



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43° - Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

## EDITORIALE.

### Spazio: chi dirige il traffico?

Nel numero precedente abbiamo parlato del diritto di sfruttamento dello spazio extra atmosferico, della Luna e di altri corpi celesti da parte dei paesi sovrani o di aziende private. Abbiamo anche visto che c'è ancora parecchio da fare. Ma lassù c'è un altro grosso problema, in particolare sull'orbita bassa terrestre (LEO): il **superaffollamento!**

Ho già trattato l'argomento sulla nostra homepage dal punto di vista del rischio di collisione ed ho evidenziato che manca un organo mondiale con il potere di permettere, vietare e perseguire chi esce dalle regole, siano essi stati o aziende.

Esiste un *United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA)* che è stato creato dalle Nazioni Unite con la risoluzione dell'Assemblea Generale 1348 (XIII) del 13 dicembre 1958 con sede a Vienna.

Lo scopo è quello di supervisionare i programmi spaziali dei vari paesi e tenere il registro degli oggetti lanciati nello spazio.

L'ufficio provvede anche a finanziare i progetti delle nazioni che vogliono creare un programma spaziale in modo pacifico.

L'attuale direttore è **Simonetta Di Pippo**, che ho conosciuto in occasione del primo invito a Modena di Paolo Nespoli. Fu lei che mi indicò la strada per arrivare a Paolo.

Purtroppo, questo ufficio raccoglie dati, li elabora trae conclusioni, fa proposte, ma non ha nessun potere esecutivo sui paesi, ne tantomeno sulle aziende private.

Esiste poi l'*Outer Space Treaty* sui principi che governano le attività degli Stati in materia di esplorazione ed utilizzazione dello spazio extra-atmosferico compresa la Luna e gli altri corpi celesti, che costituisce la struttura giuridica di base del diritto internazionale aerospaziale.

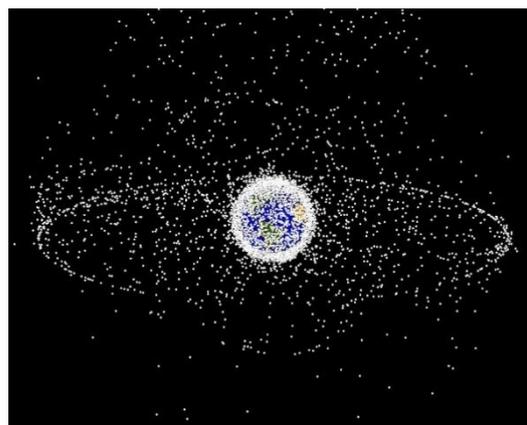
Il trattato è stato sottoscritto negli Stati Uniti d'America, nel Regno Unito, e nell'Unione Sovietica ed è entrato **in vigore il 10 ottobre 1967**.

Eravamo in piena guerra fredda e leggendo il trattato si capisce che la preoccupazione era quella di interdire agli stati membri l'utilizzo dello spazio come scenario di guerra. Nessuno allora, nel 67, (mancavano ancora due anni allo sbarco sulla Luna) immaginava di arrivare ad avere in orbita bassa qualcosa come **128 milioni di oggetti, la maggior parte dei quali sono di pochi millimetri e sono incontrollabili, ma vi sono anche satelliti grossi come autobus, tutti monitorati**

**ma spesso incontrollabili, che viaggiano a 30.000 km orari sopra le nostre teste. I programmi dei prossimi tre anni sono tali da immettere in orbita più satelliti di quelli lanciati negli ultimi sessant'anni!** Facile concludere che, se non si interviene, ci sarà il caos.

Attualmente le forze armate statunitensi **monitorano tutto il traffico spaziale tramite il NORAD**. Quando rilevano una potenziale collisione informano le parti in causa, in modo che gli operatori possano stabilire la migliore strategia di intervento. Le normative attuali richiedono una segnalazione in caso di probabilità di collisione superiore a 1 su 10.000.

**Ma la US Air Force non ha l'autorità di obbligare gli operatori a spostare i propri satelliti per evitare un incidente.** Con la *Space Policy Directive-3, National Space Traffic Management Policy*, stabilita dal presidente Donald Trump nel 2018, le cose saranno più chiare, ma solo in ambito USA. E gli altri?



[https://en.wikipedia.org/wiki/Space\\_debris#/media/File:Debris-GEO1280.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Space_debris#/media/File:Debris-GEO1280.jpg)

*Il presidente.*

*Luigi Borghi (borghiluigi23@gmail.com)*

## In Breve

<b>Astronautica. Di Leonardo Avella.....Pag.</b>	<b>2</b>
I motori aerospike sono meglio dei razzi tradizionali?	
<b>Astronautica. Di Luigi Borghi.....Pag.</b>	<b>22</b>
Aggiornamento sui progetti Artemis e Gateway: sulla Luna nel 2024.	



## I motori AEROSPIKE sono migliori dei motori tradizionali? Di Leonardo Avella.

Questo articolo è la traduzione presa dal seguente blog post: <http://everydayastronaut.com/aerospikes/>



Questo è il motore di un razzo. In realtà è una macchina di calore e pressione il cui unico scopo finale è quello di convertire quel calore e quella pressione in una spinta. Più viene convertito, meglio è.

Questa conversione viene solitamente eseguita da un grande ugello a campana. Questo è il lavoro di ogni singolo centimetro di questo ugello gigante. **Più in basso si scende lungo l'ugello, più basse sono la pressione e la temperatura dello scarico e vengono trasformate in velocità dei gas di scarico sempre più alte.** Quindi, in generale, potresti desiderare che questo ugello sia il più grande possibile affinché possa convertire quanta più energia possibile in spinta.



*Un motore aerospike; a destra su un banco prova.*

C'è un solo problema. Quando la pressione di scarico all'estremità dell'ugello scende al di sotto della pressione dell'aria esterna circostante, l'aria preme sul

gas di scarico. Se la pressione all'interno dell'ugello è troppo bassa l'aria ambiente entrerà così tanto che inizierà a staccare i gas di scarico dalle pareti degli ugelli e formerà onde d'urto e picchi casuali che distruggeranno il motore. Quindi cosa succede se si capovolge il motore e lo si fa in modo che la pressione dell'aria ambiente stia effettivamente spingendo lo scarico addosso all'ugello invece di allontanarlo dalle pareti?

Bene, questa è la teoria alla base del motore aerospike. Non solo fanno esattamente questo, ma promettono anche di aumentare l'efficienza del motore durante la salita perché l'ugello rovesciato forma intrinsecamente una forma quasi perfetta per lo scarico a qualsiasi altitudine, aumentando l'efficienza a tutte le altitudini. E con gli ingegneri che cercano incessantemente di ottimizzare i razzi in un mondo in cui anche un miglioramento dell'1% è un balzo in avanti, il motore aerospike sembra un sogno diventato realtà!

Nel corso della storia, ci sono stati un certo numero di aerospike che sono andati molto avanti nello sviluppo, ma ad oggi, nessuno di questi ha mai veramente volato, per non parlare di essere stato usato su un razzo di classe orbitale ... Se fossero così buoni, non dovrebbero tutti usarli o proprio questo è il motivo per cui nessuno li usa? Perché i motori di nuova generazione costruiti da zero come il motore Raptor di SpaceX non sono degli aerospike?





# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43° - Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

Quindi oggi analizzeremo la storia dei motori aerospike, analizzeremo come funzionano gli ugelli, inclusi aspetti quali espansione eccessiva, sotto-espansione e persino rapporti di espansione, esamineremo i pro ed i contro dell'aerospike, i limiti fisici ed i problemi, quindi confronteremo l'aerospike con altri motori a razzo tradizionali.

Ma non è tutto, vedremo foto e video inediti di alcuni aerospike, avremo le opinioni di alcune persone che hanno effettivamente lavorato con i motori aerospike, guarderemo ad alcuni progetti promettenti e concetti avvincenti e alla fine di questo articolo scopriremo se il Santo Graal dei motori a razzo sta solo aspettando di essere utilizzato o se gli aerospike semplicemente non convengono.

Indossa la tua maglietta preferita del motore aerospike , prendi un po' di popcorn e un drink, perché questo articolo è lungo e abbiamo MOLTO da coprire ... Cominciamo!

Quelli di voi che mi seguono su Twitter hanno probabilmente guardato questo articolo crescere e probabilmente hanno notato che il mio tono su questo argomento è cambiato da "aerospikes FANNO SCHIFO" ad una posizione più neutrale sull'argomento ... E wow, dopo mesi di ricerche, questo articolo si è rivelato essere un mostro. Voglio dire, ho finito per esaminare letteralmente dozzine e dozzine di documenti difficili da trovare per ricostruire alla fonte i numeri dei motori aerospike.

E anche se ci è voluto un po' (scusate), più ho imparato più mi sono reso conto di quanto più avevo bisogno di imparare e più sapevo che avrebbe dovuto essere inserito del contesto in questo articolo per renderlo comprensibile ...

Dopo aver pubblicato il mio articolo "**Il motore Raptor di SpaceX è il re dei motori a razzo**" e gli articoli "**Perché gli SSTO (Single Stage To Orbit) fanno schifo**", ho ricevuto così tante persone che sostenevano che il vero Santo Graal dei razzi fosse in realtà l'aerospike ... E non vi sbagliate. Voglio dire, un motore che magicamente (grazie alla fisica) è intrinsecamente più efficiente a quasi tutte le altitudini? Un motore che funziona a livello del mare come un motore a ugello perfettamente ottimizzato e funziona

altrettanto bene nel vuoto come un grande ugello nel vuoto? Wow!!

Perché nel settore aerospaziale non c'è più interesse per gli aerospike ? Voglio dire, dopotutto, gli ingegneri di SpaceX hanno affrontato una sfida colossale sviluppando un motore Full Flow Staged alimentato a metano ... Se riesci a risolvere quel pazzo motore, perché non hanno tentato di realizzare un aerospike, qualcosa che promette maggiori efficienze e che già stato sostanzialmente sviluppato?

Dopotutto, gli aerospike non sono sicuramente nuovi. In realtà risalgono agli anni '60 quando gli ingegneri stavano cercando modi per migliorare alcuni dei primi motori dei razzi. I motori a quei tempi erano relativamente primitivi, quindi la promessa di un motore aerospike era ancora più allettante.



## *Rocketdyne J-2T toroidal aerospike engine*

Forse l'aerospike più notevole e promettente era una versione aerospike del motore J-2 che alimentava il secondo e il terzo stadio del Saturn V. Questo era chiamato J-2T e sulla carta sembrava essere una versione bella e compatta del J-2 offrendo al contempo un'efficienza nel vuoto ancora maggiore rispetto allo standard J-2. È anche stato testato nel banco di prova 34 volte ed ha avuto un potenziale promettente. Comunque è stato accantonato dal programma Saturno V e da qualsiasi potenziale percorso di aggiornamento una volta iniziato il programma Space Shuttle, anche se in realtà è stato considerato per l'uso come motore principale della navetta NASA. Però come sappiamo, la NASA ha poi preferito un motore tradizionale a campana chiusa, l'RS-25.



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43° - Anno 11 – N° 4 - 1/12/2019

Rocketdyne prese anche pezzi di ricambio dai motori a razzo J-2 e J-2s e sviluppò un motore aerospike lineare noto come L-1. Dal 1970 al 1972 fece 44 prove con complessivamente 3.113 secondi di funzionamento.

Ci sarebbero voluti quasi 30 anni prima che il concetto venisse rispolverato di nuovo e preso sul serio, e questa volta era per il sostituto dello space shuttle noto come *Venture Star*. Il *Venture Star* (immagine sottostante) era il sogno finale di ogni nerd, un singolo stadio dal livello del mare all'orbita (SSTO). La navetta spaziale completamente riutilizzabile avrebbe dovuto impiegare motori aerospike lineari chiamati RS-2200, che non solo la faceva sembrare il Millennium Falcon, ma anche prometteva per l'orbita bassa terrestre quasi la stessa capacità di carico utile dello space shuttle.



*Immagine artistica del Venturestar (X33).*

Al fine di ridurre al minimo il rischio, Lockheed Martin iniziò lo sviluppo di una versione dimostrativa suborbitale di *Venturestar* chiamata X-33, che doveva utilizzare una versione di test dei motori più piccola dell'RS-2200 chiamata xRS-2200.

**Fu completamente operativo ed accumulò 17 test e circa 1.600 secondi di funzionamento in banco prova.**

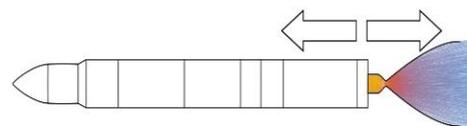
Ma a causa della progettazione eccessivamente ambiziosa di serbatoi compositi di carbonio super-avanzati, di alcune altre tecnologie che dovevano ancora essere perfezionate e per motivi politici,

Lockheed Martin potrebbe aver fatto il passo più lungo della gamba. Il programma *Venturestar* e l'X-33 insieme ai motori aerospike lineari RS-2200 e xRS-2200 **furono ufficialmente interrotti nel 2001.**

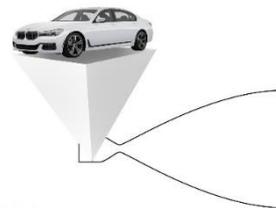
Ok, e che diamine. L'aerospike è solo un motore sfortunato destinato ad essere assegnato solo a programmi destinati a essere cancellati? Perché nessuno di questi progetti viene ora resuscitato con tecnologie più moderne? Bene, prima diamo un'occhiata a come funzionano e, per fare ciò, dovremmo fare una rapida panoramica di come e perché funziona un ugello a campana tradizionale in modo da sapere come confrontarli con gli aerospike. Dopotutto, la fisica è la stessa tra aerospike e ugelli a campana ... quindi partiamo.

