



## EDITORIALE

### Siamo vicini al "contatto"?

#### L'ONU nomina un ambasciatore per eventuali contatti con esseri alieni. Vero? Quasi!

**Mazian Othman** dovrebbe ottenere l'incarico al più presto (secondo il sito australiano *News* del gruppo Murdoch). Avrà il compito di gestire i possibili contatti con gli alieni, attraverso il suo ente: l'**Ufficio delle Nazioni Unite per gli Affari dello Spazio Extra-atmosferico. (UNOOSA)**.

Mazian Othman dovrebbe confermare il proprio nuovo incarico nel corso di una conferenza presso la Royal Society, l'accademia nazionale britannica delle scienze. Sembra che l'ONU abbia deciso di procedere con la nomina in seguito alle scoperte di nuovi pianeti avvenute nel corso degli ultimi anni, scoperte che hanno aumentato la probabilità di trovare un giorno nuove forma di vita extraterrestri.

*«La continua ricerca di un canale di comunicazione con gli extraterrestri, da parte di alcuni enti e istituzioni, mantiene la speranza che un giorno il genere umano possa ricevere dei segnali dagli extraterrestri – spiega Othman. Quando ciò accadrà, dovremo essere in grado di dare una risposta che tenga conto di tutte le criticità legate a questo argomento. Le Nazioni Unite sono un meccanismo pronto per questo tipo di coordinazione.»*

In realtà la scienziata, intervistata di recente, **ha negato che le sia stato affidato questo ruolo** ed ha affermato a tal proposito: "I Paesi non hanno ancora deciso, ma per affrontare la questione sarebbe certamente utile riunire le menti dell'umanità, siano esse scientifiche o politiche".

Come al solito **non si perde mai l'occasione per fare baccano per nulla**. Resta comunque un fatto innegabile che oggi le capacità di esplorazione radio del SETI sono aumentate di migliaia di volte rispetto all'inizio, 45 anni fa, ed ora sappiamo anche dove dirigere le parabole: verso i pianeti extrasolari di tipo roccioso già individuati fino ad oggi dalla sonda Kepler.

*Il presidente del circolo Luigi Borghi;  
e-mail [luigi\\_borghi@virgilio.it](mailto:luigi_borghi@virgilio.it)*

Mazian Othman



## In Breve

### Astronautica

*La Nasa mostra i muscoli* Pag 2  
**Di Luigi Borghi**

*VASIMIR: il propulsore a ioni di nuova generazione.* Pag.8  
**Di Luigi Borghi**

### Storia dell'astronomia

*Yuri Gagarin* Pag 13  
**Di Ciro Sacchetti**

### Robotica

*Gli esoscheletri* Pag 19  
**Di Francesco Leali**

### Nanotecnologie

*Processi sottrattivi* Pag 26  
**Di Benedetta Marmiroli**

*G-Astromia e Comics al prossimo numero.*



## La NASA prepara i muscoli! di Luigi Borghi

### Il nuovo sistema di trasporto pesante per le missioni future, Shuttle Derived Heavy-Lift Vehicle (SD HLV), della NASA



For Immediate Release.

#### DIRECT Team Declares Success and Looks to the Future

13th October 2010  
Cape Canaveral, Florida

The DIRECT Team congratulates and applauds the President, Senate, and the House of Representatives for passing legislation enabling NASA to begin work on the Space Launch System Heavy Lift Launch Vehicle, based on existing Space Shuttle components.

#### Comincia così la nuova era della NASA dopo i tagli di Obama.



#### Jupiter-130 - LEO Crew Launch Vehicle Configuration

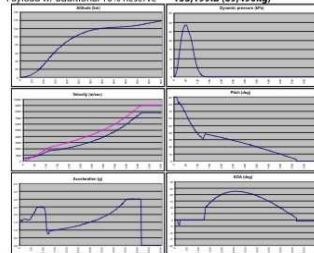


##### Vehicle Concept Characteristics - LV 41.4000.10050

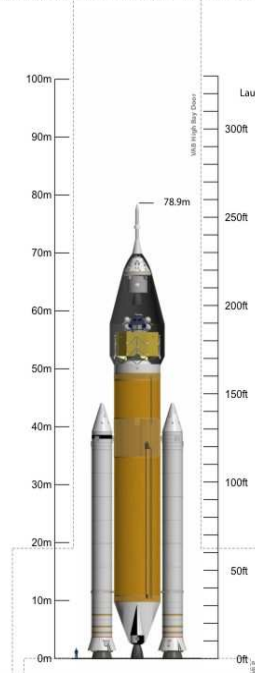
HLV in configurazione equipaggio + cargo

**DYNAMICS**  
Blackzone Safe Trajectory  
Thrust : Weight @ Liftoff 1.528 : 1  
Max Dynamic Pressure 597.4psf (28,602Pa)  
Max g's During Ascent 3.00g  
Insertion Altitude 70.0nmi (129,6km)

**ASCENT PERFORMANCE**  
Delivery Orbit 30.0 x 130.0nmi, 29.0°  
Payload w/ regular NASA GRBA's 170,221lb (77,211kg)  
Payload w/ additional 10% Reserve **153,199lb (69,490kg)**



\* ASE is part of the Payload, not additional



Launch Site	KSC LC-39 (Latitude: 28.6084°)
<b>GLOW</b>	<b>4,558,182lb (2,067,556kg)</b>
Payload Fairing	32.8 x 18.4ft (10.0 x 5.6m)
Payload Envelope	30.2 x 18.4ft (9.2 x 5.6m)
Payload Fairing Jettison Mass	12,571lb (5,702kg)
Payload Fairing Jettison	After Orbital Insertion
Launch Abort System Jettison Mass	16,083lb (7,295kg)
Launch Abort System Jettison	259.0s @ 57.9nmi
<b>BOOSTERS (each)</b>	Shuttle RSRM - Flown Unchanged
Design Heritage	PBAN
Propellants	1,111,604lb (504,215kg)
Usable Propellant	0.8561
Stage pmf	183,948lb (83,437kg)
Dry Mass	186,864lb (84,760kg)
Burnout Mass	2 / 4-segment Shuttle RSRM
# Boosters / Type	2,892.912lbf (1,312,203kgf / 12,868,314N)
Booster Thrust (@ 0.7s) SL	Vac 3,142,302lbf (1,425,324kgf / 13,977,656N)
Booster Isp (@ 0.7s) SL	237.0s
Booster Isp (Vac)	269.1s
Booster Burn Time	123.8s
<b>CORE STAGE</b>	Shuttle Super Light Weight Tank ET
Design Heritage	LOX / LH2
Propellants	1,621,191lb (735,360kg)
Gross Propellant	1,604,979lb (728,006kg)
Usable Ascent Propellant	16,047lb (7,279kg)
Unusable Residuals	323lb (147kg)
In-Flight Losses	0.00%
Propellant Offload	0.9107
Stage pmf	140,489lb (63,725kg)
Dry Mass	156,536lb (71,004kg)
Burnout Mass	3 / SSM-E-Block-II
# Engines / Type	392,326lbf (177,956kgf / 1,745,155N)
Engine Thrust (@ 104.5%) SL	Vac 496,847lbf (222,644kgf / 2,183,396N)
Engine Isp (@ 104.5%) SL	361.4s
Engine Isp (Vac)	452.2s
Mission Power Level	104.5%
Core Burn Time	517.1s

Work In Progress  
8th June 2009

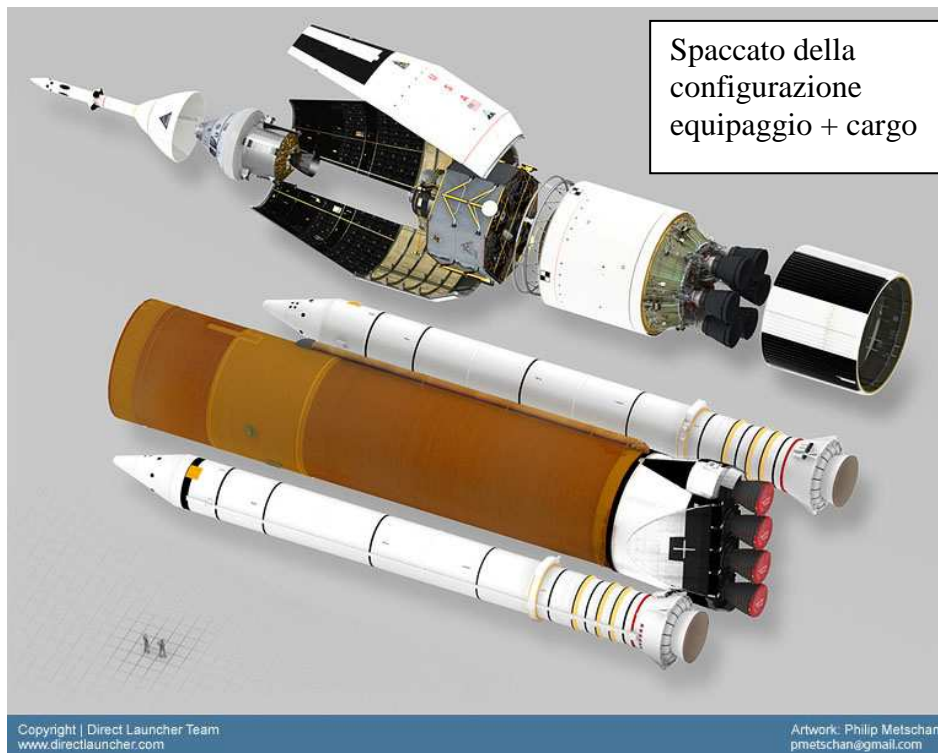
Il presidente ha infatti appena firmato la legge che consente alla NASA di sviluppare la nuova serie di lanciatori pesanti derivati dallo Space Shuttle e che ricorda abbastanza da vicino il neo estinto progetto Constellation.

La fine dell'operatività dello Space Shuttle, da tempo prevista e siglata dal presidente Obama, ha posto gli Stati Uniti di fronte alla necessità di un vettore per carichi pesanti che vada oltre gli attuali Delta, Titan ed Atlas.



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista de "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena - Anno 2 - numero 4 | 1/12/2010



Copyright | Direct Launcher Team  
[www.directlauncher.com](http://www.directlauncher.com)

Artwork: Philip Metschan  
[pmetschan@gmail.com](mailto:pmetschan@gmail.com)

Mentre il trasporto di equipaggio a breve termine, verso l'orbita bassa (vedi la Stazione Spaziale Internazionale), delegato ormai ai privati con le navette DragonX della SpaceX e Dream Chaser della SpaceDev, è definitivamente scollegato dal trasporto di attrezzature, sia per questioni di sicurezza che di costi, il trasporto pesante verrà risolto dal futuro vettore pesante HLV.

Un gruppo di scienziati, chiamato "**The DIRECT Team**", composto da esperti della NASA, insieme a 90 aziende che operano nel settore spaziale degli USA, ha eseguito una valutazione preliminare della capacità dell'HLV di consegnare il carico (e potenzialmente anche un equipaggio) alla Stazione Internazionale Spaziale (ISS).

La conclusione del grande lavoro di progettazione è stata la famiglia di vettori SD HLV, multiuso. Questo lanciatore pertanto è stato scelto dalla NASA come il nuovo Ascensore Pesante, che sarà operativo a partire dal 2015.

A metà ottobre 2010, il **presidente Barak Obama** ha dato il suo benestare, convertendo le conclusioni del team DIRECT in legge.

Il SD HLV (nome del progetto) si chiamerà **JUPITER** (Giove).

A dir la verità, facendo un confronto tra questa soluzione ed il cancellatissimo ARES V del defunto progetto Constellation, non è che si riscontrino poi grandi differenze. Ma questo è positivo! Significa che i soldi spesi per gli studi di

Spaccato della  
configurazione  
equipaggio + cargo

quel programma sono stati in un qualche modo recuperati! In realtà i grossi centri di spesa del Constellation, che poi provocarono la decisione di Obama di cancellarlo, erano legati al progetto di ritorno sulla Luna, con il veicolo di trasferimento Terra-Luna ed il nuovo LEM di discesa sul satellite.

La prima revisione prevede l'uso potenziale per il trasferimento di logistica da **45 a 65 tonnellate**, a seconda della configurazione, verso la stazione spaziale.

**Attualmente, nessun vettore a livello mondiale, è in grado di portare simili carichi**

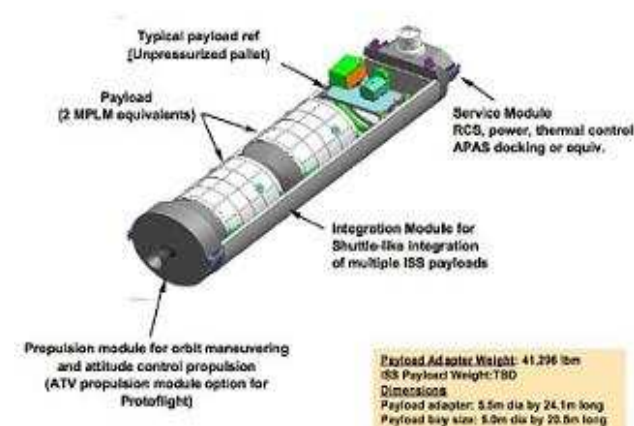
**verso la ISS.**

Ma l'obiettivo finale è quello di raggiungere le **oltre 100 tonnellate metriche di payload**.

Lo stesso Space Shuttle attualmente porta solo 28 tonnellate di carico pagante ma poi è costretto a riportarne a terra ben 110, cioè il peso a vuoto dello Shuttle.

Solo il vecchio Saturno 5, o i russi Energia ed N1 (mai diventati operativi), avevano spinte simili o addirittura superiori.

## In figura un esempio di carico utile EXAMPLE LOGISTICS CARRIER



Associazione Culturale "Il C.O.S.MO." (Circolo di Osservazione Scientifico-tecnologica di Modena); C.F.:94144450361 pag: 3 di 31

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.



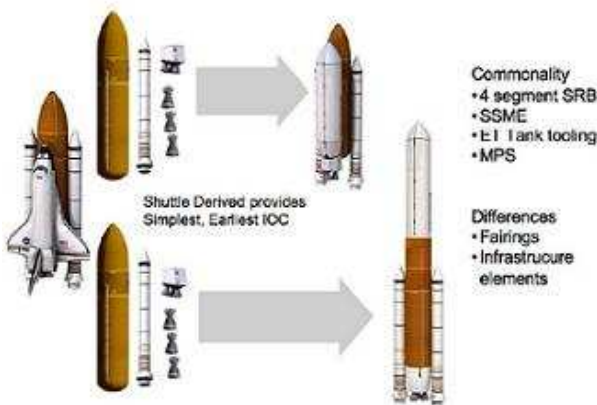
# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista de "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena - Anno 2 - numero 4 | 1/12/2010

Per iniziare l'operazione di trasferimento di logistica, lo SD HLV sarebbe inserito in un'orbita preliminare a 120 nml (miglia nautiche) di altitudine, attraverso la spinta combinata di due SRBs (i razzi a combustibile solido dello Shuttle) a 4 segmenti e tre SSMEs (i motori principali dello Shuttle).

