

euclid

Grandangolo Cosmico



EUCLID: le prime immagini

P o NP questo è il problema

Volo ipersonico a idrogeno

Mantello terrestre

A caccia di eclissi

Un incontro a Play 2023

59

2023

SOMMARIO

PROPRIETÀ:

A.P.S. "Il C.O.S.Mo" (Circolo di Osservazione Scientifico-tecnologica di Modena)
C.F.:94144450361

RESPONSABILE:

Davide Borghi

REDAZIONE:

a cura del Consiglio Direttivo

SITO INTERNET:

www.ilcosmo.net

CONTATTI:

info@cosmo.net

COSTO:

Gratuito sul WEB

CONSIGLIO DIRETTIVO:

Leonardo Avella

Davide Borghi

Luigi Borghi

Roberto Castagnetti

Ciro Sacchetti

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 diffusione all'esterno del circolo è vietata.

Può essere utilizzata solo dai soci per scopi didattici.

IN QUESTO NUMERO:

ASTROFISICA

Euclid: le prime immagini

di Roberto Castagnetti..... pag. [5](#)

MATEMATICA

P o NP questo è il problema: breve viaggio verso un problema da un milione di dollari

di Alessandro Borghipag. [22](#)

AERONAUTICA

Il volo ipersonico con scramjet a idrogeno

di Luigi Borghipag. [27](#)

GEOLOGIA

Le profondità estreme del mantello terrestre

di Davide Borghipag. [49](#)

ASTRONOMIA

Eclissi: un viaggio programmato

di Antonio Melandripag. [53](#)

GIOCHI

Un incontro a Play 2023: Intervista a Luca Cattini di Asmodee Italia

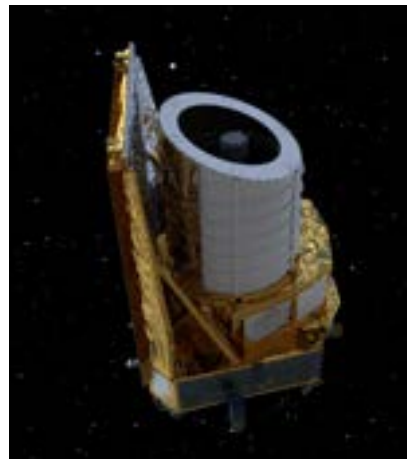
di Leonardo Avellapag. [61](#)

GLI EVENTI DEL C.O.S.MO

L'elenco dei prossimi eventipag. [64](#)

IN COPERTINA

Rendering del Telescopio Spaziale Euclid (Credit: ESA)





15 ANNI E NON SENTIRLI ...

Ed eccoci al mio primo editoriale della nostra rivista: ricevo con piacere l'incarico di presidente dell'associazione Il COSMo e ne onorerò l'importanza di fronte a tutti voi. I prossimi anni saranno pieni di iniziative ed opportunità. Essendo Scienza e Tecnologia in continua evoluzione, ne vedremo delle belle, a cominciare dall'enorme interesse attuale per Artificial Intelligence.

Vorrei in primis ringraziare **Marta** che continua a gestire la parte legale e non solo, con un contributo prezioso.

E vorrei complimentarmi con i **Vice Presidenti (VP) delegati** per i diversi "dipartimenti" (così amiamo chiamarli) per cui hanno le deleghe: **Roberto** (per il software, il sito, i social, l'amministrazione, REA con me, ecc.), **Ciro** (stampe, gadgets, rapporti col Planetario, con ACME, GAGBA, AAB, ecc.), **Leo** (revisione rivista, rapporti con CICAP, ecc.).

Ed anche, è il caso di dire *last but not least*, il Presidente uscente **Luigi** che continuerà, più attivo che mai, come **Presidente Onorario** e **VP** (con delega per i rapporti con UTE, il RUNTS, ecc.).

Oltre agli incarichi da presidente, mi occuperò anche in prima persona dei rapporti con **Fiera PLAY, UniMo-Re, Opificio Golinelli, Fondazione Marconi, Planetario San Giovanni**.

E poi, lasciatemi annunciare con orgoglio: abbiamo la **nuova sede presso il Planetario di Modena!**

Metterò tutta la mia **passione, competenza e impegno** nei prossimi 5 anni per l'associazione, ed è mia intenzione dare **piena continuità** alle attività esistenti, coerentemente con la **storia** della nostra associazione. Questo significa **mantenere gli impegni presi** e continuare **l'allargamento de Il COSMo**, pur tenendo presente il nostro **limitato tempo** disponibile: infatti, siamo pur sempre una associazione di **volontari** che fa divulgazione scientifica anche per **gratificazione personale e collettiva** e per **divertimento**.

Nel mio mandato ritengo molto importante la **massima inclusione** nelle discussioni e nelle decisioni, pur **non tirandomi indietro** quando saranno necessarie decisioni puntuali e risolutive.