## COME FUNZIONANO GLI UGELLI-

I razzi funzionano prendendo un gas ad alta pressione con molecole che viaggiano in tutte le direzioni e trasformando quella pressione in un flusso ad alta velocità in una direzione molto specifica e, se tutto procede senza intoppi, la direzione del flusso è esattamente opposta alla direzione del razzo...



Come abbiamo parlato nel mio video sul motore Raptor, la pressione della camera nei motori a razzo può essere incredibilmente alta. **Il motore Raptor di SpaceX è attualmente il re della pressione della camera a 270 bar con punte di 300 bar.** Solo per mettere in prospettiva quanta pressione c'è, è come mettere una BMW 740i Berlina che pesa quasi 2 tonnellate e posizionarla su qualcosa di non molto più grande di un francobollo americano di medie dimensioni!





# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43° - Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

Ecco quanta pressione sta spingendo su ogni singolo centimetro quadrato della camera di combustione. Per convertire quella pressione, gli ingegneri hanno sviluppato qualcosa chiamato **un ugello convergente-divergente**, o un **ugello de Laval**, che converte quelle molecole di gas ad alta pressione che viaggiano in tutte le direzioni in un gas ad alta velocità che si muove in una sola direzione.

Ora qui stiamo per andare nel reame della fluidodinamica molto velocemente, e non solo la vecchia cara fluidodinamica ma roba super-matta dove tutto viene rovesciato e capovolto mentre passeremo da un gas caldo subsonico ad alta pressione ad un gas supersonico molto più freddo a bassa pressione. Quindi se la nostra camera di combustione fosse solo un tubo che fuoriesce dall'iniettore, finiremmo con un po' di gas caldo che fuoriesce abbastanza velocemente, ma non supersonico. E, divertente promemoria qui sui motori a razzo e sull'efficienza del motore a razzo, più veloce viene espulso il gas di scarico, meglio è.

Al fine di accelerare un gas che si muove attraverso un tubo, possiamo effettivamente ridurre le dimensioni del tubo. La stessa quantità di massa passerà attraverso quest'area più piccola e per farlo, deve accelerare.

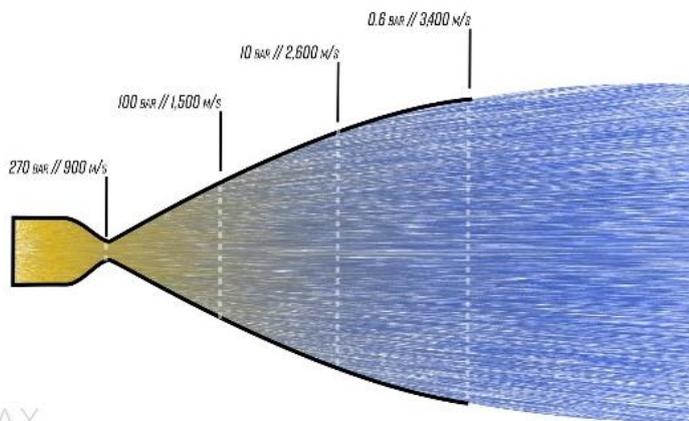
Penso che il miglior esempio di questo sia un vecchio tubo da giardino standard. Apri l'acqua e metti il pollice sull'estremità del tubo. Ignorando alcune potenziali perdite, la stessa quantità di acqua scorrerà attraverso il tubo, indipendentemente dal fatto che il pollice copra o meno l'estremità. L'unica cosa che cambia è che l'acqua deve accelerare per spostare lo stesso volume attraverso un foro più piccolo. Rimuovi il pollice e l'acqua rallenta, ma entrambi i metodi riempirebbero un secchio nello stesso lasso di tempo. Uno sarà solo molto



più turbolento dell'altro.

Quindi la stessa cosa vale quando si fa passare il gas attraverso un tubo. **Possiamo continuare a restringere il tubo finché non arriviamo al punto in cui il gas viaggia a velocità soniche o alla velocità locale del suono.** Dico la velocità locale del suono perché la velocità del suono aumenta con la radice quadrata della temperatura e poiché la temperatura nei motori a razzo è DAVVERO alta, **la velocità del suono alla strozzatura può essere da 5 a 10 volte quella della temperatura ambiente al livello del mare!**

Una volta che il gas di scarico viaggia alla velocità del suono, non possiamo più restringere il tubo perché è qui che le cose diventano piuttosto strane. **Una volta che il gas viaggia alla velocità del suono, se restringi più il tubo, finisci semplicemente per soffocarlo.** Quindi, da questo punto in poi, gli ingegneri progettano l'ugello in modo che abbia una forma perfetta per convertire l'energia termica in energia cinetica. Man mano che le pareti dell'ugello si allargano, il gas effettivamente accelera e la pressione e la temperatura diminuiscono.



Se si fa l'ugello abbastanza grande, si arriva al punto in cui lo scarico è effettivamente alla stessa pressione dell'aria ambiente esterna o, nel caso del livello del mare, 1 bar di pressione. In realtà è sorprendente per me che possiamo andare da centinaia di bar di pressione fino a meno di 1 bar in una distanza così breve. Ed è anche strano che anche se il gas si sta muovendo a velocità incredibili, la pressione di scarico può effettivamente diventare molto bassa. E più bassa è la pressione del gas di scarico, più avremo convertito



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43° - Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

l'alta pressione in alta velocità del gas, il che è desiderabile.

Ma mentre un razzo sale, la pressione dell'aria all'esterno del razzo diminuisce ... Così la pressione alla fine dell'ugello diventa sempre più alta della pressione ambiente. Puoi vedere i loro pennacchi espandersi in tutte le direzioni una volta che il razzo è nel vuoto dello spazio. Questo è il motivo per cui gli ugelli ottimizzati per il vuoto sono così grandi. L'esempio perfetto di questo è il motore Merlin di SpaceX che ha la stessa camera di combustione tra la versione a livello del mare e la versione a vuoto.

SEA LEVEL MERLIN 1D

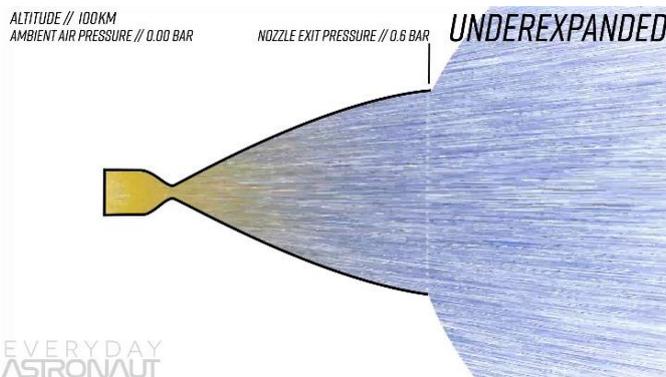


VACUUM MERLIN 1D



Se l'ugello è troppo piccolo per l'altitudine, si definisce sottoespanso e puoi vedere lo scarico allargarsi immediatamente non appena esce dall'ugello. Se il gas di scarico si allontana ai lati del razzo, quell'energia viene letteralmente sprecata mentre esce fuori dai lati. **Si vuole che lo scarico viaggi il più dritto possibile.**

Si può facilmente vedere che mentre il razzo sale in quota, il pennacchio di scarico del motore diventa sempre più ampio.



Y

La versione a livello del mare con il suo ugello è abbastanza piccola da consentire a SpaceX di inserirne 9 di essi intorno al Falcon 9. largo 3,7 metri. Ma il secondo stadio ha un solo motore perché la campana dell'ugello nella versione ottimizzata per il vuoto è larga circa 3 metri! Guarda quanto entra precisamente all'interno dell'interstage del Falcon 9. Si capisce facilmente per quale altitudine è ottimizzato l'ugello guardando lo scarico che esce dall'ugello. Un ugello che si adatta perfettamente all'atmosfera avrà il gas di scarico uscire dritto in un pennacchio perfettamente espanso. (sotto un banco prova SpaceX).



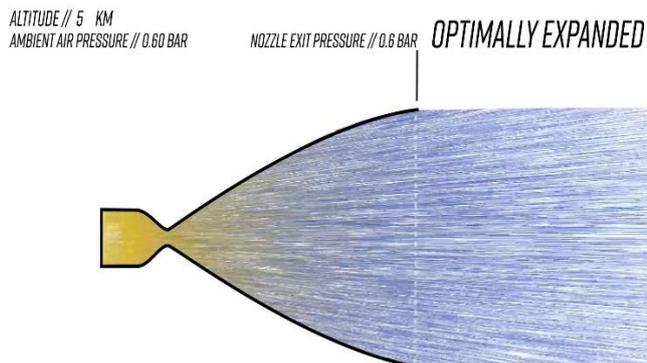
A livello del mare, gli ugelli sono praticamente sempre troppo grandi e questo si chiama sovra espansione. **Puoi dire quando l'ugello di un razzo è sovraespanso perché lo scarico esce più stretto dall'aria esterna** quando esce dall'ugello e formerà persino onde d'urto note come **dischi di mach** quando la pressione cresce e quindi si espande.



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43° - Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

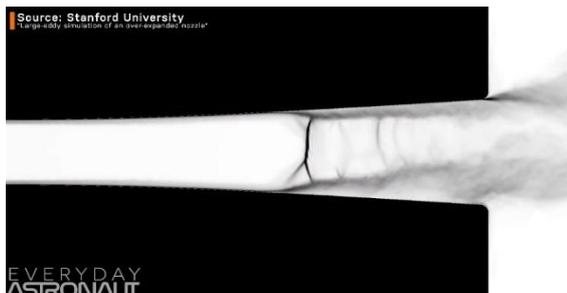
Quindi potresti pensare, perché non si usano solo ugelli ottimizzati per il vuoto anche a livello del mare? Dopotutto i razzi trascorrono solo i loro primi secondi a livello del mare, la pressione dell'aria dimezza a solo circa 5.000 metri e la maggior parte del tempo viene trascorsa nel vuoto dello spazio.



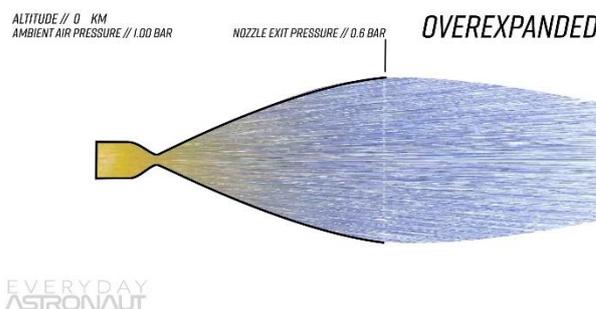
Ma ricorda, più la pressione di uscita dell'ugello è lontana dalla pressione ambientale, meno il motore è efficiente. **Quindi un motore adatto a livello del mare, nel vuoto è inefficiente, viceversa un motore adatto al vuoto, al livello del mare è inefficiente.** Ma in realtà c'è un altro motivo ancora più importante per cui di solito non è possibile utilizzare a livello del mare un motore con l'ugello ottimizzato per il vuoto.

**Il motivo è che probabilmente l'ugello si romperà a causa di qualcosa chiamato separazione del flusso.**

In tal caso l'aria ambiente che si oppone al flusso dello scarico si arrampica nell'ugello così tanto che può creare onde d'urto e improvvisi picchi di pressione chiamati separazione del flusso che molto probabilmente danneggeranno l'ugello. Un ugello può essere sovraespanso solo del 40% prima di avere separazione del flusso. (un ugello è sovraespanso del 40% quando la pressione all'interno dell'ugello è inferiore a quella atmosferica del 40%)



Questo, a meno che non si guardino i motori principali dello Space Shuttle, l'RS-25 dove hanno usato un trucco: hanno ridotto l'angolo delle pareti degli ugelli in modo da renderli sovraespansi di circa il 14% senza separazione del flusso. **Ciò li ha resi più efficienti per tutta la salita di 8 minuti e mezzo poiché funzionano dal livello del mare all'orbita.** E considerando quanto poco tempo viene trascorso a livello del mare, massimizzare il design degli ugelli per il vuoto dello spazio è stato sicuramente una buona cosa.



E' strano pensare che l'aria a livello del mare possa essere ad una pressione più elevata e comprimere i gas di scarico di un razzo. Ma la pressione sulla punta dell'ugello è in realtà piuttosto bassa perché si sta muovendo molto molto velocemente.

Ma anche se hai un enorme ugello ottimizzato per il vuoto come quello del Merlin 1D, è ancora troppo piccolo per il vuoto dello spazio. Se dovessimo realizzarlo ottimizzato per la pressione del vuoto ambientale, l'ugello dovrebbe essere infinitamente lungo ... e dal momento che non sarebbe molto leggero né piccolo, gli ingegneri trovano il compromesso tra ingombro, massa e prestazione.

Il termine per quanto è grande la strozzatura della camera di combustione rispetto all'uscita della campana è definito **rapporto di espansione**. Questo è il rapporto tra l'area della strozzatura e l'area all'uscita dell'ugello.

Ancora una volta, per facilità di riferimento, diamo un'occhiata al motore Merlin di SpaceX che ha lo stesso diametro della camera di combustione e della strozzatura, ma con campane diverse. Un merlin a livello del mare ha un ugello largo 0,91 metri (36 pollici) mentre il motore Merlin Vacuum ha un ugello largo 2,89 metri (114"). Poiché entrambi i motori hanno la stessa strozzatura di 226 mm (8,9 ") , ciò significa che il Merlin ottimizzato per il livello del



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43° - Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

mare ha un rapporto di espansione di 16: 1 mentre il motore Merlin Vacuum ha un rapporto di espansione di 164: 1.