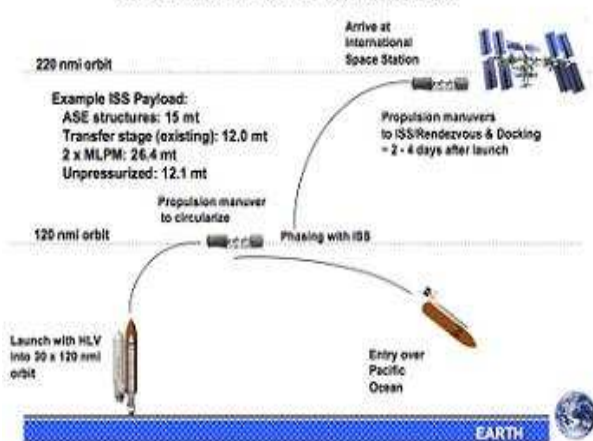
## Rappresentazione della derivazione dallo Shuttle

### SHUTTLE DERIVED CONFIGURATIONS



La spinta risultante del HLV è maggiore ma non di molto rispetto all'attuale Shuttle, la differenza però sta nel fatto che tutto il carico resta in orbita, quindi è tutto carico pagante, mentre con lo Shuttle ben 110 tonnellate tornavano a terra. Uno spedizioniere di logistica alla ISS, condurrebbe

## ISS LOGISTICS MISSION SCENARIO



poi all'approccio e alle operazioni di attracco con la Stazione, a 220 nml, tra i due ed i quattro giorni dopo il lancio.

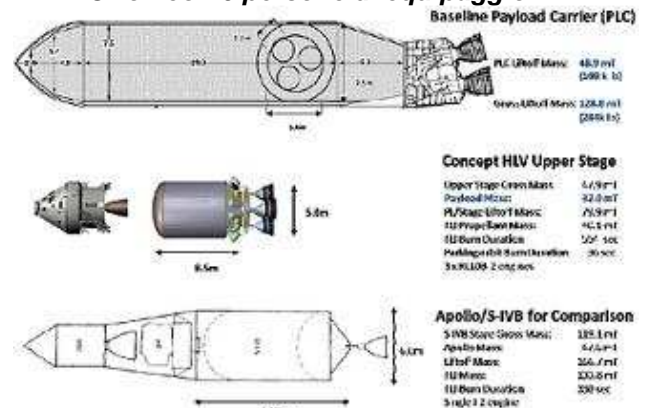
Utilizzando le grandi capacità di carico utile ed il

grande volume disponibile, caratteristiche uniche del HLV, le missioni del futuro saranno in grado potenzialmente, di includere: carichi multipli di logistica verso la ISS e la sostituzione di componenti della stazione o missioni di ampliamento.

Nella relazione di valutazione, sono stati citati alcuni dei carichi utili potenziali che potrebbero essere lanciati dallo SD HLV. Essi includono numerosi componenti esterni alla ISS (come i serbatoio di azoto, i serbatoi di ammoniaca, i giroscopi di movimento e di controllo e fino a due MPLMs alla volta).

La versione di logistica dello SD HLV userebbe lo studio dello SRB esistente (razzo a combustibile solido), un modulo di propulsione e payload utile per consegnare il suo carico in orbita bassa con tre SSMEs tarati nominalmente al 104,5%. Bisogna ricordare che questi motori sono dimensionati per lavorare fino al 120%.

## Esempio di carico pagante che include una Orion con 6 persone di equipaggio



Oltre alle pure missioni di logistica, lo SD HLV potrebbe essere anche usato per il trasporto di equipaggi come traghetto da e per la ISS. Durante la salita, il CEV ORION (il veicolo con a bordo l'equipaggio) sarebbe posto sulla cima della struttura del modulo di propulsione/carico utile combinato.

In questo modo, sopra al CEV potrebbe trovare posto l'indispensabile sistema di aborto del lancio al fine di garantire la sicurezza dell'equipaggio.

La sequenza di aborto della missione ed in ogni caso l'espulsione del sistema, potrebbe intervenire fino a T + 250 secondi dal lancio (T+4 min 10 sec) a un'altitudine di 351.000 piedi (poco più di 100 km) ed a Mach 8,08.



# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista de "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena - Anno 2 - numero 4 | 1/12/2010

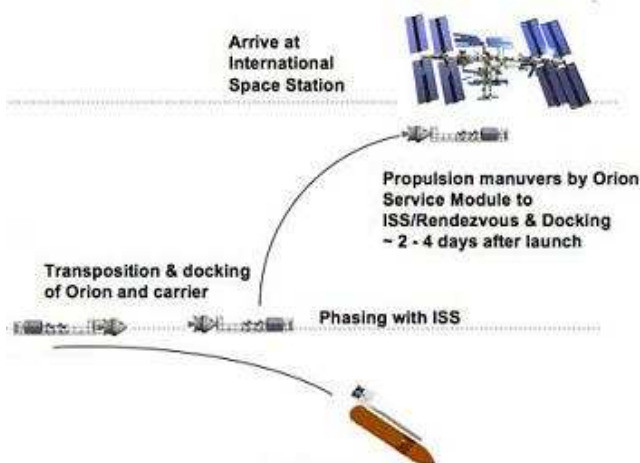
*Maggiori dettagli su*

- <http://www.directlauncher.com/>
- [Fy2011 Forum Section](#)
- [L2 Ares/HLV/Orion Sections](#)

Una spedizione verso la ISS di un carico utile composto da una Orion CEV con sei astronauti, un carico di attrezzature ed un piccolo modulo propulsivo per le manovre, si separerebbe dal modulo principale di propulsione 250 sec. dopo la partenza (T+250). Il trasferimento in orbita bassa della ISS avverrebbe poi attraverso il piccolo modulo propulsivo.

Dopo essersi liberato del sistema di espulsione ed aborto, raggiunta l'orbita di inseguimento della ISS, l'Orion CEV sarebbe rilasciato dalla "cima" della struttura e riposizionato attraccandolo alla fine poppiera della stessa struttura.

## Momento di rilascio del sistema di propulsione principale e inversione dell'assetto del CEV.



Dopo l'avvicinamento, l'Orion CEV eseguirebbe una serie di manovre di propulsione per l'appuntamento ed attracco alla ISS che dipenderanno dal tipo di carico, ma che utilizzeranno comunque come aggancio, uno degli Adattatori di Unione Pressurizzati (PMAs) della stazione (lo stesso usato dalle Progress russe e dal ATV europeo).

L'aggancio avverrà già due a quattro giorni dopo il lancio.

La Orion, staccandosi dal sistema, farebbe poi le manovre per agganciare separatamente i PMA alla ISS.

L'attuale fase di valutazione del sistema include la capacità di comando e controllo dall'Orion/CEV su

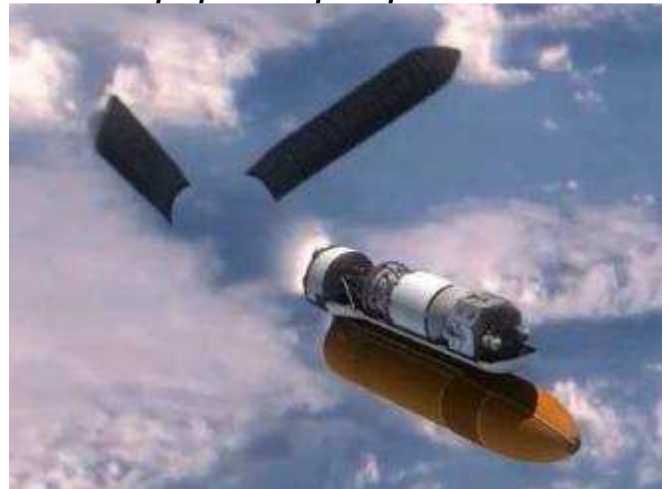
tutto il SD HLV, quindi anche le relative modifiche hardware e software per il volo di un sistema controllato dalla Orion.

L'opzione del volo combinato HLV DI SD/Orion, resta comunque un item molto lungo ed ancora in una fase preliminare.

La valutazione ha infatti preso in considerazione l'attuale situazione di rifornimento della ISS attraverso l'ATV europeo, l'HTV giapponese ed il russo Progress.

Le modifiche alla Orion devono tenere conto di tutto questo, ma anche del fatto che trasformare l'ATV europeo a cargo richiederebbe pure dei cambiamenti hardware e software al modulo dell'ESA. Questa attività pretenderà sinergie e concertazione.

## Rappresentazione del momento di sgancio dei pannelli di protezione e del sistema di propulsione principale.



Il passo successivo (Part 3) della panoramica di valutazione esaminerà anche l'aspetto delle missioni lunari, verso gli asteroidi NEO, ed i servizi di trasporto commerciale/internazionale verso la ISS.

Tags: [HLV](#), [ISS](#)



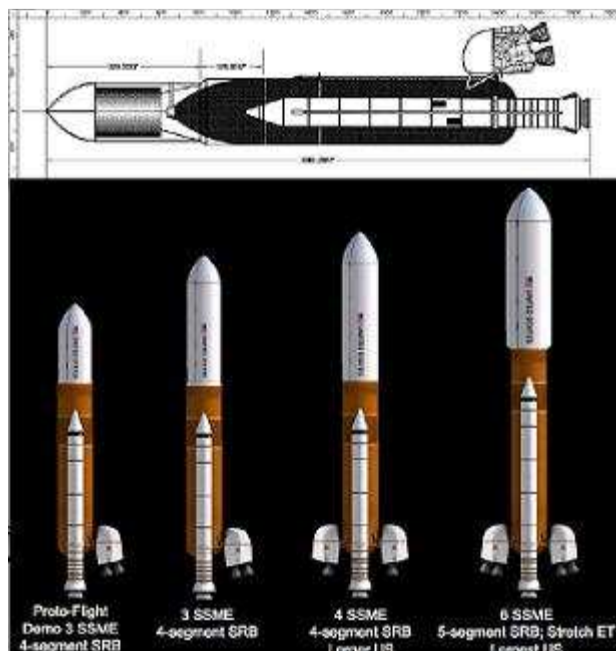
# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista de "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena - Anno 2 - numero 4 | 1/12/2010

## Rappresentazione artistica della base di lancio.

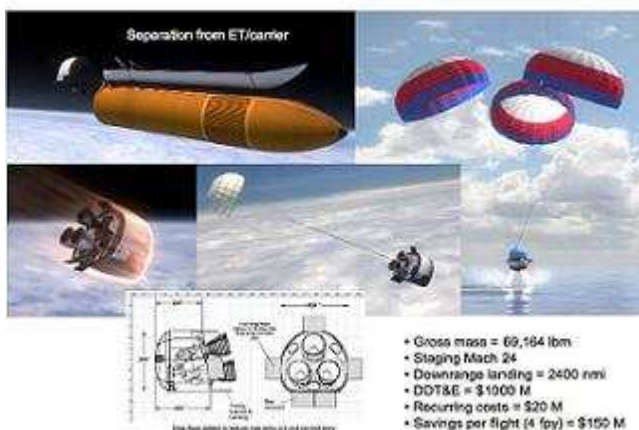


## Vista laterale e sezione di alcune configurazioni.



## Recupero del sistema di propulsione e dell'avionica.

### RECOVERABLE PROPULSION/AVIONICS MODULE CONCEPT



- Gross mass = 69,164 lbm
- Staging Mach 24
- Downrange landing = 2400 nm
- DDT&E = \$1000 M
- Recurring costs = \$20 M
- Savings per flight (4 fpy) = \$150 M

## Alcune caratteristiche costruttive.

- Block I**
  - 3 SSME's (25d) @ 104%
  - ET In-line
  - 4 segment SRB's
  - shroud
- Block II**
  - EDS (4-RL-10's)
  - 3 SSME's (25e) @ 109%
  - ET In-line
  - 4 segment SRB's
- Block III**
  - EDS (4-RL-10's)
  - 5 segment SRB's
  - stretch ET
  - 4 SSME's @ 111%





# Il C.O.S.Mo. NEWS

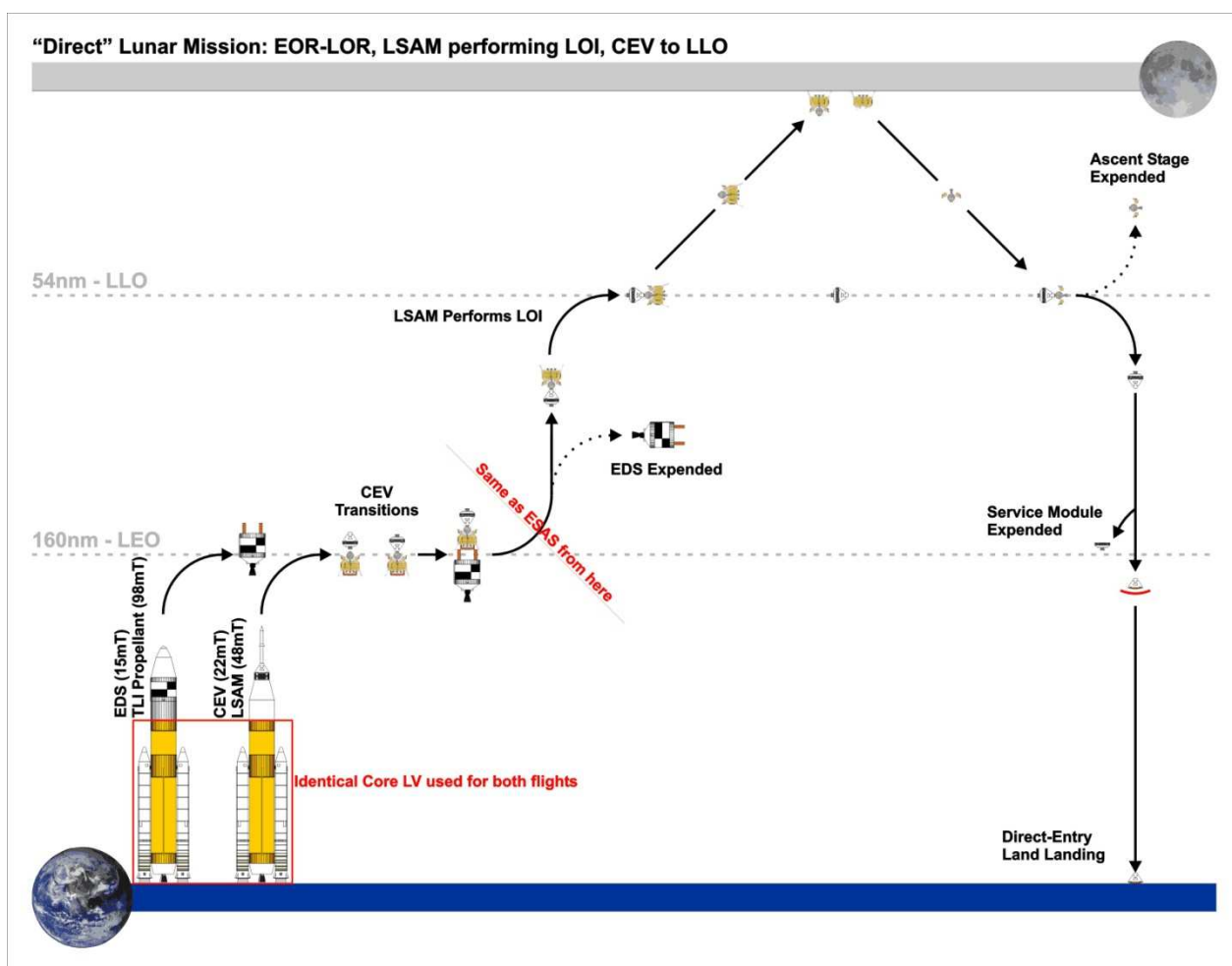
Rivista de “Il C.O.S.Mo” - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net)”- Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena - Anno 2 - numero 4 | 1/12/2010

**A fianco: Sommario costi e tempi di sviluppo.**

(FY = anno finanziario) Quindi primo modulo a ottobre 2015 e ultimo a fine 2022)



Sotto: rappresentazione di una missione verso la Luna.