In preparazione ci sono tanti temi per il prossimo anno: la **Scuola** di Astronomia e Astronautica: Viaggiare nello Spazio, **PLAY 2024**, il Festival dell'Astronomia a **Montecchio** con REA e il Festival dell'Esplorazione Spaziale di **San Prospero**, le conferenze a **Badi** (Porretta Terme), le conferenze e corsi presso **UTE**, le conferenze AI in **Valsamoggia** (ValsAI) e con **Ordine degli Ingegneri**, la collaborazione con **REA**, con **SEDS** (Students for the Exploration and Development of Space), eventuali gite a tema scientifico-tecnologico, ...

Vorrei ora accennare ad un aspetto che è balzato alla ribalta sui social, sui giornali e telegiornali, ma anche nei circoli culturali e perfino nei bar: **l'Artificial Intelligence (AI)**.

L'AI sta cambiando le nostre vite, ad un ritmo, che a volte supera la capacità di previsione e di gestione. Ma, come ha ben detto **Noah Harari**: "*se anche volessimo frenare lo sviluppo, non sapremmo comunque dove sono i freni...*".

Dal suo *concepimento* (**Alan Turing, John von Neumann**) fino ai giorni nostri, l'intelligenza artificiale ha avuto diversi periodi di entusiasmo, poi seguiti da delusioni (i *due inverni* dell'AI). Ma stavolta sembra proprio che non sia così, e l'entusiasmo e le sorprese aumentano di continuo...

Ha il potenziale per cambiare radicalmente l'industria, i servizi, i trasporti, la società e le nostre vite già nei prossimi anni di questo decennio.

Esempi ne sono: *ChatGPT, Natural Language Processing, Computer Vision, Predictive Maintenance, Asset Health Monitoring, Advanced Process Monitoring and Control, AI in education, AI e salute ...*

Può personalizzare le esperienze educative degli studenti, fornire feedback continuo sulla performance dello



studente, e automatizzare tutti i compiti amministrativi e burocratici, liberando tempo e risorse per quello che sappiamo fare meglio e piu' ci piace fare.

L'AI può anche essere usata per processare automaticamente immagini come lastre a raggi-X, NMR, ecc., scoprire o inventare nuove medicinali, anche a livello molecolare, monitorare pazienti automaticamente ed in modo continuo, personalizzare il trattamento medico in base alle proprie esigenze ed al proprio genoma (DNA).

Ad alcuni rischi e potenzialità ci ha già abituato la fantascienza: da HAL9000 di "2001 Odissea nello Spazio" ai replicanti (androidi) di "Blade Runner", fino alle "menti" della Cultura nei romanzi di **Iain Banks**. E, con aspetti semi-seri, anche con *Pensiero Profondo ... il "secondo più grande computer di tutti i tempi e di tutti gli spazi"* della mitica "Guida Galattica per autostoppisti" di **Douglas Adams**.

Ma, come diceva **Stephen Hawking**, l'AI sarà la cosa migliore o quella peggiore che è capitata all'Homo Sapiens. Non può essere qualcosa di insignificante o ininfluenza. Se sarà la cosa migliore o quella peggiore dipenderà da che uso ne faremo. E se la useremo o saremo usati da essa.

L'Unione Europea sta muovendosi per regolamentare il settore con l'**AI Act** e il **Data Act** (oltre al **GDPR** già in vigore), il presidente americano Joe Biden ha appena emesso un ordine esecutivo in proposito, e diversi leader mondiali e imprenditori del settore (fra cui **Elon Musk**) si sono incontrati a Novembre per parlare dei rischi dell'AI a **Bletchley Park** (dove **Alan Turing** decodificava *Enigma* coi primi computer).

Ma questo e' solo il breve termine.

Sul lungo o lunghissimo termine, ci sono domande profonde a cui rispondere, se ne siamo capaci: stiamo creando una nuova specie vivente? Ci soppianderà? E se lo farà: quando lo farà e in che modo? E questa potrebbe essere una pessima o un'ottima notizia?

Ne parleremo ... siatene certi.

Il Presidente

Davide Borghi

davide.borghi@ilcosmo.net



Immagine creata con Intelligenza Artificiale, tramite **Bing Image Creator**

EUCLID: LE PRIME IMMAGINI

di Roberto Castagnetti



1° luglio 2023, ore 17:12 CEST⁽¹⁾, dal Complesso di Lancio Spaziale 40 (SLC-40) di Cape Canaveral, negli Stati Uniti, è decollata la missione astrofisica

dell'ESA **Euclid**, a bordo di un razzo Falcon 9 della SpaceX.

In origine, la missione Euclid sarebbe dovuta partire dallo spazioporto ESA di Kourou, in Guyana Francese, a bordo di un vettore Soyuz, ma

la guerra in Ucraina ha costretto l'Agenzia a rivedere i suoi piani.

Inizialmente l'agenzia spaziale europea ha valutato di utilizzare Ariane 6 ma, a causa del suo sviluppo ancora in corso, si sarebbero dovuti aspettare altri

due anni, perciò è stato deciso, e concordato, l'utilizzo di un Falcon 9 della SpaceX.



Liftoff! ... Lancio perfetto.

