



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37°- Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

EDITORIALE.

La nostra missione.

Quando dieci anni fa abbiamo fondato la nostra associazione "Il C.O.S.Mo", l'idea era ed è rimasta, quella di approfondire i temi di nostra competenza in campo scientifico, cercare di crescere nel settore specifico, studiando nel dettaglio le novità attraverso ricerche e letteratura di settore per poi trasmettere il know-how acquisito ai nostri lettori/soci/follower.

Già, perché nel mondo scientifico ci sono e ci saranno sempre delle novità, a volte anche rivoluzionarie, che obbligano a ridisegnare quello che era il bagaglio culturale.

Questo obiettivo, per noi redattori neofiti, ci costrinse a porci una domanda: **fino a quale livello dobbiamo approfondire? Che approfondimento dobbiamo garantire ai nostri lettori?**

Divulgare scienza si intende un'attività di comunicazione rivolta al grande pubblico e non presenta specifiche intenzioni formative al singolo individuo. È rivolta alla collettività, con lo scopo di accrescere la percezione dell'importanza della scienza.

La divulgazione può essere sviluppata in modo **"bidirezionale"**, dove vi è un rapporto diretto con il pubblico da cui si cerca il feedback, si stimola la reazione per meglio indirizzare la conferenza. Ed è esattamente ciò che succede nelle nostre serate di approfondimento, con un pubblico diretto e interattivo.

Questo metodo è di origine anglosassone ed il rapporto con il pubblico è informale.

Come in un forum, tra i partecipanti si instaura un dialogo.

La divulgazione, attraverso il feedback, consente al docente di approfondire argomenti specifici selettivi, arrivando a volte ad invadere la sfera dell'insegnamento, cioè a **verificare la comprensione del messaggio o della nozione trasmessa.**

La redazione di articoli su questa rivista trimestrale invece usa un metodo unidirezionale da **giornalismo scientifico.**

Per chi segue questo tipo divulgazione sui media, direi che l'archetipo è senz'altro il conduttore-giornalista Piero Angela.

Un esempio audace, ma non lo intendiamo come termine di confronto, quanto come obiettivo del nostro metodo.

L'insegnamento invece (quello scientifico, in particolare) si può rappresentare come una piramide che copre tutto il periodo di scolarizzazione.

I saperi fondamentali ad ampio spettro, devono essere appresi in modo sufficientemente precoce e solido, per poter in seguito costruire i piani superiori in modo coerente.

Ci sono degli imperativi che non si possono aggirare, soprattutto nel mondo scientifico, quali: padronanza delle basi del calcolo e degli ordini di grandezza; padronanza del senso dei concetti; poi, ad un livello più alto, padronanza di uno specifico linguaggio codificato; padronanza del ragionamento e del metodo deduttivo.



Una conferenza "Equinozi con il C.O.S.Mo." al Planetario di Modena.

Il presidente.

Luigi Borghi (borghiluigi23@gmail.com)

In Breve

Evoluzione. Di Stefano Minarelli.....Pag.	2
Storia di darwinismo a Modena. (Testo adattato da Davide Borghi).	
Astronautica. Di Luigi BorghiPag.	5
Come funziona un razzo? Seconda parte: razzi a combustibile solido.	
Astronautica. Di Luigi Borghi.....Pag.	18
Un elicottero su Marte	
Energia. Di Luigi Borghi.....Pag.	21
Kilopower. Generatore nucleare della NASA.	
Astronomia. Di Roberto Castagnetti...Pag.	28
"Universo sottovuoto"	



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37° - Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

Appunti per una storia del Darwinismo a Modena

di Stefano Minarelli.

Testo adattato da Davide Borghi.

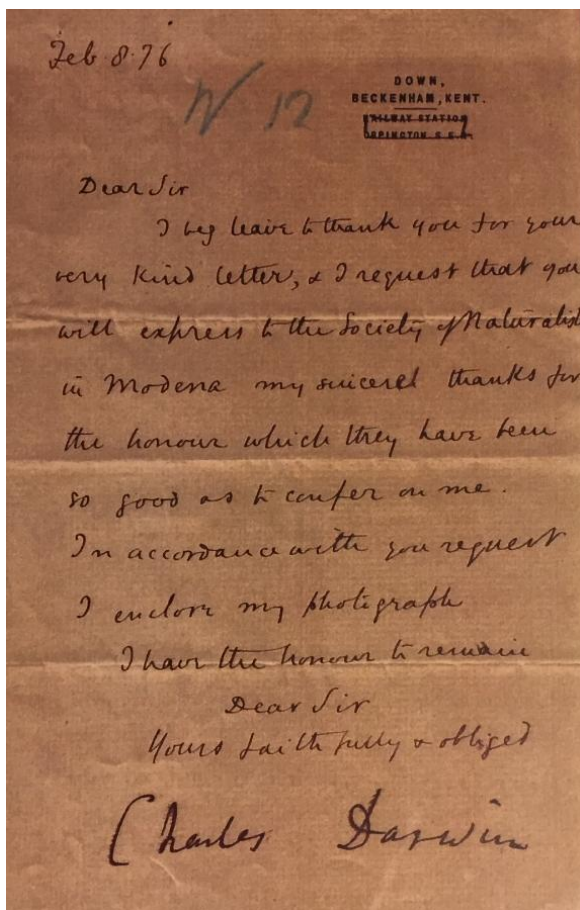
In questo articolo si cerca di ricostruire una pagina poco nota della vita intellettuale modenese nella seconda metà del diciannovesimo secolo.

L'obiettivo è quello di fornire un quadro il più possibile attendibile del clima culturale vissuto in città successivamente alla traduzione dell'**Origine delle Specie di Charles Darwin**. Si vuole così fornire un piccolo contributo allo studio delle attività di una piccola ma dinamica comunità scientifica italiana negli anni che seguirono l'unificazione del Paese, attività troppo spesso trascurata dagli storici della scienza.

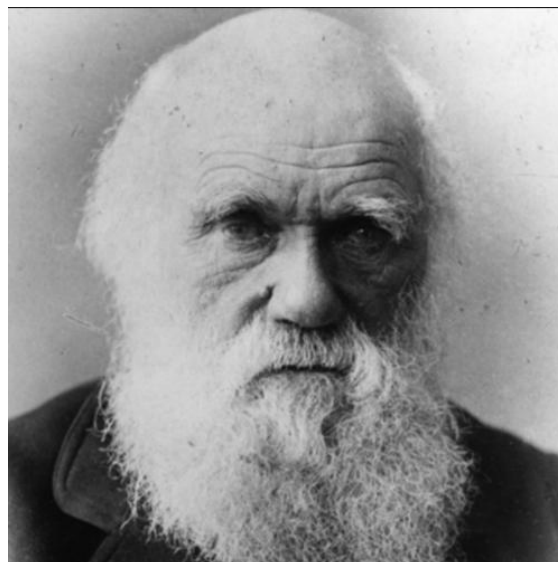
Accademia dei Lincei e dalla Società Geografica. La Società dei Naturalisti di Modena conserva con meritato orgoglio, la lettera autografa di ringraziamento di Charles Darwin con cui rispose all'invito.

I protagonisti di quegli anni hanno **atteggiamenti anche contraddittori**: aperture, chiusure, entusiasmi e perplessità, nei confronti dell'evoluzionismo darwiniano. È un argomento che forse meglio di altri si presta a misurare l'impatto provocato da una teoria scientifica non solo sulle cognizioni di scienziati e studiosi di professione, ma anche sulle loro coscienze e sulle loro convinzioni di fondo, nonché, in generale, su quelle del pubblico degli appassionati o dei semplici "curiosi" di cose scientifiche.

La portata scientifica e filosofica della teoria di Darwin è di carattere eccezionale, ma le reazioni suscitate da tale teoria nella mente e nei sentimenti di uomini che hanno scritto una pagina dignitosa nella storia della cultura non solo modenese, ma anche italiana, sono le più diverse. Questo aspetto non deve essere considerato secondario nello studio delle reazioni suscitate da una teoria scientifica su di un contesto culturale diverso da quello in cui è nata.



La lettera autografa di Charles Darwin, con cui ringrazia la Società dei Naturalisti di Modena.



Charles Darwin in una famosa immagine

Le differenti risposte offerte dagli studiosi modenese agli stimoli trasmessi dal darwinismo possono essere considerate come la cartina di

La Società dei Naturalisti di Modena (tuttora esistente) è stata fra le prime associazioni culturali italiane a nominare Charles Darwin suo socio onorario, il 19 Dicembre 1875, preceduta solo, pochi mesi prima, dalla reale



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37°- Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

tornasole sul grado di consapevolezza da essi raggiunto circa i problemi destati dallo sviluppo scientifico e sui cambiamenti da questo provocati nel pensiero e nella vita di tutti.

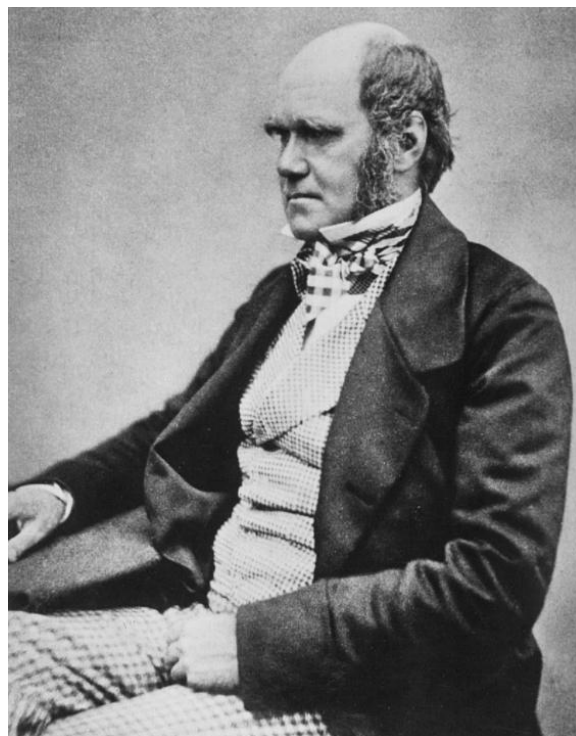
Se il **fronte degli antievoluzionisti era relativamente compatto** – pur comprendendo liberali “moderati” come Geminiano **Grimelli** o reazionari dichiarati come Francesco **Coppi** – nel non voler rinunciare ad una certa visione del mondo e dell'uomo, il **fronte degli evoluzionisti, invece, manifestava la più ampia varietà di sfumature**. Carlo **Boni**, ad esempio, poteva organizzare il Museo Civico di Modena alla luce dell'evoluzionismo culturale e privatamente professare una concezione religiosa dell'origine dell'uomo. Paolo **Bonizzi** – pur ammettendo la fondamentale variabilità della natura in ogni sua manifestazione – preferiva invece tenere ben distinta la questione della mutabilità da quella dell'origine delle specie, riconoscendo altresì il nesso strettissimo che le legava. Sulla sua scia, Paolo **Riccardi** oscillò non poco prima di trovare una risposta precisa alle proprie domande.



Rappresentazione del Duomo di Modena, pochi anni dopo la pubblicazione dell'Origin of Species

L'unico che sembra essere sfuggito a questa logica è Enrico **Morselli**, che fin dall'inizio fece proprie le istanze del positivismo naturalistico

italiano, caratterizzato da una **lettura darwiniana totalizzante della realtà**. Ma, in definitiva, era proprio su questo terreno che nascevano le perplessità di studiosi altrimenti ben disposti nei confronti dell'evoluzionismo. Non tutti erano intenzionati a sposare una concezione che pretendeva di spiegare in termini naturalistici ogni aspetto dell'esistenza, dell'uomo come dell'universo. Impegnati sul fronte del rinnovamento civile e culturale della nazione, questi uomini avevano aderito con entusiasmo alle aspirazioni del **positivismo, che consideravano lo strumento ideale per rifondare le scienze naturali ed umane**. Ma quando si trattava di mettere in discussione i valori dei quali si erano nutriti e nei quali si identificavano, costoro si mostrarono comprensibilmente riluttanti. Questo accadde puntualmente quando il positivismo da metodo critico si trasformò – anche per aver posto al centro delle sue concezioni l'evoluzionismo – in dottrina e fede.



Charles Darwin nel 1854, quando stava lavorando alla pubblicazione dell'Origin of Species.

Se è vero che dopo il 1870 quasi tutti i positivisti italiani erano darwinisti, questo a



Il C.O.S.Mo. NEWS

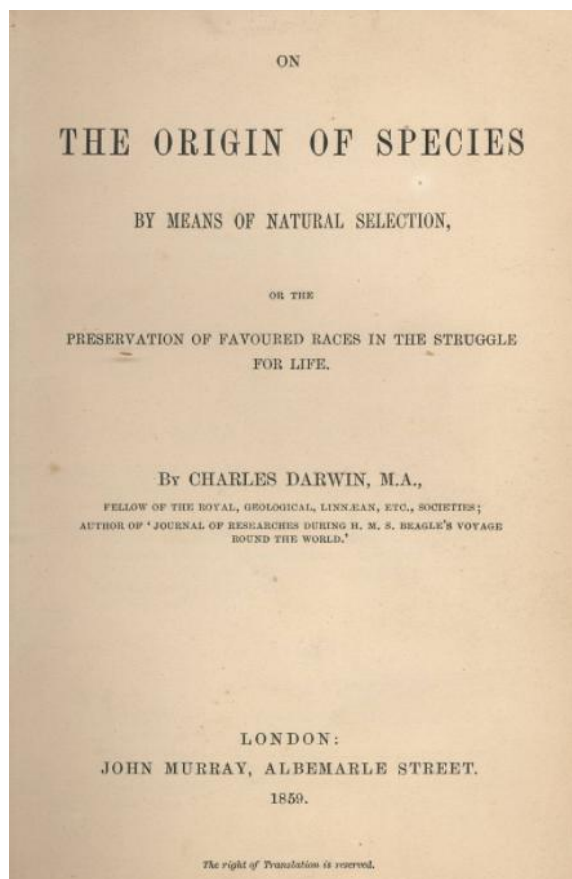
Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37°- Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

Modena non accadde in modo automatico. La figura di P. Riccardi è in tal senso emblematica. Il suo travagliato iter intellettuale tra positivismo inteso come prassi, metodologia critica e positivismo naturalistico, darwiniano, ideologico e "filosofico", richiama alla mente la felice periodizzazione che di tale dottrina fece Aristide Gabelli negli ultimi anni della sua vita. Riccardi finì per assestarsi sulle posizioni del "positivismo biologico" e non c'è da meravigliarsene: era nello spirito dei tempi.

Quello che in questa sede preme sottolineare è che – escludendo Morselli – **il darwinismo non ebbe mai tra gli scienziati modenesi il carattere di una folgorazione.** D'altro canto tutto ciò non deve stupire più di tanto. Tale teoria non causò, infatti, una svolta clamorosa, come piacerebbe immaginare che una "rivoluzione scientifica" debba necessariamente provocare. Inoltre, presso l'opinione pubblica modenese l'evoluzionismo darwiniano deve essere stato misconosciuto fino al 1864. **I giornali locali, infatti, non accennarono minimamente, tra il 1859 e il 1864, a questo clamoroso sviluppo del pensiero biologico,** e solo all'indomani della conferenza torinese di De Filippi sull'uomo e le scimmie i fogli conservatori si accorsero delle implicazioni che accompagnavano la teoria. Da quanto si è visto analizzando l'approccio tenuto dalla stampa locale, sembra lecito concludere affermando che, in generale, **presso l'opinione pubblica modenese il darwinismo non sembra aver suscitato quei consensi che indubbiamente era riuscito a conquistare nei paesi anglosassoni.**

Passato il periodo delle polemiche e delle dure contrapposizioni, cessata la paura per la "pazza teorica darwiniana" – e paura c'era stata veramente – a Modena come nel resto d'Italia la borghesia, dal cui sfondo in definitiva quel dibattito non era mai uscito, poteva affrontare gli ultimi anni dell' '800 digerendo di tutto, dal cattolicesimo intransigente allo spiritismo, dal libero pensiero alla superstizione, dall'evoluzionismo allo spiritualismo (che talvolta vennero addirittura fusi insieme in improbabili

sistemi "telefinalistici") e senza avvertire contraddizioni.



Edizione del 1859 de The Origin of Species

Bibliografia:

- "Appunti per una storia del Darwinismo a Modena" di Stefano Minarelli edito da Colombini, 2009. <https://www.unilibro.it/libro/minarelli-stefano/appunti-storia-darwinismo-modena/9788865090510>



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37°- Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

Come funziona un razzo? Seconda parte: razzi a combustibile solido. Di Luigi Borghi.