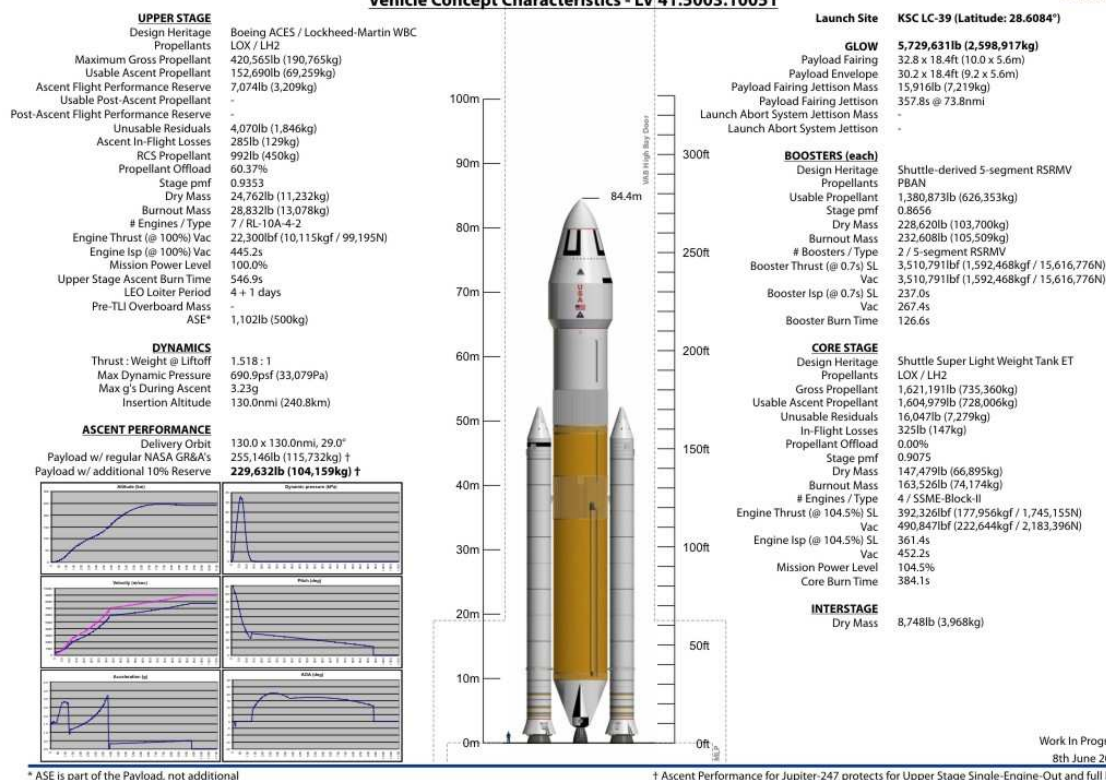


# Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista de "Il C.O.S.Mo" - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena - Anno 2 - numero 4 | 1/12/2010

DIRECTV3

## Jupiter-247 Heavy - Lunar Cargo Launch Vehicle Configuration



**Configurazione di massimo carico utile pari a 115 tonnellate metriche.**

**VASIMIR: il propulsore a ioni di nuova generazione.**

**di Luigi Borghi**

La Società **Astra Rocket Company (AARC)** si occupa di ingegneria del volo spaziale dedicata allo sviluppo di tecnologia avanzata applicata alla propulsione a razzo al plasma.

La società sviluppa il **Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket (VASIMIR®)** e le sue tecnologie associate.

È situata tre miglia a Ovest della **NASA Johnson Space Center** e circa 25 miglia a Sud della città di Houston, TX.

AARC è nata il 14 gennaio 2005 ed è ufficialmente operativa dal 15 luglio 2005.

Il **dr. Franklin R. Chang Díaz** è il Presidente ed il direttore generale.

È stato lui ad inventare il concetto del VASIMIR® ed ha lavorato sul suo sviluppo fin dal 1979, cominciando al "The Charles Stark

Laboratory" di Cambridge Massachusetts (dove io ho fatto i primi passi sui microprocessori, in uno stage di 3 settimane nel lontano 1976!!) e continuando poi al **Plasma Fusion Center del MIT** (praticamente nello stesso building) prima di portare il progetto al **Johnson Space Center** nel 1994.

Nello sviluppo del motore VASIMIR®, la AARC ha collaborato con la NASA, ma anche con diverse università e laboratori, tra cui il Oak Ridge National Laboratory, l'University of Texas ad Austin, e alcune università straniere.

La NASA, che sta ancora riprendendosi dalla decisione politica di cancellare il suo programma Constellation (che avrebbe dovuto riportare gli americani sulla Luna entro il 2020), oltre a partire con il progetto HLV, ha invitato le





imprese private a fornire le nuove tecnologie per le future missioni umane nello spazio

Molte speranze sono ora riposte in aziende come la **Astra Rocket Company**.

In una recente intervista Chang Diaz a.d. della società ha detto:

*"Nei primi tempi del mio progetto il supporto della NASA è stato piuttosto scarso. Era troppo impegnata sulle missioni Apollo! Non poteva sbagliare l'obiettivo di portare per prima un uomo sulla Luna!*

*Da quel periodo in poi l'agenzia spaziale americana si è semplicemente dimenticata di sviluppare qualcosa di nuovo!"*

Chang-Diaz, (60 anni), si augura che "qualcosa" non sia un nuovo razzo chimico che alla fine permetterebbe un viaggio con equipaggio su Marte, ma decisamente troppo lungo.

Il suo **VASIMR** invece utilizza l'elettricità per trasformare un propellente quale l'idrogeno (probabilmente anche l'elio o il deuterio), in un gas di plasma (cioè carico positivamente, senza elettroni), che viene riscaldato a 51,8 milioni di gradi Fahrenheit (11 milioni di gradi Celsius).

Il plasma viene poi incanalato in tubi di scappamento utilizzando potentissimi campi magnetici, provocando quindi la spinta per la sonda che ospita il motore.

Questo metodo renderebbe possibile incrementare pian piano la velocità di avvicinamento a Marte o alla Luna fino a circa 35 miglia (55 km) al secondo.

L'accelerazione potrebbe continuare fino a metà percorso per poi girare di 180° la navetta e provvedere ad una decelerazione continua, fino all'obiettivo.

Chang-Diaz, un veterano di sette missioni spaziali, ha detto che questo sistema potrebbe consentire una riduzione del viaggio verso

Marte ad appena 39 giorni, invece degli attuali tre anni, che includono una sosta forzata sul

pianeta rosso di 18 mesi per attendere la "finestra" utile per tornare a Terra.

La distanza tra la Terra e Marte varia tra i 35 e 250 milioni di miglia (55 milioni e 400 milioni di chilometri) in funzione della loro posizione orbitale reciproca.

L'uso di un propellente ionizzato potrebbe avere un ulteriore vantaggio: **creare un campo magnetico attorno alla sonda per la protezione contro le radiazioni.**

Motori VASIMIR in scala ridotta sono stati costruiti e testati nel vuoto, in un quadro di un accordo con la NASA.

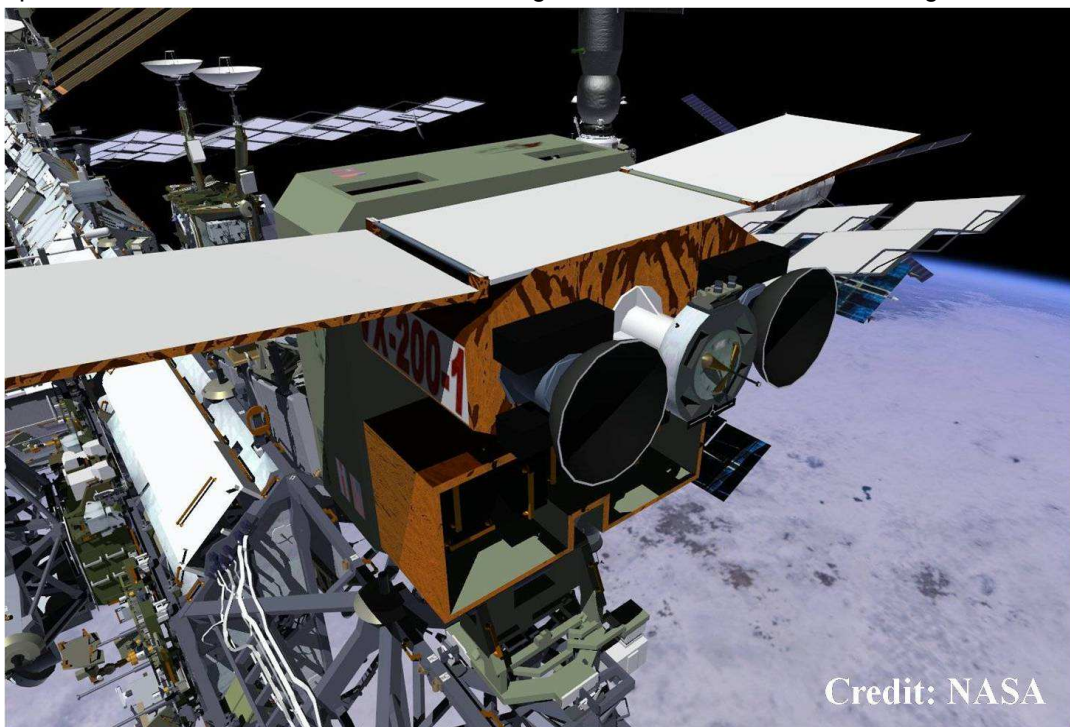
Il prossimo passo importante, secondo Chang-Diaz, sarà la messa in orbita alla **fine del 2013**, di un prototipo con un motore **VASIMR VX-200. da 200 kilowatt. con una spinta di circa 1 kg.** (con un rendimento del 70% pari a 5g\*kw)

**Gli ISP raggiungibili variano da 3.000 a 30.000sec.**

I colloqui sono in corso con le imprese spaziali private, colleghe nel supporto alla NASA, come la SpaceX e la Orbital Science Corporation per fare in modo che questo test diventi realtà.

**Applicazione di un VASIMIR sulla ISS come motore di recupero quota.**

Nonostante gli ostacoli che ha ancora davanti a sé, Chang-Diaz vede nella sua tecnologia il

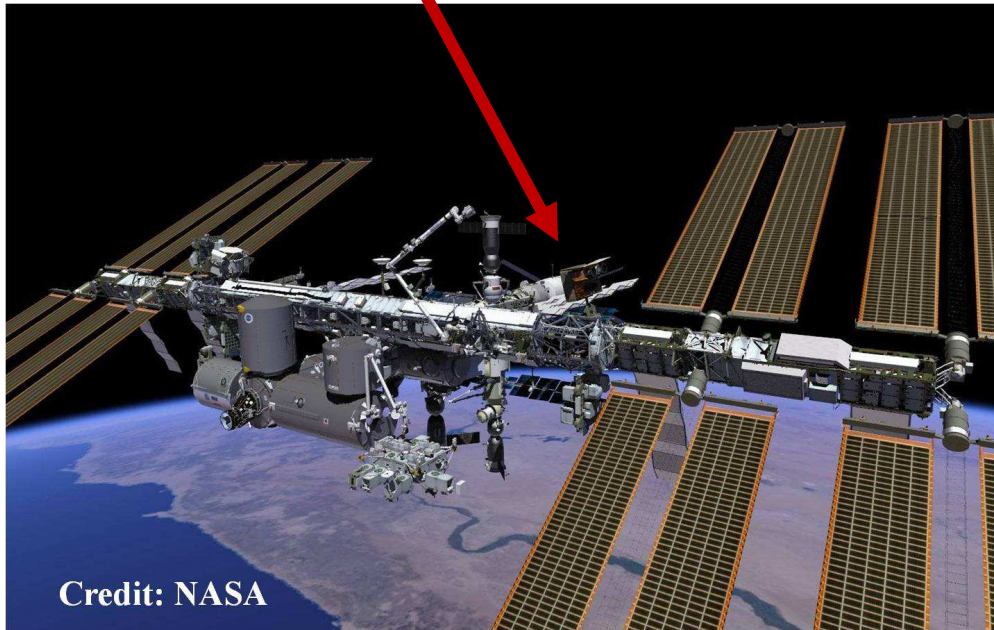


Credit: NASA

potenziale per un vasto mercato.



## Veduta d'insieme della ISS con il VASIMIR installato.



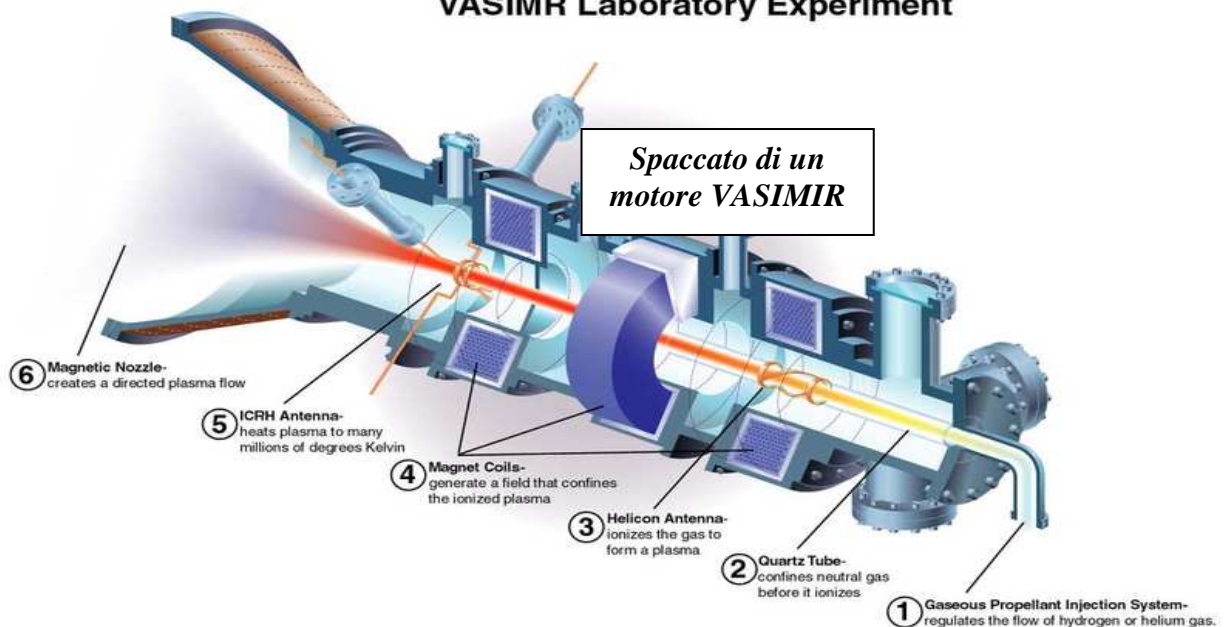
Credit: NASA

trovano sulle camere di simulazione a vuoto sulla Terra. Il VF-200 sarà composto da due unità da 100 kW impacchettate in un unico motore. Il campo magnetico di ciascun propulsore sarà orientato in direzioni opposte, al fine di effettuare una zero-coppia del quadripolo, che è importante quando si opera in orbita bassa perché il campo magnetico della terra e quello dei magneti devono essere allineati. Il quadripolo contribuirà anche a migliorare le

## Il modello VF-200 da 1 kg spinta. Il VF-200 è la prima unità di volo del motore

prestazioni dell'ugello magnetico del VF-200. Il VASIMIR è stato progettato per raggiungere una temperatura stazionaria di funzionamento, al fine di dimostrare che è in grado di operare,

## VASIMR Laboratory Experiment



VASIMR. Sarà testato sulla Stazione Spaziale Internazionale (ISS), dove la spinta e le prestazioni possono essere misurate senza le limitazioni di pompaggio e di pressione che si

per le future missioni, a tempo indeterminato. Per un motore chimico questo sarebbe impossibile se non per bassissime potenze.

