serbatoi di propellente, gli hangar non pressurizzati, quattro bracci robotici e il sistema di propulsione elettro-solare.
- Vanadium è formato da quattro moduli rigidi connessi tra loro allo stesso modo, dai quali si gestiscono i bracci robotici della struttura reticolare che costruiscono e collaudano i Kvant e i componenti di altri Kristall all'interno degli hangar non pressurizzati.

Le ultime due sono riservate. La sezione pressurizzata di Silicium comunica con Lithium mediante lo zenith dei nodi di quest'ultimo; la struttura reticolare è agganciata allo zenith di Silicium e Vanadium, che comunicano trasversalmente tra loro.

Si stima che ogni modulo rigido pressurizzato abbia diametro e lunghezza media interna di almeno 5 e 9 m, per un totale di 2700 m<sup>3</sup> di volume abitabile, più di 6 volte quello della Stazione Spaziale Internazionale. Ogni Kvant in configurazione cargo è capace di trasportare quattro moduli per volta, di conseguenza è sufficiente una decina di voli per il suo completamento. A quel punto la stazione dovrebbe essere abitata da 50 persone più un Map di emergenza. Una possibile sequenza di assemblaggio è la seguente:

1. Sezione pressurizzata di Silicium;
2. Sezione pressurizzata di Vanadium;
3. Telaio trasversale;
4. Sistema di propulsione elettro-solare, con pannelli fotovoltaici;

5. Serbatoi di propellente e antenne principali;
6. Sezione pressurizzata di Lithium;
7. Sezione pressurizzata di Platinum;
8. Telaio verticale;
9. Parti di ricambio, bracci robotici;
10. Cantieri spaziali.

Una volta completato, Kristall è in grado di raggiungere qualsiasi orbita nel pozzo gravitazionale terrestre e, se dotato di Lux e provviste extra, anche altri pianeti del Sistema solare. Con il modulo propulsivo Spektr-Laserfan, Kristall è capace di eseguire viaggi interstellari.

Kristall è, in un certo senso, il cuore dell'Astrodynamic Space Framework, e a questo deve il suo nome.

### 2.3 Laserfan

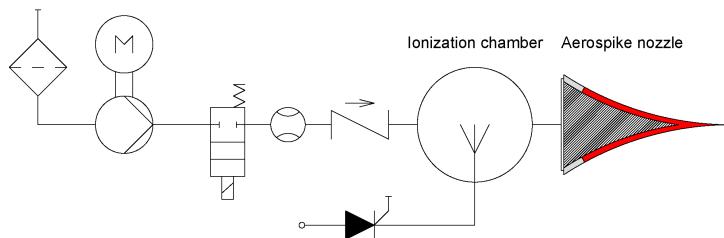


Figura 11: Diagramma schematico di Laserfan Mark III.

Il Laserfan è un propulsore per applicazioni aerospaziali in sviluppo dal 2020, ed è la base del sistema propulsivo delle navette Kvant.

L'idea originale prevedeva un turbofan derivato dal modulo LM6000 di General Electric, al quale venivano rimosse le pale nelle turbine per l'espansione dei gas di scarico, ridotto a un terzo il numero degli stadi di compressione e rimossi gli iniettori del combustibile stesso, sostituiti da una serie di pastiglie di idrogeno compresso uniformemente disposte sulla corona interna della sezione di gola. Una saracinesca ad azionamento elettrico poteva isolare la sezione di compressione dalle altre. Al decollo un motore sincrono trifase avrebbe alimentato la ventola, come avviene in un convenzionale aereo elettrico. A 20 km di altitudine, con regime di volo supersonico, la sezione di compressione sarebbe stata chiusa e una serie di fasci laser avrebbero provocato la fusione nucleare delle pastiglie di idrogeno. Per il principio di azione e reazione Kvant avrebbe raggiunto la velocità necessaria per superare l'atmosfera terrestre senza il bisogno di alcun propellente, e tutte le manovre orbitali sarebbero state eseguite con propulsori a griglia ionica. Eventualmente, anche le manovre di immissione in orbite trans-planetarie si sarebbero rese più rapide riutilizzando Laserfan, poiché in orbita il modulo di gola sarebbe stato sostituito per permettere fino a

5 accensioni, con un sistema di refurbishment analogo a quello di un convenzionale caricatore di pistola.

