

# Astrodynamics 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.

Astrodynamics 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</b>	<b>Architettura</b>	<b>2</b>
1.1	Spektr . . . . .	2
1.2	Kernel . . . . .	4
1.3	Laserfan . . . . .	6
1.4	Kvant . . . . .	7

## Elenco delle figure

1	Integrated Program Plan "Maximum Rate" Traffic Model (1970). . .	2
2	Nova, una fusione a confinamento inerziale, che ha prodotto condizioni paragonabili a quelle all'interno del nucleo solare. . . . .	3
3	La Stazione Spaziale Freedom, che ha fortemente influenzato Kernel. . .	4
4	L'avionica e Laserfan sono stati ispirati dal NASA X-57 Maxwell. . .	6
5	Rendering di Ikarus-Y, ultimo prototipo della serie Kvant. . . . .	7

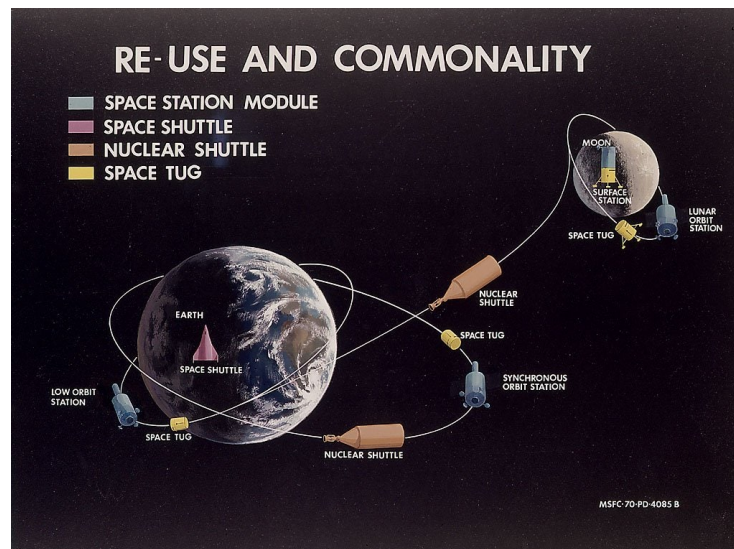


Figura 1: Integrated Program Plan "Maximum Rate" Traffic Model (1970).

## 1 Architettura

La rete è formata da stazioni spaziali chiamate Kernel 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 Kernel 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 Kernel è indicato da una sigla KER-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.

### 1.1 Spektr

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

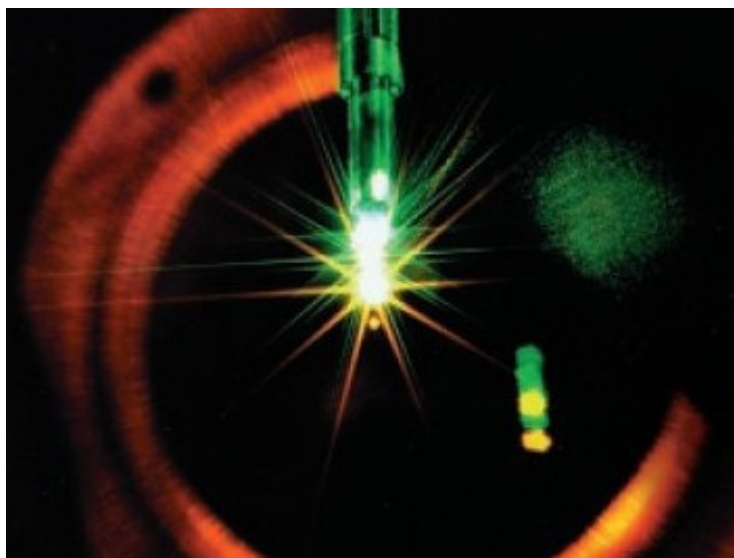


Figura 2: Nova, una fusione a confinamento inerziale, che ha prodotto condizioni paragonabili a quelle all'interno del nucleo solare.