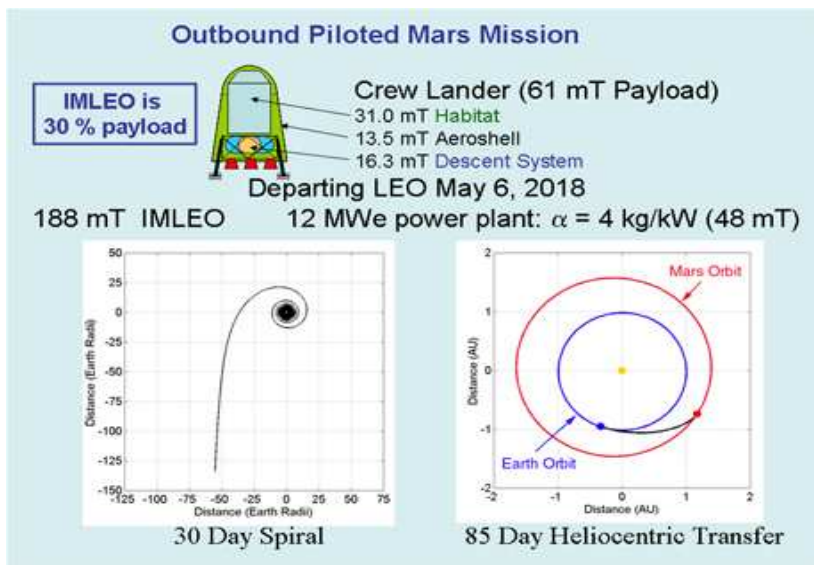


VASIMR inoltre ridurrebbe il consumo di carburante in quantità significativa. Se consideriamo che la Stazione Spaziale Internazionale richiede ogni anno **7.5 tonnellate di carburante per poter mantenere la propria orbita** (dato che, a causa dell'attrito con le molecole di atmosfera ancora presenti a quella quota viene pian piano trascinato verso la superficie del pianeta), con il sistema a magnetoplasma VASIMR, saranno necessarie solo 0.3 tonnellate, cioè una riduzione di oltre il 95%.

La VF-200 utilizzerà l'energia elettrica dalla ISS per caricare un pacco di batterie in grado di alimentare il propulsore, a piena potenza, per circa 15 minuti.

Il progetto del VF-200 servirà da "esploratore" per sviluppare poi nuovi motori con prestazioni superiori, quindi adatti ad essere utilizzati per lunghi viaggi, nel sistema solare ed oltre.

## Concetto di orbita di "rincorsa" per raggiungere elevate velocità di trasferimento.



## Rappresentazione artistica di una nave con un motore VASIMIR.



L'obiettivo del team di AARC e della NASA è quello di poter arrivare ad un motore VASIMIR da 12 MW, capace quindi di generare una spinta pari a 60 kg per un tempo sufficiente a fargli acquisire la velocità necessaria per arrivare su Marte in meno di 85 giorni.

Questo renderebbe possibile ipotizzare un ritorno dopo solo una settimana di permanenza, anziché oltre un anno con i mezzi attuali.

Appare comunque evidente che questo motore dal punto di vista della spinta globale, si trova ad almeno 5 ordini di grandezza inferiore a ciò che servirebbe per staccarsi da terra. Infatti il VASIMIR eroga pochi kilogrammi di spinta mentre un razzo chimico, come i booster dello space shuttle, erogano centinaia di tonnellate. E allora? A cosa serve? Ebbene, per ora, per lanciare in orbita bassa (LEO) un carico pagante non ci sono alternative ai razzi chimici! Ma quando la spinta del razzo chimico ha finito il suo compito ed anche la sua autonomia, la spinta costante, continua, anche se solo di poche centinaia di newton, garantirà la possibilità di accelerare lentamente ma continuamente arrivando a raggiungere velocità irraggiungibili con un razzo tradizionale.

Bisogna sempre tenere in considerazione l'impulso specifico (ISP) che se il VASIMIR riuscirà ad arrivare a 30.000 sec, raggiungerà un obiettivo fantastico impossibile da raggiungere con qualsiasi altro metodo.

Ricordiamo che 30000 sec significa che (trascurando la fonte di energia) con un kilo di propellente (idrogeno) ottengo un Kg di spinta per 30.000 sec (8 ore e 30 minuti)!!

Il percorso è ancora molto lungo. Innanzitutto c'è il problema della fonte di energia elettrica.

12 megawatt non si ottengono con i pannelli solari o con le batterie al plutonio, utilizzate fino ad oggi come fonte di energia elettrica a lungo raggio.



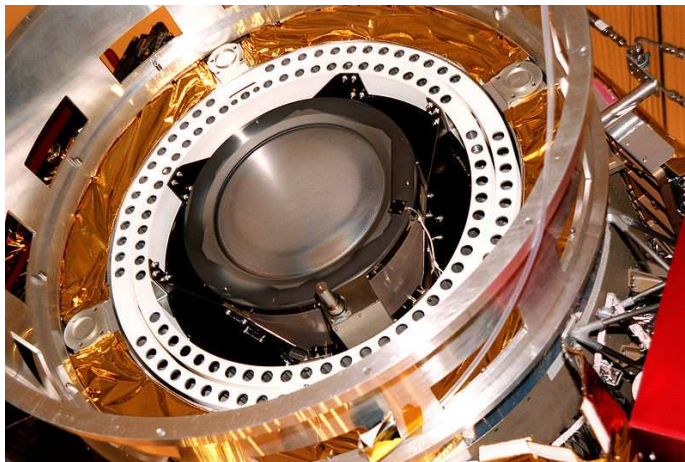
Bisognerà progettare generatori nucleari adatti per lo spazio, quindi leggeri, con un rapporto peso potenza pari o inferiore a **4kg/kW** e senza bisogno di manutenzione.

I sommergibili nucleari e le portaerei hanno già centrali nucleari a bordo ma non hanno queste caratteristiche.

Non è l'unico ostacolo! Dovranno essere inventati schermi di protezione alternativi al piombo ed al cemento armato.

Giusto ricordare anche che non è la prima volta che si pensa al motore a ioni.

### Il motore ionico della Deep space 1 al banco prova



### Dettaglio del motore ionico della Deep Space

Credo che per ora possa bastare.

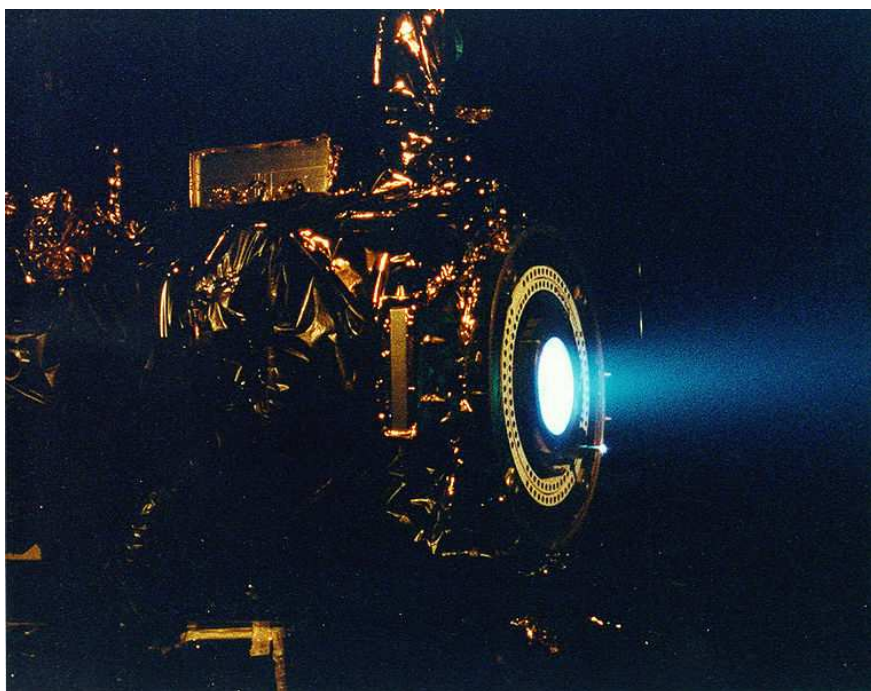
la prossima volta vi parlerò del famigerato **Skylone** della inglese **Reaction Engines Limited**:

Una ennesima visione del modo e dei mezzi per la esplorazione spaziale con il ritorno dello **spazioplano**. Uno Space Shuttle con decolla orizzontale!

**Partenza ed arrivo in un aeroporto!**

Il sogno della nave spaziale.

Ma siamo ancora lontani e resteranno comunque tutti i problemi legati alla propulsione chimica.



La Deep Space 1 è una sonda spaziale della NASA, lanciata da Cape Canaveral il 24 ottobre 1998 per mezzo di un razzo Delta II è equipaggiata da un motore a propulsione ionica di seconda generazione. La spinta è ridotta a meno di un N, ma con un ISP già molto elevato.

Il primo propulsore ionico funzionante fu costruito da **Harold R. Kaufman nel 1959 presso le fabbriche della NASA nel Glenn Research Center.**

**Alla prossima!**



## Yuri Gagarin

di **Ciro Sacchetti**

Con questo articolo continuiamo a parlare dei pionieri della Cosmonautica Sovietica, analizzeremo da vicino il cammino che ha portato il figlio di un carpentiere a varcare per primo la soglia verso le stelle.

Nasce in un piccolo villaggio dell'Unione Sovietica l'Uomo che segnerà le sorti della corsa allo spazio.

Il 9 Marzo del 1934 a Klushino, nell'Oblast di Smolensk a 100 chilometri circa da Mosca, viene alla luce Yuri Alexeyevich Gagarin.

Terzo di quattro figli con genitori di umili origini, Yuri ha un fratello maggiore Valentin (1924) una sorella Zoya (1927) e un fratello minore Boris.

Il padre Alexei Ivanovich Gagarin è carpentiere in una azienda collettiva di quelle nate dopo la Rivoluzione d'Ottobre del 1917, un uomo semplice ma sempre desideroso di imparare, la madre Anna Timofeyevna figlia di un operaio della



fabbrica di Putilov a Petrograd nota per la tradizione rivoluzionaria degli operai, svolge il lavoro di lattaia. La vita del piccolo Yuri scorre serena fino allo scoppio della seconda guerra mondiale, l'invasione Tedesca dell'Unione Sovietica porta ben presto il fronte del conflitto nei pressi di Klushino, in questo frangente Yuri vede per la prima volta due aerei in volo, uno dei quali, un Lagg, precipita dopo che il pilota è riuscito a paracadutarsi e l'altro invece è atterra in un villaggio vicino.

Il coraggio dei due piloti e lo stupore nel vedere due aerei in volo, segnano profondamente Yuri. L'avanzata nazista porta all'occupazione del villaggio dei Gagarin, Yuri deve interrompere il primo anno di scuola e la casa viene requisita dalle truppe naziste costringendo tutta la famiglia a trovare rifugio in una baracca di fortuna. Con l'arrivo dell'inverno fame, freddo e le continue

rappresaglie naziste rendono infernale la vita dei Sovietici e i Gagarin non ne sono dispensati, il fratello più piccolo di Yuri solo per avere sostato troppo nei pressi di una pattuglia di soldati, rischia di essere impiccato ad opera di un ufficiale Bavarese, l'episodio si risolve bene perchè quest'ultimo richiamato da alcuni militari, desiste dal suo orribile intento.

Il piccolo Yuri è però anche testimone di alcune azioni eroiche da parte dell'aviazione sovietica, una mattina vede sei aerei sorvolare le linee nemiche e uno di questi irrimediabilmente colpito continua a colpire i nemici prima di schiantarsi su di essi, l'esempio di amore verso la patria e dedizione assoluta si imprimono in Yuri in maniera indelebile.

L'inverno Sovietico però non perdona e mette inesorabilmente in ginocchio la tanto decantata wehrmacht, il 2 Febbraio 1943 la sconfitta della battaglia di Stalingrado condanna al fallimento l'operazione "Barbarossa".

Pochi giorni dopo le truppe Sovietiche entrano in città ponendo fine all'occupazione nazista, l'incubo è terminato!

Il padre di Yuri aiuterà le forze di liberazione a sminare i campi intorno a Klushino, questo gli varrà un encomio davanti a tutto il villaggio, successivamente seguirà l'esercito impegnato a respingere il fronte nazista, ma verrà riformato a causa delle precarie condizioni di salute dovute alla malnutrizione patita durante l'occupazione nazista.

Dopo la fine della guerra i Gagarin si trasferiscono a Gzhantsk, gli studi di Yuri sono ripresi ed ora frequenta il terzo grado di istruzione presso il Collegio di Formazione degli Insegnanti, scuola elementare dove gli insegnanti fanno praticando, qui la Maestra Nina Vasilyevna Lebedeva, incita i bambini alla dottrina di Lenin, Yuri ne è affascinato e diventerà per lui fonte d'ispirazione per tutta la vita.

Il rendimento scolastico è eccellente, Yuri si mette in luce per gli ottimi voti in matematica e russo materia per la quale ha una predilezione, al quinto anno di apprendimento entra nel club dei Pionieri e coltiva la passione per la letteratura Classica Sovietica; Gorki, Gogol, Lermontov, Tolstoj, Pushkin.



# 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 - Anno 2 - numero 4 | 1/12/2010

Al sesto anno sviluppa assieme agli amici Valentin Petrov, Zhenya Vasilyev e Tonya Durasova, una forte passione verso la fisica grazie anche a Lev Mikailovic Bespalov, insegnante carismatico dalla forte personalità. Dopo sei anni di studio, Yuri decide di proseguire gli studi e il richiamo della grande Mosca con la sua Piazza Rossa, il Mausoleo di Lenin, sono molto forti in lui, tanto da indurlo a lasciare la città di Gzhantsk, la famiglia ed a trasferirsi nella Capitale.

L'anno 1951/52 è un periodo impegnativo per Yuri, lavora come fonditore, segue le lezioni d'ingegneria alla scuola serale Lyubersty (settimo grado scolastico), eccelle negli sport il



basket in particolare, successivamente si trasferisce a Saratov presso la Scuola Tecnico industriale dove vi resterà per quattro anni nei quali approfondisce gli studi di Fisica e coltiva un forte interesse per le teorie di

Tsiolkovsky in merito ai motori per razzi interplanetari, ed è attraverso questi studi che Yuri comincia ad accarezzare l'idea del volo umano verso le stelle.

L'intenzione di diventare un pilota aviatore, è per Gagarin un pensiero ricorrente che concretizza proprio in quegli anni entrando nella scuola di volo di Saratov che apre le iscrizioni anche a studenti del quarto anno, inizia così un altro periodo duro ed impegnativo, di giorno lezioni alla Scuola Tecnica e di sera lezioni teoriche alla Scuola di volo, ma nonostante tutto ciò, Yuri ha un impegno costante su tutti i fronti ottenendo buoni voti e riuscendo a portare a termine l'iter scolastico, presentando l'impegnativo progetto di una fonderia e compiendo ciò che gli varrà il brevetto di volo, il primo volo in solitaria.