L'idea maturata, invece, a partire da Mark I, e successivamente evolutasi in Mark II e III, gli unici ad aver effettivamente superato la fase di progettazione, prevede che Kvant sia spinto unicamente da un sistema di Solar Electric Propulsion (SEP), che eventualmente sostituirà la fonte di energia elettrica solare con Spektr, una volta che la costruzione di quest'ultimo sarà ultimata. Il progetto finale prevede di produrre la spinta dalla compressione e dalla ionizzazione di gas atmosferico (ad esempio aria), per griglie elettrostatiche e/o effetto Hall. Mark III è progettato per volare su Ikarus-Y.

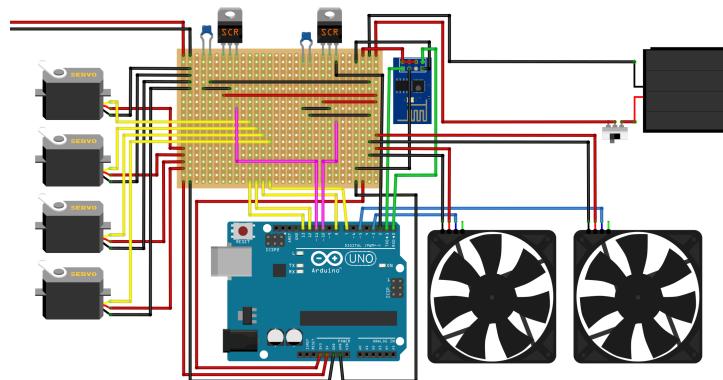


Figura 12: Circuito di comando dei Laserfan a bordo di Ikarus-Y.

È in corso la progettazione di due modelli più performanti, Mark IV e V, destinati a volare sui primi articoli strutturali di test di Kvant. Mentre Mark IV costituisce un semplice potenziamento di Mark III, con l'aggiunta dei serbatoi di gas (in modo da consentire l'operatività nel vuoto) e più sensori e attuatori, Mark V adotta una filosofia completamente diversa, basata sulla riconnessione magnetica dei plasmoidi, che qui non viene approfondita.

Un altro possibile progetto di Laserfan, denominato Laserfan Mark VI, è il seguente. Si disponga un contenitore contenente una o più sorgenti di particelle alfa (eventualmente scarti radioattivi). Una parete mobile, a saracinesca, ospita una membrana permeabile ai soli ioni ( $\text{He-4}$ )<sup>2+</sup>, che vengono collimati e accelerati con un selettore di velocità, alimentato da energia solare. La spinta verso l'esterno provoca la propulsione. Quest'ultima configurazione è forse la più economica, assieme a quella dei Mark I-IV, in quanto la tecnologia esiste già ed è richiesta solo un progettazione meramente ingegneristica.

Il nome si deve al fatto che, nel primo concept esposto, l'elevata pressione nella camera di combustione, necessaria per ottenere le velocità richieste, viene raggiunta poiché ciascuna pastiglia è immersa in un cristallo di sodio, che vaporizza immediatamente grazie all'efficiente trasmissione del calore per irraggiamento e urti molecolari, ( $t_{boil} = 883\text{ C}$ ), che rendeva Laserfan costruttivamente identico a un tradizionale endoreattore chimico.

## 2.4 Kvant

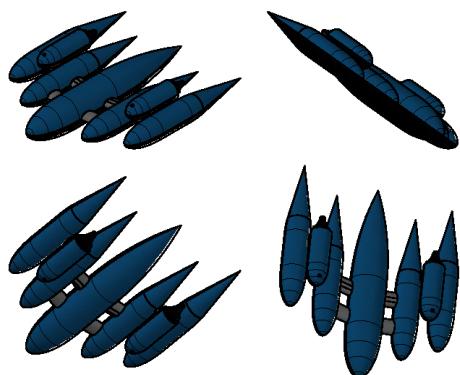


Figura 13: Rendering di Ikarus-Y, ultimo prototipo della serie Kvant.