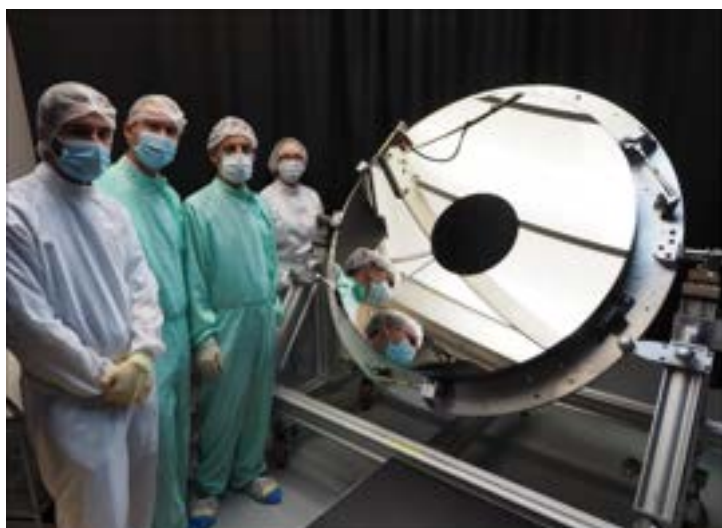
Euclide ha, così, iniziato un viaggio di un mese verso il punto di Lagrange Sole-Terra L2, situato a 1,5 milioni di chilometri dalla Terra, nella direzione opposta rispetto al Sole; lo stesso luogo dove si trova il telescopio spaziale James Webb. Ovviamente i due telescopi sono a debita distanza l'uno dall'altro.

(1) Central European Summer Time (Orario Estivo dell'Europa Centrale), indicato con acronimo CEST, è uno dei nomi del fuso orario dell'Europa centrale, nel periodo e per quei Paesi che introducono l'ora legale estiva ... tra cui: l'Italia.

Euclid è quindi un **telescopio spaziale**. Il suo compito è quello di osservare un terzo del cielo con una precisione e una sensibilità senza precedenti. Esaminando miliardi di galassie fino a 10 miliardi di anni luce, creerà la mappa 3D più estesa dell'Universo. In questo modo potremo tracciare il modo in cui l'Universo si è espanso e come le sue strutture su larga scala sono distribuite nello spazio e nel tempo. Questa analisi consentirà di capire meglio il ruolo della gravità nell'immensa *giostra cosmica* in cui ci troviamo e di rivelare importanti dettagli sulla natura della materia oscura e, ... perché no, dell'energia oscura.

Il telescopio spaziale Euclid è un vero *gioiellino*. È stato costruito dall'ESA, con una partecipazione della NASA nell'elettronica di uno dei suoi due strumenti, ed è stato progettato per fornire immagini di altissima qualità nel visibile nonché effettuare osservazioni spettroscopiche e fotometriche nell'infrarosso vicino.

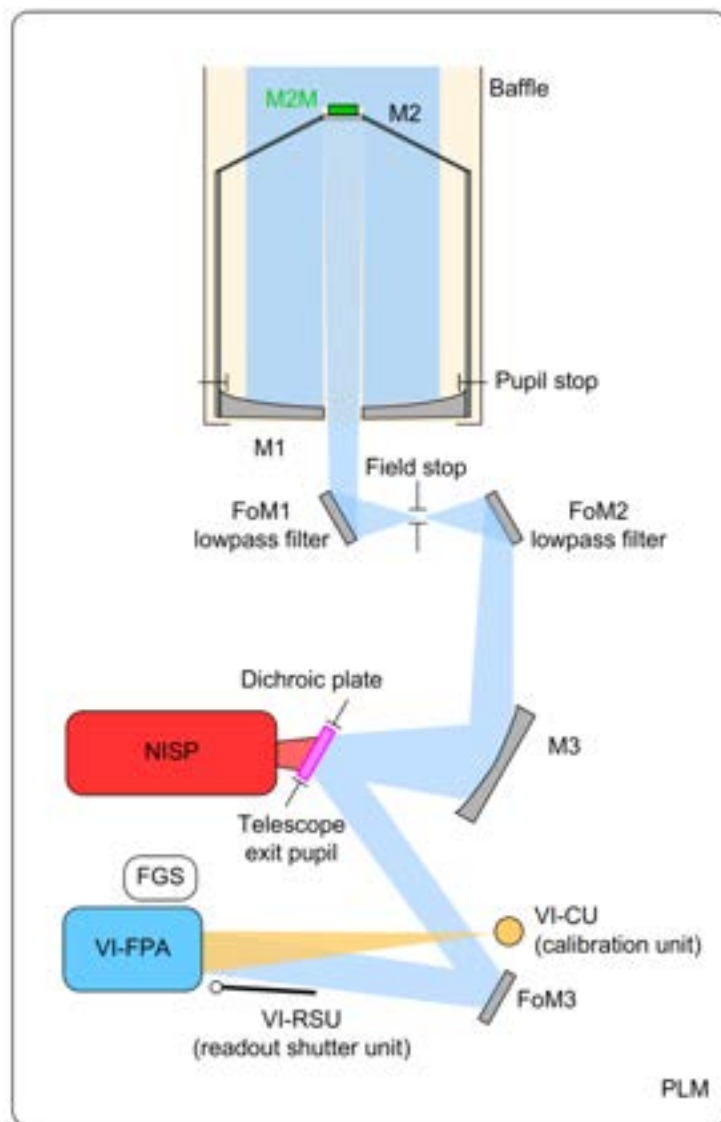
L'**ottica di Euclid** è costituita da tre specchi in carburo di silicio SiC (M1, M2 e M3) in configurazione di tipo **Korsch**, uno schema ottico che consente un buon livello di correzione delle aberrazioni sferiche, cromatiche e dell'astigmatismo, e ottenere immagini nitide e corrette su un ampio campo visivo.