Questi successi lo porteranno a decidere di intraprendere la carriera di Pilota militare entrando nell'autunno del 1955 nella Scuola di Aviazione Militare di Orenburg, l'ammissione avviene senza esami grazie agli ottimi risultati ottenuti alla precedente Scuola di volo e al diploma conseguito all'Istituto tecnico di Saratov. Yuri indossa la sua prima divisa da cadetto e inizia le lezioni di volo teoriche, basate sulla formula "altezza, velocità, manovra e fuoco".

L'otto gennaio del 1956 arriva il momento che rimane per sempre nel cuore di Gagarin, presta giuramento in forma solenne alla Patria e al Partito Comunista.

L'impegno del Cadetto Gagarin è eccellente e con l'arrivo dell'estate cominciano le lezioni pratiche su gli "YAK 18" aerei troppo lenti e poco versatili per le sue esuberanti doti di pilota, ed è in questo periodo che avviene un altro episodio determinante, ad una scuola di ballo, sulle note di un bellissimo valzer, conosce la donna che diventerà sua moglie, Valya Goryacheva. Tra i due è subito intesa, lei lavora all'ufficio postale di Orenburg e nei momenti liberi, i due condividono la passione per la letteratura, il teatro e il pattinaggio. All'inizio del 1957 viene trasferito ad altro battaglione al comando del Maggiore Belikov, qui Yuri cambia anche tipo di formazione teorica, ora si basa sugli aerei a reazione con principi del volo ad alta velocità e leggi della termodinamica, successivamente arrivano i primi voli sui "MIG", qui Yuri affina le sue tecniche di volo ed acquisisce nozioni di combattimento aereo sorprendendo tutti per le capacità di pilota e per la tranquillità con cui affronta ogni esercitazione.

Il 4 Ottobre del 1957 radio Mosca annuncia a tutto il mondo la messa in orbita da parte dell'Unione Sovietica di un satellite artificiale; lo "Sputnik", il mondo occidentale ha un sussulto, la corsa allo spazio è di fatto iniziata e la Russia ha vinto il primo round.

Sono giorni in cui Yuri assieme agli altri cadetti sono sottoposti al giudizio della



Commissione di stato presieduta dal Colonello Kibalov, per stabilire chi era meritevole dei gradi di Tenente, inutile dire che Gagarin ottiene un giudizio più che soddisfacente, con voti che superano l'eccellente riconoscendogli svariati encomi, viene perciò raccomandato ai gradi di Tenente; il 3 novembre la notizia in cui si annuncia il lancio nello spazio di una capsula con a bordo una cagnolina di nome "Laika", fa il giro del mondo imponendo una accelerata al programma spaziale da parte dei due maggiori contendenti America e Russia.

Il 7 novembre, in occasione del 40° anniversario della Rivoluzione d'Ottobre, Yuri e altri cadetti come lui vengono solennemente nominati Tenenti, finita la cerimonia corre a



# 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 - Anno 2 - numero 4 | 1/12/2010

casa Goryachev per andare a sposare Valya, successivamente parte da solo, la moglie lo seguirà dopo aver finito un corso da infermiera, per la base di Luostari, nella regione di Murmansk oltre il circolo polare artico; alla domanda del perchè avesse scelto una destinazione così impegnativa in un posto così estremo, lui risponde così: "perchè lì è sempre tutto difficile", lo spirito di sacrificio per il bene della società, la devozione alla patria sono ben radicati in lui.

Dopo un periodo di studio teorico, arriva il primo volo in solitaria in condizioni meteorologiche estreme seguiti da voli notturni per i quali riceve ottimi apprezzamenti dal suo istruttore, è indubbio che il Tenente Gagarin è un pilota formidabile ed un vero patriota, ben presto comincia a frequentare l'Università di Marxismo-Leninismo e nel 1959 entra nel Partito Comunista, in quell'anno ci saranno altri due eventi a caratterizzare la sua vita, il 2 gennaio dalla base di Baikonur viene lanciato un razzo verso la Luna, il "LUNA1", e in aprile nasce la primogenita Lenochka, la gioia a questo evento è grandissima.

Il 4 ottobre dello stesso anno, pochi giorni dopo il ritorno di Nikita Kruscev dal suo viaggio negli Stati Uniti, l'Unione Sovietica lancia il suo terzo razzo verso la Luna, il "LUNA3", farà una sola orbita ma fotograferà il lato nascosto del nostro satellite e sarà un'altro colpo vincente verso l'America.

Questi successi uniti al sogno sempre presente di volare nello spazio, portano Yuri a decidere di far parte di questa avvincente sfida e presenta la domanda per essere ammesso al Programma Spaziale Sovietico, in breve viene convocato alle prime sessioni di visite mediche che per sicurezza vengono ripetute ben sette volte sul singolo candidato, cuore, vista, udito, resistenza allo stress, nessun dettaglio è lasciato al caso.

Passata la prima sessione medica, Yuri viene riconvocato per la seconda sessione dove ai consueti esami clinici, si aggiungono test sulla memoria e sulla prontezza dei riflessi, resistenza a situazioni critiche, persino l'indole del soggetto ha rilevanza, dopo qualche settimana viene comunicato al Tenente Gagarin che è stato ammesso al gruppo di piloti destinati a diventare Cosmonauti.

Il giorno del suo ventiseiesimo compleanno, Yuri torna a casa con la notizia che diventerà un Cosmonauta, il sogno di una vita si sta avverando.

Comincia la preparazione dei futuri cosmonauti, il programma prevede una accurata preparazione teorica e pratica sulle materie inerenti al volo spaziale, particolare attenzione si ha negli esercizi di adattamento all'interno della navicella, ma si ha cura anche dell'aspetto fisico attraverso sport come parallele, giochi con la palla, nuoto, immersione e lanci col paracadute. Nel giugno del 1960 Yuri Gagarin, viene ammesso al comitato del Partito Comunista, sulla domanda di ammissione scrive: "...voglio essere un membro attivo del PCUS e partecipare attivamente alla vita del paese..", a questa emozione si unisce quella di conoscere il Progettista Capo Sergei Korolev, che presenta ai cosmonauti la navicella progettata per il primo volo umano nello spazio, la "VOSTOK"



che significa Oriente.

Nell'agosto 1960, viene lanciato lo "Sputnik 5" con a bordo due cagnette, Belka e Strelka, effettuano 18 orbite e ritornano per la prima volta sulla terra sane e salve, segue il lancio nel dicembre dei cani Pchylka e Mushka dove però la capsula al rientro va dispersa, intanto la preparazione continua sottoponendo i candidati a prove limite come esercizi di forti vibrazioni, sopportazione della forza G negativa, resistenza alle alte e alle basse temperature, l'allenamento prevede anche prove di orientamento, comunicazioni radio, controllo manuale dell'assetto all'interno della navicella.

Intanto vengono effettuati altri lanci tra cui quello di un manichino e di una cagnetta da Yuri stesso battezzata Zvyozdochka (stellina) completato con successo, comincia ad



# Il C.O.S.Mo. NEWS

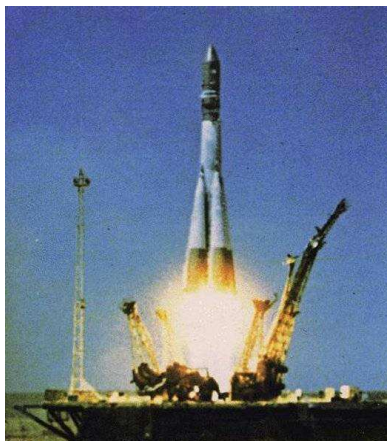
Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo." - e-mail: [info@cosmo.net](mailto:info@cosmo.net) - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena - Anno 2 - numero 4 | 1/12/2010

essere tutto pronto per la nomina del primo uomo che varcherà il cielo verso le stelle.



Partiti in 25 dopo la prima selezione, a Baykonur ne arrivano solo 6 tra loro Gagarin, il candidato che si è sempre dimostrato all'altezza di ogni prova a loro sottoposta mantenendo una calma e una freddezza del tutto stupefacente; sarà lo stesso Korolev assieme a Nikolay Kamanin eroe dell'Unione Sovietica a nominare il Tenente Yuri Alexejevich Gagarin designato al primo volo umano nello spazio come Cosmonauta 1 e German Titov Cosmonauta 2 pronto a sostituirlo in caso di necessità.

La data scelta è il 12 aprile del 1961, resta un pò di tempo perchè Yuri visiti la piazza Rossa dove si sofferma a lungo davanti al mausoleo di Lenin, è appena diventato padre della seconda figlia Galochka e pensieroso si chiede



che significato avrà per la sua famiglia e per il popolo sovietico la sua impresa.

Il 10 aprile a Baikonur tutto è pronto, il razzo vettore "R 7" sulla cui sommità è posta la navicella

"Vostok1" è in attesa sulla rampa di lancio, il lanciatore R 7 è un missile a due stadi alto 38 metri circa e pesante 287 tonnellate, la Vostok1 è composta dal modulo abitativo di forma sferica e da un modulo di servizio contenente strumentazione e propulsori d'assetto, al rientro la capsula Vostok dopo essersi separata dal modulo di

servizio ha solo la possibilità di orientare lo scudo termico in più a 4000 metri è previsto che l'occupante venga espulso per discendere con paracadute separato dalla navicella, al suo interno possiede un pannello di controllo molto spartano diviso in due sezioni per un totale di 4 interruttori e 35 indicatori (un'auto moderna ne possiede molti di più), i controlli di volo sono collegati ad un autopilota che poteva essere sbloccato solo con un codice a tre cifre comunicato da terra in caso di necessità.

Il giorno prima del lancio, Gagarin e il cosmonauta 2 Titov passano una giornata di tutto riposo, ascoltano musica chiacchierano e giocano carte, la sera viene effettuata l'ultima visita medica; pressione 115/75, 36,7 gradi, 64



battiti al minuto, il sonno arriva in pochi minuti. La mattina del 12 aprile la sveglia suona alle 5,30, Yuri fa i soliti esercizi e consuma una buona colazione assieme a Titov, si procede poi con una visita medica e la vestizione, infilata la prima tuta di cotone azzurro è tempo di indossare la tuta vera e propria di colore arancione dotata dei sistemi di sopravvivenza, calzato il casco bianco con la scritta CCCP, Gagarin è pronto, sulla rampa di lancio si procede agli ultimi controlli del caso, intanto Korolev ha raggiunto il Cosmonauta, ha la faccia stanca, è visibilmente teso, a bordo del pulmino che procede verso il sito di lancio, Yuri è sorridente e con un'espressione tranquilla esclama: "che sole meraviglioso...", fatta una dichiarazione a giornali e radio, procede alle fasi di inserimento nella Vostok1 denominata da lui stesso "Kedr" Cedro, sono le ore 7,30 circa il lancio è previsto dopo un'ora circa.

Dopo una serie di controlli, alle 8,51 cominciano le ultime fasi pre-lancio e alle 9,07 ora di Mosca, il frastuono dei 20 motori 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 - Anno 2 - numero 4 | 1/12/2010

razzo R7, annunciano il decollo verso la storica impresa, è in questo momento che Yuri pronuncia la storica frase "si vò!".

L'ascensione e tutte le fasi di distacco avvengono come da programma, in pochi minuti la Vostok1, la Kedr, raggiunge l'orbita terrestre e Gagarin sperimenta l'assenza di gravità, registra su nastro le sue impressioni e comunica via radio a Korolev sulla terra i dati della strumentazione. Yuri è nello spazio, ha finalmente coronato il suo sogno, varcare il cielo e arrivare a vedere le stelle al di fuori dell'atmosfera esclamerà ad un certo punto: "la Terra è blu.....è bellissima...", le emozioni si mescolano allo stupore nel vedere per la prima volta la terra dallo spazio.

Nel suo volo Gagarin compie un'orbita ellittica con un apogeo di 344 Km e un perigeo di 190 Km ad una velocità 28000 Km/ora circa, per assicurare le comunicazioni con la navicella sono state predisposte 7 stazioni radio, 3 delle quali trasmettono in VHF le restanti in HF, visto che la maggior parte del volo si svolge sull'oceano, il segnale HF ha una portata nettamente superiore al VHF permettendo una migliore ricezione.

Alle 9,52 ora di Mosca, la capsula ha sorvolato gli Stati Uniti ed è ora sulla verticale di Capo Horn, Yuri consuma un pasto, alle 10,15 in prossimità dell'Africa viene dato da terra l'ordine di prepararsi all'accensione dei retrorazzi, alle 10,25 si accendono i retrorazzi e la Vostok inizia il rientro nell'atmosfera, in questa fase la capsula comincia a roteare in maniera preoccupante, ma l'anomalia finisce quasi subito e la Vostok allinea in posizione ottimale lo scudo termico, ad una altezza stimata di poco al di sotto dei 7000 metri Gagarin si eietta proseguendo la discesa col paracadute contenuto nel sedile, atterra nei pressi della città di Engels nei campi del Kholkoz Leninsky Put alle 10,55 dopo 108 minuti di volo e la prima persona che incontra è Anna Takhtarova e sua nipote, poco dopo arrivano anche giornalisti e militari, Radio Mosca ha trasmesso l'annuncio della storica impresa mentre era ancora in volo, lasciando il mondo attonito e ribadendo che la nazione detentrica della supremazia spaziale è senza dubbio l'Unione Sovietica.

Gagarin viene riportato alla base, qui apprende di essere stato nominato Maggiore, riceve una lunga telefonata da Kruscev e rilascia interviste alla Pravda e alla Izvestia, conclude la serata in una località sul Volga, il giorno dopo incontra il progettista capo Korolev, poi

parte alla volta di Mosca dove ad attenderlo all'aeroporto c'è il Premier Nikita Kruscev in persona e tutti gli alti esponenti del Partito, insieme si recano nella Piazza Rossa, dove Yuri tiene un discorso sul mausoleo di Lenin e il popolo Sovietico, con un bagno di folla saluta festosamente il suo eroe, gli viene inoltre conferito l'Ordine di Lenin, la più alta onorificenza per un cittadino Russo.

E' un vero trionfo e Gagarin è ora un emblema



per la propaganda Sovietica, inizia infatti un tour che lo porta in tutto il mondo, interviste, ricevimenti, conferenze, proiettano Yuri Gagarin nel mito, un mito che sembra essere destinato a durare per sempre.

Tornato alla sua base cercherà di rientrare nel programma spaziale in maniera attiva, collabora nella preparazione della missione Vostok 6 che porterà la prima donna nello spazio, Valentina Teleshkova; riesce con molta insistenza a diventare la riserva per la missione Sojuz 1, missione in cui muore Komarov in circostanze misteriose e da lì in poi Gagarin tornerà a pilotare i MiG.

Il 27 marzo del 1968 Gagarin decolla a bordo del MiG 15-UTI assieme a Vladimir Seryogin, un copilota di grande esperienza voluto fortemente dal Cremlino convinti di preservare il più possibile il proprio Mito da incidenti, alle 10,31 si interrompono le comunicazioni col caccia, e solo dopo sei ore incominciano le ricerche, a 96 Km a est di Mosca viene avvistata una nuvola di fumo.