Kvant sarà una navetta spaziale multifunzione capace di trasportare un equipaggio di 8 persone più un carico utile di 150 t o di 50 persone. È pensata per eseguire voli abitati di lunga durata verso qualunque destinazione del Sistema solare e lavori su grandi infrastrutture orbitali; si tratterà quindi di uno Space Shuttle "potenziato", che (tra le altre cose) è perfetto per la costruzione dei Kristall.

È composto da cinque moduli, connessi mediante otto grandi corridoi; il modulo centrale non può essere rimosso in quanto contiene il ponte di comando, gli alloggi per l'equipaggio, le apparecchiature elettriche, i serbatoi di propellente, aria e acqua, due paracadute e Lux. Gli altri moduli possono essere utilizzati come stive di carico o ponti per il trasporto di passeggeri, eventualmente disegnati secondo lo stile Skylab. Anche se la base del veicolo è tutta d'un pezzo, la sovrastruttura primaria può essere rimossa per eseguire gli opportuni fitting.

La sovrastruttura di Kvant dovrebbe essere in un materiale composito basato su carbonio allotropico, mentre con sistema di protezione termica integrato. La navetta disporrà di due airlock, con i quali potrà agganciarsi con altri veicoli spaziali dotati di NASA Docking System o consentire passeggiate spaziali. L'alimentazione per gli impianti elettrici proverrà da Spektr o, nei voli di durata minore, dal suo rivestimento in pannelli solari. Per atterrare su qualsiasi superficie del Sistema solare utilizzerà carrelli di atterraggio retrattili, azionati da piccoli motori asincroni trifase, risparmiando molto spazio e riducendo il rischio da incidenti.

Il sistema di navigazione inerziale autonomo sarà costituito da un'unità di misura inerziale, gruppi ottici connessi ai telescopi di riferimento stellare e radar per i dati di altimetria delle fasi di decollo e atterraggio, oltre ai computer di bordo, che sono gestiti direttamente dall'equipaggio sfruttando display touch screen di ultima generazione. I sistemi di bordo sarebbero gestiti da un sistema Unix-like, che

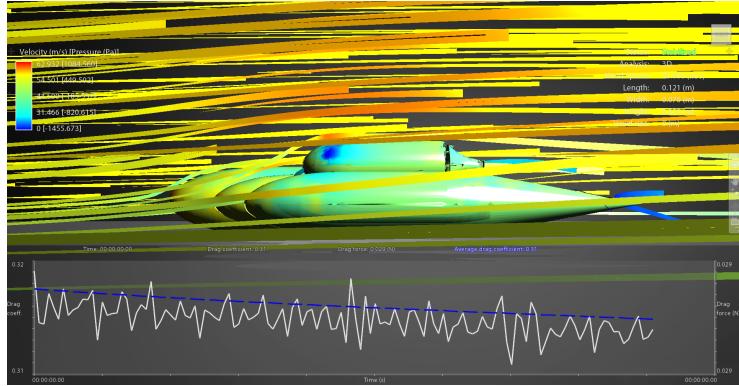


Figura 14: Simulazione in galleria del vento di Ikarus-Y.

eseguirebbero simultaneamente gli stessi calcoli per assumere i valori statisticamente migliori.

Si stima anche che la flotta dei Kvant sarà inizialmente composta da 6 unità: Ranger, Aquila, Endurance, Hydra, Lyra, Lazarus.

In russo, Kvant significa "quanto", una quantità elementare discreta e indivisibile di una certa grandezza; in effetti, Kvant è la prima parte del Framework, quella che agisce da "traghetto". Come per Spektr, inoltre, il suo nome è un tributo alla stazione spaziale Mir.