## SEA LEVEL MERLIN 1D

0.91M NOZZLE DIAMETER  
0.65M<sup>2</sup> NOZZLE AREA

## VACUUM MERLIN 1D

0.226M THROAT DIAMETER  
0.04M<sup>2</sup> THROAT AREA

2.89M NOZZLE DIAMETER  
6.55M<sup>2</sup> NOZZLE AREA

16:1

164:1

EVERYDAY  
ASTRONAUT

Credo che tendiamo a guardare l'ugello di un motore a razzo e più questo è grande più pensiamo che sia potente ... quando davvero, stiamo vedendo il pezzo più insignificante del motore. È un dato di fatto, a molti razzi che vediamo mentre navighiamo in internet mancano i motori o le turbopompe ed hanno solo finti ugelli. Quindi quando senti qualcuno dire "dai un'occhiata a questi enormi motori!" puoi aggiustarti gli occhiali e dire "la dimensione finale dell'ugello ha solo a che fare con il rapporto di espansione del motore e non corrisponde necessariamente alla potenza del motore "

È un po' come indicare le ruote di un'auto e dire "Guarda quel motore!" Perché proprio come il modo in cui le ruote di un'auto trasmettono l'energia del motore alla strada, l'ugello converte l'energia del motore a razzo nella spinta utile.

## COME FUNZIONANO GLI AEROSPIKE

Ok, quindi non si può accendere a livello del mare un motore ottimizzato per il vuoto... e questo, è dove entrano in gioco gli aerospike. L'idea dietro gli aerospike è che fai creare alla pressione dell'aria le pareti contenenti il flusso dello scarico quindi il motore è sempre in condizioni quasi ideali a qualsiasi altitudine. E non solo non distruggerai il tuo motore accendendolo a livello del mare, ma in realtà funzionerà abbastanza bene!

E di nuovo, so che non sembra, perché è quello a cui siamo abituati, ma a livello del mare c'è davvero tanta aria intorno a noi. E non ti rendi davvero conto di quanta forza eserciti fino a

quando non rimuovi l'aria da qualcosa e vedi quanta forza può effettivamente applicare l'atmosfera.



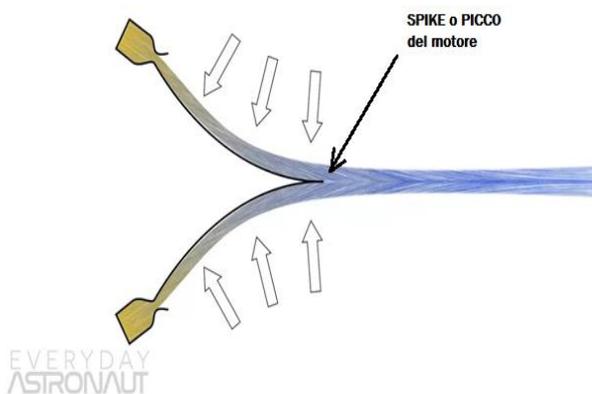
Quindi, con un aerospike, la strozzatura della camera di combustione o delle camere punta il gas di scarico su quella che è essenzialmente solo una fetta di una campana tradizionale.

Quando il motore è a livello del mare, l'aria ambiente a pressione più elevata spinge lo scarico a pressione inferiore contro la parete. Invece della dell'aria che cerca di entrare nello scarico allontanandola dalla parete dell'ugello, la pressione ambiente spinge lo scarico ulteriormente verso la parete dell'ugello, il che rende la separazione del flusso fisicamente impossibile.

Mentre il veicolo sale, la pressione ambientale diminuisce e così pure la pressione sul flusso di scarico. Questo essenzialmente fa spostare "il muro" che trattiene lo scarico, cambiando il suo rapporto di espansione con l'altitudine.

Quindi, l'aria (o la sua mancanza), plasma la forma della parete esterna degli aerospike e, a causa

AMBIENT AIR PRESSURE // 0.65 BAR





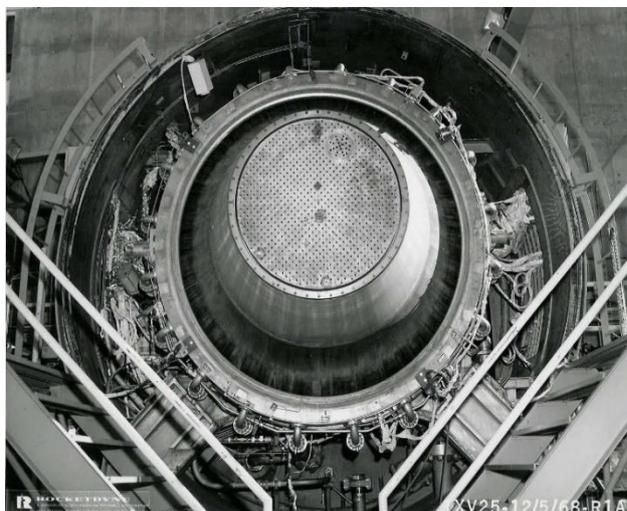
# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43° - Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

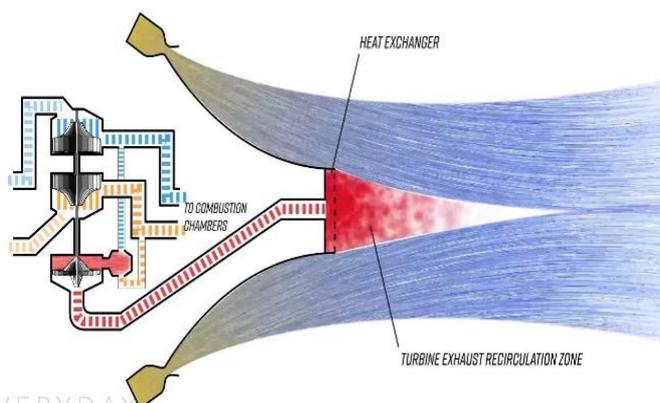
dell'atmosfera sempre più rarefatta all'aumentare dell'altitudine del razzo, l'ugello virtuale cresce effettivamente con l'altitudine.

Ma c'è ancora un rapporto di espansione per i motori aerospike. Questo si basa su quanto è lunga la parete esterna del motore. Lo scarico deve formarsi contro la parete esterna del motore e una volta finita (nel punto denominato picco o spike), lo scarico si espanderà oltre esso nel vuoto proprio come una campana tradizionale.

La maggior parte dei concetti di aerospike ha una base piatta nella parte inferiore o un picco troncato, che prende lo scarico della turbina e lo fa passare attraverso uno scambiatore di calore e che crea una zona di pressione sulla scia del razzo che in realtà aggiunge un po' di spinta aggiuntiva in altitudini più elevate, aiutando ulteriormente dove c'è più bisogno.



*Rocketdyne J-2T 250K Toroidal Aerospike*



EVERYDAY  
ASTRONAUT

Per realizzare un motore aerospike, è necessaria una camera di combustione di forma diversa rispetto a una tradizionale o a più camere che formano la forma unica necessaria per realizzare un aerospike. Esistono due tipi principali di aerospike:

**C'è l'aerospike toroidale e l'aerospike lineare.**

Con l'aerospike toroidale, la camera di combustione è come una ciambella e la strozzatura è un'apertura che punta verso l'interno attraverso lo spike o picco.

Un aerospike lineare ha file di camere di combustione che puntano tutte su una rampa a forma di cuneo più piatta e hanno almeno due lati e lo scarico finisce per incontrarsi sulla punta.



EVERYDAY  
ASTRONAUT



EVERYDAY  
ASTRONAUT

*Motore XRS-2200 Linear Aerospike presso l'Infinity Science Center nel Mississippi*

La maggior parte dei razzi che utilizzano un motore aerospike sono progettati a singolo stadio dalla partenza fino all'orbita senza eventi di separazione. Ora ho già fatto un articolo sul perché gli SSTO (Single



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43°- Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

Stage To Orbit) fanno schifo. Mi spiego meglio: sono fichissimi e forse un giorno li avremo, ma la fisica impone semplicemente che con più stadi si possono creare razzi più efficienti.

**Dopotutto, se l'obiettivo primario è il riutilizzo, non sottoporre l'intero veicolo alle forze di rientro è un buon punto di partenza, ecco perché stiamo vedendo concetti completamente riutilizzabili come StarShip di SpaceX essere ENORMI veicoli multistadio.**

Ma un aerospike è un ottimo modo per fare un singolo stadio dalla partenza all'orbita, poiché puoi essenzialmente utilizzare un motore ottimizzato per il vuoto a livello del mare e non solo non esploderà, ma funzionerà anche a livello del mare come un motore a razzo ottimizzato a livello del mare.

Secondo la matematica, un aerospike funzionante può quasi raddoppiare la capacità di carico utile di un SSTO rispetto a un buon motore tradizionale con ugello, ma ne parleremo più avanti quando vedremo se un aerospike è davvero l'opzione migliore anche per gli SSTO .

## I PROBLEMI CON GLI AEROSPIKE

Ok, quindi (a parte gli SSTO) in generale, se gli aerospike sono così fantastici, perché non vengono utilizzati su tutti i missili? Soprattutto nelle prime fasi in cui il veicolo passa dal livello del mare al vuoto dello spazio.

Bene, ci sono due problemi principali che affliggono gli aerospike: **peso** e **calore**. Cominciamo con il calore perché in realtà è forse il problema più grande e contribuisce a prestazioni non ideali e per risolverlo richiede peso aggiuntivo.

Proprio così: nonostante sembri che ci sia meno da raffreddare, un motore aerospike in realtà passa ogni terribile momento cercando di raffreddarsi in modo da non esplodere ed autodistruggersi.

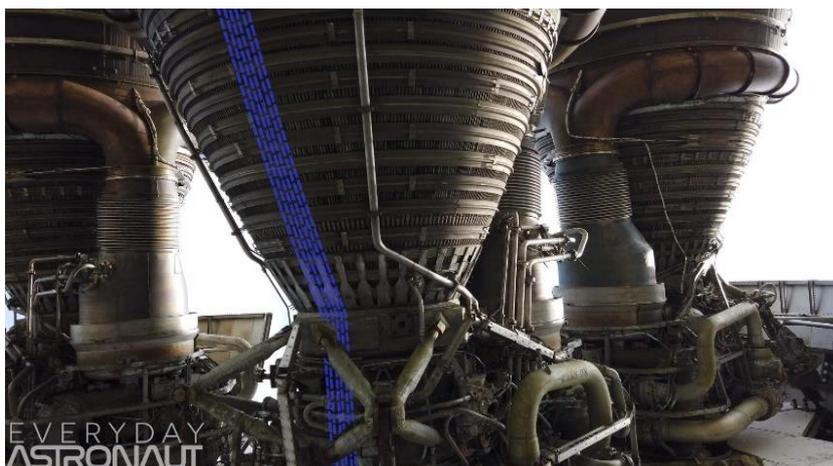
Dopotutto, quello che fa il motore di un razzo è cercare di produrre gas di scarico più caldi e ad alta pressione possibile e farli muovere tutti in una stessa direzione senza far fondere il motore, anzi cercando di contenerli e dirigerli.

E un motore che si fonde, beh, significa che non hai più un motore. E non appena il tuo razzo non ha più un motore funzionante, tende a ricadere sulla Terra in fretta.



Il modo principale in cui la maggior parte dei motori a razzo alimentati a liquido si raffredda è attraverso un processo noto come raffreddamento rigenerativo.

Qui è dove il carburante liquido viene effettivamente convogliato attraverso le pareti della camera di combustione e di solito anche verso la maggior parte dell'ugello per raffreddarli.



Ci sono anche altri trucchi che i motori a razzo fanno per evitare di sciogliersi. C'è il raffreddamento con carburante o gas di scarico, il raffreddamento ablativo e persino il raffreddamento radiativo.

Associazione Culturale "Il C.O.S.MO." (Circolo di Osservazione Scientifico-tecnologica di Modena); C.F.:94144450361 **pag: 10 di 27**

Questa rivista, le copie arretrate, i suoi articoli e le sue rubriche, non possono essere duplicati e commercializzati. È vietata ogni forma di riproduzione, anche parziale, senza l'autorizzazione scritta del circolo "Il C.O.S.Mo". La loro diffusione all'esterno del circolo è vietata.

Può essere utilizzata solo dai soci per scopi didattici. - **Costo:** Gratuito sul WEB per i soci - **Arretrati:** Disponibili e gratuiti sul WEB per i soci.



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43° - Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

Il raffreddamento ablativo, come gli scudi termici, è quando permetti ad alcune parti di sublimare o staccarsi e, nel farlo, questi pezzi portano via il calore con loro.

Un buon esempio di ciò è il motore RS-68 che alimenta il Delta IV Heavy dell'ULA (*foto sotto*) e che alimentava l'ormai ritirato Delta IV. Sebbene funzioni con idrogeno liquido proprio come lo space shuttle, il suo scarico non è chiaro come lo scarico principale del motore dello space shuttle. Ha invece questo bagliore arancione che viene dall'ugello composito che utilizzava la grafite per ablastarsi, portando via calore con esso. Questo è un po' meno comune nei moderni motori a razzo alimentati a liquido, e ovviamente non è una buona scelta se prevedi di riutilizzare il tuo motore poiché probabilmente se ne sarebbe già staccata la maggior parte durante il primo



volo.

Il raffreddamento a strato sottile o "film" può essere fatto o iniettando carburante aggiuntivo all'interno della camera di combustione lungo le pareti per mantenere quelle aree più fredde, o pompando gas di scarico più freddo verso il basso lungo l'ugello o entrambi. Abbiamo già toccato lo scarico del generatore di gas nel mio articolo sui motori raptor: lo scarico di un generatore di gas o di un pre-bruciatore è relativamente freddo poiché deve avere una temperatura sufficientemente bassa per non sciogliere e distruggere la turbina.

Questo gas di scarico più freddo aiuta l'ugello, o di solito l'estensione dell'ugello, a contatto con un gas più



freddo di quanto sarebbe se fosse a diretto contatto con lo scarico della camera di combustione principale. Si può vedere sul motore F-1 che alimentava il Saturn V e il motore Merlin 1D ottimizzato per il vuoto. E guardando il Merlin 1D ottimizzato per il vuoto (*immagine sopra*), puoi vedere delle strisce più scure nel suo ugello in lega di niobio che è raffreddato per irraggiamento ma prende anche lo scarico del generatore di gas e lo usa per raffreddare l'ugello. Le strisce derivano da piccole alette all'interno del collettore di scarico che ne mantengono la struttura.