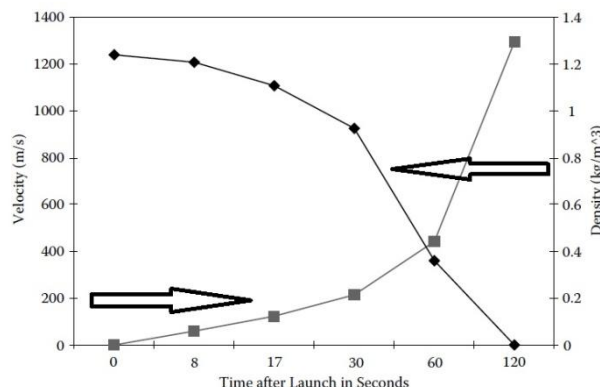
Nella prima parte, tre mesi fa, abbiamo cercato di fornire le basi per comprendere il funzionamento dei razzi a combustibile liquido. Potenti, flessibili e controllabili, sono il mezzo ideale per spingere una astronave o un vettore spaziale. Abbiamo visto anche i limiti, legati soprattutto ai tempi di preparazione del lancio e le procedure di riempimento dei serbatoi con liquidi decisamente pericolosi. Procedure che devono essere fatte per forza poco prima del lancio perché si tratta di ossidanti e spesso anche di combustibili di tipo criogenico.

Il razzo a combustibile solido evita questa procedura perché può essere costruito, già pronto per il lancio e stivato in un hangar anche per mesi prima del lancio.

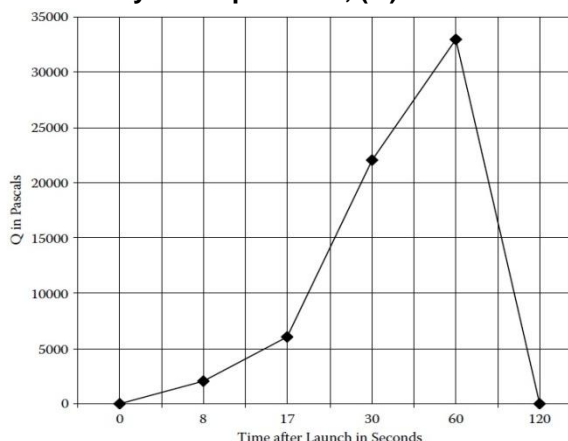
Vediamone le caratteristiche e le controindicazioni. Tra queste ultime vi è senz'altro il fatto che un razzo a combustibile solido non è controllabile in tempo reale e non si può spegnere se non a fine combustibile. Cosa significa controllo in tempo reale? I computer di bordo di un razzo vettore, attraverso i sensori di altitudine, accelerazione, assetto e tanti altri, possono decidere di aumentare o diminuire a spinta. Questi comandi possono essere applicati solo a razzi a combustibile liquido, quindi il razzo se equipaggiato anche con razzi a combustibile solido, devono essere dimensionati in modo tale che la componente di modulazione sia inferiore alla potenza massima dei razzi a combustibile liquido lasciando quindi alla sola componente "solida" di operare alla sua massima spinta definita dal profilo del progetto, che vedremo di seguito.

Non sempre però questo è possibile, soprattutto quando la variazione della spinta richiesta dal computer è notevole durante quei pochi minuti in cui il sistema misto "solido e liquido" spinge il razzo. Prendiamo per esempio il caso dello Space Shuttle, tipico esempio di spinta mista, con due booster a combustibile solido ai lati e tre razzi (principali) a combustibile liquido sull'orbiter.

Per capire meglio cosa accade durante questi pochi minuti propongo questi due grafici che relazionano la velocità del razzo e la pressione atmosferica, con il tempo, dalla partenza. Naturalmente la velocità aumenta e salendo la pressione atmosferica diminuisce (vedi grafico in alto a destra). Ne consegue che la pressione specifica sul mezzo raggiunge il suo massimo



all'incrocio di queste due caratteristiche, come si vede dall'altro grafico sottostante che raffigura la **Max Dynamic pressure, (Q)**



Prima di affrontare nel dettaglio come si può modulare la spinta di un razzo a stato solido vale la pena chiarire quali sono i controlli classici a cui un computer di bordo, attraverso i suoi attuatori e sensori, deve provvedere.

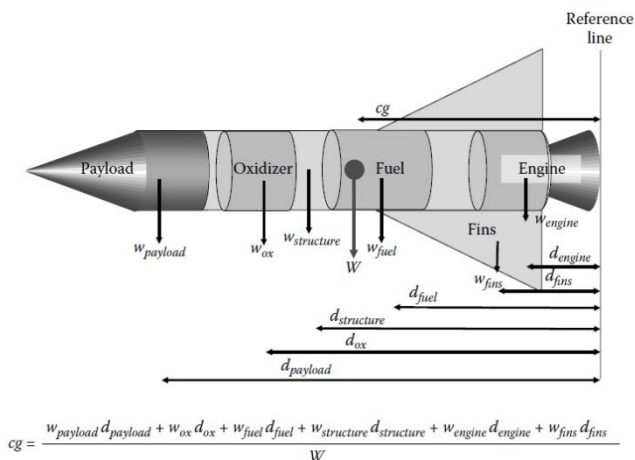
Partiamo dai fenomeni correlati al funzionamento che hanno creato parecchi grattacapi ai progettisti. Ne avevamo già accennato in parte nella puntata precedente. Vi faccio solo alcune esempi:

- Il peso del veicolo diminuisce velocemente con il tempo dovuto al combustibile ed all'ossidante espulso dal getto. Quindi se non si provvede a **modulare conseguentemente la spinta**, l'accelerazione subirà impennate che possono portare la velocità ad oltre

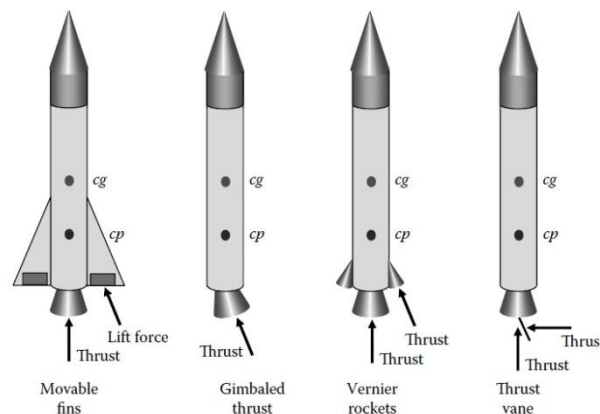
Mach2 ma con la densità dell'aria che è ancora alta, circa $0,4 \text{ kg/m}^3$. Momento critico che il progettista deve tenere in considerazione. Le accelerazioni eccessive potrebbero compromettere la vita degli eventuali astronauti a bordo ed il superamento del massimo carico dinamico può creare sollecitazioni proibitive che potrebbero distruggere lo stesso razzo.

- Il baricentro del veicolo varia notevolmente per la stessa ragione. I serbatoi si vuotano ed il centro di massa si sposta verso il basso. Questo fatto **modifica l'effetto dei razzi di assetto** mettendo a repentaglio la direzione.
- Le condizioni ambientali esterne che incidono sulla struttura. Nella prima parte del viaggio il razzo si trova in atmosfera e con una velocità in continuo aumento. Il superamento di Mach 1 avviene dopo meno di un minuto quindi **ci sarà un momento prima di entrare nel vuoto in cui tutta la struttura è sollecitata al massimo**. Nel grafico della pagina precedente della **Max Dynamic pressure (Q)**, è rappresentato questo parametro riferito ad uno Space Shuttle. Quest'ultima caratteristica porta ad avere, dopo circa un minuto dopo il lancio, il massimo carico dinamico sulla struttura del razzo.

Qui sopra vediamo tutte le variabili che incidono sul centro di gravità (cg).

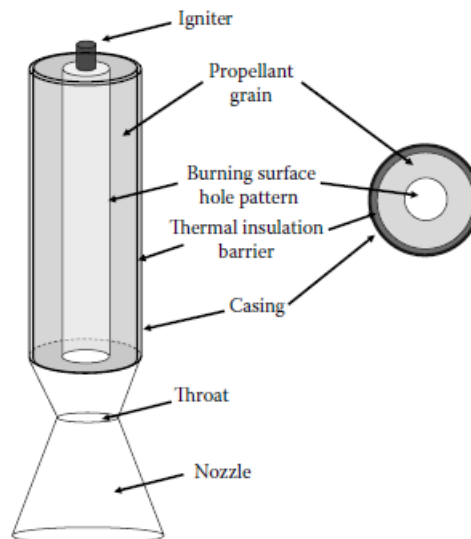


Trascuriamo per ora tutti i comandi da computer per il controllo di direzione del razzo, perché non sono determinanti per la tipologia del propulsore.



Diciamo solo che esistono diversi tipi di controllo di direzione e di assetto impiegati in funzione dell'applicazione, del tipo di razzo, del fatto se il controllo deve avvenire nel vuoto o in atmosfera, ecc. Vediamo nella figura sottostante una sintesi di questi metodi.

Ora che abbiamo capito l'importanza della modulazione della spinta, come possiamo operare con un razzo a combustibile solido?



La figura qui sopra mostra un tipico motore a razzo di questo tipo e i suoi componenti di base.

Il vantaggio chiave per i motori a razzo con combustibile solido è la semplicità. Se non viene utilizzato un sistema di controllo della spinta



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37°- Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

vettoriale, non ci sono parti in movimento coinvolte. Il propellente è in genere stabile e può essere conservato per anni prima dell'uso.

Nella parte superiore del motore c'è un accenditore (*igniter*), che viene utilizzato per avviare il motore. Una volta avviato il razzo non può essere spento fino a quando non brucia tutto il combustibile. Gli igniter possono spaziare dai fusibili come nei razzi delle bottiglie ai componenti attivati elettricamente da generare abbastanza calore e velocemente da far innescare i propellenti solidi da bruciare.

Il propellente è noto come il grano (*grain*) ed è la maggior parte del motore. La grana dei tipici motori a razzo solido rappresenta circa l'85% della massa totale del motore del razzo. Il grano è per lo più solido con una superficie adeguata a bruciare incorporata.

La superficie "bruciante" è dove il propellente viene combusto durante il funzionamento. Alcuni motori hanno un canale cilindrico lungo l'asse centrale del razzo dove la parete interna del canale cilindrico c'è la superficie che brucia. Alcuni motori non hanno un buco quindi semplicemente bruciano dalla superficie piatta del grano.

Altri hanno superfici brucianti più esotiche, di cui parleremo più avanti.

L'esterno al grano è una sorta di barriera di isolamento termico. Questa barriera protegge l'involucro esterno del motore dalle temperature estreme e dalle pressioni del motore a razzo. L'involucro è in genere l'unica parte di un motore a combustibile solido che può essere riutilizzato. Gli SRB dello Space Shuttle hanno un involucro riutilizzabile che viene recuperato dall'oceano dopo ogni lancio (vedi figura in basso).



Gli involucri vengono rinnovati e quindi riempiti con nuovo grano per un uso futuro.

I booster Ariane 5 hanno un design simile, ma non vengono riutilizzati. I casi sopravvivono e vengono recuperati per l'ispezione post-volo, tuttavia.

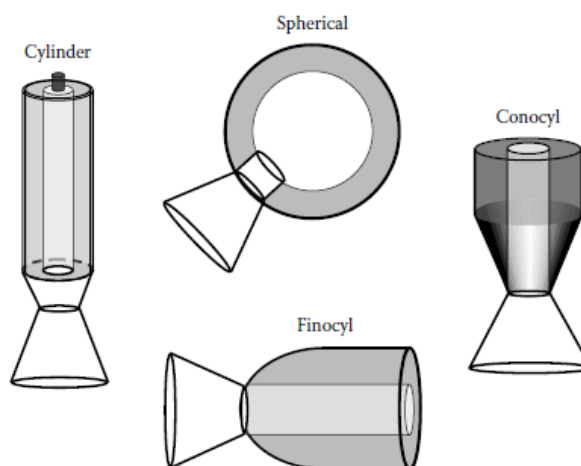
La parte del motore a combustibile solido, all'interno dell'involucro, che ospita il grano e la superficie di combustione, è di fatto la camera di combustione.

Ora quindi siamo in grado di capire l'importanza del design della camera di combustione e come si generano i flussi del motore a razzo.

Questi motori implementano varie forme e dimensioni della camera per ottimizzare la combustione efficiente del propellente e per la generazione del profilo di spinta desiderato. Quindi il controllo di spinta possiamo dire che non avviene in tempo reale, diciamo ad "*anello chiuso*" come si usa denominare un tipo di servosistema basato su *azione-feedback-reaione*, ma viene determinato a priori durante la fase di progetto.

Quindi ad "*anello aperto*"!

Nella parte inferiore della camera di combustione (indipendentemente dalla forma), vi è l'ingresso dell'ugello convergente-divergente dove il flusso è accelerato fuori dal motore per generare la spinta desiderata.



La figura sopra evidenzia varie forme di camere di combustione che includono: cylindrical, spherical, conocyl, e finocyl.



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37° - Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

Composizione del propellente solido.

La grana del motore a razzo solido è un'interessante miscela di materiali che hanno praticamente la consistenza di un elastomero di gomma.

Infatti, il grano è una miscela di combustibile, ossidante, catalizzatore, un composto legante di elastomero, plastificante, agenti indurenti e, in alcuni casi, altri additivi.

Gli additivi e i materiali leganti possono variare da produttore a produttore, ma il combustibile più comune utilizzato è un legante di elastomeri e una combinazione di carburante.

I due più comuni sono il polibutadiene (HTPB) e il polibutadiene con terminazione di idrossile acrilonitrile (PBAN).

HTPB è un polimero trasparente viscoso appartenente alla classe nota come polioli ed è comunemente usato nella produzione di poliuretano.

PBAN è un copolimero ed è meno tossico durante il processo di polimerizzazione.

Il legante, che sia HTPB o PBAN, viene miscelato con un ossidante. L'ossidante più comune è il perclorato di ammonio.

Quindi un catalizzatore e qualsiasi altro additivo sono mescolati e il composto risultante è un propellente solido per razzo.

Questa miscela viene comunemente chiamata **perclorato di ammonio propellente composito o APCP**.

Gli SRB dello Space Shuttle sono un buon esempio di motori solidi su larga scala. Secondo il fact sheet della NASA per la SRB, la loro composizione propellente È:

- il perclorato di ammonio (ossidante) = 69,8%,
- Polvere di alluminio atomizzata (carb.) = 16%,
- PBAN (legante e carburante) = 12%,
- Agente indurente epossidico = 2%,
- Polvere di ossido di ferro (catal.) = 0,2%.

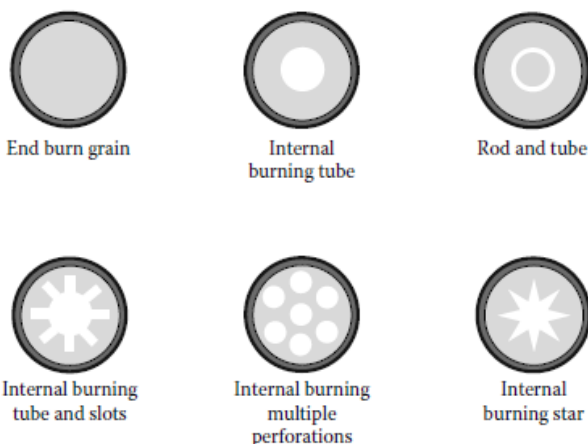
La polvere di alluminio viene aggiunta per migliorare le prestazioni del motore e l'ossido di ferro aiuta nel processo di combustione.

Configurazioni di granuli di propellente solido.

La figura in alto a destra mostra schemi di diverse configurazioni di grana. Come accennato in precedenza, c'è una superficie bruciante in cui il propellente viene acceso e bruciato creando una

camera di combustione. Diverse configurazioni geometriche della superficie di combustione consentono diversi profili di spinta, prestazioni e funzionalità. La superficie di combustione può variare dall'estremità piatta del grano a un modello complesso a forma di *dendrite*.

Gli SRB dello Space Shuttle utilizzano una forma a stella a 11 punti.



La geometria del canale è importante in quanto l'area della superficie di combustione è diversa. Questo canale è talvolta chiamato *perforation*.

L'area della superficie che brucia all'interno della *perforation* determina se la spinta aumenta, diminuisce o rimane costante durante la combustione del motore del razzo.

Ci sono tre modalità di bruciare:

1. Regressivo:

la spinta, la pressione e la superficie di combustione diminuiscono con il tempo di combustione.

2. Progressivo:

la spinta, la pressione e l'area della superficie di combustione aumentano con il tempo di combustione.