Le ricerche riprendono il giorno seguente e nei pressi della città di Kizak, vengono ritrovati i resti dell'aereo e dei due piloti; Yuri Gagarin, il mito che ha volato per primo nello spazio, muore in circostanze a dir poco misteriose.

Le ceneri di Gagarin vengono tumulate con un funerale solenne nel muro del Cremlino mentre



tutta una nazione piange uno tra gli eroi più amati in tutti i tempi.

Vengono avviate alcune inchieste, senza fare piena luce sull'accaduto, qualcuno avanza l'ipotesi del complotto da parte del Cremlino perchè ormai Gagarin è diventato ingestibile, altri ipotizzano un incidente in volo con altro velivolo; recentemente il colonello in pensione Igor Kuznetsov, dopo nove anni d'indagini afferma con una certa convinzione, che la ragione della morte del Cosmonauta è stata determinata da una manovra azzardata dovuta al fatto che a quota 3000 m. i due piloti accortisi di una presa d'aria dell'abitacolo rimasta aperta, decidono di tornare ad altitudine più sicura facendo una repentina picchiata che però li ha portati allo svenimento e al successivo schianto, a quei tempi i piloti non avevano piena conoscenza degli effetti sull'organismo in situazioni così al limite.



Di quest' Uomo sono state dette e scritte tante cose, eretti monumenti e addirittura scritte canzoni, ma credo che sia più giusto ricordarlo a pochi momenti dallo storico volo dove con un sorriso sereno, si accingeva ad affrontare un folle volo verso l'ignoto.

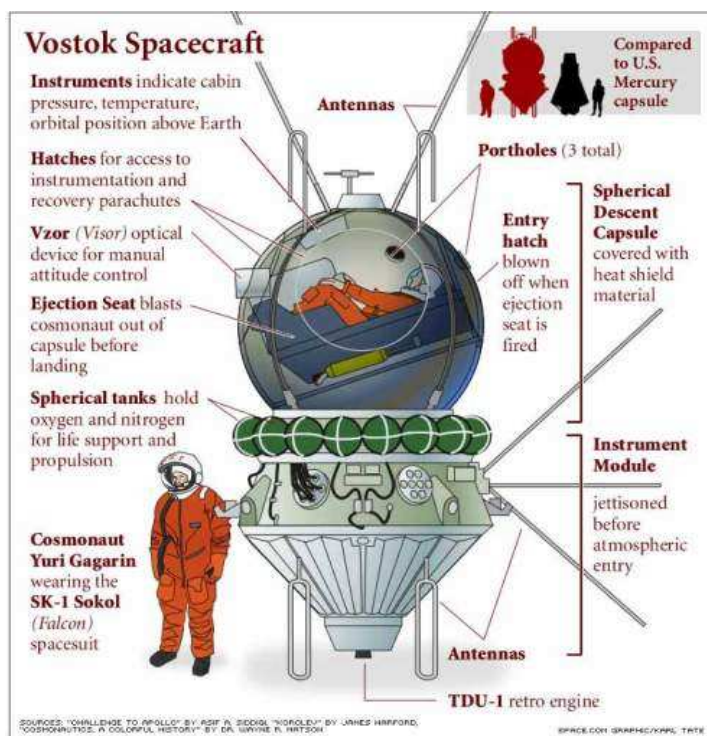
### Curiosità:

La Vostok era dotata di cibo e sistemi di sussistenza per circa 10 giorni, tempo impiegato dalla navicella per rientrare sulla terra in caso di avaria dei retrorazzi.

Di ritorno dalla missione, all'arrivo a Mosca,



mentre percorre a piedi la pista verso il comitato di bentornato capeggiata da Kruscev, Gagarin appare tesissimo, la ragione è una scarpa slacciata, teme seriamente d'inciampare rischiando di cadere.....





## Uomini, robot e superuomini

di Francesco Leali

**“Io vi insegnerò cos'è il Superuomo. L'uomo è qualcosa che deve essere superato. Che cosa avete fatto per superarlo? Tutti gli esseri fino ad oggi hanno creato qualcosa che andava al di là di loro stessi: e voi invece volete essere la bassa marea di questa grande ondata e tornare ad esser bestie piuttosto che superare l'uomo? Che cos'è la scimmia per l'uomo? Qualcosa che fa ridere, oppure suscita un doloroso senso di vergogna. La stessa cosa sarà quindi l'uomo per il Superuomo: un motivo di riso o di dolorosa vergogna. [...] Guardate, io invece vi insegno a diventare Superuomini! [1]**

Da sempre la specie umana è stata capace di differenziarsi dal resto delle creature terrestri per la propria abilità di ideare, sviluppare ed utilizzare con creatività utensili e strumenti sempre più evoluti. Tale prerogativa ha permesso, grazie alla meccanica, il superamento dei propri limiti fisici e, con la moltiplicazione delle tecnologie legate ad informatica ed elettronica, il netto miglioramento dell'efficacia e dell'efficienza di applicazione delle proprie facoltà mentali. Seppure il mondo degli uomini e dei robot è ancora nettamente separato, la tendenza ad antropomorfizzare le macchine grazie all'intelligenza artificiale, la possibilità di comandare attuatori collegati direttamente al cervello umano (“Brain2Robot”, Fraunhofer Institute for Computer Architecture and Software Technology [2]; “Brain-controlled Robotics”, DLR Institut für Robotik und Mechatronik [3]) e la capacità di migliorare le prestazioni fisiche degli esseri umani, robotizzandoli, creano una specie ibrida di grande interesse ed innegabile fascino, argutamente rappresentata in Figura 1.

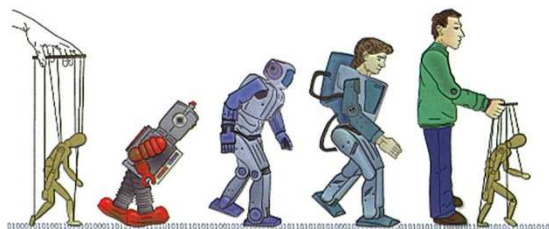


Figura 1: Evoluzione della robotica [4].

A proposito del sempre più sottile confine che divide uomini e macchine, qualche pensatore disinibito e qualche scienziato in vena di filosofia si sono divertiti a coniare il termine di “transhumans”, evoluzione in chiave tecnologica dei vari uomini

bionici, borg e cyborg di derivazione fantascientifica [5].

Recuperando un approccio più tecnico è possibile tuttavia riconoscere come i sistemi integrati uomo-robot siano significativamente più adatti ad adattarsi ad ambienti non strutturati di qualsiasi evoluto sistema autonomo robotizzato. Tra questi le soluzioni e le tecnologie basate su strutture meccatroniche esterne (esoscheletri) rappresentano un affascinante quanto complesso sottoinsieme. Tale definizione esclude, per semplicità, sistemi complessi quali sedie mobili o muli meccatroniche (Figura 2 e Figura 3).

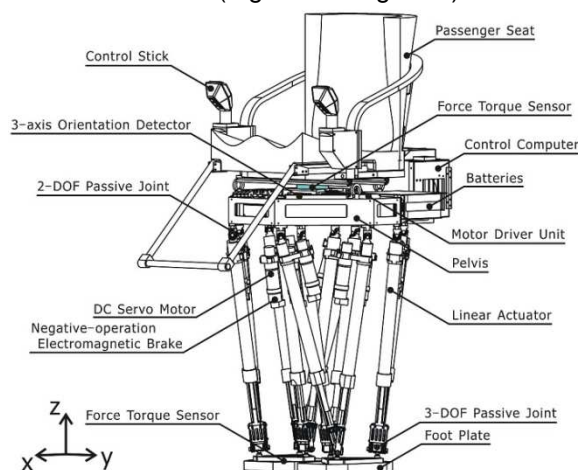


Figura 2: Waseda Leg - No. 16 Refined V (WL-16RV) [7].

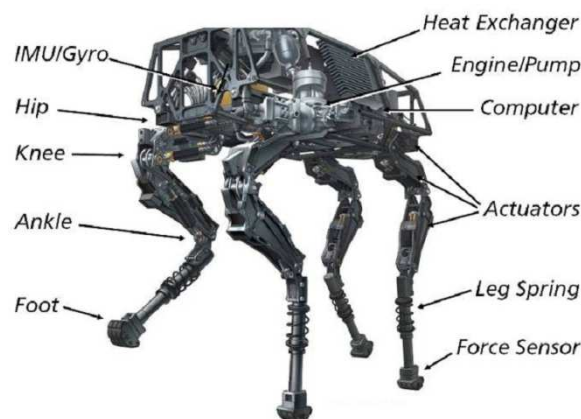


Figura 3: Big Dog - Boston Dynamics [8].

In generale gli esoscheletri ed i sistemi basati sull'aumento delle prestazioni fisiche degli esseri umani – tipicamente forza e resistenza – possono essere divisi in esoscheletri per gli arti inferiori “lower-extremity” ed esoscheletri per gli arti superiori “upper-extremity”. Le ragioni della



suddivisione in tali categorie non deriva esclusivamente da considerazioni funzionali o applicative ma anche dalla consapevolezza che lo sviluppo degli esoscheletri si trova ancora in una fase iniziale e che saranno necessari molti sforzi scientifici e tecnici per realizzare strutture integrate ad elevata efficienza [6].

Gli esoscheletri per l'amplificazione delle capacità umane possono essere applicati in diversi campi della società civile, dell'industria produttiva, dell'industria militare o aerospaziale, dell'allenamento sportivo e del settore della riabilitazione medica.

Più recentemente, invece, esoscheletri leggeri ed estremamente raffinati vengono impiegati nell'ambito dei sistemi di realtà virtuale per fornire feedback aptico agli utenti. Figura 4, ad esempio, mostra un paio di guanti capaci di restituire a chi li indossa, grazie ad una esostruttura elettroattuata, la sensazione di afferrare oggetti reali, dotati cioè di peso proprio, di inerzia e di impenetrabilità reciproca, anche quando vengano manipolati semplici modelli CAD.



**Figura 4: CyberGlove® - Inition [9].**

I primi prototipi di dispositivi dedicati all'amplificazione della forza umana vennero prodotti in ambito militare nei primi anni '60, sviluppando l'idea di esoscheletri esterni – "slave" – comandati da esoscheletri interni – "master" – progettati, questi ultimi, per seguire i movimenti di un operatore umano ad essi vincolato (Figura 5).



**Figura 5: Hardiman – General Electric, 1965 [6].**

Dimostratisi eccessivamente ingombranti per poter essere impiegati efficacemente in ambiti che richiedessero spostamenti rapidi, furono presto sostituiti da attuatori idraulici, pneumatici o elettromeccanici connessi direttamente con le articolazioni degli operatori.

Esoscheletri di questo ultimo tipo sono tuttora sperimentati in ambito medico (Figura 6) per offrire mobilità a pazienti paraplegici o affetti da disturbi motori [10], per supportare il processo di riabilitazione della funzionalità degli arti [11], come mostrato in Figura 7 o per favorire la movimentazione di degenti non autosufficienti [12].

Recenti soluzioni, come quella presentata, ad esempio, in Figura 8 – prodotta dal Cybernics Lab dell'Università giapponese di Tsukuba e commercializzato da Cyberdyne Inc. con il nome di HAL (Hybrid Assisted Limb) – adottano motori a corrente continua, alimentati da una batteria capace di un'autonomia di un paio d'ore, e trasmissioni di tipo Harmonic Drive.

Meccanismi posti in corrispondenza delle anche, delle ginocchia e, per le estremità superiori, in corrispondenza dei gomiti e delle spalle, costituiscono una struttura alta 1600mm e pesante circa 23kg, in grado di amplificare la forza umana di un rapporto oscillante, secondo quanto dichiarato



dai produttori, di un fattore compreso tra 2 e 10, a seconda che si consideri l'esoscheletro inferiore o superiore e in dipendenza dei diversi modelli proposti.



**Figura 6: Medical Exoskeleton™ - Berkeley Robotics & Human Engineering Laboratory [13].**



**Figura 7: RoboKnee - Yobotics [14].**



**Figura 8: HAL-5 Type-B - Cyberdyne [15].**

Il raffinato sistema di controllo di HAL è in grado di intercettare, attraverso un sensore collegato sulla pelle di chi lo indossa, i deboli biosegnali nervosi che vengono inviati dal cervello ai muscoli in corrispondenza di un'azione e di flettere ed estendere, di conseguenza, il sistema meccatronico che sostituisce l'apparato muscolo-scheletrico.

L'esoscheletro è completato da un potenziometro, dedicato alla misurazione degli angoli disegnati dai giunti, da una serie di sensori di forza, necessari per determinare l'entità delle forze di reazione al terreno e da un giroscopio ed un accelerometro, impiegati per controllare i movimenti del torso.

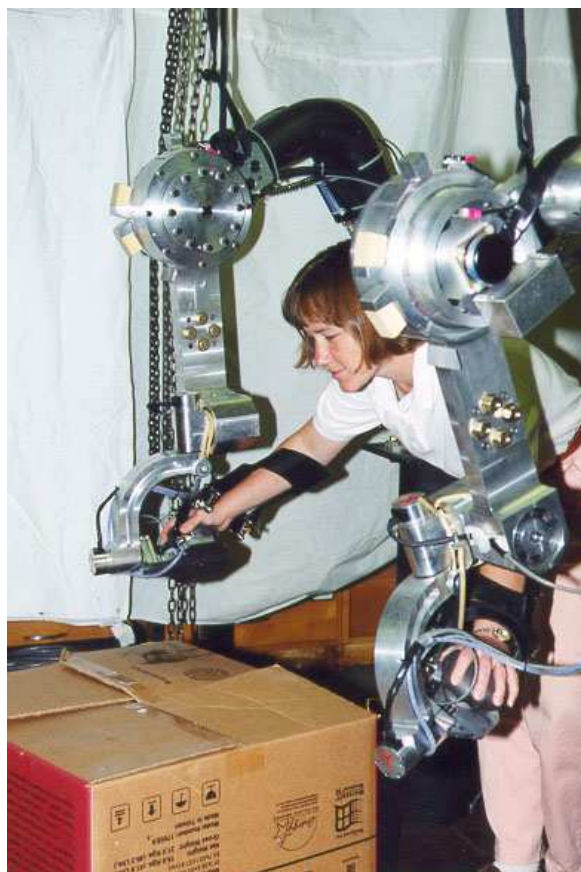
Entrando maggiormente nel dettaglio delle strutture esoscheletriche, è bene sottolineare come nella pratica industriale siano diffusi, già da molti anni, sistemi di tipo "upper-estremity" finalizzati al sollevamento e alla manipolazione di carichi pesanti (Figura 9).

Grazie ad una struttura sospesa e a una serie di servomotori, tali sistemi consentono di trasferire all'operatore un feedback corrispondente a circa appena il 10% del peso reale dell'oggetto, effetto necessario per annullare lo sforzo mantenendo, in virtù del carico residuo, il controllo dei movimenti.



In alcuni modelli più avanzati, inoltre, speciali funzioni di trasferimento consentono di filtrare determinate frequenze dei carichi vibratorii applicati, permettendo all'operatore di percepire, ad esempio, solo sollecitazioni non affaticanti – generalmente caratterizzate da basse frequenze. Gli stessi dispositivi possono, inoltre, essere programmati per seguire con velocità proporzionale alla forza esercitata traiettorie predefinite, indipendentemente dalla direzione imposta dall'operatore, in modo da favorire, ad esempio, il preciso assemblaggio dei componenti, specialmente in presenza di giochi ridotti.