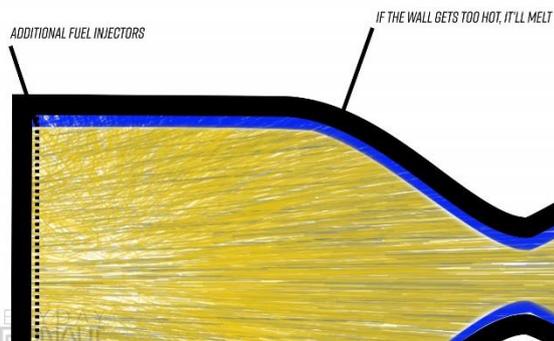
Nota a margine, pensavo che queste strisce provenissero dall'iniettore a spillo, ma ho scoperto che invece proviene dai supporti del collettore di scarico che interagiscono con il raffreddamento a "film".

L'altro modo per mantenere fresche l'ugello e le pareti della camera di combustione è avere iniettori di carburante aggiuntivi lungo tutto il perimetro della piastra dell'iniettore. La piastra dell'iniettore è generalmente l'intera parte superiore della camera di combustione ed è dove il carburante e l'ossidante si mescolano, si spera davvero bene, e dove si verifica la combustione primaria. Presto farò un approfondimento sugli iniettori, ma per ora, so solo in generale che si mescolano a una quantità predeterminata di combustibile e ossidante che bilancia prestazioni e calore. Più lontano il combustibile e l'ossidante sono dal loro rapporto ideale, più fredda sarà la combustione.

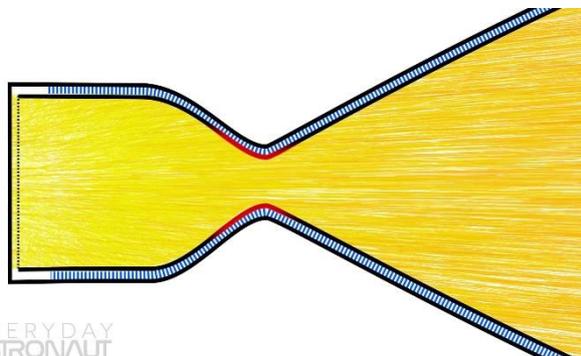


# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43° - Anno11 – N° 4 - 1/12/2019



Poiché l'ossigeno è una molecola più pesante rispetto alla maggior parte dei carburanti e non può essere accelerato tanto rapidamente quanto una molecola del carburante che di solito è più leggera, si arricchisce di carburante il motore quando si devono abbassare le temperature di scarico. E per raffreddare localmente il perimetro esterno di una camera di combustione in cui lo scarico viene a contatto con le pareti della camera, è possibile aggiungere iniettori di carburante in modo che ci sia uno strato di scarico più ricco di carburante a contatto con i muri.



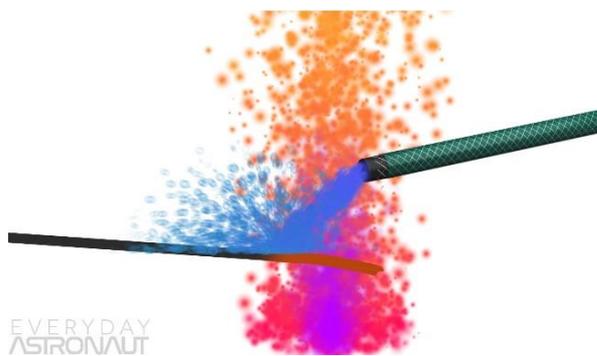
EVERYDAY  
ASTRONAUT

La parte più problematica di un motore a razzo è la strozzatura. Questo è il punto nel quale la temperatura dello scarico è la più alta e dunque la quantità di calore assorbita dalla parete dell'ugello deve essere la più alta. Fortunatamente, questo scarico ad alta temperatura viene a contatto solo con una piccola quantità di superficie e con una quantità finita di combustibile freddo pompato attraverso le pareti. Avere solo una piccola area a contatto con il gas di scarico caldo è una buona cosa.

Questo è il contrario rispetto a ciò che normalmente tendiamo ad affrontare nella vita. Se vuoi rinfrescare qualcosa, normalmente vuoi che una grande superficie

irradi molto calore come fa un radiatore su un'auto, ma non è quello che sta succedendo qui, dove abbiamo una fonte di calore che scioglierà tutto ciò che tocca.

E' come se avessi acceso un fuoco rovente e hai un tubo per innaffiare per cercare di evitare che le cose nel fuoco si sciolgano. Se infili un pochino un'asta di metallo nel fuoco, il tubo probabilmente riuscirà ad evitare che l'asta si sciogla, ma quando si infila sempre più quell'asta nel fuoco, alla fine il tubo per innaffiare non sarà in grado di impedire all'asta di metallo di sciogliersi.

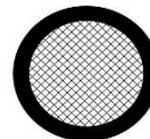


EVERYDAY  
ASTRONAUT

Qui è dove un motore più grande ha un grande vantaggio rispetto a un motore piccolo.

**Il volume di un motore, e quindi la quantità di propellente al secondo che viene bruciata nel motore, sale come il cubo del raggio del motore, ma la superficie che deve essere raffreddata sale solo dal raggio al quadrato, quindi i motori a razzo più grandi hanno molto più propellente a disposizione per raffreddare solo un po' più di superficie.**

50MM	THROAT DIAMETER	100MM
1963MM <sup>2</sup>	THROAT AREA	7854MM <sup>2</sup>
157MM	THROAT CIRCUMFERENCE	314MM



Facciamo alcuni esempi qui, diciamo che se un motore ha il diametro della strozzatura di 50 mm e uno ha una strozzatura di 100 mm. Il motore con una strozzatura di 50 mm di diametro avrà un'area di 1.963 mm<sup>2</sup> ed una



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43°- Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

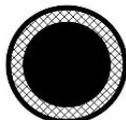
circonferenza di 157 mm. Il motore con una strozzatura di 100 mm di diametro avrà un'area di 7.854 mm<sup>2</sup> e una circonferenza di soli 314 mm. **In altre parole, nel motore con la strozzatura da 100 mm potrebbe fluire 4 volte più gas di scarico pur avendo bisogno di raffreddare solo il doppio della superficie.**

Ma aspetta, la superficie da raffreddare è doppia nel motore più grande, giusto? ... Ma indovina un po', se scorre quattro volte più gas di scarico attraverso la strozzatura, significa anche che stai utilizzando quattro volte più carburante come refrigerante proprio in quelle aree più critiche. Quindi, davvero, in un certo senso c'è il doppio del carburante rispetto al refrigerante per raffreddare una determinata area quando raddoppi il diametro della strozzatura. È una buona cosa. Quindi un motore più grande diventa effettivamente sempre più facile da raffreddare.

Naturalmente iniziano a presentarsi altri problemi, come l'instabilità della combustione, ma in generale un motore più grande è più facile da raffreddare.

E proprio qui c'è il problema più grande con gli aerospike. In base alla progettazione, la strozzatura della loro camera di combustione ha una superficie sostanzialmente maggiore da raffreddare. Per un aerospike toroidale, **la sua camera di combustione ha fondamentalmente un tappo gigante nel mezzo che aumenta notevolmente la superficie di ciò che deve essere raffreddato.**

100MM	THROAT DIAMETER	141MM OD // 100MM ID
7854MM <sup>2</sup>	THROAT AREA	7854MM <sup>2</sup>
314MM	THROAT CIRCUMFERENCE	314MM +444MM 758MM



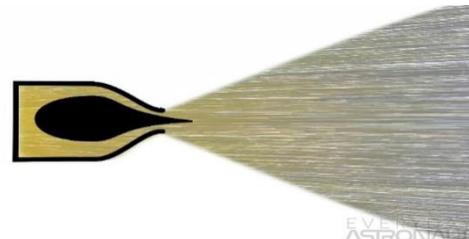
Facciamo alcuni semplici calcoli basati sugli stessi numeri di prima. Facciamo finta che stiamo cercando di mantenere la stessa area della strozzatura di 7.854 millimetri quadrati che avevamo con quella strozzatura di 100 mm di diametro. Bene, per ottenere quella stessa area della strozzatura, dovremmo avere una strozzatura

del diametro esterno di 141 mm e quindi un tappo del diametro interno di 100 mm.

Ciò significa che ora abbiamo più che raddoppiato la quantità di superficie che dobbiamo raffreddare. Siamo passati dall'aver una circonferenza di 314 mm a una circonferenza di entrambi 314 mm più 444 mm aggiuntivi per il diametro esterno per un totale di 758 mm.

Questi numeri sono un po' arbitrari, ma una cosa che non puoi superare è il fatto che stai almeno raddoppiando la superficie nel punto esatto in cui è più difficile raffreddare il motore.

A dire la verità, gli ingegneri spesso non sospendono una punta nel mezzo di una normale camera di combustione, è più comune creare un anello per una camera di combustione, ma nonostante ciò, un anello ha pur sempre un diametro interno e un diametro esterno da raffreddare.



Il J-2T era in realtà un esempio perfetto di questo. Venne presa la turbomacchina dal motore J-2 e fu messa all'interno di uno "spike" di forma toroidale. Ma guardando la foto del J-2 a fianco del J-2T si può dire quanto sia sostanzialmente più grande la strozzatura. Ora abbiamo DUE gole di diametro più grande solo per creare la stessa area della strozzatura presente nel J-2. Facendo i calcoli risulta essere quasi 15 volte più difficile raffreddare il J-2T piuttosto che raffreddare un J-2 standard. Questo non è certo banale.

ROCKETDYNE J-2

ROCKETDYNE J-2T





# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43°- Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

E devi rimuovere quel calore in qualche modo. Se il raffreddamento rigenerativo attraverso le pareti non è sufficiente, devi aggiungere un raffreddamento a "film", cambiare il rapporto di combustione per raffreddare tutta la combustione o forse usare metalli più pesanti o più costosi con punti di fusione più alti e tutti questi aspetti vanno a scapito delle prestazioni. Sebbene stiamo ancora effettuando ricerche sulla dinamica di combustione dei motori aerospike, finora sembrano essere meno efficienti di alcuni punti percentuali nel bruciare il propellente nelle camere di combustione, sprecando un po' di energia chimica del propellente. È possibile che ciò possa essere risolto con più esperimenti, ma potrebbe essere dovuto interamente ad alcuni dei numerosi compromessi richiesti per far funzionare effettivamente gli aerospike, punto.

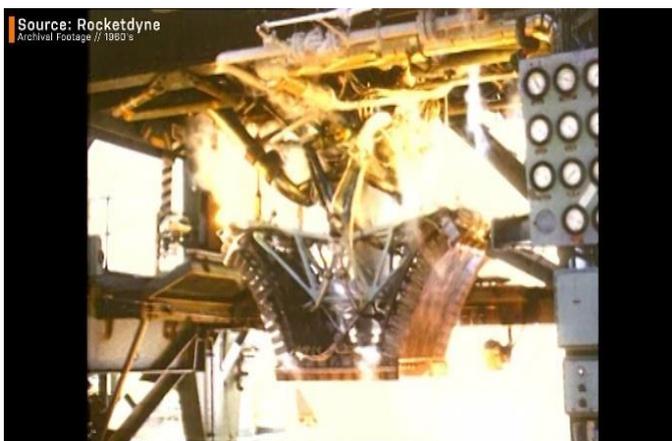
L'altro fattore limitante per gli aerospike è il **peso**. In generale, sembra che **gli aerospike facciano molto più fatica a raggiungere un elevato rapporto spinta / peso rispetto alle loro controparti con ugelli a campana**. Ciò è dovuto principalmente alla maggiore quantità di superficie della o delle camere di combustione, all'impianto idraulico aggiuntivo per alimentare tutte le camere, al supporto ed alle strutture aggiuntive tra gli spike.



Guardando l'XRS-2200 (*immagine sopra*) si vede quanta roba c'è tra le rampe. Sembra che ci sia meno ugello, ma c'è davvero di più di tutto il resto. E immagina se c'è una perdita in uno di questi tubi o valvole. C'è un sostanziale maggior numero di punti di guasto su un motore come questo. O se hai una perdita di idrogeno, che è comune perché l'idrogeno è difficile da contenere, immagina di provare a rintracciare la

fonte della perdita in un motore come questo ... sì: c'è un sacco di hardware aggiuntivo.

Ma il peso è estremamente importante con i razzi e il rapporto spinta / peso è una metrica molto importante nei motori a razzo. **Dopotutto, il peso extra influisce direttamente sulla capacità di carico utile e sulle prestazioni generali del razzo, quindi i motori leggeri e potenti sono sempre un buon metro di paragone.**



Un'altra cosa che può essere difficile da fare con gli aerospike è un supporto cardanico (*gimbal*) per dare direzionalità alla spinta. A causa dei grandi punti di attacco al veicolo, può essere poco pratico provare a spostare l'intero "spike" con il controllo della spinta dei motori. Tuttavia, una cosa buona è che uno spike attaccato ad un supporto cardanico non supererà mai il suo perimetro, a differenza di un ugello che può toccare i motori vicini. **Una soluzione comune per dirigere la spinta è quella di strozzare le singole camere in modo che la spinta differenziale, indurrà il passo o l'imbardata al veicolo.** Sebbene non sia efficace quanto spostare la direzione dell'intero motore, è un'opzione praticabile.

Per dare direzionalità al razzo, l'aerospike lineare RS-2200 avrebbe utilizzato sia il movimento del motore sia la spinta differenziale sui vari motori. Per beccheggio e rollio modificava l'inclinazione del motore e per il controllo dell'imbardata avrebbe strozzato le singole camere fino al 18%.