3. Neutro:

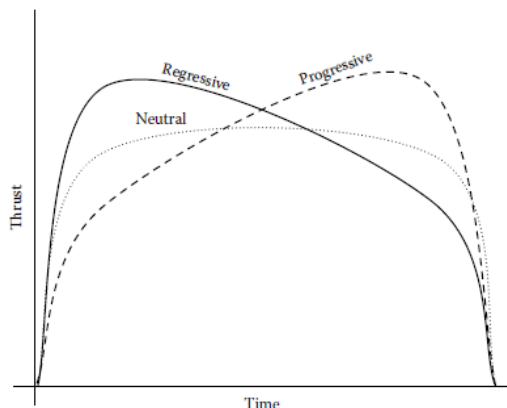
la spinta, la pressione e la superficie di combustione rimangono approssimativamente costanti durante la combustione.



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37° - Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

La figura in basso mostra il profilo della spinta in funzione del tempo per i tre tipi di modalità di bruciatura dei grani sopra elencati.

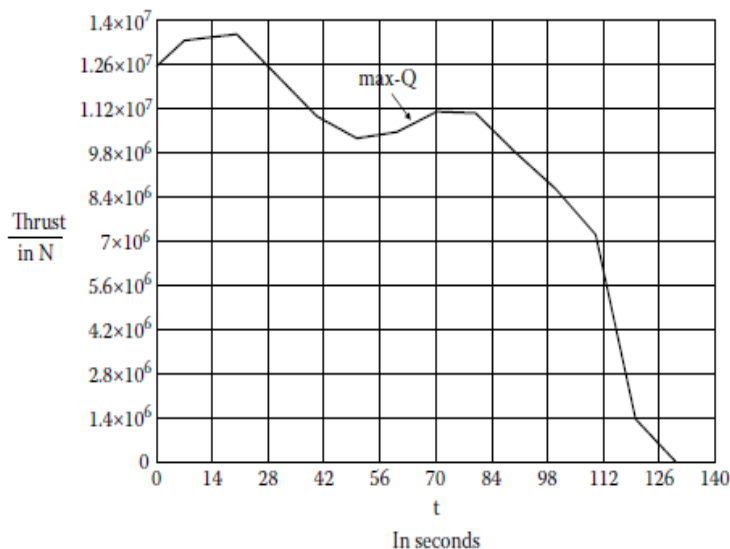


La figura a fianco illustra diversi disegni di perforazioni e le rispettive modalità di bruciatura dei grani.

La figura sotto mostra invece il profilo di spinta degli SRB dello **Space Shuttle**.

Nota che la bruciatura è inizialmente regressiva e quindi a circa 50 secondi inizia ad aumentare di nuovo ed è progressivo fino a circa 75 sec. Perché è questo?

Abbiamo già discusso max-Q per lo Space Shuttle. Bene, questa è la ragione. Gli SRB abbassano la spinta quando lo Shuttle attraversa il momento del max-Q e poi bruciano con più spinta per un po' finché non tornano in regressione per spingere fino alla fine.

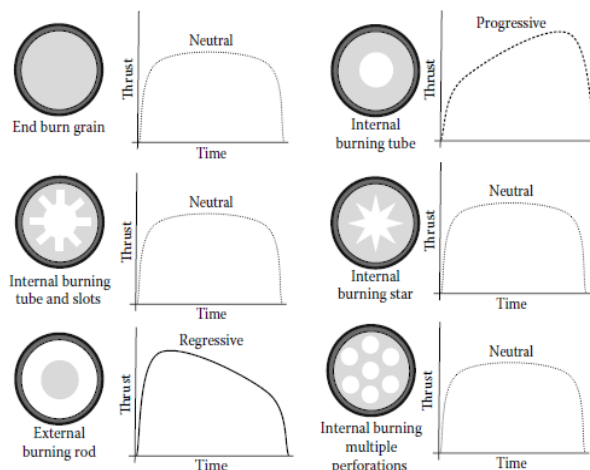


Tasso di bruciatura.

La velocità con cui un propellente solido viene bruciato all'interno del motore è principalmente una funzione della pressione della camera e segue la legge di Saint-Robert, che è:

$$r = aP_c^n,$$

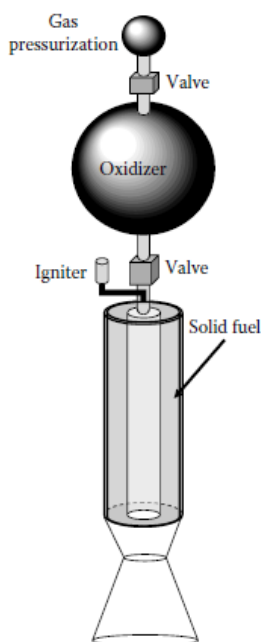
dove r è la *velocità di combustione*, a è il *coefficiente della velocità di combustione* e talvolta chiamato il coefficiente di temperatura e si basa sulla temperatura del grano ambiente con unità di mm / (sMPa), e n è l'esponente di pressione chiamato anche combustione indice ed è adimensionale.



L'equazione ci dice quanto velocemente il motore brucia, ma non può essere sviluppata teoricamente. I valori di a e n sono solo trovati attraverso la misurazione e sono diversi per ogni ricetta della miscela propellente.

Motori a razzo ibridi.

Abbiamo trattato nel numero precedente i motori a razzo a combustibile liquido e qui quelli a combustibile solido. Il solido utilizza una miscela di combustibile e ossidante che si solidifica nel materiale propellente. Il motore liquido utilizza un ossidante liquido e combustibile e li mescola insieme in un processo di combustione. È comunque possibile utilizzare solo un combustibile solidificato e far scorrere un ossidante attraverso la perforazione.



Questo tipo di motore è chiamato un motore a razzo ibrido.

La pressurizzazione del gas viene generata riscaldando parte dell'ossidatore liquido in modo simile a come è fatto per un motore liquido.

L'ossidante viene fatto passare attraverso la perforazione del combustibile solido dove viene acceso. L'ossidante è presente solo sulla superficie di combustione del combustibile solido e, pertanto, brucerà solo quando l'ossidante sta scorrendo.

Questo concetto

consente l'arresto e il riavvio del motore, che non può essere eseguito con un motore solido, come discusso in precedenza. Inoltre, varie configurazioni di perforazione possono essere implementate come con un tipico motore solido per alterare le velocità di combustione e profili di

spinta.

La figura a fianco mostra lo schema di un razzo ibrido.

È anche possibile utilizzare un propellente liquido e un ossidante solido. Un motore a razzo di questo tipo è chiamato **ibrido inverso**.

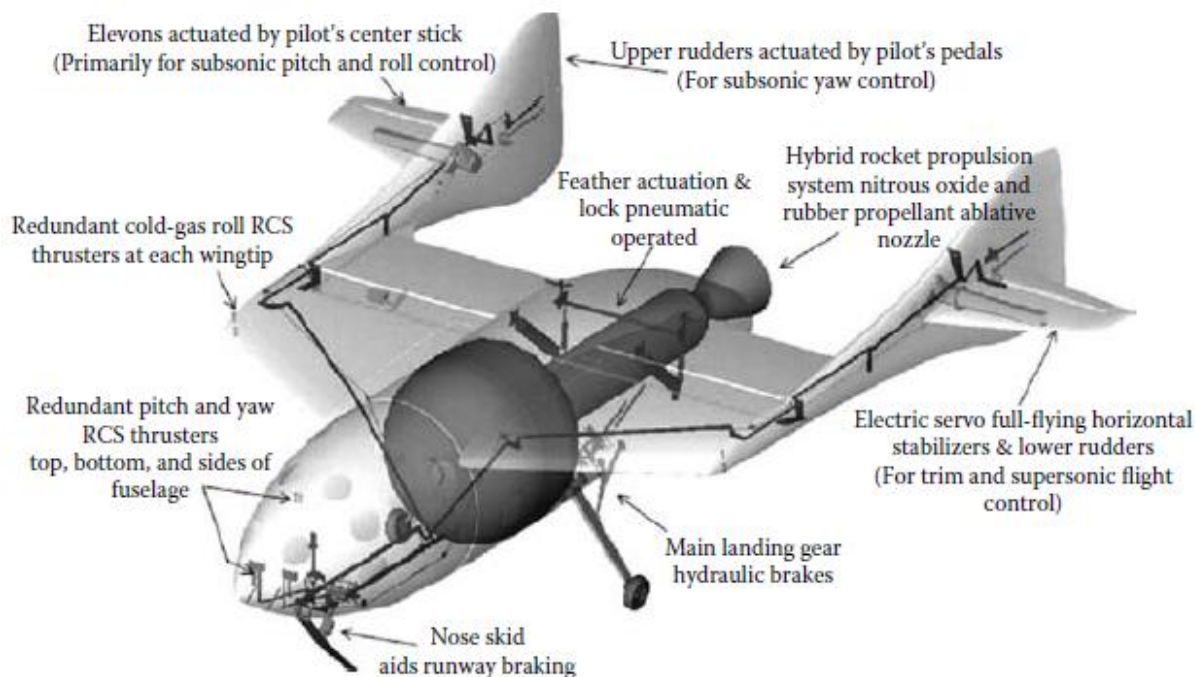
In un tale motore, idrogeno liquido sarebbe bruciato con ossigeno solido.

Un esempio recente di un motore ibrido utilizzato con successo è quello di SpaceShipOne della Virgin Galactic (Vedi sotto uno spaccato).

SpaceShipOne ha implementato una perforazione a quattro porte, motore a combustibile solido (HTPB) e protossido di azoto (N₂O) come ossidante.

Il razzo ha prodotto una spinta di 74 kN con un impulso specifico di 250 sec.

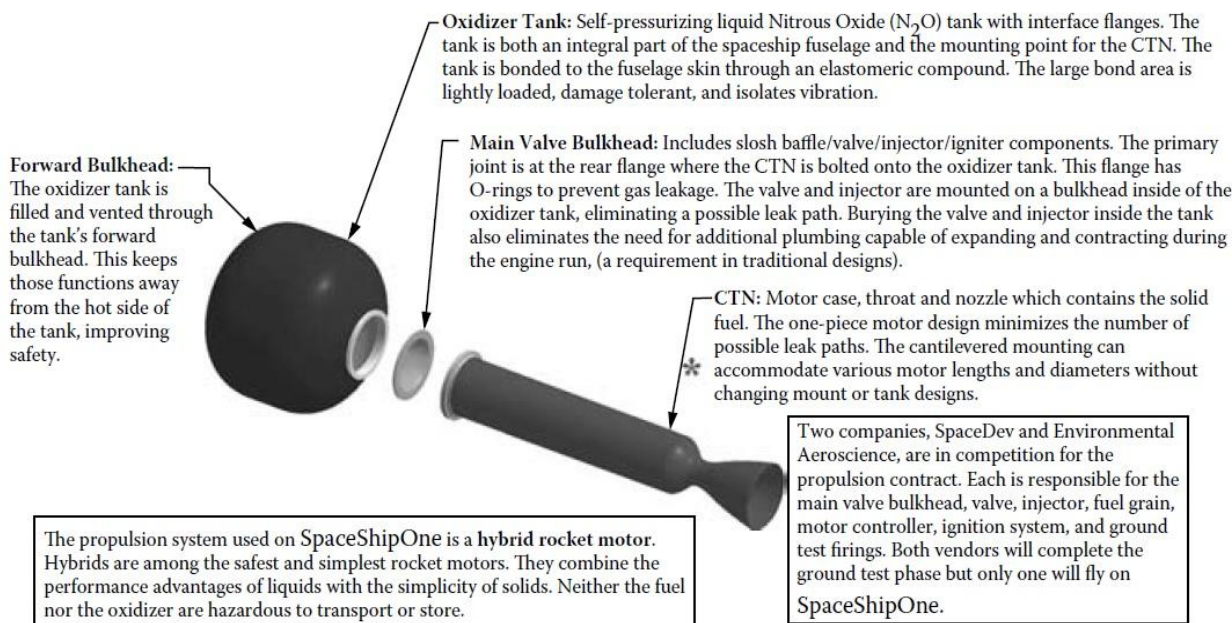
Il motore ha avuto un tempo di combustione di 87 secondi ed aveva un design molto semplice, come si può vedere nello schema della pagina successiva.





Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37° - Anno10 – N° 2 - 1/06/2018



Dettaglio del motore a razzo ibrido dello SpaceShipOne.

I razzi multistadio (staging).

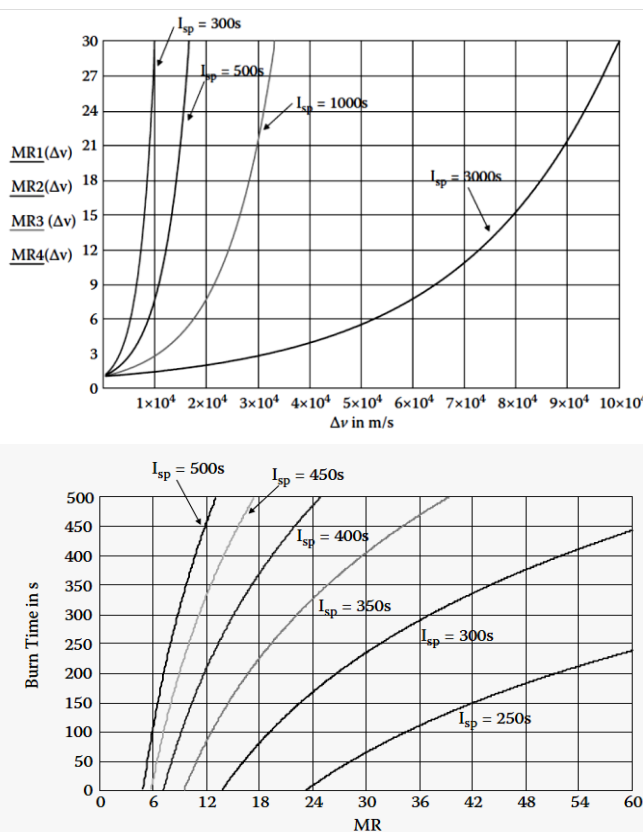
In molti libri di testo o quando si parla tra scienziati e ingegneri missilistici, si sente spesso parlare di **“rapporto tra la massa iniziale del razzo e la massa finale”**.

Tale rapporto di massa è dato come **MR (Mass Ratio)**.

Ora vediamo che quando il razzo del veicolo di lancio si solleva, scarica molto rapidamente la massa perché brucia il combustibile e l'ossidante, come si può vedere dal MR del sistema a fianco relativo a diversi impulsi specifici di sistema.

Da alcune delle figure dei razzi di lancio del veicolo è abbastanza chiaro che questi sistemi sono di dimensioni molto grandi e, anche se sono fatti di materiali leggeri, sono ancora piuttosto pesanti.

Nei grafici a fianco si può vedere il MR in funzione del tempo di utilizzo con i diversi impulsi specifici.



Pertanto, quando non servono più, ha senso gettare via i serbatoi di carburante



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37°- Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

e ossidante vuoti, insieme alla pesante struttura che li supporta ed i motori che li usavano (poi magari recuperarli come si sta facendo recentemente).

Questo consente l'uso del sistema a razzo secondario rimanente che ha una massa iniziale al pieno di carburante molto più piccola e quindi consente di migliorare le prestazioni del razzo.

Di "Impulso specifico" *isp*, ne avevamo già parlato nelle precedenti edizioni, ma giusto per ricordarlo in estrema sintesi, l'*isp*, espresso in secondi, si può interpretare come un indicatore di efficienza del sistema di propulsione.

Più specificatamente come il tempo in cui una unità di misura di massa è in grado di generare una spinta della stessa entità.

Esempio:

$isp=300$, significa che quel tipo di razzo riesce a generare con 1 kg di carburante una spinta di 1kg per 300 s.