L'applicazione di raffinate logiche di controllo adattive, inoltre, basate sulla continua misura delle interazioni scambiate tra essere umano e macchina, applicate a potenti attuatori idraulici consente, in ambito aerospaziale, di manipolare con destrezza e precisione anche parti molto ingombranti e pesanti.



**Figura 9: Upper-extremity exoskeleton [13].**

Le versioni di esoscheletri "upper-extremity" non antropomorfe e, dunque, non "indossabili" direttamente dagli operatori, sono comunemente identificate con l'acronimo IAD – Intelligent Assist

Device, ma l'ordinarietà delle soluzioni adottate in questi casi non le rendono certo accattivanti per un cosmonauta che si rispetti ...

Molto più tecnologicamente interessanti, anche grazie alla loro capacità di attrarre risorse in ambito militare, sono, invece, le soluzioni di tipo "lower-extremity".

Queste sono generalmente composte da una serie di meccanismi attuati fissati in corrispondenza di ciascuno degli arti inferiori e da un'unità di alimentazione – tipicamente una batteria ricaricabile – generalmente collocata in corrispondenza di un telaio rigido autoportante, in grado di supportare anche carichi di notevole entità. Tali soluzioni consentono al "pilota" di trasportare carichi utili significativi, anche attraverso terreni accidentati e pendenze variabili.

Il principale gruppo di ricerca e sviluppo degli esoscheletri di tipo "lower-extremity" è, ad oggi, anche il primo ad aver creato un prototipo realmente operativo: il Robotics & Human Engineering Laboratory dell'Università americana della California, Berkeley.

Il prototipo, chiamato BLEEX - Berkeley Lower Extremity Exoskeleton, è stato sviluppato a partire da un approfondito studio clinico di analisi dell'andatura che ha dimostrato come gli esseri umani disperdano la maggior parte della propria energia attraverso le giunture poste sul piano sagittale della caviglia, del ginocchio e dell'anca [16]. Per questo motivo, le articolazioni poste sul piano sagittale sono generalmente tutte attuate.

In alcune versioni, invece, per le quali è fondamentale diminuire il consumo energetico, i gradi di libertà della caviglia e dell'anca non agenti sul piano sagittale, dove le forze necessarie all'esecuzione dei movimenti sono di intensità minore, vengono precaricati rispetto alla posizione neutrale con dispositivi a molla e azionati con il contributo diretto del pilota.

Gli stessi dati clinici hanno permesso di definire intervalli di movimento dei giunti tali da consentire spostamenti superiori a quelli degli arti di un normale essere umano ma inferiori al limite fisico delle articolazioni umane, in modo da garantire la totale sicurezza del pilota.

Figura 10 mostra il prototipo nella sua prima versione, datata 2004. Il carico utile può essere collocato all'interno della parte superiore dello zaino e delle tasche posteriori e laterali (1); la struttura rigida dello schienale, identificata con (2), sostiene il carico e l'unità di alimentazione (3) ed è vincolata al pilota attraverso un giubbotto semirigido in policarbonato (4), studiato per evitare



la concentrazione dei carichi sulle spalle e sul torso del pilota; gli attuatori (5) sono posizionati in corrispondenza degli arti inferiori mentre i piedi del pilota (6) sono vincolati rigidamente all'esoscheletro e, grazie alla punta flessibile ed alla possibilità di ruotare e flettere la caviglia, godono di sufficiente manovrabilità, evitando goffe cadute.

La struttura dell'esoscheletro è progettata per avere dimensioni regolabili, in grado di adattarsi al 95° percentile dei soldati americani.



**Figura 10: BLEEX - Berkeley Lower Extremity Exoskeleto [6].**

Gli attuatori posti in corrispondenza della caviglia sono stati progettati per fornire coppie plantar flessionali relativamente grandi (~113Nm) corrispondenti a quelle necessarie per la propulsione di una normale falcata.

Gli attuatori del ginocchio sono stati progettati per fornire sia le coppie necessarie per l'estensione dei talloni (~90Nm) durante il cammino, che le coppie di flessione (~90Nm) utili all'esecuzione dei movimenti di rotazione necessari a superare ostacoli e scalini.

Gli attuatori posti in corrispondenza delle anche sono stati dimensionati per fornire coppie di flessione ed estensione simmetriche (+/-102Nm), in

risposta a quanto richiesto dal corpo umano durante il cammino.

Le articolazioni del prototipo BLEEX sono movimentate da attuatori lineari idraulici, la cui funzione di controllo, dipendente in modo non lineare dalla posizione istantanea dell'attuatore e dalla sua geometria, è ottimizzata in modo da generare la giusta coppia ad ogni giunto.

L'analisi clinica preliminare precedentemente citata ha consentito di determinare anche la giusta potenza necessaria per dimensionare gli azionamenti e garantire un'autonomia di qualche ora. Secondo gli studi effettuati una persona normale utilizza tipicamente circa 0,25HP (185Watt) per camminare ad una velocità media di circa 5km/h. Tale valore, che rappresenta il prodotto medio tra la velocità e la coppia, è espressione della potenza puramente meccanica esplosa dalle gambe durante la deambulazione e viene aumentato leggermente per compensare le inevitabili ed intrinseche perdite di potenza dell'esoscheletro.

L'algoritmo di controllo assicura che la movimentazione dell'esoscheletro avvenga di concerto con il pilota, sfruttando una minima forza di interazione tra i due.

Senza entrare nel dettaglio del suo funzionamento, basti sapere che proprio sul BLEEX è stato adottato, per la prima volta su un sistema robotizzato, uno schema di controllo che non richiede misure dirette delle forze applicate da parte dell'utente o dell'interfaccia uomo-macchina ma che, attraverso una complessa logica di controllo, è in grado di azionare la struttura anche quando la posizione di contatto tra l'utilizzatore e la macchina sia sconosciuta e scarsamente prevedibile (cioè l'esoscheletro e chi lo indossa sono in contatto in diversi punti).

Tale approccio, complesso da implementare, ha richiesto lo sviluppo di un sistema che fosse contemporaneamente caratterizzato da elevata sensibilità – capacità di rispondere rapidamente a sollecitazioni volontarie o involontarie del pilota – e da alta robustezza – capacità di minimizzare gli effetti di eventuali disturbi esterni. Problema, questo, di non semplice soluzione.

A partire da questo innovativo modello, il laboratorio di "Robotics & Human Engineering" dell'Università della California, Berkeley e l'azienda Berkeley Bionics [17] hanno prodotto due successive versioni di esoscheletri per applicazioni militari: ExoHiker™, sviluppato per il trasporto di carichi pesanti su lunghi tragitti, e ExoClimber™,



mirato ad affrontare terreni caratterizzati da aspre variazioni di pendenza.

Solo recentemente Berkeley Bionics e Lockheed Martin si sono unite per portare sul mercato l'evoluto sistema di terza generazione HULC™ (Human Universal Load Carrier), mostrato in Figura 11.



**Figura 11: HULC™ - Berkeley Bionics [18].**

HULC™ incorpora ed integra le caratteristiche dei due precedenti modelli: è in grado di trasportare circa 90kg con un costo metabolico estremamente basso per chi lo indossa.

Da alcune valutazioni preliminari effettuate dalle aziende, il consumo di ossigeno di utenti che si spostino a piedi ad una velocità di circa 3,5km/h, è diminuito del 5%-12% (senza carico utile) fino ad arrivare ad una riduzione di circa il 15% in caso di trasporto di circa 35kg.

Tralasciando l'impiego militare della tecnologia e soffermandosi maggiormente a pensare agli usi medici e socialmente utili di tali dispositivi si può concludere come l'efficacia delle strutture esoscheletriche dedicate all'aumento delle

prestazioni umane, principalmente nelle configurazioni per gli arti inferiori, derivi principalmente dall'integrazione dei benefici dovuti all'impiego dell'intelletto umano con i vantaggi offerti dall'impiego di forze motrici di natura non biologica: l'uomo fornisce un sistema intelligente di controllo mentre gli attuatori forniscono gran parte della forza necessaria per camminare.

Forse però, per arrivare ad un vero superuomo, che faccia ridere o che susciti un doloroso senso di vergogna negli uomini di oggi, sarà necessario saper educare adeguatamente le coscienze a discernere i campi applicativi per i quali valga davvero la pena sviluppare tecnologie in grado di aumentare forza e resistenza fisica (Figura 12).



**Figura 12: J. Sullivan, primo uomo ad utilizzare protesi controllate da impulsi provenienti dal cervello [18].**

### Bibliografia essenziale

- [1] F. Nietzsche, "Così parlò Zarathustra", Ed. Longanesi, Milano, 1979, pp.37.
- [2] <http://www.first.fraunhofer.de>.
- [3] <http://www.bionics.dlr.de>.
- [4] Y. Bar-Cohen, D. Hanson, "The coming robot revolution", Springer, New York, 2009, pp.76-78, 90-93.
- [5] F. M. Esfandiary, "Are you a transhuman? Monitoring and stimulating your personal rate of growth in a rapid changing world", Warner Books, Clayton (Australia), 1989.
- [6] H. Kazerooni, "Exoskeletons for Human Performance Augmentation", in Springer Handbook of robotics (a cura di B. Siciliano, O. Khatib), Springer-Verlag, Berlin, 2008, pp.773-793.
- [7] K. Hashimoto, T. Sawato, A. Hayashi, Y. Yoshimura, T. Asano, K. Hattori, Y. Sugahara, H.-O. Lim, A. Takanishi, "Avoidance Behavior from External Forces for Biped Vehicle", proceedings of 2010 IEEE International Conference on Robotics





and Automation, Anchorage Convention District,  
May 3-8, 2010, Anchorage, Alaska, USA.

[8] <http://www.bostondynamics.com>.

[9] <http://www.inition.co.uk>.

[10] A. Seireg, J. Grundmann, "Design of a Multitask Exoskeletal Walking Device for Paraplegics", Biomechanics of Medical Devices, Ed. Marcel Dekker, New York, 1981, pp.569-644.

[11] J. E. Pratt, B. T. Krupp, C. J. Morse, S. H. Collins, "The RoboKnee: an exoskeleton for enhancing strength and endurance during walking, proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics & Automation, New Orleans, LA, April 26-May 1, 2004, pp.2430-2435.

[12] K. Yamamoto, M. Ishii, K. Hyodo, T. Yoshimitsu, T. Matsuo, "Development of power assisting suit", Japan Society of Mechanical Engineering International Journal Series C, vol. 46, no. 3, 2003, pp.923-930.

[13] <http://bleex.me.berkeley.edu>

[14] <http://yobotics.com>.

[15] <http://www.cyberdyne.jp>.

[16] H. Kazerooni, "Exoskeletons for human power augmentation", proceeding of 2005. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems – IROS, Edmonton, Alberta.(Canada), August 2-6, 2005, pp.3120-33125.

[17] <http://berkeleybionics.com>.

[18] <http://www.lockheedmartin.com>

[19] <http://www.ric.org>

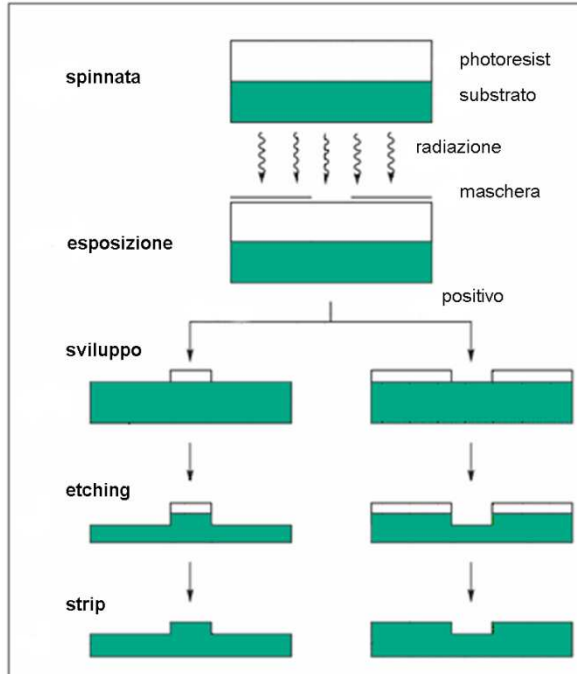


## Le Micro/nanotecnologie: Processi sottrattivi-wet etching Di Benedetta Marmioli

Riprendiamo la descrizione dei processi più comuni utilizzati per fabbricare micro-nano dispositivi. Nello scorso articolo avevo dato un' introduzione generale dell' argomento e descritto il processo di litografia ottica, la tecnica più impiegata nell' ambito della microelettronica e dei MEMS (Micro Electro Mechanical Systems = microdispositivi). Avevo anche accennato al fatto che quello litografico è normalmente solo il primo passo di una serie di processi che portano ad ottenere il microcicuito o il microdispositivo finale.

Nel presente articolo illustrerò i passi successivi alla litografia che prendono il nome di *processi sottrattivi*. Si definiscono in questo modo tutte le tecniche che rimuovono o erodono materiale (lo "sottraggono"). Per capire un po' meglio come funzionano osserviamo lo schema riportato qui sotto.

*Schema del processo litografico e del successivo processo sottrattivo.*



I primi tre passi descritti in figura, spinnata del photoresist, litografia e sviluppo, sono gli stessi riportati nello scorso articolo. Il passo successivo è il processo sottrattivo, definito in inglese *etching*, che porta a "mangiare" il materiale del

substrato che non è protetto dal photoresist. A seguito di ciò, il materiale sotto il photoresist rimane intatto e quindi resta in rilievo rispetto a quello non ricoperto dal photoresist.

Viene quindi riprodotto il disegno dalla maschera al photoresist mediante la litografia, e dal photoresist al materiale sottostante tramite il processo sottrattivo. Ovviamente il disegno cambia tono a seconda che il photoresist sia positivo o negativo come mostrato nello schema. A sinistra viene riportato il caso relativo al photoresist negativo, a destra quello positivo. Nel caso di resist negativo il disegno della maschera dopo il processo sottrattivo appare in rilievo. Nel caso di photoresist positivo il disegno della maschera viene scavato nel materiale. Bisogna quindi stare molto attenti sia alla scelta del disegno della maschera che a quella del photoresist per non rischiare per esempio di ottenere il circuito finale nel tono opposto a quello desiderato! Nei processi industriali ciò non accade perchè i vari passi sono già messi a punto ed ottimizzati. Ma nel campo della ricerca per evitare questo, solitamente si disegnano maschere dove c'è sia un disegno che quello di tono opposto.

Come si può vedere, nello schema appare un' ultimo passo definito come rimozione del photoresist, in inglese *strip*, che serve a togliere il photoresist dal materiale consentendo di ottenere così la microstruttura finale.

Ma cominciamo ad approfondire un po' l'argomento. L' *etching* consiste nella rimozione del materiale in modo controllato. Questo vuol dire che, se vogliamo produrre una cavità nel materiale, la sua profondità deve essere progettata ed ottenuta con precisione. Per far ciò si deve prima determinare l' *etching rate* del processo, che altro non è che la velocità con cui il materiale viene rimosso. In base ad essa si può quindi calcolare il tempo per cui sottoporre il materiale al trattamento affinché si raggiunga la profondità desiderata.