Lo specchio primario del telescopio Euclid (Credits: Safran Resoc)

Lo specchio primario M1 ha un diametro di 1.2 m e la lunghezza focale complessiva del telescopio è di 24.5 m. Dal momento che le performance del tele-

scopio sono fortemente dipendenti dalla distanza tra M1 e M2, lo specchio secondario è stato dotato di un sistema per correggere eventuali disallineamenti, rilassamenti o distorsioni dovute ai cambiamenti termici che potevano verificarsi durante le prime fasi del lancio.



Schema ottico del telescopio con i tre specchi in configurazione di tipo Korsch - Credits: Airbus Defence & Space

Tra gli specchi M2 e M3 sono presenti due *folding mirrors* (FoM1 e FoM2) che permettono di direzionare il percorso ottico nella sua configurazione ottimale. Un terzo *folding mirror* (FoM3) è posizionato subito prima di VIS, con lo scopo di ottimizzare l'area illuminata dello strumento.

Per separare la luce in lunghezza d'onda corretta per NISP e VIS, all'uscita del telescopio è posto un

beam splitter diecricoico in grado di trasmettere la luce entro un determinato intervallo di lunghezze d'onda e di riflettere il resto.

Il fascio trasmesso viene proiettato sul piano focale di NISP, mentre il fascio riflesso entra nel percorso ottico che porta allo strumento VIS. Al fine di ridurre al minimo il segnale di rumore dovuto alla dark current, tutta la strumentazione sensibile viene mantenuta a una temperatura massima di circa 240 °K, mentre per i rivelatori la temperatura è mantenuta a 100 °4K.

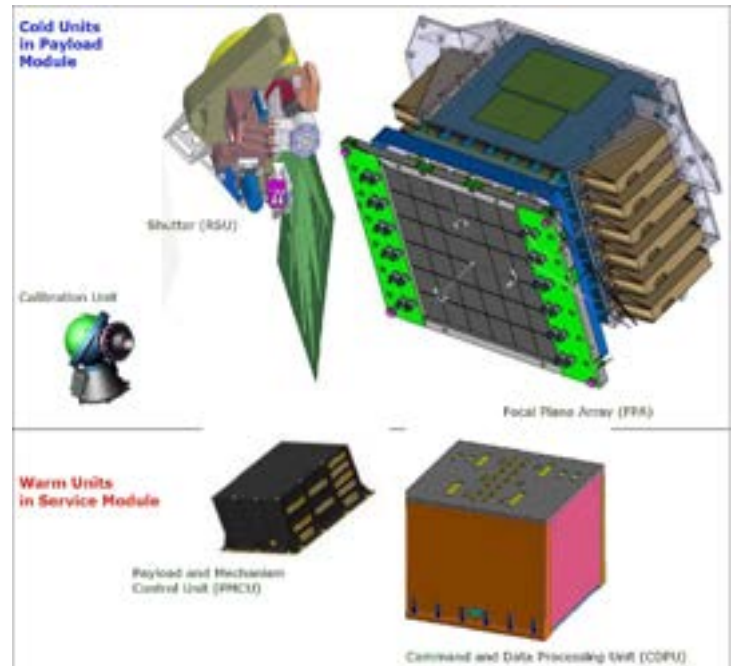
Abbiamo visto che lo specchio principale ha un diametro di 1,2 metri ... piccolo se confrontato con i 2 metri di Hubble e gli oltre 6,5 metri di Webb, ma ciò che rende Euclid una macchina straordinario è *il suo fiore all'occhiello*, ovvero le due fotocamere di cui è dotato: una sensibile alla luce visibile (chiamata **VIS**) e una alla luce infrarossa (chiamata **NISP**).

Si tratta delle fotocamere più grandi e complesse mai lanciate nello spazio! Vediamole nel dettaglio.

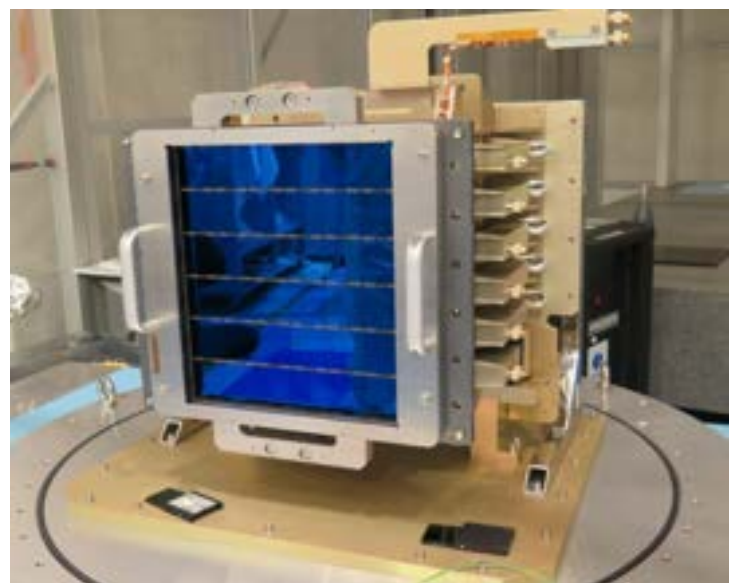
VIS (**VIS**ible instrument)