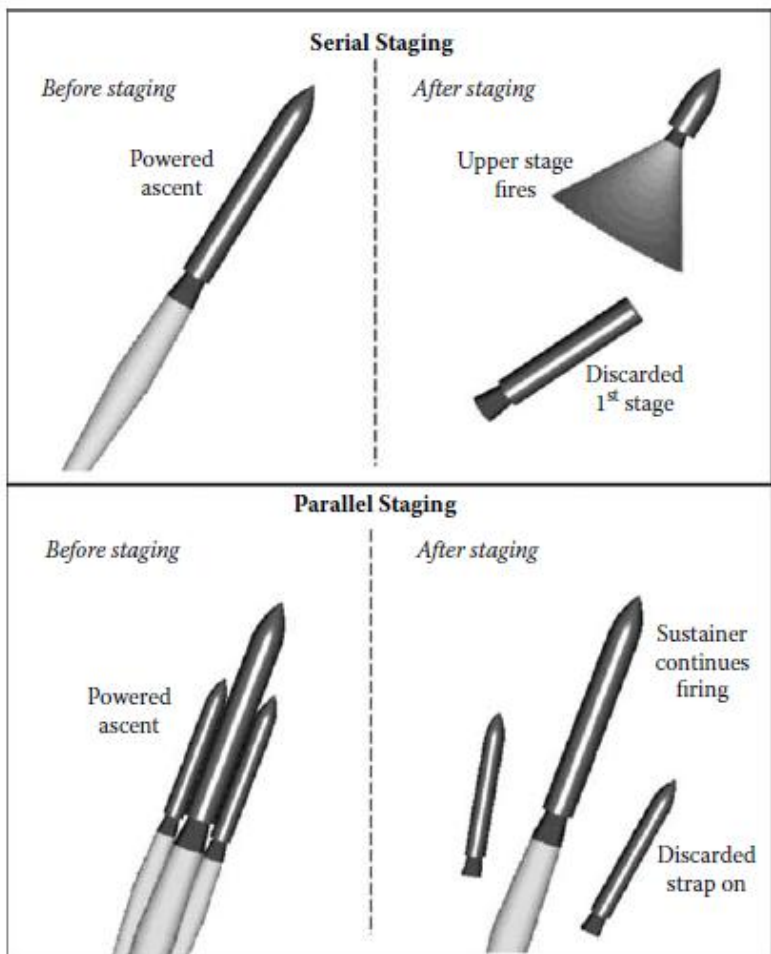
Quindi la tecnica di "sbarazzarsi del peso superfluo" si chiama "*Staging*" e ve ne sono di due tipi di:

seriale quello parallela.

Lo *Staging* seriale del razzo è un sistema che impila gli stadi uno sull'altro, mentre quello parallelo è un sistema che unisce i razzi uno accanto all'altro.

Lo Space Shuttle è un esempio di a *staging* parallelo, mentre il Saturno V del programma Apollo era un razzo a *staging* seriale.

Esiste un altro tipo di allestimento, che chiameremo "***staging ibrido***" che è una combinazione dei due tipi di base.

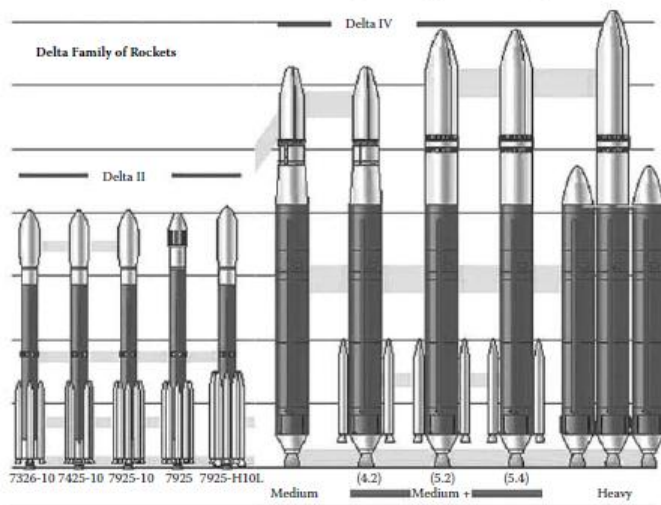


La figura a sinistra illustra i due tipi base di Staging che sono tipici dei sistemi a razzo.

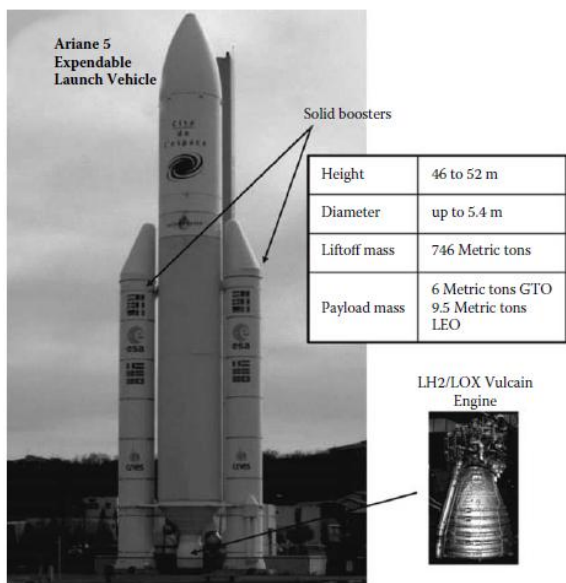
Un esempio di ibrido è rappresentato dalla famiglia di veicoli di lancio Delta IV come mostrato nella illustrazione nelle pagine successive. Questo veicolo ha uno staging parallelo formato da booster a combustibile solido che opera contemporaneamente al primo stadio di uno staging seriale.

I parametri in gioco per decidere se vale la pena utilizzare un sistema piuttosto che un altro sono tanti, e io non sono in grado, e neanche ho intenzione di provarci, ad andare nel dettaglio. Posso fare un elenco di tutti questi parametri, che sono poi abbastanza ovvi:

- La capacità di spinta dei motori che il lanciatore ha a disposizione.
- L'isp di sistema;
- I parametri orbitali;
- Il peso del carico utile:
- Il peso delle strutture del razzo:
- Il tipo ed il metodo di eventuale recupero degli stadi.



La struttura di un razzo Delta IV medio: Due booster laterali di tipo "pesante" a combustibile solido ("Strap-on") usati come staging ibrido insieme al sistema seriale formato da due stadi.



Polar Satellite Launch Vehicle (PSLV)	
Height	44 m
Diameter	2.8 to 1.0 m
Mass	294,000 kg
Stages	4 with 6 solid strap-ons



Geosynchronous Satellite Launch Vehicle (PSLV)	
Height	49 m
Diameter	3.4 m
Mass	401,000 kg
Stages	3 with 4 liquid strap-ons

Sopra: vettori indiani, come si vede la struttura è anch'essa di tipo ibrido.

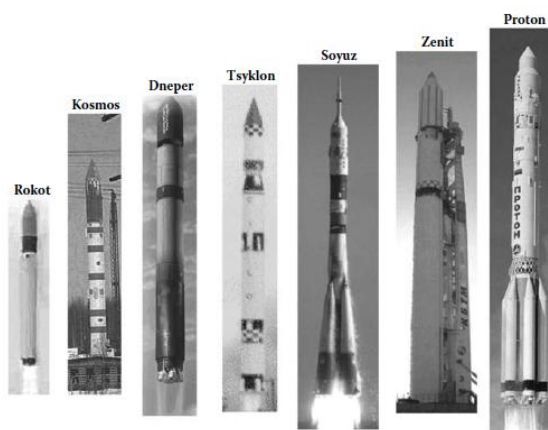


FIGURE 1.23 The Russian and Ukraine launch vehicles demonstrate a heritage of space launch capabilities.

Sopra: una panoramica dei vettori Russi che presentano sia configurazioni ibride (Soyuz e Proton) che seriali (Roket, Kosmos, Zenit..)

Sulla sinistra abbiamo la configurazione del vettore europeo Ariane: ibrido.

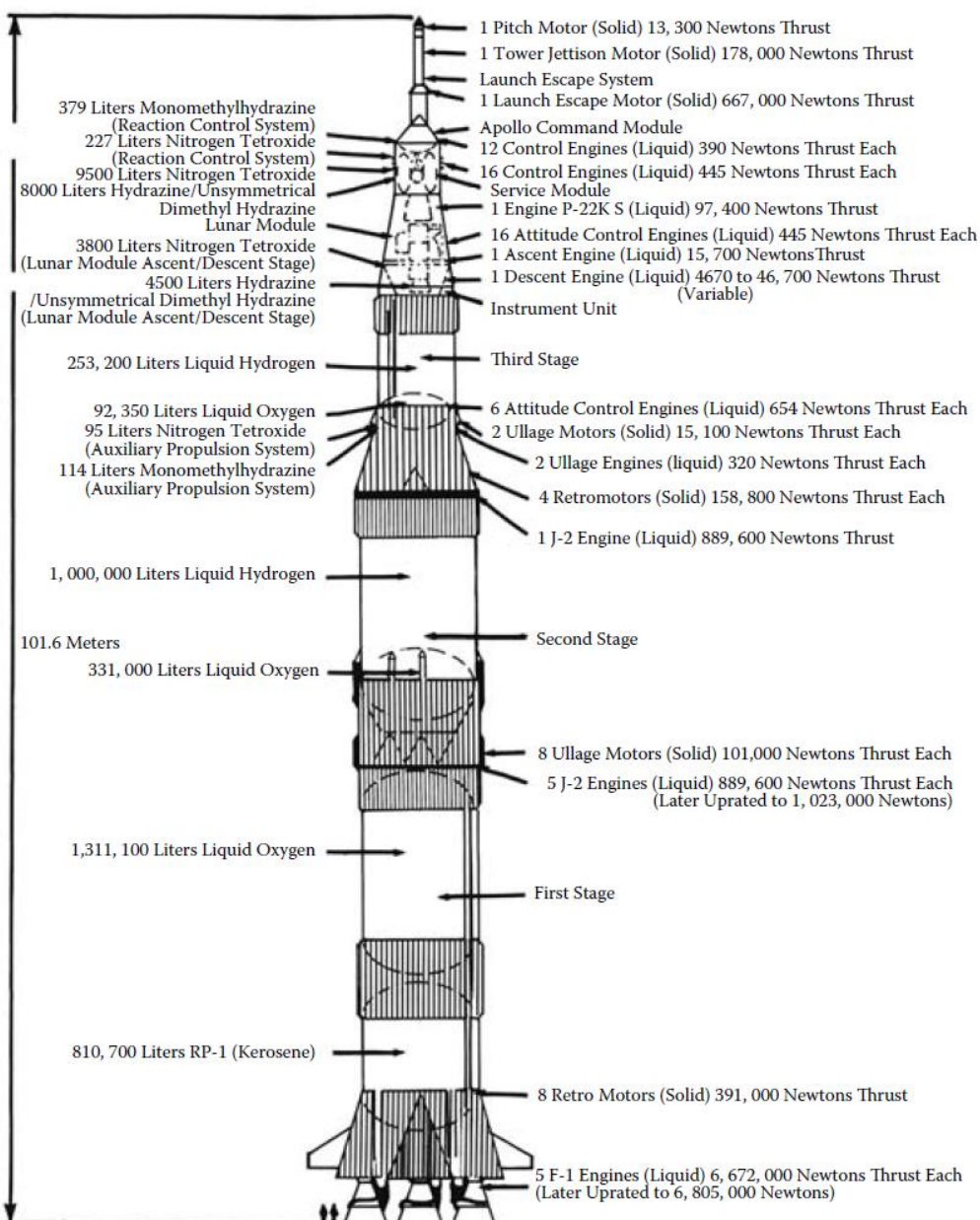
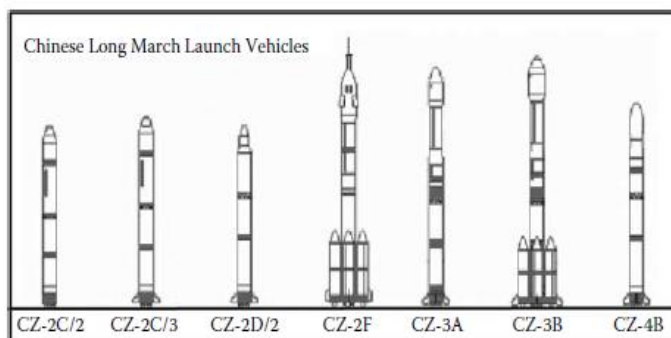


Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37° - Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

A fianco una illustrazione del sistema cinese Lunga marcia (Ibrido e seriale).

Infine il Saturno V (in basso) nel dettaglio, classico esempio di staging seriale.





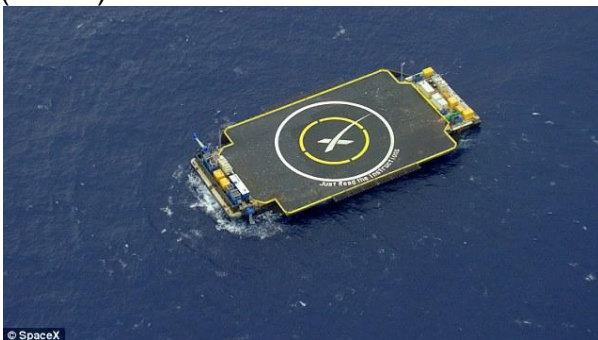
Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37°- Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

Recupero dell'hardware esausto.

Abbiamo già parlato di questa tecnica dal punto di vista funzionale, soprattutto relativamente ai pionieri di questa strategia che sono il miliardario Jeff Bezos della Blue Origin con il suo razzo suborbitale New Shepard e la SpaceX di Elon Musk con il Falcon 9 e Falcon Heavy. Ma non abbiamo mai esaminato l'aspetto economico. Vale la pena recuperare un razzo? Ho trovato una analisi dettagliata su spacenews che vi riassumo in queste pagine.

Lo scorso 8 aprile abbiamo assistito alla storica missione di **rientro e atterraggio del razzo Falcon 9** di SpaceX sulla nave drone Autonomous Space Drone Ship (ASDS).



Un successo atteso che rientra nel quadro di esplorazione spaziale dell'azienda di Elon Musk, che **riutilizza il primo stadio dei razzi per rendere più accessibili le missioni dal punto di vista economico.**

Come previsto, il Falcon 9 è stato portato al Kennedy Space Center per eseguire i test che certifichino la possibilità di usarlo per le prossime missioni. In precedenza Musk aveva ventilato l'ipotesi di **reimpiegare i razzi entro tre o quattro mesi dal rientro**, tempo necessario per le verifiche e la sostituzione delle parti danneggiate.

Il Presidente di SpaceX Gwynne Shotwell aveva dichiarato che riutilizzare il primo stadio dei razzi consente di **tagliare i costi di lancio di circa il 30%**, il che renderebbe i trasporti di SpaceX un'opzione ancora più conveniente per i clienti.

Ci sono però delle perplessità al riguardo, perché la sfida è fare in modo che riusare il primo stadio (che è quello più pesante e più costoso) non costi di più che usare un primo stadio nuovo.

Bisogna infatti caricare chili di carburante in più (necessari per attivare i motori che rallentano la discesa - ndr) che quindi si sottraggono al carico utile pagante e c'è un appesantimento del primo stadio dovuto agli strumenti necessari per consentirgli di atterrare in maniera integra.

È inoltre da calcolare il danneggiamento che comunque segue al lancio.

Nel complesso l'operazione potrebbe non essere di successo, ossia non essere più conveniente in termini economici.

Dan Dumbacher, ex vice amministratore NASA, in un'intervista precedente all'8 aprile aveva spiegato che anche gli SSME (i motori principali dello Space Shuttle) erano riutilizzabili.

L'agenzia tentò di renderli riutilizzabili per 55 voli, ma erano necessari troppi soldi (e tempo) per ottenere questo risultato.

È proprio per questo motivo che Spacenews ha approfondito l'argomento cercando di fare i conti in tasca all'azienda di Elon Musk con il supporto



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37°- Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

delle informazioni raccolte da Jefferies International LLC.

SpaceX è una società privata, non quotata in borsa, quindi non ha l'obbligo d'informare il pubblico sui suoi conti.

Partendo dalla dichiarazione di Gwynne Shotwell, Jefferies ha calcolato che il costo di lancio dovrebbe passare **dagli attuali 61,2 milioni di dollari a 42,8 milioni di dollari.**

A questo bisogna aggiungere che secondo Elon Musk il primo stadio pesa per circa il 75% del costo totale del veicolo. Se la stima del margine lordo del 40% fosse corretta, significherebbe un costo complessivo del primo stadio di 27,5 milioni di dollari.

Tenuto conto di una divisione del 50% del risparmio fra l'azienda produttrice e i clienti, e di una riduzione complessiva del costo dei Falcon 9 del 21 per cento, ecco il calcolo approssimativo di un costo pari

Table 1: SpaceX launch price analysis (50% of cost savings passed on)

		Falcon-9	Falcon Heavy
Price per launch (\$m)	A	61.2	90.0
Estimate of current gross margin (JEFe)	B	40%	40%
Direct costs (\$m)	A*B=C	36.7	54.0
First stage as % of total direct costs (source: SpaceX)	D	75%	75%
First stage costs (\$m)	C*D=E	27.5	40.5
Other costs (\$m)	C-E=F	9.2	13.5
Number of uses (JEFe)	G	15	15
Pro-forma first stage costs (\$m)	E/G=H	1.8	2.7
Pro-forma direct costs (\$m)	H+F=I	11.0	16.2
First stage savings (\$m)	C-I=J	25.7	37.8
% of savings passed on to customers	K	50%	50%
Pro-forma price (\$m)	A-(J*K)	48.3	71.1
% saving on current list price		(21.0%)	(21.0%)
SpaceX: gross margin before		40%	40%
SpaceX: gross margin after		77%	77%
SpaceX: gross profit before (\$m)		24.5	36.0
SpaceX: gross profit after (\$m)		37.3	54.9

Source: Jefferies estimates, company data

Secondo Jefferies, si può supporre che SpaceX incassi un margine lordo del 40% rispetto al prezzo di 61,2 milioni di dollari per un lancio del Falcon 9, il che vorrebbe dire una spesa onnicomprensiva (incluso il carburante, che ha un costo compreso tra 200.000 e 300.000 dollari) di 36,7 milioni di dollari.

a 48,3 milioni di dollari. Se invece SpaceX cedesse ai clienti il 100% del risparmio il prezzo scenderebbe a 37 milioni.