### 3 Conclusione

In conclusione, attraverso questi componenti, ai quali eventualmente si aggiungeranno i sistemi di asteroid mining e protezione planetaria, nonché altri veicoli supplementari, si possono raggiungere tutti i possibili obiettivi a breve termine dell'esplorazione spaziale di interesse umano.

È chiaro che questo è solo un trampolino di lancio verso un sistema ancora più complesso ma al tempo stesso semplice ed efficace, con i futuri warp drive che potrebbero essere sviluppati già nella seconda metà di questo secolo, all'interno di un programma simile all'Astrodynamic Space Framework (se non in un suo vero e proprio ampliamento o refresh). Un giorno il sogno di Star Trek potrebbe divenire reale, come già dimostrato teoricamente da Albert Einstein e da tutti i fisici che lavorano nel campo della relatività generale, sulla quale un eventuale warpdrive potrebbe basarsi, e qualche comandante di nave interstellare potrebbe recitare il famoso incipit di James Kirk, in riferimento a qualcosa di reale: *Spazio: ultima frontiera. Questi sono i viaggi della nave stellare Enterprise. La sua missione è quella di esplorare strani nuovi mondi alla ricerca di nuove forme di vita e di nuove civiltà per arrivare coraggiosamente là dove nessuno è mai giunto prima!*

Non mancheranno di certo le critiche verso i contenuti di questo articolo. Per loro, la risposta più adatta può fornirla il signor Robert Goddard. In risposta ad alcune critiche mosse dal New York Times nel 1920, Robert Goddard, inventore della propulsione missilistica basata su propellenti liquidi, disse: *[Ogni visione è uno scherzo fino a che il primo uomo non la realizza; una volta fatta, diventa ordinaria. Oggi i propulsori chimici si basano sulla sua architettura.*

## Riferimenti bibliografici

- [1] Sito ufficiale della missione Dawn - <https://solarsystem.nasa.gov/missions/dawn/overview/>
- [2] Sito ufficiale della missione Deep Space 1 - <https://www.jpl.nasa.gov/nmp/ds1/index.php>
- [3] Dana G. Andrews et al., *Defining a successful commercial asteroid mining program*, Acta Astronautica 108 (2015) 106-118.
- [4] Shane D. Ross, *Near-Earth Asteroid Mining*, Control and Dynamical Systems, Caltech 107-81, Pasadena, CA 91125, shane@cds.caltech.edu, December 14, 2001, Space Industry Report.
- [5] Sito ufficiale Graphene Flagship - <https://graphene-flagship.eu/graphene/understand/>
- [6] Wernher von Braun, *Manned Mars Landing Presentation To The Space Task Group*, 4 agosto 1969.
- [7] Stanley K. Borowski, Stephen W. Ryan, David R. McCurdy, Bob G. Sauls, *Commercial and Human Settlement of the Moon and Cislunar Space - A Look Ahead at the Possibilities Over the Next 50 Years*, August 19, 2019.
- [8] Stuart L. Shapiro, Saul A. Teukolsky, Black Holes, *White Dwarfs, and Neutron Stars: The Physics of Compact Objects*, 6 maggio 1983
- [9] R. G. Jahn, *Physics of Electric Propulsion*, McGraw-Hill, 2006.
- [10] V. B. Belyaev, M. B. Miller, J. Otto, and S. A. Rakityansky, *Nuclear fusion induced by x rays in a crystal*, Phys. Rev. C 93, 034622 - Published 28 March 2016.
- [11] Terry Kammash, *Fusion Energy in Space Propulsion*, 978-1-56347-184-1, January 1, 1995.
- [12] P.R. Ahlf, R.J. Saucillo, B.D. Meredith, *Space Station Freedom Integrated Research and Development Growth*, February 6-8, 1990.
- [13] *Space Station Freedom: A Foothold On The Future*, NASA-NP-107/10-88, 48 pages, 1990.
- [14] *Space Shuttle System Summary*, Rockwell International Space Division, SSV73-45(R), July 1973.