L'ultimo grosso problema con gli aerospike è in realtà la mancanza di dati di volo REALI. Ora, sebbene questa sembri una soluzione semplice o una



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43° - Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

presentazione perfetta per il segmento "Why Don't They Just" sul "Our Ludicrous Future Podcast" di cui sono il conduttore... intendo, **perché non lo fanno?**

La cosa che non è stata mai provata è ciò che accade con gli aerospike tra velocità supersoniche o superiori a mach uno, fino a velocità ipersoniche pari a mach cinque. Questa è una cosa non banale.

Ma un esperimento davvero interessante è stato l'esperimento LASRE che stava prendendo un modellino in scala della coda X-33 e del motore aerospike, mettendolo su un SR-71 per provare a farlo volare a velocità supersoniche. In realtà c'erano sette voli di ricerca con l'esperimento LASRE su un SR-71 e sebbene non avessero mai effettivamente acceso il motore, hanno eseguito test di accensione a freddo dei motori a Mach 1,58 ed accensioni a terra che hanno fornito tutte le informazioni necessarie per andare avanti.



Ora non mi interessa quello che pensi, ma un terrificante motore aerospike su una SR-71 sarebbe stata una cosa fichissima. Ma indipendentemente da quanto sia bello, il motore aerospike manca ancora di dati di volo reali in questi regimi supersonici e ipersonici e praticamente non ci sono dati su velivoli in scala 1:1...

## CONFRONTO TRA MOTORI AEROSPIKE E MOTORI CON UGELLO A CAMPANA

Ok, penso che sia il momento di confrontare effettivamente alcuni aerospike contro i motori più tradizionali e vedere come si comportano.

Cominciamo quindi con la nostra gamma di motori a campana tradizionali.

*(vedi tabella nella pagina successiva)*

Iniziamo dal J2 originale, poi passiamo al J-2s (concepito per sostituire il motore J-2), quindi vedremo il motore principale dello Space Shuttle (l'RS-25) ed il motore Raptor di SpaceX. Il motivo per cui ho scelto questi motori è che hanno molti dati e: o sono alternative all'aerospike, o sono alla base della progettazione degli aerospike e / o sono considerati i migliori motori mai realizzati. In questo modo disponiamo di una varietà di motori con cui potremo confrontare gli aerospike. Ognuno di questi funziona nel vuoto dello spazio o, nel caso dell'RS-25 e del motore Raptor, funzionano sia nello spazio che al livello del mare (come un aerospike).

Per gli aerospike, abbiamo solo tre motori che sono riusciti a superare un legittimo programma di certificazione e test, ma solo due su cui ho un buon numero di dati ed uno che sarebbe forse stato il re degli aerospike. Quindi i motori con il maggior numero di dati sono l'aerospike toroidale J-2T-250K e l'XRS-2200. Confrontando questi con il J-2S su cui era basato, dovremmo avere una buona idea delle sue prestazioni. L'altro aerospike che vedremo è l'RS-2200, che era il motore che avrebbe effettivamente alimentato la Venturestar.

Tutti i numeri dell'RS-2200 hanno un grande asterisco accanto perché questo motore non ha mai raggiunto la fase di test operativo e ci si è basati su molte tecnologie innovative e non verificate per ottenere questi numeri, come una rampa leggera in carbonio e tubi in ceramica.

Quindi i numeri citati qui sono ciò che avrebbero dovuto raggiungere l'aerospike per far funzionare Venturestar e, a dire il vero, creare un motore per raggiungere degli obiettivi predeterminati può essere molto difficile.

Penso che sia divertente confrontare tutti questi con il motore Raptor poiché è il re dei motori a razzo. Ma i numeri sul Raptor sono solo i numeri attuali e, proprio come il motore Merlin, ci aspettiamo di vedere SpaceX continuare a spingere questo motore e svilupparlo oltre questi numeri nel prossimo futuro.



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale “Il C.O.S.Mo” - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net)”- Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43°- Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

EVERYDAY  
ASTRONAUT



	J-2	J-2S	J-2T (250K)	XRS-2200	RS-2200	RS-25	Raptor
<b>Fuel Type</b>	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen	Methane
<b>Cycle</b>	Open	Open (Tap-Off)	Open	Open	Open	Closed (Fuel Rich)	Closed (Full Flow)
<b>Thrust</b> <i>(Sea Level and Vacuum)</i>	486 kN sl 1,033 kN vac	N/A sl 1,138 kN vac	731 kN sl 1,112 kN vac	909 kN sl 1,184 kN vac	*1,917 kN sl *2,201 kN vac	1,859 kN sl 2,278 kN vac	1,960 kN sl 2,150 kN vac
<b>Specific Impulse</b> <i>(Sea Level and Vacuum)</i>	200s sl 424s vac	N/A sl 436s vac	290s sl 441s vac	339s sl 436s vac	*347s sl *455s vac	363s sl 453s vac	330s sl 355s vac
<b>Expansion Ratio</b>	27 : 1	40 : 1	80 : 1	58 : 1	173 : 1	69 : 1	35 : 1
<b>TWR</b> <i>(Thrust to Weight Ratio)</i>	73 : 1	69 : 1	63 : 1	35 : 1	*83 : 1	73 : 1	107 : 1

Vorrei anche sottolineare nell'immagine sopra i motori sono rappresentati tutti sulla stessa scala quindi è possibile paragonare gli ingombri!

Iniziamo con il carburante di ciascun motore. Ogni motore che funziona con idrogeno liquido e ossigeno liquido è noto come hydrolox. Tutti usano idrogeno e ossigeno tranne il motore Raptor che funziona con metano liquido e ossigeno liquido o methalox. Volevo che la maggior parte dei motori fosse hydrolox, per confrontare mele con mele, ma è comunque divertente confrontarli con il Raptor che brucia methalox.

Ora diamo un'occhiata ai loro cicli. Il motore Raptor ha un ciclo di combustione chiuso di tipo “full flow”. L'unico ciclo di cui non ho parlato è quello del J-2S nel quale si utilizza effettivamente la camera di combustione primaria per alimentare la turbina. con lo scopo di semplificare il motore e ridurre i costi poiché si elimina il pre-bruciatore ed il generatore di gas.

Il J-2, J-2T-250K, XRS-2200 e RS-2200 utilizzano tutti un generatore di gas. L'RS-25 è a ciclo chiuso, ricco di carburante, e il motore Raptor è, ovviamente, ciclo di combustione “full flow staged”.

Ora diamo un'occhiata alla loro potenza di spinta. La misureremo sia al livello del mare che nel vuoto ed è espressa in kiloNewton. Il J-2 produceva 486 kN a

livello del mare e 1.033 kN nel vuoto, il J-2S non poteva effettivamente funzionare a livello del mare e nello spazio produceva 1.138 kN. Il J-2T-250K produceva 731 kN a livello del mare e 1.112 kN nello spazio, l'XRS-2200 sviluppava 909 kN a livello del mare e 1.184 kN nello spazio, RS-2200 avrebbe dovuto produrre 1.917 kN a livello del mare e 2.201 kN nello spazio, mentre l'RS-25 produce 1.859 kN a livello del mare e 2.278 kN nello spazio. Il motore Raptor produce 1.813 kN a livello del mare e ~ 2.000 kN nello spazio.

Ora diamo un'occhiata alla loro efficienza misurata in secondi, anche detto impulso specifico. Il modo migliore per pensare a un impulso specifico è immaginare di avere un kg di propellente, quindi misurare per quanti secondi il motore può spingere con 9,81 newton di forza. Più a lungo continua a spingere con tale forza, maggiore è il suo impulso specifico e quindi più lavoro può fare con la stessa quantità di carburante. **Quindi maggiore è l'impulso specifico, minore è il carburante necessario per fare la stessa quantità di lavoro**, il che è una buona cosa. Un motore a basso consumo è estremamente importante!

Il J-2 faceva 200 secondi al livello del mare e 424 nello spazio, il J-2S non poteva funzionare al livello del mare ed era a 436 secondi nello spazio, il J-2T era a 290 sec al livello del mare e 441 nello spazio, l'XRS-2200 era 339s a livello del mare e 436s nello spazio, la



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43° - Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

RS-2200 era progettata per avere 347s a livello del mare e 455s nello spazio, la RS-25 faceva 363s a livello del mare e 453s nello spazio e il motore Raptor si attesta a 330s a livello del mare e 350s nello spazio.

Ora, come abbiamo detto, un fattore enorme nell'impulso specifico di un motore è il rapporto di espansione. Quindi vediamo se esiste una forte correlazione tra i rapporti di espansione ed il loro impulso specifico. Il J-2 era 27:1, il J-2S era 40:1, il J-2T era 80:1, l'XRS-2200 era a 58:1, l'RS-2200 avrebbe avuto un incredibile 173:1, l'RS-25 ha 69:1 e il Raptor 35:1. Va notato che sebbene il J-2S abbia un rapporto di espansione più elevato, le sue dimensioni sembrano quasi identiche al J-2.

Questo perché il diametro della strozzatura è in realtà più piccolo sul J-2S rispetto al J-2 al fine di aumentare il rapporto di espansione ma anche mantenere le stesse dimensioni generali che ne renderebbero impraticabile la sostituzione.

E infine, diamo un'occhiata al loro rapporto spinta/peso. Ora qui bisogna ricordare che questi numeri potrebbero essere un po' diversi in realtà in quanto ogni società potrebbe citare il motore con diverse quantità di hardware o avere metriche diverse per questo, ma in generale, possiamo usare questi numeri come abbastanza indicativi.

Il J-2 era a 73: 1 e sebbene J-2S fosse più semplice senza pre-bruciatore, era un po' più pesante, probabilmente a causa del suo ugello più grande e aveva un 69: 1. Il J-2T era a 63: 1, l'XRS-2200 era a 35: 1, l'RS-2200 aveva in programma di arrivare a 83:1, ma avrebbe dovuto arrivare almeno a 75:1 per rendere possibili le sue capacità di SSTO (Single Stage to Orbit), l'RS-25 aveva 73: 1 e il Raptor può vantare un fenomenale 107: 1.

Quindi ora che abbiamo tutti questi numeri, possiamo davvero vedere come gli aerospike si confrontano con i motori più tradizionali. In generale, il J-2T e l'XRS-2200 dovrebbero essere confrontati con il J-2S poiché era proprio quello che doveva sostituire il J-2.

Quando lo facciamo, possiamo sicuramente vedere perché entrambi questi motori erano vantaggiosi. Offrono grandi prestazioni nel vuoto e possono ancora essere utilizzati a livello del mare, cosa che il J-2S non potrebbe fisicamente fare. E in questo caso, la J-2T

sembra anche essere stata una scelta migliore rispetto al J-2S per un aggiornamento del J-2 in letteralmente ogni rapporto metrico tranne la spinta / peso. Era un'opzione convincente!

E ora confrontiamo tutti questi con il motore Raptor. Possiamo vedere chiaramente che il motore Raptor con l'ugello ottimizzato per il livello del mare e ed il methalox non è così efficiente nel vuoto, **ma con un impressionante rapporto spinta/peso a livello del mare.**

**Ora, se l'RS-2200 fosse effettivamente riuscito a superare lo sviluppo e avesse davvero raggiunto tutti questi numeri, sarebbe stato un motore davvero impressionante.**

Non solo avrebbe avuto la migliore efficienza del vuoto, ma sarebbe anche riuscito a battere il rapporto spinta-peso dell'RS-25. Detto questo, ho sentito da più fonti che Lockheed aveva semplicemente scelto RS-25 per la Venturestar. Era un'opzione altrettanto convincente ed era già un motore completo rispetto alla RS-2200 che avrebbe comunque avuto un costoso sviluppo pieno di rischi.

Ma con tutto ciò in mente, penso che sia il momento di sentire veri esperti che hanno lavorato su aerospike o che hanno deciso di non usarli.

## COSA DICONO GLI ESPERTI

Alla domanda sarebbe meglio usare un RS-25 piuttosto che l'RS-2200? Sentiamo cosa ha da dire Tory Bruno, CEO di ULA che ha effettivamente lavorato sul programma X-33 e Venturestar.

*"La parte più difficile della progettazione e del funzionamento di un motore aerospike è la gestione termica. Un motore Aerospike tradizionale ha una forma conica e può davvero lottare con il riscaldamento quando lo spike si assottiglia. Il design lineare dell'Aerospike, insieme alla strategia di troncatura il cono, contribuisce notevolmente a semplificare questo problema, che comunque rimane. Tuttavia, i vantaggi termici degli AS si pagano con la necessità di utilizzare molti motori più piccoli disposti su due linee, il che aggiunge una notevole complessità*



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43°- Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

*rispetto a una configurazione conica (a volte denominata "toroidale")".*

Il problema tecnologico nel caso di AS troncato è la gestione del flusso attraverso e intorno all'estremità troncata. Di solito vogliamo far fluire del gas attraverso la superficie troncata per mantenerlo organizzato e non disturbare il flusso lungo la terminazione delle rampe, ottenendo una piccola spinta aggiuntiva alle alte altitudini.

Gli ho anche chiesto se pensava che l'RS-2200 avrebbe potuto raggiungere le performances richieste. Egli ha detto:

*"Sono sicuro che il motore avrebbe funzionato e sarebbe stato utilizzabile. La complessità di così tanti motori separati, tuttavia, avrebbe rappresentato una sfida a causa della crescita di peso ed una significativa complessità nella gestione del flusso di propellente."*

E dovevo solo chiedergli se dopo aver lavorato con gli aerospike se li amava o li odiava.

*"Li amo. Gli aerospike sono semplicemente fantastici, e gli aerospike lineari sono il tipo più cool."*

Sono d'accordo Tory! Ho anche chiesto a Elon Musk perché non ha scelto di utilizzare un motore aerospike su SpaceX ed ecco cosa ha detto:

<https://youtu.be/cIQ36Kt7UVg>

Quindi, riassumendo, il principale obiettivo di Elon è l'efficienza della combustione. Sembra che stia concentrando il suo lavoro e il suo team di ingegneri sull'efficienza di combustione rispetto al vantaggio di un ugello che si autocompensa con l'altitudine.