Questa non è l'unica questione, visto che ce n'è un'altra di grande importanza. Secondo Musk il motore del primo stadio



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37°- Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

potrebbe essere riutilizzato decine di volte – ma non ha dato un numero indicativo.

Jefferies calcola che **al massimo si potrebbe riciclare per 15 volte**. Questo dato, che non è chiaro, sarebbe di fondamentale importanza ai fini dei calcoli perché determinerebbe in ultima analisi l'entità del risparmio.

Per capire meglio basta dare un'occhiata alle stime dell'europea Arianespace, secondo cui è proprio questo il fattore che costituisce il potenziale colpo di grazia per ogni tentativo di riutilizzare i suoi razzi Ariane. L'amministratore delegato Stephane Israel ha spiegato che stando alle valutazioni europee di riusabilità, **per trarre dei vantaggi sui costi, un razzo parzialmente riutilizzabile dovrebbe poter essere reimpiegato per 35-40 lanci all'anno**.

Il problema che si prospetta quindi è il seguente. Anche ammesso che sia economicamente conveniente recuperare il primo stadio, per raggiungere un risparmio sui costi che si traduca in consistenti sconti ai clienti **occorre un tasso di lancio molto elevato, che è fuori portata per l'Europa**.

Al momento infatti gli unici Paesi che effettuano o hanno in programma un elevato numero di lanci sono Stati Uniti e Cina. E anche in questi casi non è garantito che il ritmo sarà abbastanza elevato da far chiudere il business in attivo.

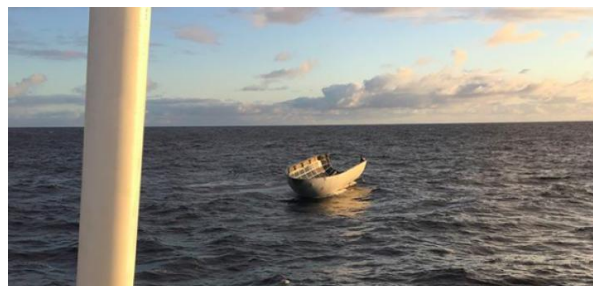
Lo scenario che si apre potrebbe essere quello di una forte concorrenza

extraterritoriale, con fornitori di lanci che cercano di **accaparrarsi il maggior numero di clienti possibili dentro e fuori del paese in cui operano**, proponendo forti sconti per scavalcare la concorrenza e aggiudicarsi le commesse. Senza puntare sui guadagni, almeno inizialmente.

Elon Musk ha condiviso ulteriori dettagli sul suo progetto di riutilizzare i razzi delle missioni spaziali per utilizzi successivi. **L'obiettivo estremamente ambizioso è quello di riuscire a riutilizzare i razzi a sole 24 ore dal loro precedente lancio**.

Un obiettivo che per Musk non è molto lontano. SpaceX, infatti, si è imposta come timeline il prossimo anno.

Per arrivare a poter riutilizzare i razzi Falcon 9 in appena 24 ore, la società sta affinando le sue tecniche di ripristino del razzo. **Inoltre, la società sta lavorando per riuscire a recuperare anche l'ogiva del razzo, la parte superiore che protegge il carico, dal costo di 6 milioni di dollari**, che oggi viene persa ad ogni lancio. Se l'azienda spaziale dovesse davvero riuscire nella sua impresa, per i viaggi spaziali si aprirebbe una nuova importante era con costi drasticamente ridotti.



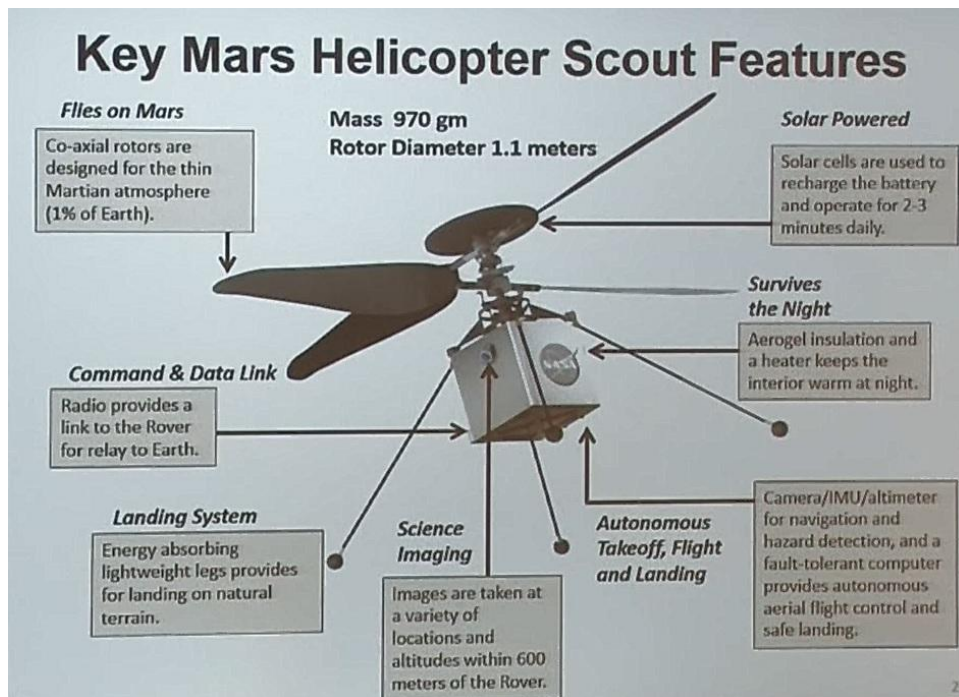
L'ogiva del Falcon 9 recuperata in mare.

La NASA ha deciso di inviare un elicottero su Marte. Di Luigi Borghi

L'elicottero Mars, un piccolo elicottero rotante autonomo, viaggerà con la missione di rover di Mars 2020 della NASA, attualmente in programma per il lancio nel luglio 2020.

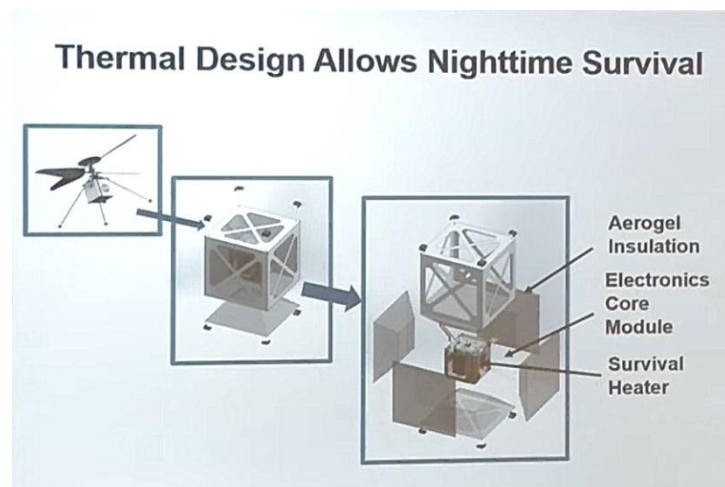
È il risultato dei quattro anni di progettazione e test. Pesa meno di 1 kg, nella versione da 220W e può arrivare fino a 1,4 kg nella versione da 340 W. Non è ancora stato deciso quale dotazione di batterie verrà scelta, in ogni caso il limite massimo, stabilito dai tempi di ricarica e dai tempi di sosta previsti, non potrà superare i 380W. Bisogna tenere presente che questi "pesi" su Marte saranno ridotti ad un terzo. La sua fusoliera ha le dimensioni di una palla da softball e le sue doppie pale controrotanti morderanno la sottile

atmosfera marziana a quasi 3.000 giri / min - circa 10 volte la velocità di un elicottero sulla Terra.



Sopra e in basso: i vari componenti dell'elicottero marziano. Credit NASA.

L'elicottero contiene anche funzionalità integrate necessarie per il funzionamento su Marte:



- celle solari per ricaricare le sue batterie agli ioni di litio.
- un sistema di riscaldamento per tenerlo caldo durante le fredde notti marziane ed un sistema di isolamento termico con aerogel.
- un sistema autonomo di orientamento basato sulla posizione ed inseguimento del sole ed un altimetro.
- un computer di bordo di tipo "fault-tolerant" per il controllo del volo.
- un sistema di comunicazione locale



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37°- Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

con il rover 2020 fino a 600 metri di distanza.

-macchina fotografica ad alta risoluzione che comunica con il rover (che fa da relay con la Terra).

-4 gambe flessibili che fanno da ammortizzatore per l'atterraggio su terreni "naturali".

Ma prima che l'elicottero possa volare su Marte, deve arrivarci. Lo farà attaccato alla pancia del rover Mars 2020.

L'atmosfera di Marte è solo l'1% di quella della Terra, quindi quando il nostro elicottero si troverà sulla superficie di Marte, è come fosse sulla Terra a 33 km di altezza.

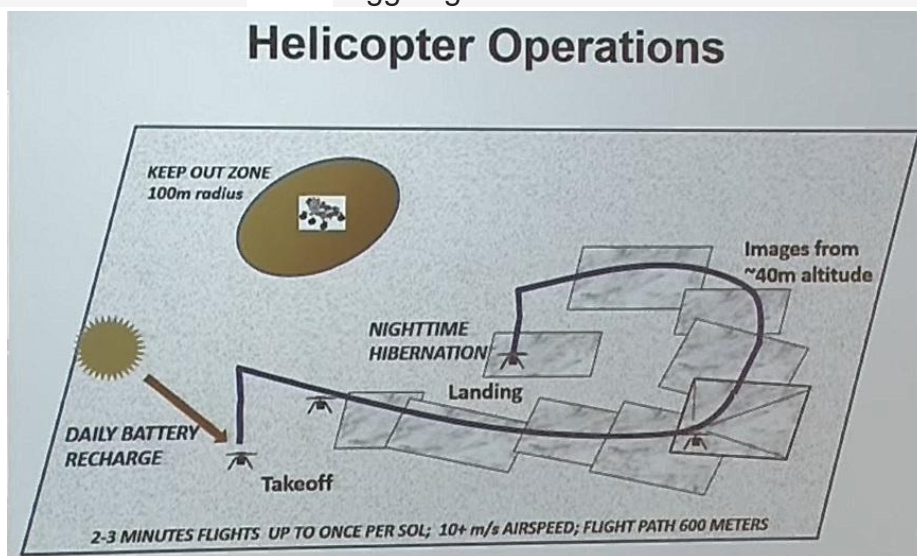
Una volta che il rover si troverà sulla superficie del pianeta, si troverà una posizione adatta per dispiegare l'elicottero dal veicolo e posizionarlo sul terreno. Il rover verrà quindi allontanato dall'elicottero a una distanza di sicurezza da cui trasmetterà i comandi. Dopo che le batterie sono state caricate e una miriade di test sono stati eseguiti, i controllori sulla Terra ordineranno all'elicottero di Marte di fare il suo primo volo autonomo nella storia.

Il volo sarà autonomo. Non può essere radiocomandato!

La campagna di test di volo completa di 30 giorni includerà fino a cinque voli di distanze di volo sempre maggiori, fino a 600 metri di distanza dal Rover e 100 metri di altezza, e durate più lunghe fino a 90 secondi, per un periodo. Al suo primo

volo, l'elicottero effettuerà una breve salita verticale a 3 metri, dove rimarrà sospeso per circa 30 secondi. Come dimostrazione tecnologica, **l'elicottero Mars è considerato un progetto ad alto rischio e alta ricompensa.** Se non funziona, la missione di Mars 2020 non subirà alcun impatto. Se funziona, gli elicotteri potrebbero avere un vero futuro come scouts e veicoli aerei a bassa quota per accedere a località non raggiungibili da terra.

Mars 2020 verrà lanciato da un razzo Atlas V della United Launch Alliance (ULA) dallo Space Launch Complex 41 di Cape Canaveral in Florida, e dovrebbe raggiungere Marte nel febbraio 2021.



Sopra: una tipica missione, dalla partenza dopo la ricarica delle batterie all'arrivo dove resterà per la notte. Per ragioni di sicurezza anticollisione con il rover (molto più importante e costoso) non si potrà avvicinare a meno di 100 metri.

Il rover condurrà valutazioni geologiche del suo sito di atterraggio su Marte,



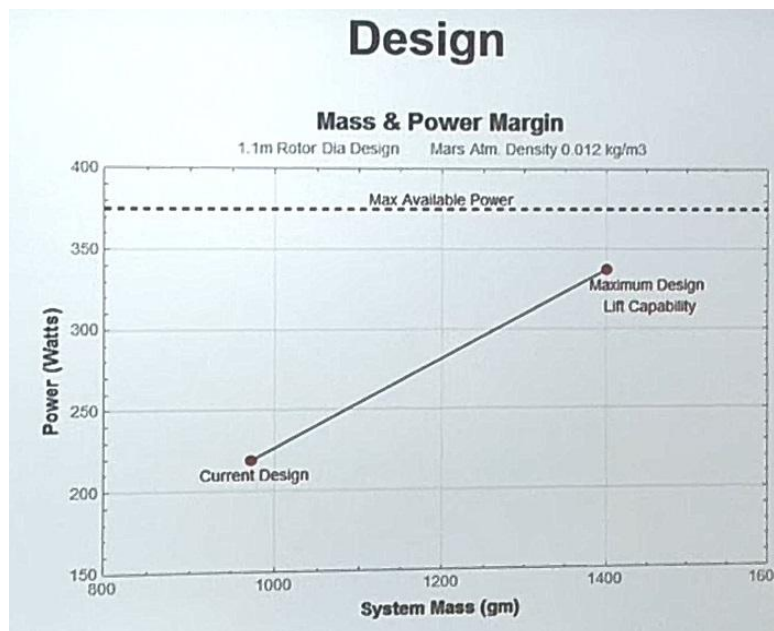
Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37°- Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

determinerà l'abitabilità dell'ambiente, cercherà i segni dell'antica vita marziana e valuterà le risorse naturali e i rischi per i futuri esploratori umani. Gli scienziati useranno gli strumenti a bordo del rover per identificare e raccogliere campioni di roccia e terreno, racchiuderli in tubi sigillati e lasciarli sulla superficie del pianeta per un potenziale ritorno sulla Terra in una futura missione su Marte.

È la prima volta che, fuori dalla Terra, si sviluppa una così forte integrazione tra due robot.

La sonda Cassini su Saturno ha lavorato in coppia con il lander di Titano Huygens, ma solo come ponte radio verso la Terra. Nel caso di Mars Helicopter, l'integrazione con il rover Mars 2020 è molto più profonda perché oltre a fare da ponte radio, il rover integra come controllo di posizione le missioni dell'elicottero.



In alto un grafico in cui è evidenziato il rapporto tra il peso e la potenza installata. La scelta finale cadrà su quella retta e dovrà tener conto delle durate delle missioni (che richiedono molta batteria); dell'area delle celle solari di ricarica e dal tempo di ricarica disponibile tra una missione e la successiva.

Questo progetto prevede sviluppi futuri con elicotteri di classe superiore da 2 kg fino a 50 kg per missioni su Venere e Titano. Sono previste anche missioni di elicotteri su Marte radiocomandati da una postazione umana in orbita intorno al pianeta rosso.

Il progetto Mars 2020 presso il JPL di Pasadena, in California, gestisce lo sviluppo del rover per la direzione della missione scientifica presso la sede della NASA a Washington. Il Launch Services Program della NASA, con sede presso il Kennedy Space Center dell'agenzia in Florida, è responsabile della gestione del lancio.

Fonti:

<https://www.nasa.gov/press-release/mars-helicopter-to-fly-on-nasa-s-next-red-planet-rover-mission>
<https://youtu.be/w3y7iJEe7uM>
<https://youtu.be/oOMQOqKRWjU>



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37° - Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

Kilopower il generatore nucleare della NASA (KRUSTY)

Di Luigi Borghi.