È una fotocamera che opera nelle lunghezze d'onda visibili il cui compito è fornire sia immagini ad alta risoluzione che dati spettrali estremamente dettagliati. È dotata di 36 sensori CCD (**C**harge **C**oupled **D**evelopes), rilevatori sensibilissimi realizzati appositamente per la missione Euclid e caratterizzati da un'efficienza estremamente elevata, un basso rumore in esercizio, un buona tolleranza alle radiazioni cosmiche e pixel da 12 micrometri necessari per l'elevata risoluzione dell'ottica del telescopio. Ogni CCD è costituito da 4096×4132 pixel. Perciò VIS produrrà immagini da 610 megapixel. Per capirci 25 volte più grandi di quelle di una fotocamera digitale e con una qualità strabiliante. Inoltre la risoluzione di ciascun CCD è di circa 0.1 arcosecondi per pixel e questo per consentire di ottenere immagini estremamente dettagliate. VIS è dotato di un filtro a banda molto ampia per rilevare lunghezze d'onda dai 550 nm del verde ai 900 nm del vicino infrarosso. Il suo campo visivo è ... enorme, pari a circa mezzo grado quadrato (2.5 volte l'area della Luna piena), consentendo di osservare una porzione di cielo molto vasta in una singola osservazione; que-

sto permetterà di mappare posizione e forma di miliardi di galassie in modo estremamente efficiente. VIS, inoltre, è dotato di uno spettrometro integrato ad alta precisione per misurare accuratamente lo spettro della luce delle remote sorgenti osservate, in modo da ottenere preziose informazioni su composizione e redshift.



Le cinque componenti del VIS. Le tre unità in alto si trovano nel Payload, le due unità in basso si trovano nel Modulo di Servizio (Credits: Consorzio Euclid) & Space



Il piano focale del VIS (FPA: Focal Plane Assembly) in fase di assemblaggio. Notare i 36 CCD nella loro matrice 6x6 - Credits: CEA LAM

NISP (Near-Infrared Spectrograph and Photometer)

È uno strumento costituito da un sistema di imaging e da uno spettrometro operanti nel cosiddetto vicino infrarosso. Queste due componenti consentono di raccogliere dati spettrali e fotometrici di sorgenti astronomiche nel range di lunghezza d'onda tra 900 e 2000 nm.

NISP è dotato di 16 sensori al Tellururo di mercurio e cadmio (HgCdTe) da 2040x2040 pixel ciascuno, per un totale di oltre 66 megapixel (i sensori infrarossi tendono ad avere pixel più grandi e quindi risoluzioni inferiori). Sono organizzati in una matrice 4x4 e coprono lo stesso campo visivo di VIS, pari circa mezzo grado quadrato.

Lo strumento NISP ha due canali: un fotometro nel vicino infrarosso (NISP-P) e uno spettrometro senza fessura nel vicino infrarosso (NISP-S).

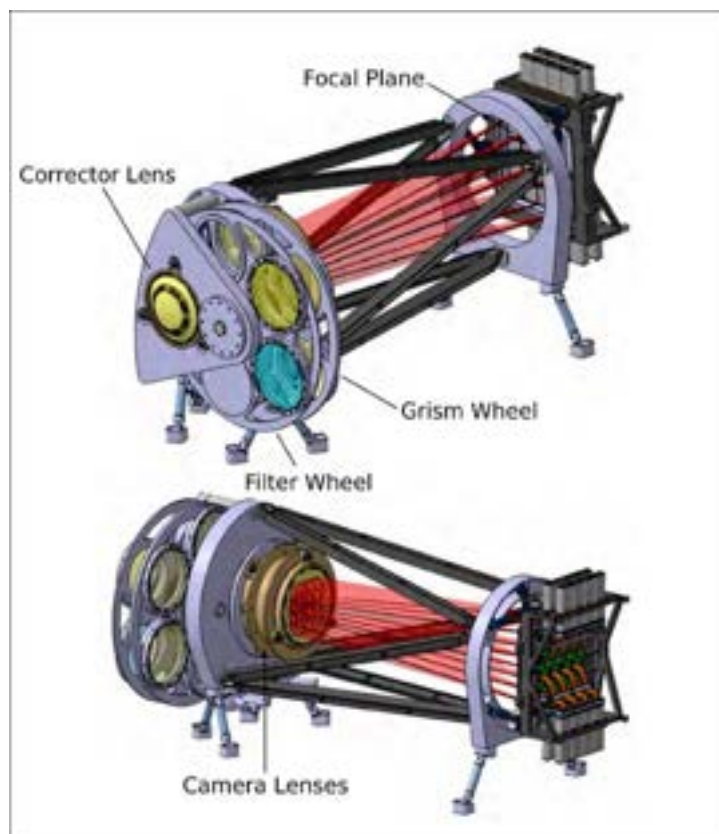
I due canali hanno ottica, piano focale, elettronica e struttura di supporto comuni. Per passare da un canale all'altro vengono utilizzati due meccanismi a ruota:

- Una *ruota portafiltri* (**Filter Wheel**) che contiene i tre filtri fotometrici del vicino infrarosso, un otturatore freddo e una posizione aperta;
- una *ruota porta grismi* (**Grism Wheel**) con quattro grismi (tre nel vicino infrarosso e un otturatore freddo (*cold shutter*) e una posizione aperta.

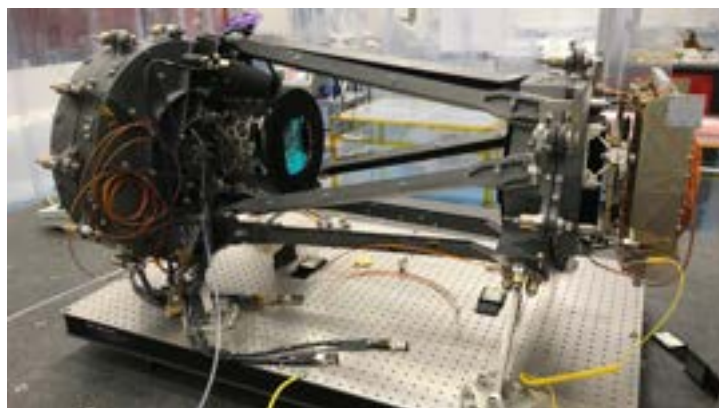
Un grisma ("grism" in inglese) è un dispositivo ottico che agisce sia da prisma di rifrazione che da reticolo di diffrazione. Il reticolo di diffrazione disperde prima la luce mentre il prisma la reindirizza nel sensore selezionato.

Una volta stabilita una lunghezza d'onda da analizzare, per operare in **modalità fotometrica**, la Grism Wheel viene ruotata in posizione aperta e la Filter Wheel viene ruotata sul filtro richiesto, invece, per operare in **modalità spettroscopica** la Filter Wheel viene ruotata in posizione aperta e la Grism Wheel sul grism prescelto.

Anche in questo caso si tratta della più potente fotocamera infrarossa mai lanciata nello spazio.



Schema dello strumento NISP (Credits: Consorzio Euclid)



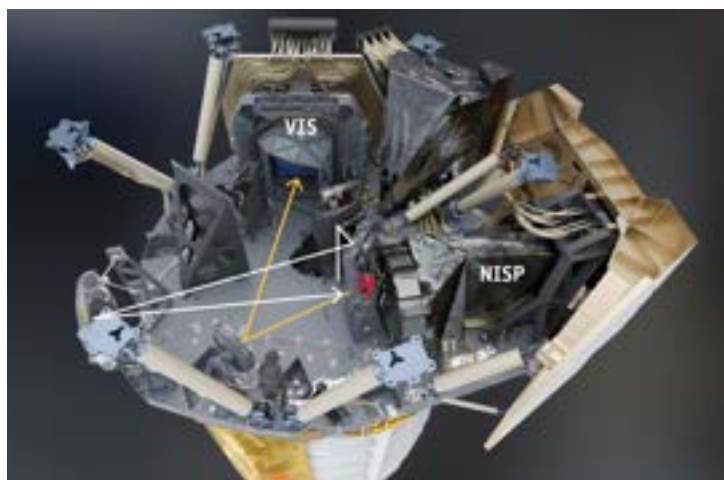
NISP prima del rivestimento isolante e dell'integrazione nel satellite - Credits: NISP team/LAM

In pratica, NISP deve fornire la fotometria nel vicino infrarosso di tutti gli oggetti osservati nel visibile da VIS.

I dati di entrambi gli strumenti verranno poi combinati per ricavare, nel modo più preciso possibile, gli spostamenti fotometrici verso il rosso (redshift), le stime delle distanze e la posizione tridimensionale nell'Universo di una quantità enorme di oggetti .

Questi due strumenti portentosi devono operare ne-

cessariamente a temperature molto basse, per questo Euclid è dotato di uno schermo solare che garantisce la stabilità termica e permette che **VIS** operi a $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ e **NISP** a $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Il "banco ottico" di Euclid: si trova alla base del telescopio, nel payload module. La luce catturata dallo specchio principale (freccia bianca) entra nel telescopio (che è nella parte bassa dell'immagine) e viene reindirizzata da diversi specchi verso il beam splitter dicroico, il quale separa la luce visibile (freccia arancione) dalla luce del vicino infrarosso (freccia rossa). La luce visibile viene riflessa e diretta al VIS (sopra, nell'immagine) e la luce del vicino infrarosso lo attraversa fino allo spettrometro e fotometro del vicino infrarosso, il NISP (a destra) - Credits: Airbus Defense and Space/ESA

La grande massa di dati accumulati verrà immagazzinata in una memoria di massa di 4 terabit.