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 degenere, 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 ade-

guato 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 deuterio di litio (LiD) viene pesantemente compresso e drogato per impiantazione ionica con atomi di prozio, deuterio e/o trizio e posto in una camera, dove una serie di fasci laser irradiano 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 Belayev 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 Kernel.

## 1.2 Kernel



Figura 3: La Stazione Spaziale Freedom, che ha fortemente influenzato Kernel.

La Kernel 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.
- 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 Kernel 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, Kernel 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, Kernel è capace di eseguire viaggi interstellari.

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

### 1.3 Laserfan

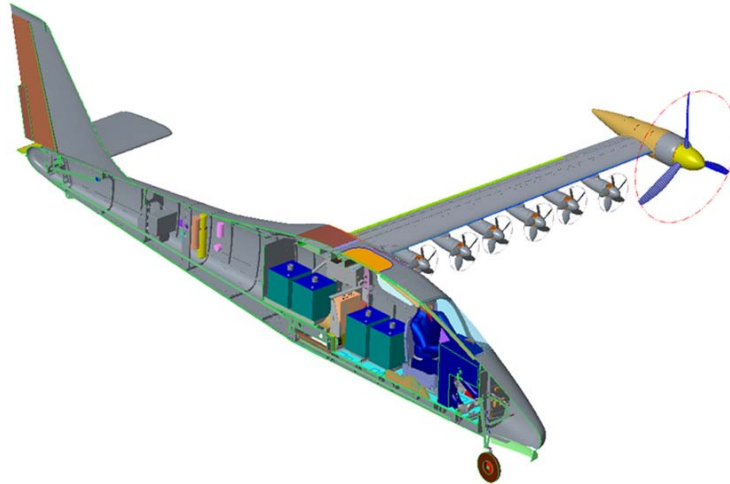


Figura 4: L'avionica e Laserfan sono stati ispirati dal NASA X-57 Maxwell.

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-planetary 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.

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, ( $t_{boil} = 883C$ ), che rendeva Laserfan costruttivamente identico a un tradizionale endoreattore chimico.

#### 1.4 Kvant

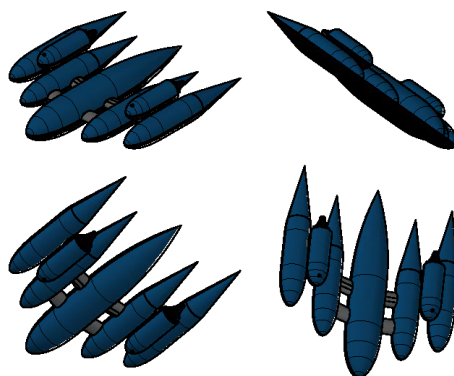


Figura 5: Rendering di Ikarus-Y, ultimo prototipo della serie Kvant.

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 Kernel.

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 provverrà 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 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.

## Riferimenti bibliografici

- [1] Dana G. Andrews et al., *Defining a successful commercial asteroid mining program*, Acta Astronautica 108 (2015) 106-118.
- [2] 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.
- [3] Stuart L. Shapiro, Saul A. Teukolsky, Black Holes, *White Dwarfs, and Neutron Stars: The Physics of Compact Objects*, 6 maggio 1983
- [4] R. G. Jahn, *Physics of Electric Propulsion*, McGraw-Hill, 2006.
- [5] 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.
- [6] Terry Kammash, *Fusion Energy in Space Propulsion*, 978-1-56347-184-1, January 1, 1995.
- [7] P.R. Ahlf, R.J. Saucillo, B.D. Meredith, *Space Station Freedom Integrated Research and Development Growth*, February 6-8, 1990.
- [8] *Space Station Freedom: A Foothold On The Future*, NASA-NP-107/10-88, 48 pages, 1990.
- [9] *Space Shuttle System Summary*, Rockwell International Space Division, SSV73-45(R), July 1973.