Ci eravamo abituati alle missioni spaziali di lungo termine, nelle vicinanze dell'orbita terrestre, alimentate con enormi pannelli solari per convertire direttamente l'energia del sole in energia elettrica. Un metodo pulito, sicuro ed efficiente, ma con un problema serio: quando il sole è in ombra oppure molto lontano, niente energia! Il problema a bordo della ISS è stato risolto con delle pesanti batterie, che obbligano i pannelli a produrre il doppio della energia che serve quando c'è luce per poterla poi immagazzinare ed utilizzare nel ciclo notturno.

I rover su Marte, già hanno qualche problema perché l'energia solare per metro quadro è un terzo di ciò che abbiamo sulla Terra e poi c'è il problema della polvere che, nel tempo, riduce il rapporto di conversione già basso, dei pannelli fotovoltaici.

Quindi, già nelle missioni Voyager degli anni settanta, destinate a decine di miliardi di km dal Sole, erano stati utilizzati dei generatori a radioisotopi, al plutonio, come sorgente di energia elettrica. Questi **radioisotopi thermoelectric generator (RTG)** erano e sono fenomenali perché non hanno parti in movimento, quindi sono robustissimi. Sono composti da due parti: una fonte di calore e un sistema per la conversione del calore in elettricità. La fonte di calore, il modulo General Purpose Heat Source (GPHS), contiene un radioisotopo, un panettone di plutonio 238, che si riscalda a causa del proprio decadimento radioattivo. Il calore è trasformato in elettricità da un convertitore termoelettrico che sfrutta l'effetto Seebeck. Una forza elettromotrice è prodotta dalla diffusione di elettroni attraverso l'unione di due differenti materiali (metalli o semiconduttori piombo-tellurio oppure silicio-germanio) che formano un circuito quando i capi del convertitore si trovano a temperature differenti. Hanno funzionato benissimo fino ad ora.

Hanno tre **grossi vantaggi**:

- oltre alla energia elettrica producono una grande quantità di calore che viene utilizzata per riscaldare le apparecchiature di bordo di solito esposte a temperature prossime allo zero assoluto.
- hanno una autonomia di decine di anni.
- Non hanno parti in movimento.

Ma hanno dei limiti:

- Il plutonio non è facilmente reperibile.
- Le potenze in gioco arrivano a poche centinaia di Watt.

Quindi la ricerca di fonti continuative di grande potenza elettrica per lunghi periodi, indipendentemente dalla fonte solare è andata avanti.

Ovviamente la tecnologia nucleare è quella più adatta a rispondere alle specifiche della esplorazione spaziale, perché ha:

- Grande potenza.
- Lunga durata senza rifornimenti.
- Elevato fattore Potenza/peso (**6,5 W/kg**)
- Elevata sicurezza.
- Elevata affidabilità.

La NASA ha lavorato su questo nuovo progetto di generatore nucleare chiamato **KRUSTY (Kilopower Reactor Using Stirling Technology)** ormai da diversi anni ed ora, esattamente il 13 di maggio di quest'anno, ha confermato la realizzazione di un **prototipo funzionante collaudato e testato per almeno 20 ore alla massima potenza di circa 10 kw continuativi**.

Il progetto è partito nell'ottobre del 2015 ed ha visto la **collaborazione tra la NASA e la NNSA** (Department of Energy's National Nuclear Security Administration).

I reattori Kilopower arriveranno in una varietà di dimensioni in grado di **produrre da 1 a 10 kilowatt di energia elettrica, ininterrottamente per 10 anni** o più. Il reattore nucleare è del tipo a fissione ed **utilizza l'uranio-235** come generatore di calore che poi viene utilizzato da convertitori Stirling tramite tubi di calore passivi di **sodio**.

Cos'è un motore Stirling?

Lo **Stirling** è un motore alternativo a combustione esterna, inventato da Robert Stirling nel 1816. È una evoluzione dei motori ad aria calda che erano usati in Inghilterra durante la prima rivoluzione industriale. In particolare, l'invenzione di Stirling riguardò l'adozione di un recuperatore di calore, dispositivo che consentì di migliorare notevolmente il rendimento del motore.

Esistono tre configurazioni: Alpha, Beta e Gamma. Tutte e tre con dei pistoni che si



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37°- Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

muovono dentro ad un cilindro. Quella scelta dalla NASA è derivata dal tipo Beta. Una versione pensata per una vita operativa di una ventina d'anni senza manutenzione.

Un obiettivo quantomeno audace.

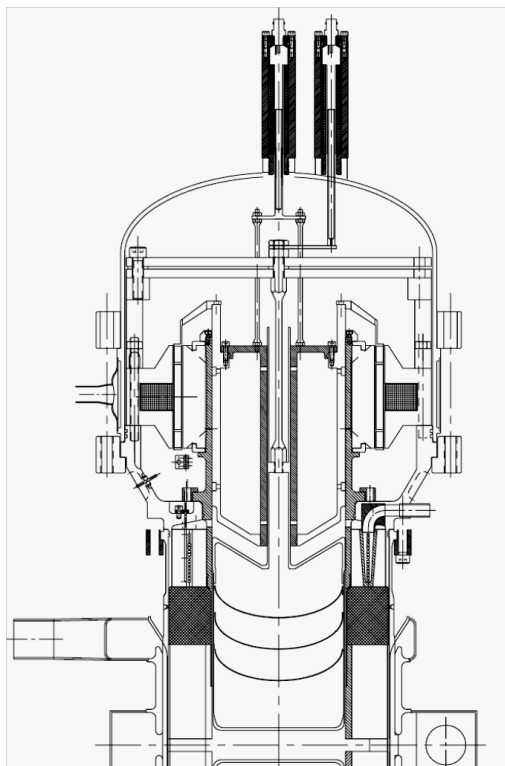
Quindi come funziona lo Stirling sul Kilopower?

Beh.. diciamo subito che la denominazione è questa: **"Free-Piston Stirling Power Conversion Unit for Fission Surface Power"**

(Unità di conversione di potenza Stirling a pistone libero per alimentazione superficiale a fissione; fonte doc NASA/CR—2010-216750).



Qui sopra vediamo un convertitore Stirling utilizzato in un generatore FSP (simile al Krusty) e sotto una mezza sezione.



Per avere una idea di come funziona vi consiglio di guardare questa animazione:

<https://youtu.be/MrArmbBle5Q>

E' rilevante notare che nel Kilopower il "Volano", necessario, come si vede nel filmato, per far funzionare lo Stirling, non c'è, o se c'è non si vede ed in ogni caso deve essere molto leggero perché nelle applicazioni spaziali, meno pesa e meglio è. L'efficienza del convertitore Stirling del Kikopower è prevista al 27% (potenza elettrica in uscita / calore in ingresso).

Efficienza è bassa ma migliore del convertitore a radioisotopi (RTG) e giustificata dal fatto che le perdite sono legate anche alla bassa tenuta dei pistoni resa necessaria dalla lunga vita richiesta. L'efficienza del controller è previsto al 91%. Il riscaldamento è fornito da un fluido di NaK (22% sodio - 78% potassio) che scorre assialmente all'esterno delle teste del riscaldatore alimentate da un collettore centrale.

Quindi, semplificando con una estrema sintesi, l'uranio produce calore, lo Stirling lo trasforma in un moto rotativo che, collegato ad un alternatore, si trasforma direttamente in energia elettrica!

Ma andiamo avanti nella analisi.

Poiché vi è una **carenza di plutonio adatto per l'uso su veicoli spaziali**, il nucleo del reattore sarà di **uranio-235 solido** circondato da un **riflettore di ossido di berillio**. Questo riflettore focalizza le emissioni di neutroni e restituisce la loro energia nel nucleo per **minimizzare le radiazioni gamma nucleari** che potrebbero compromettere l'elettronica di bordo.

Il controllo della reazione nucleare è fornito da una singola asta di carburo di boro, che è un moderatore di neutroni. Inizialmente è completamente inserito, così che la radiazione pre-lancio (quando è sulla rampa) è trascurabile. Una volta estratto il moderatore, la reazione nucleare a catena inizia e non può più essere arrestata completamente, sebbene la profondità di inserimento fornisca un meccanismo per regolare l'uscita di calore dal nocciolo del reattore alla domanda di carico.

Tubi di calore passivi riempiti con sodio liquido trasferiscono quindi il calore del nucleo del reattore a uno o più motori Stirling, che convertono il calore in un movimento rotatorio che aziona un generatore elettrico convenzionale.



Il C.O.S.Mo. NEWS

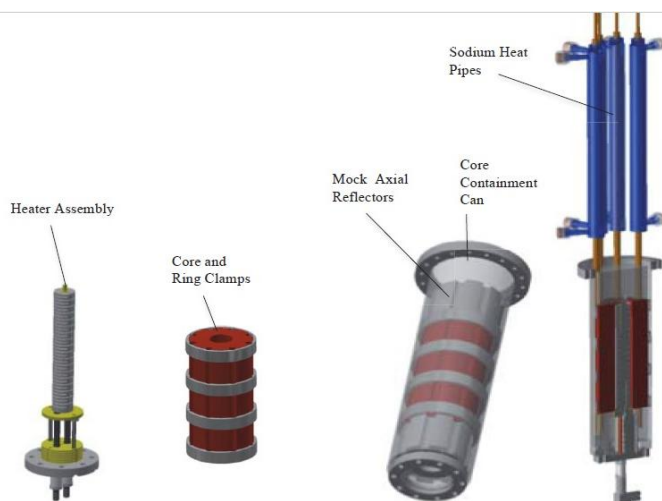
Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37° - Anno10 - N° 2 - 1/06/2018

Il punto di fusione del sodio è 98 ° C, il che significa che il sodio liquido può fluire liberamente a temperature elevate tra circa 400 e 700 ° C.

I nuclei di fissione nucleare funzionano tipicamente a circa 600 ° C.

A partire da settembre 2017 è stato costruito un reattore di prova che utilizza la tecnologia Stirling. È progettato per produrre fino a 1 chilowatt di energia elettrica ed è **alto circa 1,9 metri**.

L'obiettivo dell'esperimento KRUSTY è stato quello di abbinare strettamente i parametri operativi della NASA che sarebbero necessari nelle missioni nello spazio profondo.



I componenti del nucleo de reattore.

Il prototipo Kilopower utilizza un nucleo di reattore all'uranio-235, simile alle dimensioni di un rotolo di carta assorbente.

I test sono iniziati a novembre 2017 e sono proseguiti nel 2018. I primi test hanno utilizzato un **nucleo di uranio impoverito** prodotto da Y-12 National Security Complex in Tennessee.

Il nucleo di uranio impoverito è esattamente lo stesso materiale del nucleo normale ad alto arricchimento di uranio (HEU), con l'unica differenza del livello di arricchimento dell'uranio.

Il test di KRUSTY rappresenta la prima volta che gli Stati Uniti hanno condotto test a terra su qualsiasi reattore spaziale nucleare dal 1965 quando testarono il reattore sperimentale SNAP-10°. (<https://en.wikipedia.org/wiki/SNAP-10A>)

Durante i test da novembre 2017 a marzo 2018 su KRUSTY, con un vero nucleo reattore all'uranio-235, presso il Nevada National Security Site, il reattore è stato gestito con successo per 28 ore.

Sono stati simulati vari guasti nelle apparecchiature circostanti per garantire che il reattore potesse gestirli in sicurezza.

Lo sviluppo di Kilopower comprendeva anche un esperimento chiamato DUFF (**Demonstration Using Flattop Fissions**).

Flattop è un assemblaggio critico di riferimento che viene utilizzato per studiare le caratteristiche nucleari dell'uranio-233, dell'uranio-235 e del plutonio-239 in geometrie sferiche circondate da un riflettore di uranio naturale relativamente spesso.

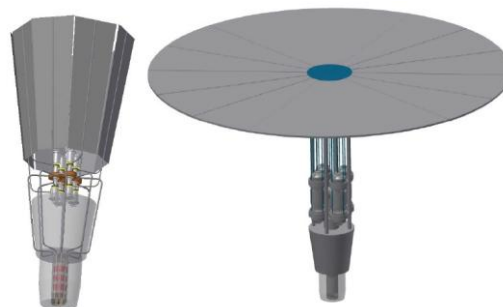
I gruppi flattop sono utilizzati per misurare l'attivazione dei neutroni e i coefficienti di reattività.

Poiché le energie di neutroni diminuiscono gradualmente nel riflettore, gli esperimenti possono essere eseguiti in vari spettri di energia in base alla posizione in cui si trovano.

L'esperimento Flattop Fissions, è stato testato a settembre 2012 utilizzando l'assemblaggio Flattop esistente come fonte di calore nucleare.

Quando DUFF è stato testato presso il Device Assembly Facility presso il Nevada Test Site, Krusty è diventato il primo motore Stirling alimentato da energia di fissione e il primo utilizzo di una heat pipe per il trasporto di calore da un reattore a un sistema di conversione dell'energia.

Secondo David Poston, leader del Compact Fission Reactor Design Team, e Patrick McClure, responsabile per i piccoli progetti di reattori nucleari al Los Alamos National Laboratory, l'esperimento DUFF ha dimostrato che *"per i sistemi di reattori a bassa potenza, il test nucleare può essere realizzato con costi e tempi ragionevoli all'interno dell'infrastruttura e dell'ambiente normativo esistenti"*.

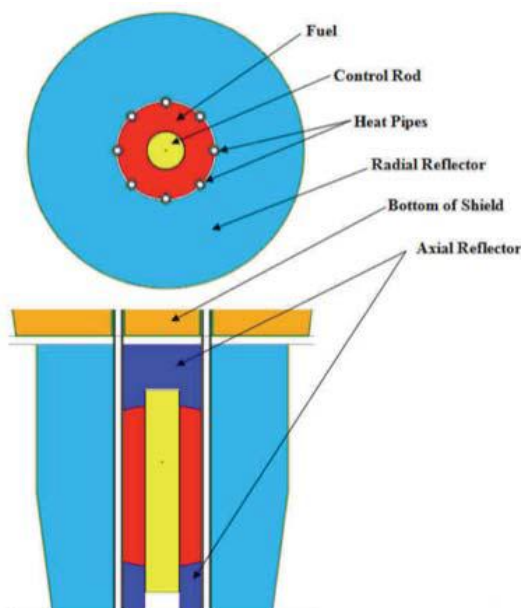


Sonde di esplorazione dello spazio profondo, come la fascia di Kuiper. A sinistra da 1 kW e a destra da 10 kW.



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37°- Anno10 – N° 2 - 1/06/2018



Schema a blocchi del nucleo del reattore.

User Power, kW _e	1	3	5	7	10
Power System Characteristics					
Reactor Thermal Power, kW _t	4.3	13.0	21.7	30.3	43.3
Radiator Area, m ²	3.2	9.6	13.5	17.1	20.0
Stowed Diameter, m	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
Stowed Height (with fixed radiator), m	3.0	4.9	5.9	6.7	7.3
Stowed Height (with deployable radiator), m	N/A	2.2	2.7	3.0	3.3
Mass Summary, kg					
Reactor (UMo core, BeO reflector, Na heat pipes)	136	175	198	215	235
Shield (LiH/W, 25 krad and 10 ¹⁴ n/cm ² at 10 m separation)	148	272	364	443	547
Balance-of-Plant (Stirling engines, radiator, electric controls, structure)	122	304	449	589	763
Power System, kg	406	751	1011	1246	1544
Specific Power, W/kg	2.5	4.0	4.9	5.6	6.5

Kilopower System Options

Tabella riassuntiva dei vari modelli di Kilopower. KWe (elettrici) KWt (termici).

Ora vediamo quali potrebbero essere le applicazioni che questo tipo di generatore potrebbe consentire e che sono già state ipotizzate dalla agenzia spaziale americana. Come si vede dalla tabella riepilogativa in basso a sinistra, anche in questo caso, come per i generatori a radioisotopi l'energia prodotta dal core è molto di più di quella trasformata in energia elettrica.

Il modello 10KWe produce 43 KWt.

Tutta l'energia termica in più non è dispersa ma viene utilizzata per il riscaldamento delle apparecchiature di bordo o, nel caso di alimentazione di un avamposto umano su un altro pianeta, per il riscaldamento degli ambienti dei coloni.

Siamo quindi di fronte ad un grande passo avanti per la esplorazione spaziale, anche se, a mio modesto parere, questa del kilopower è solo una tappa intermedia.