Sintetizzando, Euclid è una macchina portentosa, e insieme al JWST ci darà enormi soddisfazioni.

Ma a cosa serve questa meraviglia?

Non c'era già il James Webb Space Telescope?

Banalizzando: mentre il JWST può essere considerato un potente teleobiettivo, Euclid è un fantastico **grandangolo**, e serve per cose diverse.

Il compito, la missione per cui Euclid è stato costruito è quella di indagare su come la **materia oscura** e l'**energia oscura** abbiano reso il nostro Universo con l'aspetto che presenta oggi.

Il 95% del nostro cosmo sembra essere costituito da queste due misteriose **entità "oscure"**.

Ma ancora non riusciamo a capire cosa in effetti siano, in quanto interagiscono con la materia ordinaria, quella di cui siamo costituiti noi e le stelle, solo attraverso l'essenza dello spazio-tempo: deformandolo (materia oscura) o dilatandolo (energia oscura).

In altri termini, interagiscono con la materia ordinaria solo *gravitazionalmente* e non con la luce o con altre forme di radiazione elettromagnetica la loro presenza provoca solo cambiamenti molto sottili

IL VEICOLO SPAZIALE EUCLID

Euclid è stato progettato per fornire immagini di qualità eccellente nel visibile nonché spettroscopia e fotometria nell'infrarosso vicino. Lo schermo solare mantiene i telescopi e gli strumenti all'ombra del Sole per garantire la stabilità termica e misurazioni estremamente affidabili. Farà in modo che il **VIS** operi a $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ e il **NISP** a $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Per immagazzinare il grande volume di dati che si accumulerà durante le osservazioni, Euclid ha una memoria di massa di 4 terabit.

La massa di Euclid in orbita sarà di **2 tonnellate**

- Modulo di carico utile da 800 kg
- Modulo di servizio da 850 kg
- 40 kg massa di bilanciamento
- 210 kg di propellente

Il veicolo spaziale Euclid è alto 4,7 metri e ha un diametro di 3,7 metri

Telescopio 1,2 m di diametro

Schermo solare

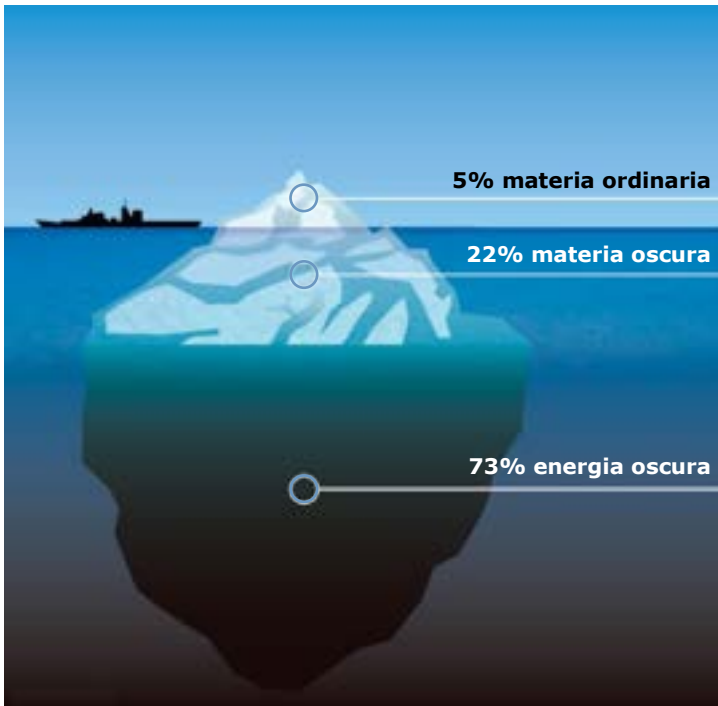
Pannelli solari

Modulo di servizio
Distribuzione dell'energia, controllo dell'assetto, propulsione, telecomandi, telemetria e gestione dei dati

Strumenti VIS e NISP

Credits: ESA

nell'aspetto e nei movimenti delle cose che possiamo vedere.