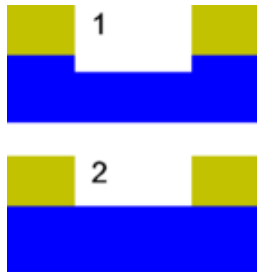
Un altro parametro importante da considerare è la *selettività dell' etching*. Infatti, ricordiamoci che noi vogliamo rimuovere materiale solo nelle zone che non sono coperte dal photoresist. Però in molti casi, il processo sottrattivo attacca anche il photoresist e a poco a poco lo erode. Quindi, per evitare che l' *etching* si "mangi" tutto il resist ed arrivi anche ad intaccare il materiale



sottostante, l' etching rate del photoresist deve essere molto più bassa di quella del materiale sottostante, cioè l' etching deve essere selettivo. Per questo occorre prima conoscere il tipo di materiale da erodere, poi definire quali sono i processi sottrattivi che lo rimuovono, infine scegliere il photoresist più adatto per avere la migliore selettività.

Per avere un' idea un po' più chiara di come funziona la selettività consideriamo le seguenti figure.

*Schema che descrive la selettività del processo sottrattivo (etching): in giallo viene rappresentato lo strato di materiale da rimuovere, in blu il materiale che non deve essere intaccato.*



1. Un etching con bassa selettività rimuove il layer protettivo giallo, ma attacca anche il materiale blu sottostante.
2. Un etching altamente selettivo lascia intatto il materiale blu sotto lo strato giallo

I processi sottrattivi possono essere definiti anche in base al modo in cui rimuovono il materiale.

Se l' etching erode il materiale in ugual modo in tutte le direzioni, esso viene definito *isotropo* (dal greco *iso* = uguale, *tropo* = volgimento, direzione in senso lato).

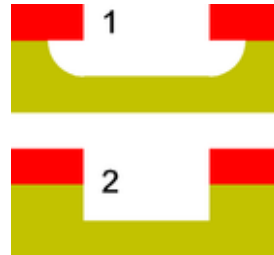
Se invece erode il materiale lungo una direzione preferenziale (che di solito è quella verticale) si definisce anisotropo (aniso = non iso).

I due tipi di etching danno luogo a risultati diversi.

Mentre l' etching anisotropo passa anche sotto al photoresist, quello isotropo produce pareti molto più definite e verticali. Perciò in base alla struttura che si vuole ottenere, si sceglie la caratteristica dell' etching.

Uno schema dei due tipi di etching è riportato in seguito.

*Schema che mostra la differenza tra etching isotropo ed etching anisotropo: in giallo viene rappresentato il materiale da rimuovere, in rosso il photoresist protettivo.*



1. Un etching perfettamente isotropo produce pareti rotonde.
2. Un etching perfettamente anisotropo produce pareti verticali.

I processi sottrattivi possono essere ulteriormente suddivisi in due categorie:

- Wet etching
- Dry etching

Sia il wet che il dry etching comprendono varie tecniche

*Wet etching* è un' espressione inglese (letteralmente etching = incisione, wet = bagnato) che si riferisce a quelle tecniche basate su un attacco chimico del materiale che viene immerso in un opportuno agente chimico aggressivo in fase liquida. Di solito si inserisce il pezzo in un contenitore nel quale sono presenti la sostanza chimica aggressiva ed un agitatore che mantiene il fluido in movimento. Il liquido in movimento sposta la parte di materiale erosa così c'è sempre reagente chimico fresco a contatto col materiale.

Poiché la velocità di etching dipende anche dalla temperatura, solitamente il contenitore si pone su una piastra riscaldante con cui si mantiene costante la temperatura impostata al valore desiderato.

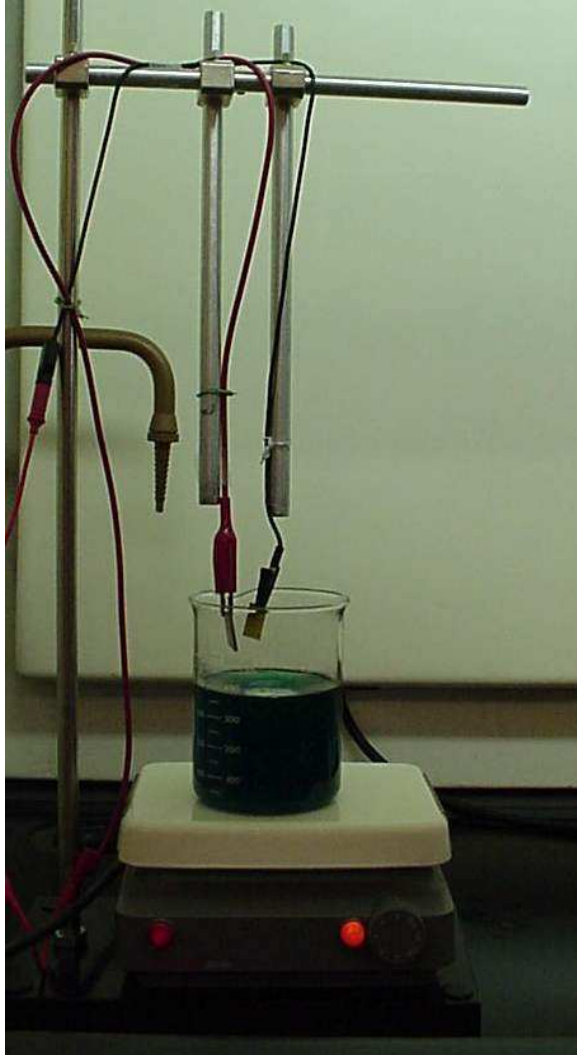
Una foto che mostra il più semplice sistema di wet etching è mostrata nella figura seguente.

Il contenitore e l' agitatore del bagno devono essere opportunamente selezionati così da resistere alla sostanza chimica che contengono.

Tutte le operazioni di wet etching devono essere rigorosamente condotte sotto una cappa di areazione chimica contenente opportuni filtri che trattengono le sostanze nocive.



*Sistema di wet etching costituito da un contenitore su piastra riscaldante.*



Nei laboratori di micro fabbricazione, ma soprattutto nelle industrie che si occupano di micro-nano tecnologie, ci sono veri e propri sistemi di wet etching costituiti da vasche integrate direttamente nella cappa chimica e dotate di tutti gli strumenti necessari al processo.

Alcuni esempi sono riportati nelle figure seguenti.

*Sistema professionale di wet etching installato in camera pulita. In figura è visibile un campione di forma rotonda che altro non è che un substrato di silicio (wafer di silicio, come già definito nell'articolo scorso) che sta per essere immerso nella sostanza chimica aggressiva.*



*Ricercatore che esegue un processo di wet etching in camera pulita.*

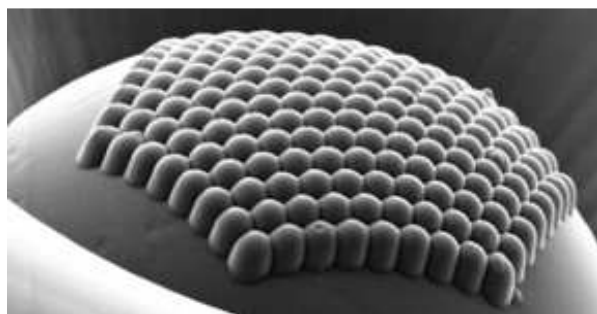


Due cose si possono notare in questa figura: la prima è che il ricercatore indossa dispositivi di protezione individuale (DPI), quali guanti e occhiali, obbligatori data la rischiosità dell'operazione. La seconda, sempre legata all'aggressività dell'agente chimico, è che la manipolazione del campione all'interno del contenitore è effettuata con pinzette di plastica (in particolare teflon) perché meglio resistenti alla sostanza utilizzata. Questo per dare un'idea della delicatezza dell'operazione.



Il wet etching è generalmente isotropo e produce pareti curve. Questo si rivela particolarmente utile per esempio per la produzione di lenti. Si esegue prima un processo litografico che lascia buchi micrometrici nel photoresist. Il materiale sottostante ai buchi viene quindi sottoposto al wet etching e può dare come risultato una struttura di lenti che ricorda un'occhio di mosca come mostrato nelle seguente figura. In questo caso il materiale è vetro e l'agente chimico è l'acido fluoridrico (HF).

*Struttura complessa di lenti ottenuta tramite litografia e successivo processo sottrattivo di wet etching.*

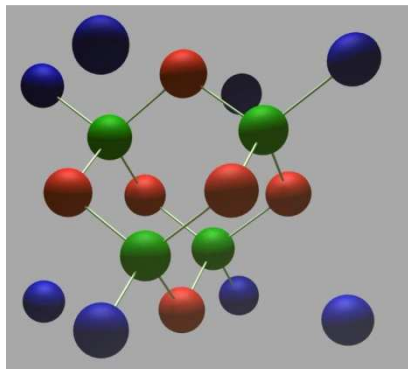


Copyright Lilit- Tasc CNR/IOM

Un'eccezione all'isotropia del wet etching è costituita dall'attacco chimico al silicio. Come già scritto nello scorso articolo, il silicio è il materiale di substrato più utilizzato in microelettronica e per micro dispositivi. Questo per le sue proprietà fisico-chimiche (elettroniche in particolare) ma anche perché se ne possono ottenere dei monocristalli di grandi dimensioni.

Un cristallo è una struttura dove gli atomi del materiale occupano posizioni regolari e ben definite. La struttura del cristallo di silicio è riportata nella figura seguente dove ogni pallino corrisponde ad un atomo. Se consideriamo gli atomi corrispondenti ai pallini blu possiamo dedurre che il silicio cristallino ha una struttura cubica.

*Struttura del cristallo di silicio*



Possiamo sezionare questo solido immaginario costituito da atomi di silicio utilizzando dei piani contenenti solo alcuni atomi. Questi piani vengono detti piani cristallini e per distinguerli tra loro vengono descritti da terne di numeri detti indici di Miller (che li ha creati) che seguono regole convenzionate.

Una struttura si dice policristallina quando è composta da tanti cristalli orientati in modo differente. Il silicio invece può anche essere ottenuto in forma monocristallina, cioè costituito da un'unico cristallo dove gli atomi hanno tutti lo stesso reticolo. Un monocristallo di silicio è mostrato nella figura seguente.

*Monocristallo di silicio*



Per ottenere un monocristallo così grande si utilizza il cosiddetto *processo Czochralski* dal nome di chi lo ha inventato. Durante il processo,



che parte dal silicio fuso, alcuni atomi come boro o fosforo possono essere introdotti in quantità definita così da "drogare" il silicio, cioè cambiarne le proprietà elettroniche.

Una volta ottenuto il cristallo come quello in figura, lo si taglia a fettine sottili dette *wafer* (di spessore inferiore al millimetro, tipicamente 550 micron) e si trattano superficialmente una od entrambe le facce così da ottenere una finitura a specchio, come mostrato nella figura seguente. A questo punto il wafer di silicio è pronto per i processi di micro fabbricazione.

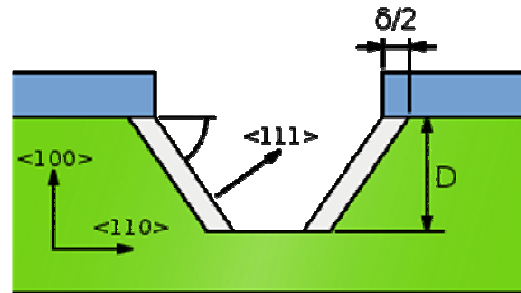
*Wafer di silicio con superficie a specchio.*



La struttura monocristallina del silicio è all'origine del fatto che il suo etching chimico è anisotropo. Infatti, l'etching è aggressivo preferenzialmente rispetto a definiti piani cristallini che vengono quindi erosi più velocemente degli altri.

In particolare, l'etching anisotropo del silicio produce una cavità di sezione trapezoidale, come mostrato nella seguente figura

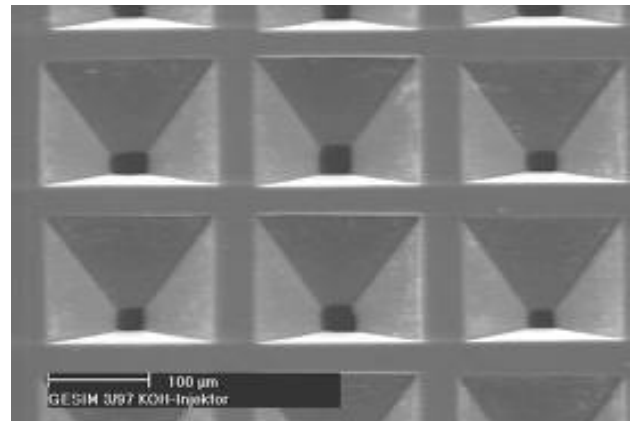
*Schema dell' etching anisotropo del silicio che produce una sezione trapezoidale. In blu è rappresentato il photoresist, in verde il silicio. I numeri tra parentesi <> sono gli indici di Miller.*



Il fondo della cavità ha un piano cristallino chiamato <100>, i lati, che sono inclinati, hanno piani <111>.

Esistono diversi agenti chimici che rimuovono il silicio. Tra gli altri riportiamo per esempio l'idrossido di potassio (KOH) che permette di ottenere strutture come quella rappresentata nella seguente figura.

*Struttura di silicio ottenuta tramite processo di litografia e wet etching con KOH*

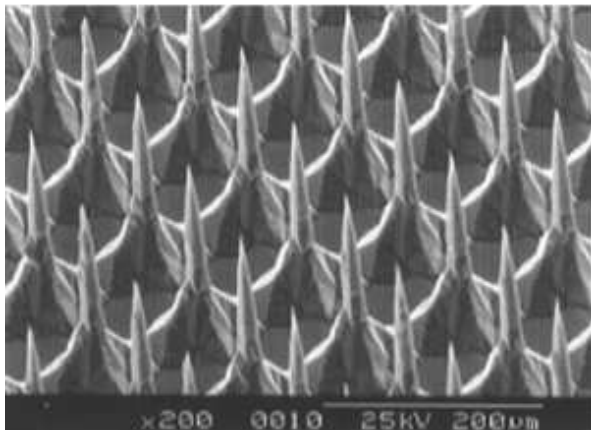


*Copyright GeSim mbh*

Combinando diversi passi successivi di litografia ed etching si possono ottenere strutture anche molto complesse, come i microaghi della figura seguente.

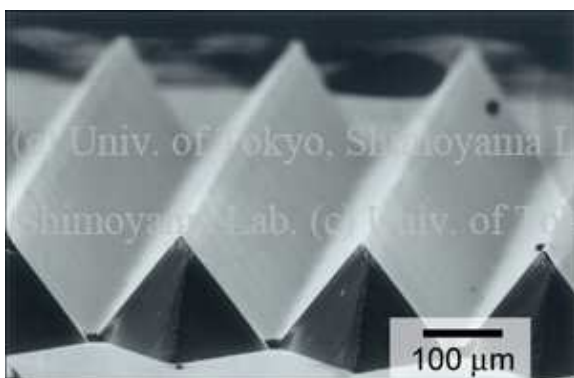


*Microaghi di silicio ottenuti tramite passi successivi di litografia e wet etching*



Copyright Nagoya University

Ecco un'altra figura rappresentanti strutture che possono essere ottenute tramite litografia e wet etching



Copyright università di Tokio

Uno degli svantaggi del wet etching è che esso porta ad avere grosse quantità di rifiuti tossici che devono essere smaltiti opportunamente.

Come già espresso prima, oltre al wet etching, esiste anche un' altro tipo di processo sottrattivo: il dry etching.

*Dry etching* (letteralmente etching = incisione, dry = secco) si riferisce alle tecniche basate su un attacco del materiale da parte di una o più sostanze in fase di plasma.

Ma entreremo nei dettagli la prossima volta.

Buon Natale

2010

e felice

anno nuovo