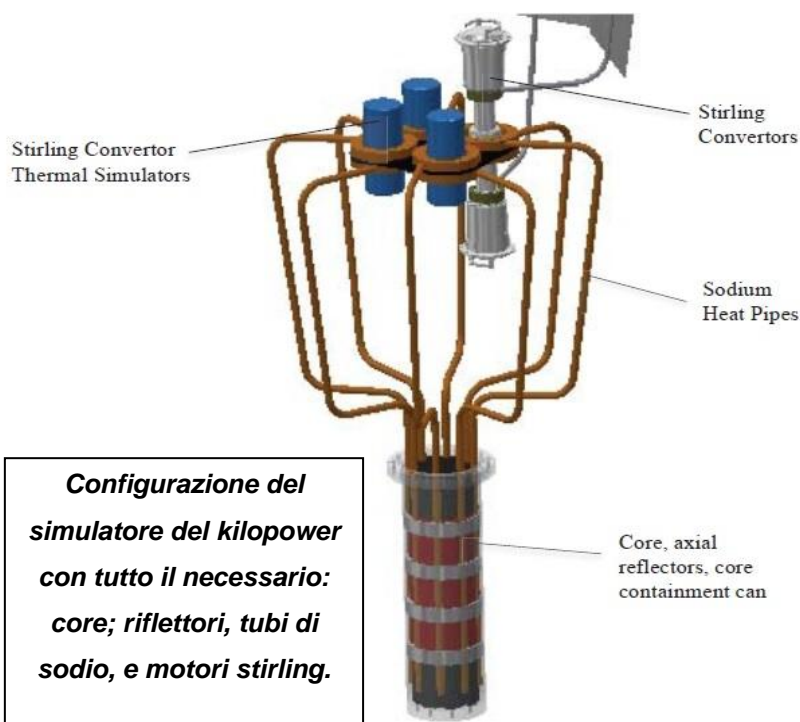
Non dobbiamo trascurare il fatto che vi sono organi in movimento (il sistema biella manovella dello Stirling), quindi usurabili, pertanto elementi negativi per l'affidabilità nel lungo periodo. Da questo punto di vista gli RTG sono migliori.

Rimane abbastanza oscuro (a me), perché non ho trovato maggiori dettagli, la configurazione meccanica Stirling utilizzata.

Comunque ha pochissime parti mobili e quelle che si muovono sono ben collaudate per essere esenti da manutenzione nello spazio per decenni.

Sono stati fatti anche dei progetti di missioni futuribili con questo nuovo sistema di generatore di energia elettrica ed è stata fatta una comparazione, nell'ambito della

stessa missione, tra il vecchio sistema a radioisotopi (RTG o REP) ed il nuovo a fissione (NEP).



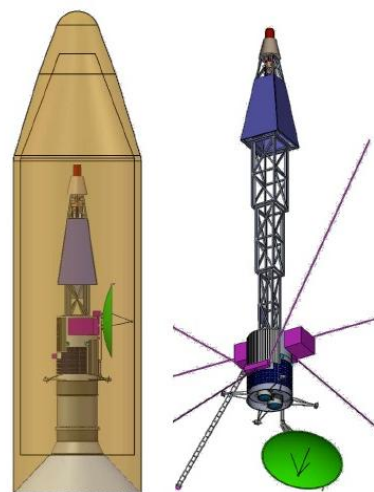
Configurazione del simulatore del kilowatt con tutto il necessario: core; riflettori, tubi di sodio, e motori stirling.

Nella tabella sottostante vediamo i risultati di tale confronto relativamente ad una missione su un corpo della cintura di Kuiper. (KBOO)

Kuiper Belt Object Orbiter (KBOO): Comparison of Radioisotope Electric Propulsion (REP) and Nuclear Electric Propulsion (NEP)

Power System	REP	NEP
Science and Trip Time	100 kg CBE / 16 yr trip / 1 yr science	100 kg CBE / 16 yr trip / 1 yr science
Launcher	Delta IV Heavy / Star 63	Delta IV Heavy / Star 63
Launch Mass	3100 kg	3700 kg
Power: Level (EOL) / Mass (alpha)	Nine, 550W ASRG, 4000 We / 782 kg (5 We/kg)	Single Fast Reactor, Stirling Convertors 8000 We / 1162 kg (7 We/kg)
Electric Propulsion (Thrust/weight)	1+1 3000 W NEXT Ion, ~ 1200 kg Xe	1+1 7000 W NEXT Ion, Direct Drive, ~ 1200kg Xe
Height (Deployed / Launch)	(6 m / 3m)	(16 m / 7 m)
Nuclear material	~27 kg Pu238	~ 75 kg 93% enriched
Radioactivity at launch	413,260 Curies	4.8 Curies

Il progetto prevede l'invio della sonda attraverso un carico pagante su una ogiva posta su un Atlas IV Heavy e la comparazione viene effettuata sui pesi, potenze, tipo di propulsore elettrico utilizzabile, materiale combustibile utilizzato e radiazioni emesse alla partenza.



Sopra vediamo lo studio di collocazione nella ogiva del carico pagante di un Atlas IV Heavy .

Conclusioni.

KRUSTY non è nato partendo da zero! Prima di lui altri progetti analoghi con obiettivi diversi hanno visto la luce negli Stati Uniti. Non si sa molto su ciò che è stato fatto in Russia o nella ex U.R.S.S. ma è probabile che siano stati fatti progetti analoghi. Parliamo di una tecnologia tesa a produrre solo energia elettrica e energia termica per il solo riscaldamento e con potenze inferiori al MW. Generatori nucleari di potenza termica superiore sono ormai molto diffusi nelle portaerei, nei rompighiaccio e nei sottomarini nucleari, ma usano una tecnologia diversa dove l'energia meccanica necessaria per far girare le eliche



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37° - Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

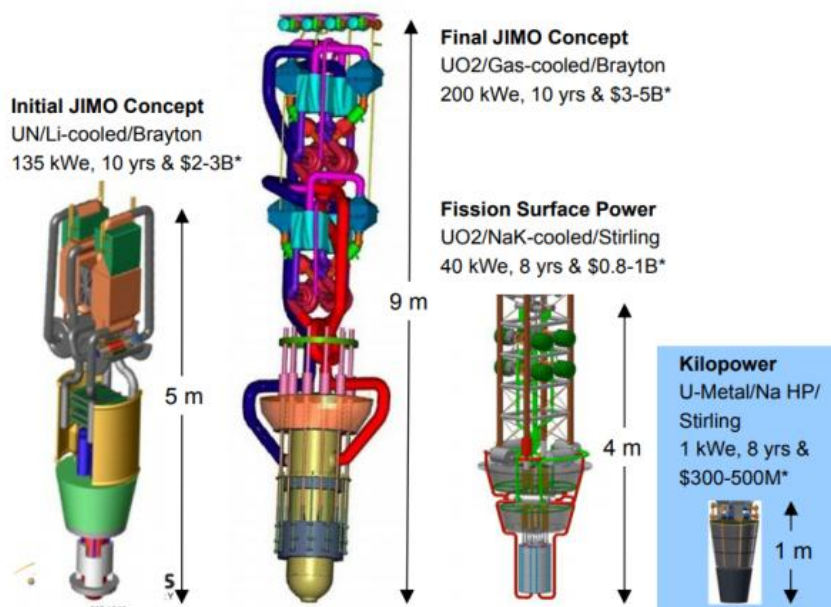
non arriva da un motore elettrico, ma direttamente dalla conversione di calore in vapore e poi direttamente in energia meccanica.

Si è creato il potenziale per aprire una nuova classe di missioni non attualmente realizzabili con generatori a radioisotopi o ad energia solare.

Uno studio che è costato circa tre anni e dieci milioni di dollari, perseguendo un piano di prova che progredisce verso livelli crescenti di affidabilità e potenza. KRUSTY fornirà ampi dati scientifici e ingegneristici non raggiunti negli ultimi cinque decenni da programmi per reattori spaziali statunitensi.

A partire dal reattore di potenza inferiore 4 kWt (1 KWe) per la prima dimostrazione nucleare è estremamente importante mantenere i costi di sviluppo a un livello accessibile. I costi dei test nucleari sono direttamente proporzionali alla potenza termica del reattore.

La potenza ed il design da 4 kWt consentono di effettuare i test presso le strutture esistenti secondo le normative vigenti e licenze presso il Nevada Test Site.



In particolare nella figura qui sopra vediamo gli schemi e le caratteristiche di altri progetti tra cui il **JIMO**, il **FSP** che però sono più grandi di KRUSTY, ma ancora molto meno di un MW di energia elettrica (200 kilowatt è il più grande per questo tipo di progetto). Il reattore **JIMO "Project Prometheus per la navicella Jupiter Icy Moons Observer"**, è un altro progetto recente per una nave spaziale nucleare-elettrica con destinazione Europa..

Questi reattori sono stati progettati di recente (2010-2012), con alcune caratteristiche interessanti, ma a causa dei limiti di progettazione e test non sono stati testati a fondo come KRUSTY.

Sarà necessario un notevole finanziamento aggiuntivo per i nuovi programmi per preparare un sistema di volo completo ed è l'inizio di una più ampia pianificazione a lungo termine per la NASA.

Lo sviluppo di un piccolo sistema di produzione di energia a fissione nucleare, come Krusty, per la scienza e l'esplorazione umana della NASA (e non solo), è uno sforzo degno di nota.

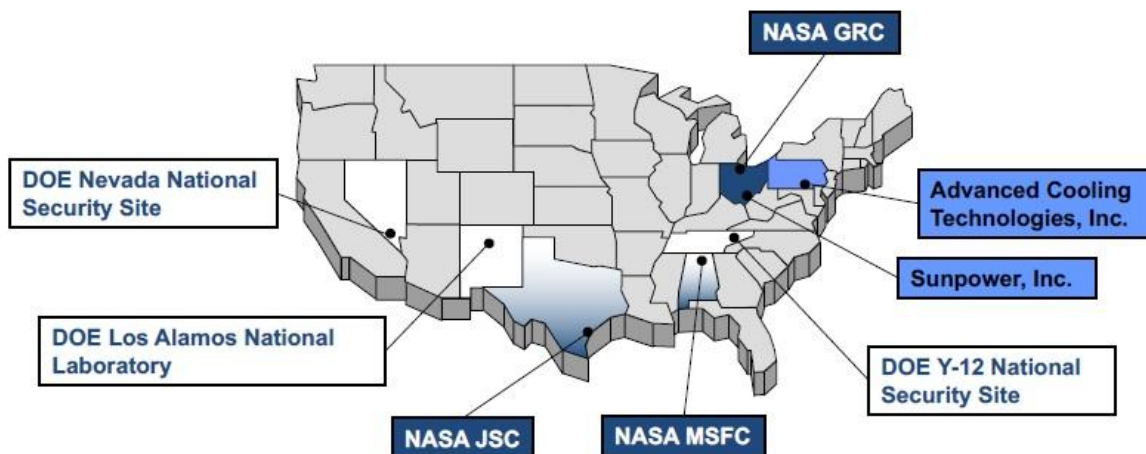


Kilopower completo.



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37° - Anno10 – N° 2 - 1/06/2018



Il successo dei test nucleari del reattore Kilopower contribuirà a colmare il gap tecnologico esistente di sistemi di alimentazione compatti nella gamma da 1 a 10 kWe che consentono nuove conoscenze scientifiche e missioni di esplorazione umana oltre la Luna.

Questo progetto ha subito notevoli revisioni nel corso della sua vita. Iniziato con circa 100 kilowatt di potenza elettrica (kWe), ed è andato fino alla gamma **multi-megawatt**.

Krusty è il più grande reattore che la NASA sta attualmente esplorando per la produzione di elettricità e può essere usato per inviare missioni senza equipaggio, e possibilmente anche con equipaggio, attraverso il sistema solare.

Fonti:
(pdf)

<https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20140017750>
2018-05-14T08:59:46+00:00Z

NASA's Kilopower Reactor Development and the Path to

Higher Power Missions; Marc A. Gibson; Steven R. Oleson NASA Glenn Research Center 21000 Brookpark Rd. Cleveland, OH 44135

(216) 433-5562; (216) 789-2026

marc.a.gibson@nasa.gov;

steven.r.oleson@nasa.gov

David I. Poston; Patrick McClure, Los Alamos National Lab P.O. Box 1163, MS C-951, Los Alamos, NM 87545

(505) 667-4336; (505) 667-9534 poston@lanl.gov

pmcclure@lanl.gov

Centri USA coinvolti nella ricerca.

(pdf) Lee Mason, NASA Kilopower overview and mission applications.

<https://sunpowerinc.com/wp-content/uploads/2014/08/FPS-Final-Report-smaller.pdf>

<https://beyondnerva.wordpress.com/2017/10/07/duff-father-of-krusty-kilopower-part-1/>

<https://youtu.be/fugONNLb9JE>

https://youtu.be/DcdfMcjUy_U



IL C.O.S.MO. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37° - Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

UNIVERSO "SOTTOVUOTO"

di Roberto Castagnetti.

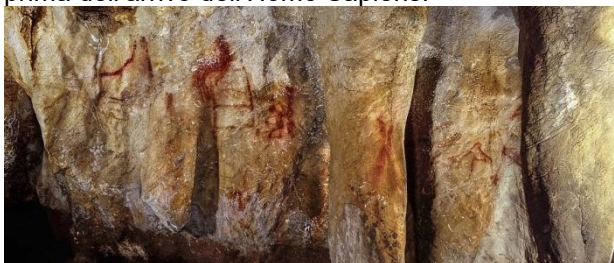
*Urguk guardava il cielo, e le sue luci lontane...
Suo padre gli aveva raccontato che esse erano gli
spiriti degli antenati che accendevano i fuochi
nelle praterie degli Dei.
Ora suo padre era lassù, insieme ai compagni
morti, a sua madre e a tutti gli altri parenti e amici
che non c'erano più.
Il mammoth lo aveva preso quella mattina.
Lo aveva caricato e per lui non c'era stato
scampo.
I compagni avevano, invano, cercato di distrarlo,
ma l'enorme animale si era accanito sul padre di
Urguk.
E ora Urguk era solo.
Aveva portato la salma nella grande grotta.
Aveva dipinto il corpo con ocre rosse, simbolo del
sangue della morte ma anche del sangue della
nascita.
Aveva chiesto allo sciamano di dipingere sulla
parete una grande scala per farlo salire alle grandi
praterie.
La buca ora conteneva il padre, la fedele lancia
ed il suo prezioso coltello.
Urguk aveva cosperso il corpo di fiori e ricoperto
tutto con la madre terra.
Infine, era uscito insieme agli altri per scandire il
nome dell'amato genitore e ricordarne le gesta di
abile cacciatore.
Ed ora Urguk guardava il cielo.
Ne aveva paura, ma provava meraviglia e lo
guardava, domandandosi quanto fosse vasto.*

È una scena inventata.

Risale a circa 70.000 anni fa.

In alcune grotte spagnole sono state recentemente trovate pitture rupestri risalenti a quel periodo.

La cosa particolare è che si tratta di pitture eseguite da gruppi di Neanderthal, 20.000 anni prima dell'arrivo dell'Homo Sapiens.



Grotte di La Pasiega (Spagna) – Pitture rupestri

Una scoperta che ci dice due cose:

- I Neanderthal sapevano usare il pensiero astratto ed il linguaggio
- Almeno 70.000 anni fa l'Uomo rappresentava il mondo che lo circondava cercando di dargli un senso.

Ma perché dipingere immagini in un luogo buio, magari pericoloso?

Seppellire morti, prendersi la briga di comporli e tingergli di rosso?

Lasciare nella sepoltura preziosissimi manufatti?

L'esistenza, a quel tempo, era dura, anzi durissima, e la vita media era, più o meno, intorno ai 25-30 anni.

Pericoli ovunque.

Non c'erano i surplus ed i benefici di una società agricola.

Perché, allora?

Probabilmente – anzi sicuramente - per dare risposte.

L'umanità, già ai suoi albori, voleva capire.

Si faceva domande.

E le risposte venivano dalle storie, dai racconti delle origini.

Racconti che da sempre accompagnano la presenza umana sul questo piccolo pianeta.

Di fronte all'ignoto ed all'immensità di una natura meravigliosa e spaventosa allo stesso tempo, l'Uomo ha da sempre avuto il bisogno di rassicurazione. Ed ha soddisfatto questo bisogno stringendosi all'altro, raccontando storie nel buio della notte.

La meraviglia e l'angoscia si sono allora abbracciate tra loro. E lo sono ancora.

Da millenni l'Uomo vuole capire.

Si è chiesto, e si chiede, il perché di tutto.

Così sono nati miti e racconti.

Le storie della cosmologia.

Ogni religione ci ha portato racconti, alcuni violenti, altri poetici.

Nella nostra cultura è presente il racconto biblico, che conosciamo bene. È altamente simbolico e parla di un Dio attento e ordinato... e già ... perché l'ordine rassicura, spiega, e rende tutto più comprensibile.

E questo racconto risale a, più o meno, 3.000 anni fa.