L'altra persona che penso abbia una grande esperienza in materia è Peter Beck, CEO e co-fondatore di Rocket Lab. Peter non solo ha costruito gli aerospike, ma ha una grande visione del perché un'azienda come Rocket Lab non li abbia utilizzati.

Ma mentre ero seduto lì a chiacchierare con Peter, mi sono reso conto che l'Electron utilizza 9 motori, e mi chiedevo se potevano fare qualcosa di simile al ruotare verso l'interno per utilizzare alcuni effetti tipici degli aerospike... ecco la sua risposta ...

"Oh, sono cose che puoi fare" Interessante ... Forse c'è davvero qualcosa!

Ma forse il miglior riassunto dell'aerospike viene da Vector Aerospace che ha lavorato su diversi motori aerospike, tra cui uno dei loro primi motori nell'aprile 2002, che è stato testato di fronte a Elon Musk e Tom Mueller di SpaceX.



Il motore purtroppo è durato solo 200 millisecondi prima di staccare il tappo di grafite dalla faccia dell'iniettore. Ma questo non era il loro ultimo tentativo.

Hanno continuato a perseguire diversi aerospike tra cui un motore aerospike a 10 camere da 1.300 lbf di spinta che ha purtroppo fallito nel test di volo del 2009.

Nel 2016 Vector ha rilasciato questa affermazione, che onestamente penso riassume perfettamente gli aerospike:

*"Sebbene i motori per aerospike possano offrire vantaggi in termini di prestazioni, il maggior numero di parti e componenti significa che sono generalmente più pesanti rispetto alle loro controparti con strozzatura a campana in termini di spinta/peso e, cosa più importante, richiedono un'affidabilità dei componenti molto elevata."*

**Il consenso generale che ho ottenuto da persone che hanno lavorato su aerospike è che non ne vale la pena.**

Non solo lo sviluppo e la ricerca sono costosi e rischiosi, ma il guadagno netto potrebbe non essere migliore di un motore a campana più convenzionale.



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43°- Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

Source: Firefly



E questo concorda quando si scopre che Firefly Aerospace aveva un motore aerospike davvero promettente noto come FRE-2, che doveva essere un aerospike toroidale alimentato a metano a 12 ugelli per alimentare la sua Firefly Alpha.

Ora piani per l'aerospike sono morti e la società sta pianificando di utilizzare anche un tradizionale ugello a campana ... Cosa sta succedendo, DOVE SONO I NOSTRI AEROSPIKE?!

Quindi quante aziende stanno attualmente lavorando su aerospike mentre parliamo?... per quanto ne so ... una. Tipo. Beh, forse due ...

ARCA ha una serie di video piuttosto intriganti chiamata "Flight of the Aerospike" e promettono di realizzare un semplice razzo aerospike SSTO a basso costo. Ma stranamente ... l'ultimo video della serie "Il volo dell'Aerospike" mostra la società che sta testando i loro nuovi sistemi usando un tradizionale ugello a campana ...



Ora voglio che questa compagnia abbia successo e voglio davvero che spacchino con il loro aerospike lineare, ma da quello che posso dire, hanno molta MOLTA strada da percorrere prima che ne riesca a volare mai uno. E sebbene la compagnia sia in circolazione da 20 anni e non abbia ancora acceso un aerospike, forse faranno qualche progresso e faranno volare un giorno qualcosa... ma sto iniziando a pensare che anche questo cadrà nella categoria del "bene, abbiamo scoperto che non ne valeva la pena".

L'altra società che starebbe lavorando su un aerospike è RocketStar, hanno piani per un razzo Starlord che userebbe un aerospike ... ma per quanto ne so, è tutto ancora sulla carta.

Gli aerospike hanno ancora delle potenzialità... giusto? La maggior parte dei concetti che abbiamo esaminato utilizzava il motore a ciclo aperto o "gas generator engines".

Non potrebbero esserci modi di migliorare gli Aerospike in modo che diventino veramente competitivi con i motori tradizionali?

## PROSPETTIVE FUTURE DI AEROSPIKE

Ci sono due idee / tecnologie piuttosto promettenti che potrebbero effettivamente aiutare gli aerospike a trovare il loro posto nella parte inferiore di un razzo orbitale. La prima è la stampa 3D.



La stampa 3D consente design avanzati che possono aiutare a creare canali di raffreddamento e camere di combustione con forme che sarebbero normalmente fisicamente impossibili da produrre. Ci sono aziende come Amaero che hanno costruito aerospike fabbricati

Associazione Culturale "Il C.O.S.MO." (Circolo di Osservazione Scientifico-tecnologica di Modena); C.F.:94144450361 pag: 19 di 27

Questa rivista, le copie arretrate, i suoi articoli e le sue rubriche, non possono essere duplicati e commercializzati. È vietata ogni forma di riproduzione, anche parziale, senza l'autorizzazione scritta del circolo "Il C.O.S.Mo". La loro diffusione all'esterno del circolo è vietata. Può essere utilizzata solo dai soci per scopi didattici. - Costo: Gratuito sul WEB per i soci - Arretrati: Disponibili e gratuiti sul WEB per i soci.



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43°- Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

con **Hasteloy X**, una superlega a base di nichel ad alta resistenza. È davvero bello vedere come possono stampare queste forme folli che sono richieste per un aerospike.

L'altro concetto, che potrebbe benissimo funzionare di pari passo con la stampa 3D, è un motore aerospike a doppio ciclo di espansione. Uno in particolare è noto come ugello aerospike a doppia espansione o DEAN . La cosa bella di DEAN è che prende il più grande problema degli aerospike, che è il calore, e lo utilizza nel ciclo di espansione.

chamber radius at the injection face. A ModelCenter rendered aerospike contour is included in Figure 7 for clarity. Note that this is the initial estimate of conical geometry used to derive relationships required by NPSS. Final geometry uses a more realistic approximation for volume and mass calculations.

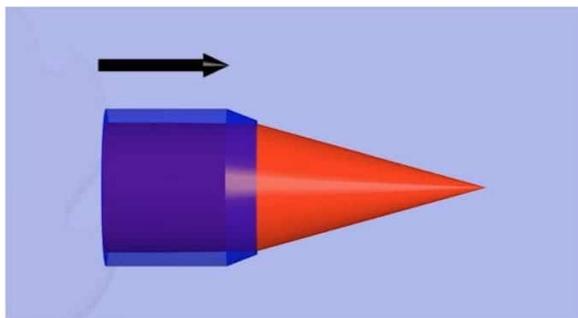


Figure 7: DEAN Conical Aerospike Contour.

In addition to the four radii that define the aerospike, the initial geometric calculations determine the volume of the chamber based on the characteristic length,  $L^*$ ,

Il ciclo di espansione è dove un motore a razzo prende il combustibile liquido che raffredda la camera, lo riscalda fino al punto di cambio di fase in combustibile gassoso caldo e quindi lo utilizza per far girare la turbina che quindi alimenterà il motore. Il problema con i cicli di espansione è in realtà l'opposto degli aerospike. Hanno un limite di potenza di spinta basato sulla quantità di combustibile liquido che un motore può effettivamente riscaldare e trasformarsi in combustibile gassoso. A causa della legge del cubo (volume) e del quadrato (superficie), alla fine si esaurisce la superficie per riscaldare il combustibile.

Il limite teorico è di circa 300 kN di spinta prima che il rapporto tra la superficie rispetto al volume di carburante arrivi al punto in cui non è più possibile alimentare adeguatamente le pompe. Ma avendo più superficie per riscaldare il carburante, come intrinsecamente ha un motore aerospike, puoi effettivamente cavartela con un motore più potente, che potrebbe essere un bel trucco per i futuri motori aerospike.

Ad oggi il concetto DEAN è esistito solo in articoli teorici riguardanti un motore con 111 kN, 383 secondi di impulso nel vuoto e un rapporto TWR di 108. Questi valori lo metterebbero alla pari con il motore Raptor.

Inoltre ancora una volta, i documenti di ricerca e l'hardware effettivo funzionante sono cose molto diverse, motivo per cui molti di questi concetti sono studiati solo nei laboratori di ricerca e spesso non vanno molto più lontano dunque per ora non sono commercialmente fattibili.

## SOMMARIO

Ok wow. Questo ha finito per essere un articolo MOLTO più lungo di quanto avrei mai immaginato. Quindi facciamo un breve riassunto.

Aerospike. Super fighi su carta, un concetto super allettante che sembra intrigare anche i più astuti ingegneri missilistici, perfetto per il tuo concetto SSTO (Single Stage To Orbit) che probabilmente prosciugherà il tuo conto bancario e ti farà invecchiare qualche decennio cercando di svilupparlo. MA ... MA ... Sono fichissimi e man mano che avanzano le scienze dei materiali, forse vedremo le aziende in grado di utilizzare e sfruttare i loro vantaggi e colmare il divario rispetto al motore con ugello a campana che ha dominato l'industria aerospaziale fino ad oggi.

Forse il motivo principale per cui generalmente non vediamo troppi aerospike al giorno d'oggi è semplice ... **Se offrissero davvero un chiaro vantaggio in termini di prestazioni, presumo che tutti li**



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43° - Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

**svilupparebbero**, ma il fatto è che in un certo senso sono comunque normali motori per razzi.

Ora potresti probabilmente dire la stessa cosa sul motore Raptor di SpaceX che utilizza un ciclo di combustione "full flow staged"... che era considerato troppo difficile perché ne valesse la pena.

E quel motore è ESTREMAMENTE complesso, incredibilmente difficile e costoso da sviluppare. MA, il fatto è che il ciclo di combustione "full flow staged" funzionerà effettivamente meglio praticamente in tutte le metriche rispetto ad altri motori a razzo, punto.

L'aerospike potrebbe ottenere alcuni vantaggi in termini di compensazione dell'altitudine, ma manca di vantaggi in altre aree il che lo riporta alla pari con i motori tradizionali a ugello.

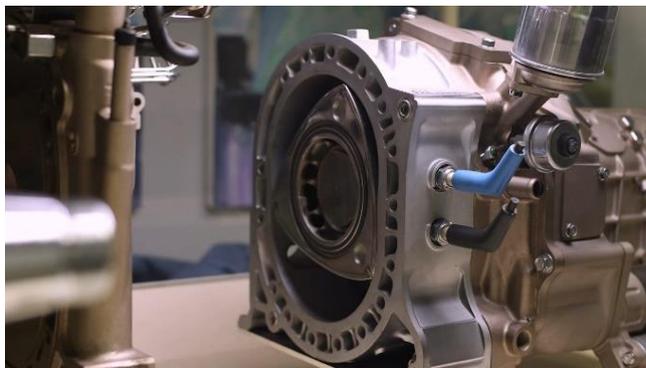
E' per questo motivo che la maggior parte degli ingegneri ha perseguito cose come i motori a ciclo chiuso, il ciclo di combustione "full flow staged" o la strada della produzione e sviluppo più semplici possibile come i motori alimentati a pompa elettrica di Rocket Lab.

E un ultimo fatto divertente sugli aerospike, e questo è un po' simile a come è finito il mio video SSTO ... Non sono gli aerospike che fanno veramente schifo, ma la Terra è probabilmente il pianeta sbagliato per utilizzarli.

Ironia della sorte, se l'atmosfera della Terra fosse anche solo un pochino più spessa, diventerebbero in realtà significativamente più vantaggiosi, anche per un razzo a più stadi. Ma con l'atmosfera terrestre, così com'è, l'ugello a campana è troppo vicino alle stesse prestazioni, rendendolo molto più facile e meno rischioso nel settore aerospaziale. Se non fosse per la loro natura termicamente a rovescio, i loro vantaggi potrebbero effettivamente superare i loro svantaggi, ma forse la loro tendenza a sciogliersi è la ragione principale per cui semplicemente non ne abbiamo mai visto uno lasciare l'atmosfera terrestre.

Tutto sommato, penso che il modo migliore per riassumere l'Aerospike sia confrontarlo con il motore rotativo Wankel visto su auto come la Mazda RX-7 e RX-8. Sono super semplici, hanno solo 3 parti mobili, sono piccoli, leggeri e potenti. Sulla carta avrebbero dovuto essere davvero una scelta più popolare nel

mondo automobilistico, ma in pratica sono un incubo da raffreddare e lubrificare e hanno un consumo di carburante terribile oltre che una scarsa durata e affidabilità.



*Dettaglio di un motore rotativo a combustione interna, aperto, di tipo Wankel.*

Detto questo, hanno mantenuto un grande seguito di appassionati e per certi aspetti sono ancora una buona scelta. C'è chi sostiene che se nel motore rotativo fosse stata impiegata lo stesso impegno nello sviluppo rispetto ai motori a pistoni, forse il motore rotativo sarebbe efficiente e affidabile come un motore a pistoni.

E allo stesso modo, certo, forse l'aerospike potrebbe migliorare ed essere una scelta più praticabile con un aumento della ricerca e dello sviluppo. Ma proprio come il motore rotativo, ne varrebbe davvero la pena? Sarebbe davvero migliore delle alternative? La scienza e l'ingegneria missilistiche sono solo una serie di compromessi follemente complessi. L'arte dell'ingegneria missilistica consiste nel bilanciare tutte le variabili, non solo in termini di prestazioni ma anche di affidabilità, costi, rischio di sviluppo, produzione legandole tutte insieme per fare la scelta giusta.

Alla fine dei conti, il più grande vantaggio degli aerospike è la possibilità di accendere un motore ottimizzato per il vuoto a livello del mare, ma in realtà, perché VUOI farlo? A meno che per qualche motivo risulti necessario fare un SSTO, non avresti davvero bisogno di farlo perché è molto più comune semplicemente accendere un motore ottimizzato per il livello del mare sul primo stadio ed un motore ottimizzato per il vuoto sul secondo stadio.