Ma oggi abbiamo un nuovo racconto, che abbiamo sviluppato con la scienza.

Un racconto che descrive la nascita di un cosmo che ormai abbiamo capito essere immenso.

Immenso oltre l'immaginabile.



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37° - Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

Per provare a capirne la dimensione proviamo a domandarci quante stelle ci sono nell'Universo. Prendiamo un pugno di sabbia, di quella che incontriamo al mare, e guardiamolo.



Ciascun granello rappresenta una stella dell'Universo.

Ora immaginiamo tutta la sabbia di TUTTE le spiagge del mondo. Bene ... le stelle sono molte – MA MOLTE – di più.

Ed ora vediamo qual è la "Storia" più recente dell'inizio del tempo ... e dello spazio, attraverso un "mini-racconto" che vuole essere una chiacchierata "divulgativa" senza la pretesa di approfondire gli aspetti "tecnici" sottostanti.

Qualcuno avrà studiato, o avrà sentito parlare della Relatività di Einstein.

Questa incredibile teoria ci dice due cose importanti:

- Massa ed Energia sono due facce della stessa medaglia --- > $E = M \cdot C^2$
- Lo Spazio ed il Tempo sono una sola entità, per la quale è necessario usare una parola composta: lo **Spazio-Tempo**

Un sospetto che ci sia un legame tra spazio e tempo proviene dalla vita di tutti i giorni.

Se decidiamo di incontrare un amico al bar, non basta dire: "ci vediamo al Bar Molinari"¹, definendo solamente le coordinate spaziali dell'incontro. Se non diciamo nulla circa le coordinate temporali, sarà difficile che riusciamo a trovarci insieme.

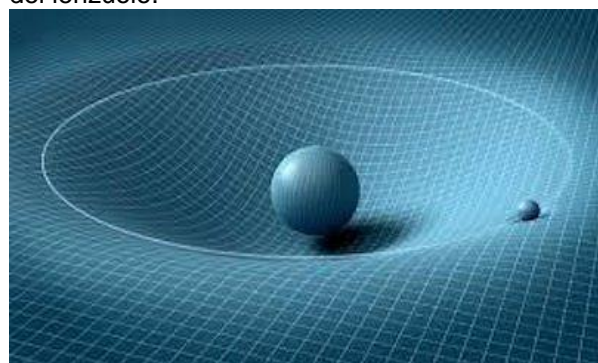
Semplificando: lo spazio-tempo è una sorta di **rete invisibile** dentro la quale ci muoviamo.

Possiamo ricostruire la nostra esistenza come una traiettoria in questo spazio a 4 dimensioni (sopra-sotto, destra-sinistra, avanti-indietro, prima-dopo), e gli incontri che facciamo sono i

punti in cui le nostre traiettorie spazio-temporali si incrociano con quelle degli altri.

Questa rete sottile che tiene insieme il nostro Universo ha una strana proprietà che la rende speciale: non è rigida ma plastica.

Massa ed Energia la stirano, la deformano, e da questo processo nasce l'attrazione gravitazionale. Grandi masse deformano lo spazio-tempo come se fossero appoggiate su un lenzuolo teso. E l'attrazione gravitazionale è un effetto paragonabile al rotolare verso il punto più basso del lenzuolo.



Il nostro Universo è quindi fatto di questo strano "tessuto", in cui persino la luce viene deviata.

E la cosa più strana è che ... non esiste da sempre, anzi, ha un'età ben definita: è nato, insieme al nostro Universo **13,8 miliardi di anni fa**.

13,8 miliardi di anni sono tanti... l'Universo è quindi "anziano". E come ogni buon anziano ha avuto una evoluzione da uno stato "giovanile" ad uno più "maturo".

Se guardiamo l'Universo oggi e l'Universo di 13,8 miliardi di anni fa, confrontiamo due oggetti estremamente diversi tra loro.

E questa è una osservazione che possiamo fare in quanto la luce che raggiunge i nostri telescopi riesce a mostrarci immagini di tempi remotissimi.

Infatti, le leggi fisiche che regolano questa immensa giostra ci permettono di osservare eventi antichissimi come se fossero "in diretta"

Se osserviamo l'Universo attuale vediamo che è un posto rarefatto: le stelle sono normalmente molto distanti l'una dall'altra.

Esistono luoghi con elevate densità nei nuclei delle galassie o negli ammassi globulari, ma la norma è che: *è più probabile incontrare il vuoto che la materia*.

Anche la materia stessa, a livello microscopico, è molto "rarefatta", infatti gli atomi stessi sono sistemi in cui lo spazio vuoto è un **milione di**

¹ Per i lettori non modenesi: si tratta di un Bar storico del centro storico di Modena



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37° - Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

milioni di volte maggiore dello spazio effettivamente occupato dagli elettroni, protoni e neutroni.

Ma l'Universo non è solo rarefatto è anche molto freddo.

Sicuramente qua e là ci sono dei luoghi molto caldi. Ad esempio, la superficie del Sole è circa 6.000 K° e noi, sulla Terra, apprezziamo una confortevole temperatura di 20 °C, cioè +293 K°

Ma, in generale, la temperatura media dell'Universo è un po' bassina, essendo uguale +3 K° ... **cioè -270 °C** !!!

Questa è la situazione ad oggi.

Invece, quando era ... appena nato, l'Universo era un oggetto estremamente caldo e materia ed energia avevano densità spaventose.

La materia stessa era molto diversa.

In virtù di queste temperature e densità estreme, particelle nate agli albori della storia cosmica, oggi non esistono più, e atomi e sostanze comuni alla nostra esperienza quotidiana a quell'epoca neppure esistevano.

Era un universo molto "**leggero**", dominato da idrogeno, elio e poco altro ancora.

Carbonio, ossigeno, ferro ed altri elementi così necessari alla vita - così come la conosciamo - non esistevano proprio, in quanto "forgiati" in ere successive mediante immani esplosioni ed altri processi di nucleosintesi stellare.

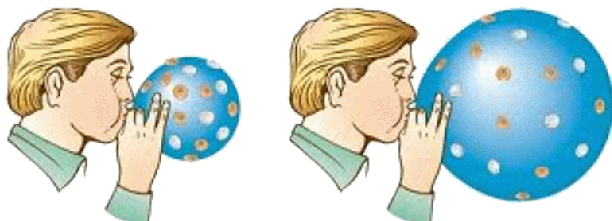
Ma, un fatto è veramente sconvolgente: l'Universo, inizialmente, era molto - **ma molto** - piccolo.

Una bella immagine di un libro di Stephen Hawking ce lo mostra come contenuto in un guscio di noce (*The Universe in a Nutshell*), ma al di là della bella immagine, all'inizio era immensamente più piccolo...

La nostra storia inizia allora in un microscopico "puntino" in cui si verificò un ... gran botto: il **Big Bang**.

Un botto che, però, non fu un'esplosione, o almeno, non come la concepiamo noi.

Infatti, più che un'esplosione è più corretto definirla una ... **Espansione**.



Ma ... non un'espansione **NELLO** spazio quanto piuttosto **DELLO** spazio, o meglio, dello **Spazio-Tempo**.

Bene. E ora?

Da dove partiamo?

Da dove viene quel puntino e tutto l'Universo da cui si è espanso?

Semplice: dal vuoto.

... *Semplice ... per modo di dire.*

È il momento di porci una domanda.

Massa ed Energia: si può calcolare quanta energia c'è nell'Universo?

La risposta è Sì ... almeno ipoteticamente.

E la ricetta è questa: si prende tutta la materia e la si moltiplica per C^2 .

Ricordate: $E = M \cdot C^2$

Senza quantificare un calcolo, che rimane solo teorico per le nostre attuali conoscenze, diciamo che il risultato è sicuramente un numero **ENORMEMENTE** grande.

Ma non è tutto: pensiamo al fatto che l'attrazione tra i corpi crea tra essi un legame (la gravità), ovvero uno stato di energia potenziale negativa.

In altre parole, significa che per allontanarsi da un corpo occorre spendere energia.

Questa energia è potenziale, ma esiste: è l'Energia Potenziale Gravitazionale, che anche in questo caso, possiamo quantificare.

Infatti tra due corpi di massa M ed m , ad una distanza r essa è:

$$U = - G \cdot \frac{M \cdot m}{r}$$

Ed ha segno negativo, perché per uscire dalla deformazione dello **Spazio-Tempo** (*ricordate: il lenzuolo*), determinato da una massa, occorre un lavoro.

La gravità è una forza debole, infatti la costante di gravitazione universale G vale:

$$6,6 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$$

Ma se potessimo calcolarla a livello dell'intero Universo avremmo un enorme valore con segno negativo.

Quindi sommando i + e i - ecco il risultato sorprendente: *se a tutta l'energia corrispondente alla materia si potesse togliere tutta l'energia potenziale gravitazionale si otterrebbe... 0.*

Zero?

Già ... ZERO

Questo saldo "energetico" pari a 0 ci porta ad una sorprendente ipotesi: il nostro Universo nasce dal



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37°- Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

dismisura, fino al punto in cui tutto si placa di colpo, dopo 10^{-30} secondi.

Successivamente, l'espansione continuerà per miliardi di anni ma sarà solo un lieve soffio, completamente diverso dal furioso turbinio dei primi istanti.

Ma torniamo al nostro *tempo iniziale* + 10^{-30} secondi.

Lo *spazio-tempo* appena creato si riempie di energia. Di particelle prive di massa che si muovono in tutte le direzioni alla velocità della luce.

L'Universo appena uscito dalla tumultuosa fase appena descritta, detta **Inflazione** (*non correlabile, però, alla situazione in cui aumentano i prezzi...*), è un oggetto incandescente popolato da particelle prive di massa che si muovono in tutte le direzioni alla velocità della luce in un incessante turbinio.

Ovunque si guardi si vede la stessa densità, tutto è omogeneo, tutto è uguale.

È il regno dell'uniformità, della perfezione.

E ancora una volta: anche della noia...

Se non succedesse qualcos'altro, di **molto** speciale, non si potrebbe sviluppare nulla, tantomeno la realtà in cui stiamo vivendo.

L'Universo neonato, espandendosi, inizia a raffreddarsi. Ecco, allora, entrare in gioco un'altra particella molto, molto speciale: il **Bosone di Higgs**.

Quando la temperatura si abbassa ad un certo valore, esso non riesce più a "scorrazzare" liberamente e non riesce nemmeno più ad essere "sé stesso" ed allora interagisce con tutte le altre compagne e si "cristallizza" in un campo che "dona" a tutte le altre particelle una cosa che prima non avevano: **la massa**. (*Si perdoni la descrizione un po' fantasiosa...*)

Il campo di Higgs, quindi, occupa tutto l'Universo ed il nostro vuoto, oltre allo spazio-tempo, acquisisce una nuova proprietà che fa rompere l'equilibrio, la completa uniformità che abbiamo visto prima: le particelle elementari che scorrazzano qua e là, interagendo con il nuovo campo acquistano **MASSA**.

Attenzione! Inflatone e Bosone di Higgs potrebbero anche essere la stessa particella...

Questa è un'ipotesi tutt'ora allo studio, ne sapremo di più quando gli scienziati riusciranno ad esplorare energie ancora più grandi di quelle sviluppate dall'LHC di Ginevra, magari con il **FCC** (Future Circular Collider), un acceleratore di 100

Km di conferenza (contro i 27 dell'LHC...) di cui si sta studiando la fattibilità.

Sondando sia gli enormi "schiaffoni" dati allo spazio con il nuovo acceleratore, che i flebili "sussurri" delle onde gravitazionali, attraverso nuovi interferometri sempre più sensibili, potremmo arrivare a comprendere questa (o queste) enigmatiche particelle e, finalmente, capire i meccanismi di quell'intervallo di 10^{-30} secondi, svelando finalmente i segreti della gravità e le sue connessioni con la meccanica quantistica.

Ma torniamo al nostro Universo neonato.

A questo punto i giochi sono fatti: l'Universo oltre ad essere nato, è definito nelle proprietà che conosciamo.

Molte particelle diventano talmente pesanti che spariscono per sempre dall'Universo in rapido raffreddamento. Occorreranno 13,8 miliardi di anni prima che su uno sperduto pianeta azzurro chiamato Terra si riescano a produrre collisioni a energia così elevata da riportarne in vita alcune per una frazione di secondo.

Dopo questi fatti straordinari la storia si fa più ordinaria, più comprensibile: passano 380.000 anni e l'Universo diventa trasparente.

Poi, dopo 400 milioni di anni nascono le prime stelle e ... si accende la Luce:

Fiat Lux: ecco apparire l'Universo come lo conosciamo ora!

Ma torniamo ancora una volta agli inizi per fare qualche ragionamento.

Alla base della nostra storia possiamo dire che il vuoto non si è riempito, oppure che si è ritratto per fare posto al pieno (come creduto dalla tradizione religiosa ebraica, in cui si parla di **Tzimtzum** (צמצום) - un'antica parola che significa "ritrazione" o "contrazione", per esprimere il concetto di una "autolimitazione" di un Dio, che si "ritrae" nell'atto della creazione del mondo).

Il vuoto, più che ritrarsi o riempirsi, ha soltanto **cambiato di forma**, è diventato un vuoto che è Universo ... che è materia.

Una "semplice" transizione di fase, a saldo 0.

Una cosa incredibile.

L'Universo nasce da una trasformazione del vuoto ... Geniale!

Dopo 70.000 anni, possiamo allora dire a Urguk come è andata e come è fatto il posto meraviglioso in cui si trova.

Cosa sono i fuochi nel cielo e come funzionano.

Possiamo dire come è andata ma non possiamo dire nulla sul perché.



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 37° - Anno10 – N° 2 - 1/06/2018

Alcuni scienziati pensano che quanto è accaduto sia frutto del caso, non saremmo altro che uno di 10^{500} possibili universi.

Può essere, ma a me personalmente piace più pensare di non essere il risultato di un fenomeno aridamente statistico ... ma non vado oltre, perché interrogarsi sul fatto che la nascita dell'Universo sia frutto del Caso oppure di un atto Creativo non può avere una risposta scientifica. Qui si entra in un campo diverso ... più filosofico, metafisico, religioso.

Una cosa però è certa: l'Uomo, con la sua intelligenza, la sua capacità di interpretare la natura con l'osservazione e la scienza è probabilmente una delle più alte vette dell'Universo.

La presenza di una intelligenza che comprende i meccanismi della Natura è la naturale e incredibile evoluzione della Natura stessa che diviene in grado di comprendersi acquisendo una coscienza.

Forse siamo proprio questo: la "coscienza dell'Universo".

Forse siamo i suoi neuroni.

L'Universo dopo 13,82 miliardi di anni ha sviluppato la sua auto-comprensione.

Probabilmente ci sono altre intelligenze che stanno guardando il loro cielo, magari con qualche occhio o con qualche arto in più, oppure con sensi diversi dai nostri, e magari anch'esse si fanno domande sul funzionamento e sulle origini dell'Universo.

Io, personalmente, sono convinto che la vita, questo enorme miracolo nato nei pressi di stelle fiammeggianti che orbitano all'interno di galassie sterminate sia presente in molteplici forme e diffusa nella vastità del cielo.

Ed ora, per concludere, i versi della mia poesia preferita:

*Sempre caro mi fu quest'ermo colle,
E questa siepe, che da tanta parte
Dell'ultimo orizzonte il guardo esclude.
Ma sedendo e mirando, interminati
Spazi di là da quella, e sovrumani
Silenzi, e profondissima quiete
Io nel pensier mi fingo; ove per poco
Il cor non si spaura. E come il vento
Odo stormir tra queste piante, io quello
Infinito silenzio a questa voce
Vo comparando: e mi sovvien l'eterno,
E le morte stagioni, e la presente
E viva, e il suon di lei. Così tra questa
Immensità s'annega il pensier mio:
E il naufragar m'è dolce in questo mare.*

L'**Infinito** di Leopardi ... io lo considero una guida per contemplare il Cosmo, forse anche per capirlo.

Guardare l'Universo è guardare dentro sé stessi, e guardare dentro sé stessi è guardare il Cosmo.

Il Cosmo, l'Universo: una realtà fatta di polarità, di contrari, che insieme portano ad una fusione, che tutto racchiude.

Il piccolo ed il grande si compenetrano, le leggi del microscopico regolano anche l'infinitamente grande.

Tutto fluisce in una sintesi: lo 0 che tutto contiene. E lo stato d'animo che più si avvicina alla sintesi è il silenzio.

Il silenzio come una somma di suoni.

Uno 0 acustico.

Il Cosmo, allora, per essere compreso richiede ... il **silenzio**.



... Interminati Spazi e sovrumani Silenzi

Buona contemplazione.

Roberto Castagnetti