## Aggiornamento sui progetti Artemis e Gateway, sulla Luna nel 2024.

Di Luigi Borghi.

Vi ricordate il mitico LEM del progetto Apollo? Ebbene le nuove missioni lunari previste dalla NASA e programmate per il 2024, ovviamente si ispirano parecchio all'eroe di mezzo secolo fa. Non solo perché ha funzionato quindi - perché cambiare? - ma anche perché la tecnologia attuale non ci permette procedure meno complesse. La procedura di "staging" con i razzi chimici sarà difficilmente abolita da macchine monostadio sia con partenza da Terra che dalla Luna.

In risposta ad un appello della NASA per idee di lander lunari commerciali del 30 settembre, la Boeing ha appena inviato all'agenzia, la sua proposta di un **Moon Lander per il progetto Artemis**, per cui sta costruendo un prototipo. Boeing sta già collaborando intensamente con l'agenzia spaziale americana con diversi nuovi progetti tra cui:

- In collaborazione con Bigelow Aerospace (ed in notevole ritardo sui programmi) ha finalmente terminato il "CST-100 Starliner" (Crew Space Transportation-100), anche se non ha ancora terminato tutti i test previsti dalla NASA per entrare in servizio. Si tratta di una capsula spaziale la cui missione primaria è quella di trasportare gli equipaggi della Stazione Spaziale Internazionale (ISS) e di eventuali stazioni spaziali private, come la programmata *Bigelow Aerospace Commercial Space Station*.
- Un nuovo vettore, un razzo gigante: lo **Space Launch System (SLS)**. Ed è proprio sulle capacità di sollevamento del blocco 1B di questo "mulo" dello spazio (anch'esso in notevole ritardo sui piani di sviluppo) che la Boeing ha studiato il suo nuovo LEM.

**Il programma Artemis della NASA cerca di far atterrare due o tre astronauti sulla luna nel 2024** usando un approccio un "trampolino di lancio" che include la costruzione di una stazione **Gateway** vicino all'orbita lunare (di cui parliamo di seguito), e il fatto di contare sulla propria capsula dell'equipaggio di "Orion" in costruzione presso la Lockheed Martin e già testata in volo e rientro (senza astronauti a bordo).

Il lander della Boeing non avrà bisogno di un rimorchiatore spaziale per spostarsi dalla Gateway alla

Luna, riducendo ulteriormente i lanci e semplificando le fasi per un atterraggio di successo. Infatti, potrà attraccare direttamente con l'orbiter lunare Gateway o con la navetta Orion della NASA, eliminando quindi la necessità di un veicolo spaziale aggiuntivo.

**Orion e Gateway saranno operativi in tempo per soddisfare il mandato del 2024.**

Il concetto di lander lunare di Boeing si basa sul SLS della NASA, l'attuale *megarocket* scelto per il veicolo spaziale Orion dell'agenzia, nella versione chiamata Block 1.

Ma la NASA avrà bisogno di una variante più potente, chiamata Block 1B - che presenta un pesante **stadio superiore di esplorazione** - per soddisfare i suoi piani di atterraggio sulla luna. Attualmente, Boeing sta costruendo la versione Block 1, che utilizzerà uno stadio superiore provvisorio meno potente per un volo di prova Artemis1, con la Orion senza equipaggio, attorno alla luna.

Al recente 70° Congresso Astronautico Internazionale a Washington, DC, anche il miliardario e patron di Amazon **Jeff Bezos** ha annunciato che la sua compagnia spaziale, la **Blue Origin**, aveva collaborato con Lockheed Martin, Northrop Grumman e J.S.Draper di Boston per costruire il suo sistema di atterraggio umano per la NASA. Ne abbiamo parlato sulle nostre Flash News il 13 maggio di quest'anno sulla nostra Homepage.

La Boeing comunque non era lontana dall'obiettivo. Ha pubblicato su Twitter una grafica che mostra quattro astronauti che camminano intorno a quello che sembra essere un lander ad energia solare.



*Raffigurazione artistica del modulo lunare Boeing per gli astronauti del programma Artemis della NASA.*

*(Immagine: © Boeing)*



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43° - Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

Un secondo concetto di lander lunare, mostra un modulo di salita squadrato che si alza dal suo veicolo di discesa. I pannelli solari gemelli sono montati ai lati del veicolo di discesa (vedi immagina pagina precedente).

Le esigenze di una missione di atterraggio lunare richiederanno sistemi di supporto vitale, sistemi operativi e sistemi di propulsione affidabili, sicuri e compatti. La Boeing si è fatta una notevole esperienza come uno dei fornitori principali della ISS e in oltre sessant'anni di lavoro con la NASA, inclusi i moduli di comando e di servizio del veicolo spaziale Apollo originale, quindi ha lo skill per rispondere.

Il nuovo design include l'introduzione di innovazioni nei motori del nuovo LEM (quelli dell'originale erano un po' critici anche se hanno sempre funzionato), nei compositi, nei sistemi di atterraggio e di rendez-vous automatizzati. Alcune di queste tecnologie sono già state sviluppate per il veicolo spaziale *Starliner*.



*Questo secondo concetto per il lander lunare di Boeing mostra quattro astronauti attorno a un elegante lander lunare a energia solare.  
(Credito immagine: Boeing)*

Boeing sta lavorando con un'altra società, la *Intuitive Machines*, per sviluppare il motore per il nuovo lander.

**Intuitive Machines è stata anche ingaggiata dalla NASA per costruire un lander lunare robotizzato per una missione scientifica da lanciare nel 2021.**

Questa azienda sta realizzando un prototipo di razzo che utilizza metano e ossigeno anziché un mix ipergolico, che era alla base del motore di salita dei LEM del 1969-72.

Boeing sta anche lavorando, oltre tutto questo e al gateway e all'assemblando il primo stadio centrale SLS, ad un concetto di **nave mercantile senza equipaggio**.

Si sta inoltre preparando per un volo di prova orbitale senza equipaggio della sua capsula *Starliner* per il 17

dicembre, forte del riuscito test di interruzione di emergenza (pad abort test) del 4 novembre scorso.

Questo che abbiamo trattato è solo uno degli obiettivi che bisogna raggiungere per garantire il ritorno sulla Luna nel 2024.

Altri, come il mega rocket SLS e la capsula Orion, sono in continua evoluzione. Il progetto che però merita la nostra attenzione oggi in questo articolo e che ha la maggior dinamica in quanto ad evoluzione è sicuramente il **Deep Space Gateway (DSG)**, di cui abbiamo già abbondantemente parlato (vedi anche il 41° - Anno11 – N° 2 - 1/06/2019), ma che non smette mai di produrre novità.

Proviamo a vederle assieme partendo da un riassunto degli obiettivi del Gateway.

La NASA sta conducendo i prossimi passi nello spazio profondo vicino alla luna, dove gli astronauti costruiranno e inizieranno a testare i sistemi necessari per sfidare le missioni in destinazioni nello spazio profondo, incluso Marte.

L'area dello spazio vicino alla luna offre un **ambiente ideale nello spazio profondo, ma a pochi giorni di viaggio di distanza dalla Terra**. Servirà per acquisire esperienza per le missioni umane che si spingono più lontano nel sistema solare. Servirà anche per accedere alla superficie lunare con missioni robotiche telecomandate ma anche umane, con la possibilità, se necessario, di tornare in fretta sulla Terra.

Il periodo di esplorazione in prossimità della luna inizierà con la prima missione integrata del razzo **Space Launch System (SLS)** e del veicolo spaziale Orion.

**La NASA mira a iniziare una cadenza di un volo all'anno dopo la seconda missione**, e l'agenzia ha stabilito una serie iniziale di obiettivi di esplorazione umana integrati che combinano gli sforzi a bordo della Stazione Spaziale Internazionale, SLS e Orion e altre capacità necessarie per supportare le missioni umane per esplorare lo spazio profondo.

L'hardware di volo per SLS e Orion è attualmente in produzione per la prima e la seconda missione.

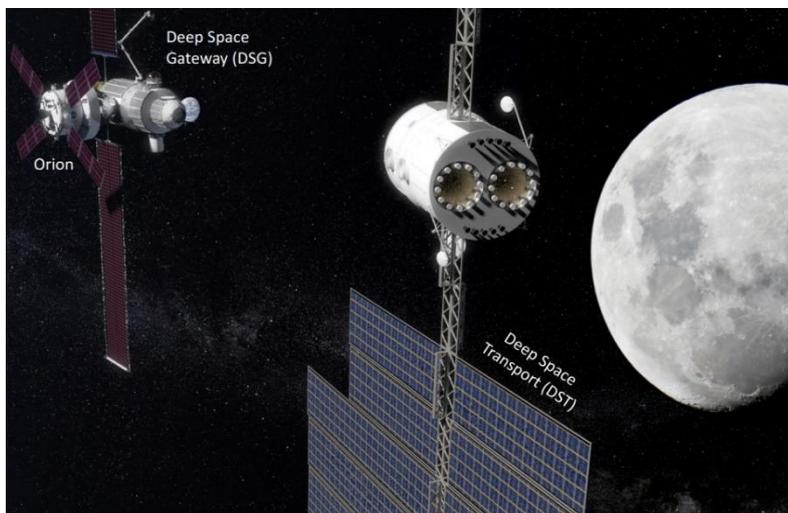
Il supporto vitale e le tecnologie correlate sono in fase di sperimentazione sulla ISS e sono in corso anche attività di sviluppo dell'abitazione e della propulsione.

La NASA sta lavorando con partner nazionali e internazionali per risolvere le grandi sfide dell'esplorazione dello spazio profondo. Le missioni nelle vicinanze della luna si estenderanno su più fasi come parte del quadro della NASA per costruire un'infrastruttura flessibile, riutilizzabile e sostenibile che durerà diversi decenni e supporterà missioni di crescente complessità.



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43° - Anno11 – N° 4 - 1/12/2019



**Immagine artistica de Deep Space Gateway (DSG), e Deep Space Transport (DST) (Credit NASA).**

Questa prima fase di esplorazione vicino alla luna utilizzerà le tecnologie attuali e ci permetterà di acquisire esperienza con operazioni estese più lontano dalla Terra rispetto a quelle precedentemente completate. Queste missioni consentiranno alla NASA di sviluppare nuove tecniche e applicare approcci innovativi per risolvere i problemi in preparazione a missioni di più lunga durata lontano dalla Terra.

Oltre a dimostrare il funzionamento sicuro ed integrato del razzo SLS e del veicolo spaziale Orion, l'agenzia sta anche cercando di costruire un porto spaziale con equipaggio in orbita lunare all'interno delle prime missioni che servirebbe da gateway per lo spazio profondo e la superficie lunare.

**Questo gateway avrebbe un sistema di alimentazione, un piccolo habitat per estendere il tempo di permanenza dell'equipaggio, la capacità di attracco, una camera di equilibrio e sarà servito da moduli logistici per consentire la ricerca.**

**Il sistema di propulsione utilizzerà principalmente la propulsione elettrica ad alta potenza per il mantenimento della stazione e la capacità di trasferimento tra una famiglia di orbite nelle vicinanze lunari.**

I tre elementi principali del gateway, il bus di alimentazione e propulsione e il modulo habitat e un piccolo modulo logistico, trarrebbero vantaggio dalla capacità di carico di SLS e dalla capacità di spazio profondo con equipaggio di Orion. Costruire il gateway a 400.000 km dalla Terra e non a 400 come la ISS, consentirà agli ingegneri di sviluppare nuove

competenze e testare nuove tecnologie che si sono evolute dall'assemblaggio della Stazione Spaziale Internazionale.

**Il gateway sarà sviluppato, revisionato e utilizzato in collaborazione con partner commerciali e internazionali.**

La stazione potrebbe spostarsi, per supportare missioni robotiche o di partner sulla superficie della luna, o verso un'orbita lunare elevata per supportare le missioni in partenza dal gateway verso altre destinazioni del sistema solare, ad esempio Marte.

La seconda fase delle missioni confermerà la capacità dell'agenzia di costruire ambienti in cui gli esseri umani possono svolgere missioni di lunga durata oltre la luna.

Per quelle destinazioni più lontane nel sistema solare, incluso Marte, la NASA prevede un veicolo spaziale per il trasporto nello spazio profondo, il **Deep Space Transport (DST)**.

Questa navetta sarebbe riutilizzabile ed sarà spinta sia dalla propulsione elettrica che da quella chimica e sarebbe specificamente progettata per missioni con equipaggio verso destinazioni come Marte.

Il DST dovrebbe portare l'equipaggio a destinazione, quindi tornare poi al gateway, dove potrà essere riparato e rispedito.

Il trasporto sfrutterà appieno i grandi volumi e la massa che possono essere lanciati dal razzo SLS, nonché le tecnologie di esplorazione avanzate attualmente in fase di sviluppo, già dimostrate a terra e a bordo della Stazione Spaziale Internazionale.

**Questa seconda fase culminerà alla fine degli anni 2020 con una missione di un anno a bordo del trasporto nelle vicinanze lunari per convalidare la prontezza del sistema a viaggiare oltre il sistema Terra-luna verso Marte e altre destinazioni, e costruire una fiducia così a lungo durata.**

Missioni umane distanti possono essere condotte in sicurezza con indipendenza dalla Terra. Attraverso gli sforzi per costruire questa infrastruttura dello spazio profondo, questa fase consentirà agli esploratori di identificare e sperimentare soluzioni innovative alle sfide tecniche e umane scoperte o progettate nello spazio profondo.

Per raggiungere l'obiettivo dell'agenzia di estendere la presenza dell'umanità nel sistema solare occorreranno le migliori ricerche, tecnologie e capacità dei partner internazionali e del settore privato. La NASA cercherà i partner per i potenziali contributi dell'hardware dei voli spaziali e la consegna di risorse supplementari.



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43° - Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

**Il gateway e il trasporto potrebbero potenzialmente supportare una missione dopo l'altra come un hub di attività vicino alla luna, in rappresentanza di più paesi e agenzie con partner sia del governo che dell'industria privata.**

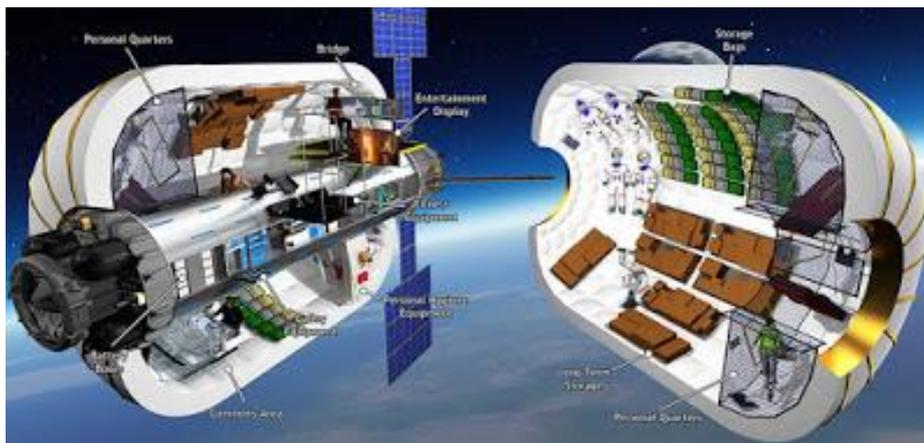
Finora, la NASA ha scelto la società Maxar per costruire l'elemento di potenza e propulsione per la sua stazione orbitante lunare Gateway e Northrop Grumman per costruire il modulo habitat della stazione per gli astronauti.

**L'Agenzia spaziale canadese fornirà un braccio robotico, mentre il Giappone e l'Australia hanno firmato per lavorare con gli Stati Uniti sul progetto Artemis. Anche Europa e Russia collaboreranno all'impresa.**

La NASA è comunque aperta, come sempre, a nuove idee ed a suggerimenti sia di natura tecnica che programmatica mentre sviluppa, matura e implementa questo piano.

Vediamo alcune delle novità che si stanno prendendo in considerazione per questo enorme progetto, ambizioso come lo è stato il progetto Apollo di mezzo secolo fa, ma **con obiettivi non più di "corsa allo spazio" bensì di realizzare un sistema strutturato di esplorazione dello spazio profondo!**

**Bigelow e i suoi "gonfiabili":** è una tecnologia molto interessante che deriva dal concept NASA TransHab degli anni '90 del secolo scorso. Al lancio questi moduli sono "compressi", ed occupano un volume minimo per soddisfare i vincoli dei razzi vettori. Questi, una volta raggiunta la loro destinazione, vengono poi "gonfiati", allo scopo di offrire un maggior volume abitabile a disposizione degli equipaggi.



(Credit Bigelow Aerospace)

Il modulo di riferimento è il BA330 (o B330), **13,7 metri di lunghezza per 6,7 metri di diametro. Offrirà circa 330 metri cubi di volume utilizzabile,**

**circa 1/3 della capacità pressurizzata della Stazione Spaziale Internazionale,** abbastanza per un equipaggio di 6 persone (massa al lancio di circa 20 Tonnellate).

Mr. Bigelow ha già accordi con ULA per lanciare questo grande modulo sia in orbita Terrestre che in orbita Lunare

Ha anche avanzato la proposta di installare un modulo B330 sulla Stazione Spaziale Internazionale (iniziativa XBase).

E sul fronte Gateway Lunare, l'azienda ha presentato come parte del programma NASA NextSTEP-2 un concept di modulo abitativo basato su B330.

È una delle cinque aziende che stanno proponendo proprie soluzioni, aspettando la decisione NASA che dovrebbe arrivare nel 2020.

L'habitat proposto da Bigelow è davvero molto ampio. **L'azienda ha più volte affermato che il modulo B330 può essere visto anche come una vera e propria stazione spaziale indipendente,** in grado di



**B330, nuova proposta per il modulo abitativo del Gateway Lunare, by Bigelow Aerospace!**  
(Credit Bigelow Aerospace)



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43° - Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

ospitare fino a 6 persone e che oltre che in orbita può essere utilizzato anche come base sulla superficie di Luna e Marte.



**Sierra Nevada Corporation (SNC): LIFE, presentato il nuovo concept di un modulo abitativo per il Gateway Lunare e per l'esplorazione di altri pianeti, video by SNC!**

<https://youtu.be/OdsHn4wCfMs>

Anche (SNC) ha presentato il suo progetto di un modulo abitativo per il Lunar Gateway (ed anche per le missioni nello spazio profondo) mostrando un modello in grandezza naturale presente al NASA Johnson Space Center.

Il modulo, dal nome **LIFE, Large Inflatable Fabric Environment**, è in corso di realizzazione nell'ambito dei contratti NASA NeXTSTEP-2 (Next Space Technologies for Exploration Partnerships-2) ed è uno dei vari concept che l'ente spaziale USA sta prendendo in considerazione per l'architettura del **programma di esplorazione Artemis**.

La prima caratteristica evidente di LIFE è quella di essere un modulo espandibile come quello di Bigelow. Al lancio, il modulo abitativo di SNC è in grado di essere contenuto all'interno di una carenatura del payload del diametro di 5.4 metri. Può quindi essere lanciato dal nuovo vettore NASA SLS o da un lanciatore commerciale per carichi pesanti.

Una volta in orbita, il modulo si espande fino a raggiungere 8,2 metri di diametro e 8 metri di lunghezza.

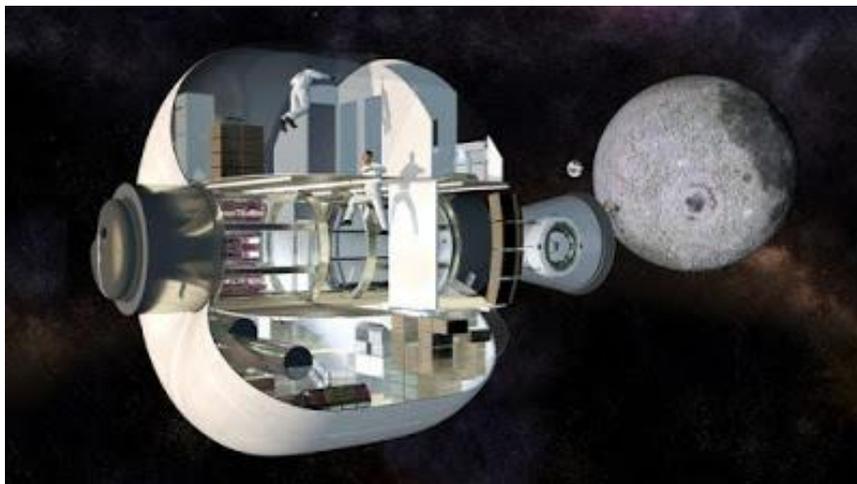
**Il suo volume abitabile pressurizzato è di circa 300 metri cubici, pari a circa 1/3 di quello di tutti i moduli pressurizzati della Stazione Spaziale Internazionale.**

L'esterno del prototipo dell'habitat è composto da **una camera d'aria a pressione in Uretano, uno strato lineare in Nylon ed uno strato intrecciato in Vectran**. Altri strati isolanti possono essere aggiunti per il controllo termico e per la protezione dai micrometeoriti.

Molta della tecnologia utilizzata proviene dall'esperienza accumulata da SNC con il progetto dello **spazioplano Dream Chaser**, la cui prima missione cargo verso la ISS è programmata per il 2020.

SNC ha lavorato con ILC Dover per produrre il tessuto resistente dell'habitat. Quest'ultima azienda è conosciuta per produrre materiale flessibile per applicazioni aerospaziali, tra cui le tute spaziali.

**L'interno del modulo invece è diviso in 3 piani (vedi illustrazione sotto, credit SNC)**. Nell'attuale prototipo questi sono stati attrezzati con un laboratorio scientifico, un giardino in microgravità, una zona medica, gli alloggi individuali per l'equipaggio, un sistema di gestione dei rifiuti, un bagno ed una cucina.



L'equipaggio vivrebbe e lavorerebbe principalmente nel piano alto. Il piano centrale è dedicato ad attività di ricerca e nel piano terra vi sono toilette e cucina. Piano terra è decisamente fuori luogo ma è solo per far capire che è dalla parte opposta al piano alto!



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 43° - Anno11 – N° 4 - 1/12/2019

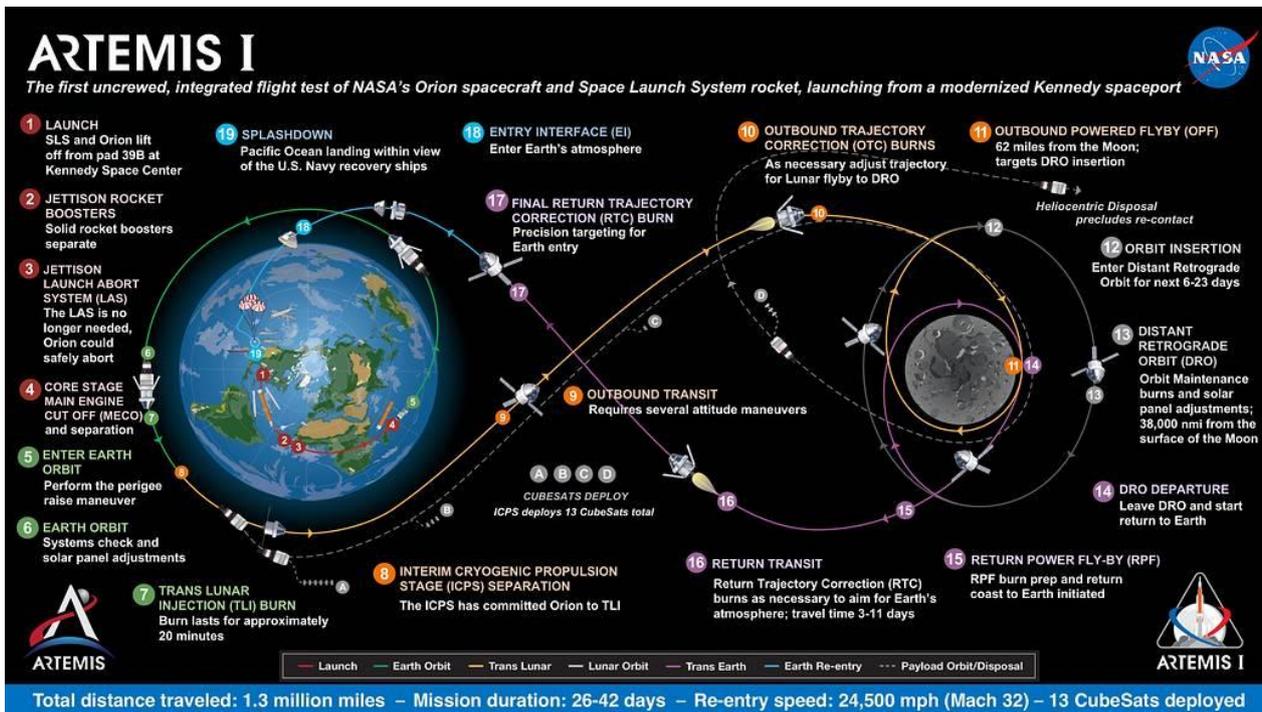
L'habitat si espande intorno ad un nucleo cilindrico centrale che ospita l'avionica del modulo ed **Astro Garden, un sistema modulare per la coltivazione di vegetali.**

Nelle intenzioni di SNC vi è di utilizzare LIFE non soltanto nello spazio, ma anche come riferimento per **un modulo abitativo sulla superficie di altri pianeti, Luna o Marte.**

### Fonti e riferimenti:

[https://www.space.com/boeing-human-moon-lander-concept-nasa-artemis.html?utm\\_source=Selligent&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=9789&utm\\_content=20191107\\_SDC\\_Newsletter+-+adhoc+&utm\\_term=2692006&m\\_i=uxOufwrT33OCbi1KjqtAAD8B7SZhDP4wZr\\_X\\_XIBh7fTXwVuYyiTHkf](https://www.space.com/boeing-human-moon-lander-concept-nasa-artemis.html?utm_source=Selligent&utm_medium=email&utm_campaign=9789&utm_content=20191107_SDC_Newsletter+-+adhoc+&utm_term=2692006&m_i=uxOufwrT33OCbi1KjqtAAD8B7SZhDP4wZr_X_XIBh7fTXwVuYyiTHkf)

<http://newspazio.blogspot.com/search?q=dream+chaser>  
<https://www.nasa.gov/feature/deep-space-gateway-to-open-opportunities-for-distant-destinations>  
<http://newspazio.blogspot.it/2016/04/storico-accordo-tra-ula-e-bigelow.html>  
<http://newspazio.blogspot.com/2017/10/bigelow-aerospace-ed-ula-nuovo-accordo.html>  
<http://newspazio.blogspot.com/>  
<http://newspazio.blogspot.com/2019/09/life-presentato-il-nuovo-concept-di-un.html>  
<http://newspazio.blogspot.com/2016/04/bigelow-aerospace-beam-passato-presente.html>  
<http://newspazio.blogspot.com/2016/11/beam-ottime-le-sue-prestazioni-5-mesi.html>



Artemis Map.

# Buon Natale e buon 2020 a tutti.

Associazione Culturale "Il C.O.S.MO." (Circolo di Osservazione Scientifico-tecnologica di Modena); C.F.:94144450361 pag: 27 di 27

Questa rivista, le copie arretrate, i suoi articoli e le sue rubriche, non possono essere duplicati e commercializzati. È vietata ogni forma di riproduzione, anche parziale, senza l'autorizzazione scritta del circolo "Il C.O.S.Mo". La loro diffusione all'esterno del circolo è vietata.

Può essere utilizzata solo dai soci per scopi didattici. - Costo: Gratuito sul WEB per i soci - Arretrati: Disponibili e gratuiti sul WEB per i soci.