la materia ordinaria: il 5% dell'iceberg cosmologico

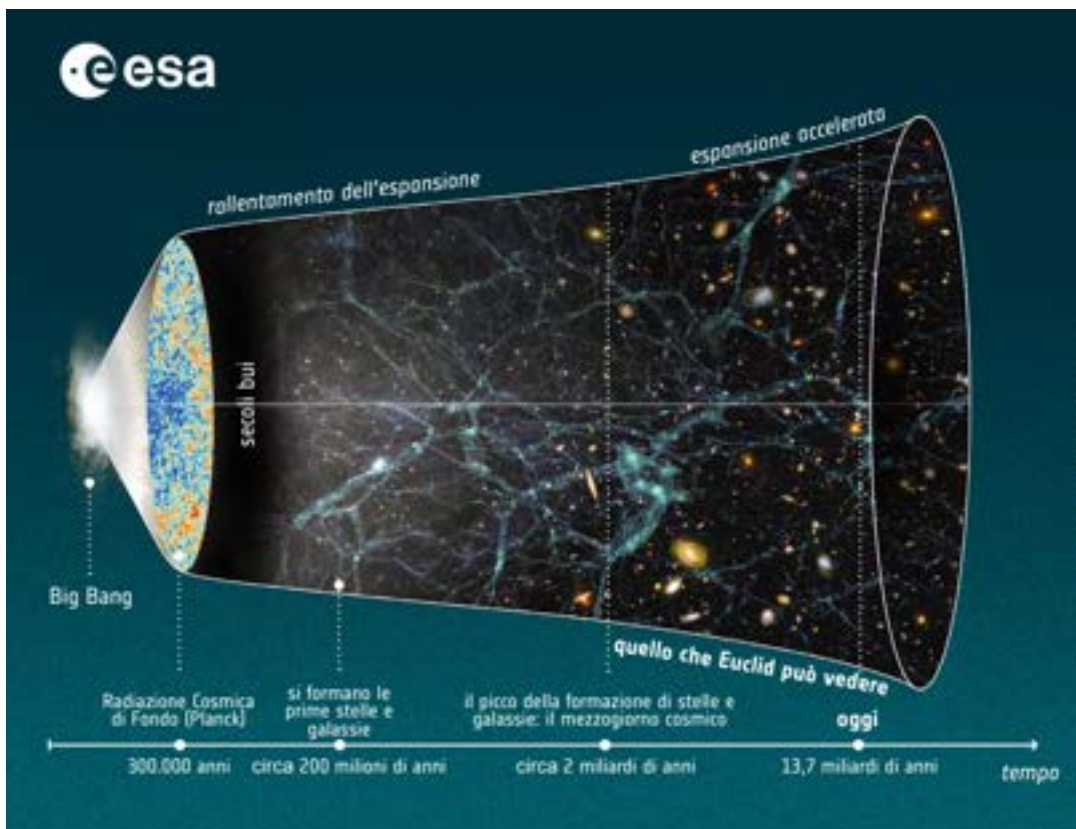
Ecco allora che per rivelare l'influenza *oscura* sull'Universo visibile, nei prossimi sei anni Euclid osserverà le forme, le distanze e i movimenti di miliardi di galassie distanti fino a 10 miliardi di anni luce.

Il fatto di produrre la più grande mappa cosmica 3D mai realizzata servirà (speriamo) a rispondere a queste domande:

- ✓ Qual è l'evoluzione della struttura cosmica a grande scala?
- ✓ Qual è la natura della materia oscura?
- ✓ Com'è cambiata nel tempo l'espansione dell'Universo?
- ✓ Qual è la natura dell'energia oscura?
- ✓ La nostra comprensione della gravità è completa?

Ed è proprio per compiere questa missione epica che Euclid è stato dotato della capacità di rilevare immagini nel visibile e nell'infrarosso straordinariamente nitide e ampie in singole sedute di osservazione, in modo da ottenere una scansione dettagliatissima di una enorme porzione di cielo in poco tempo. Le prime immagini rilasciate mostrano questa straordinaria capacità: dalle stelle luminose alle galassie più lontane e deboli, le osservazioni mostrano gli oggetti nella loro totalità, rimanendo estremamente nitidi, anche quando si ingrandisce le galassie lontane.

E adesso, andiamo a vedere le prime immagini...



Una forma di "energia oscura" sembra essere all'origine dell'attuale accelerazione dell'espansione del nostro Universo, ma la scienza non riesce a capire come e perché. Euclid mapperà gli ultimi 10 miliardi di anni di storia cosmica su più di un terzo del cielo, dal "mezzogiorno" cosmico, il momento in cui si stava formando la maggior parte delle stelle, fino ai nostri giorni. Questo "sguardo a ritroso nel tempo" ci mostrerà con estrema precisione le variazioni dell'accelerazione cosmica, svelando così la natura dell'energia oscura

Credits: ESA

AMMASSO DI GALASSIE DI PERSEO ([link immagine HD](#))



Questa è la prima immagine pubblicata della missione Euclid ed è una vera rivoluzione per l'astronomia. Mostra 1.000 galassie appartenenti all'ammasso di Perseo e più di 100.000 altre galassie più lontane, sullo sfondo, ciascuna contenente centinaia di miliardi di stelle.

Molte di quelle lontane e deboli galassie non erano mai state viste prima. Alcune di loro sono così distanti che la loro luce ha impiegato 10 miliardi di anni per arrivare fino a noi. Prima d'ora non si era mai ottenuta una immagine così ampia e dettagliata.

L'immagine è stata realizzata con 5 ore di esposizione su più osservazioni, unendo dati dai due strumenti VIS e NISP.

L'ammasso di Perseo è una delle strutture più massicce conosciute, è un grande insieme di galassie immerse in una vasta nube di gas caldo distante circa 240 milioni di anni luce.

Ammassi di galassie come quello di Perseo non sembrano contenere abbastanza materia visibile per spiegarne la coesione, da qui l'ipotesi che siano caratterizzati da una grande quantità di Materia Oscura, in grado di tenere unite gravitazionalmente le galassie dell'ammasso con la sua gravità.

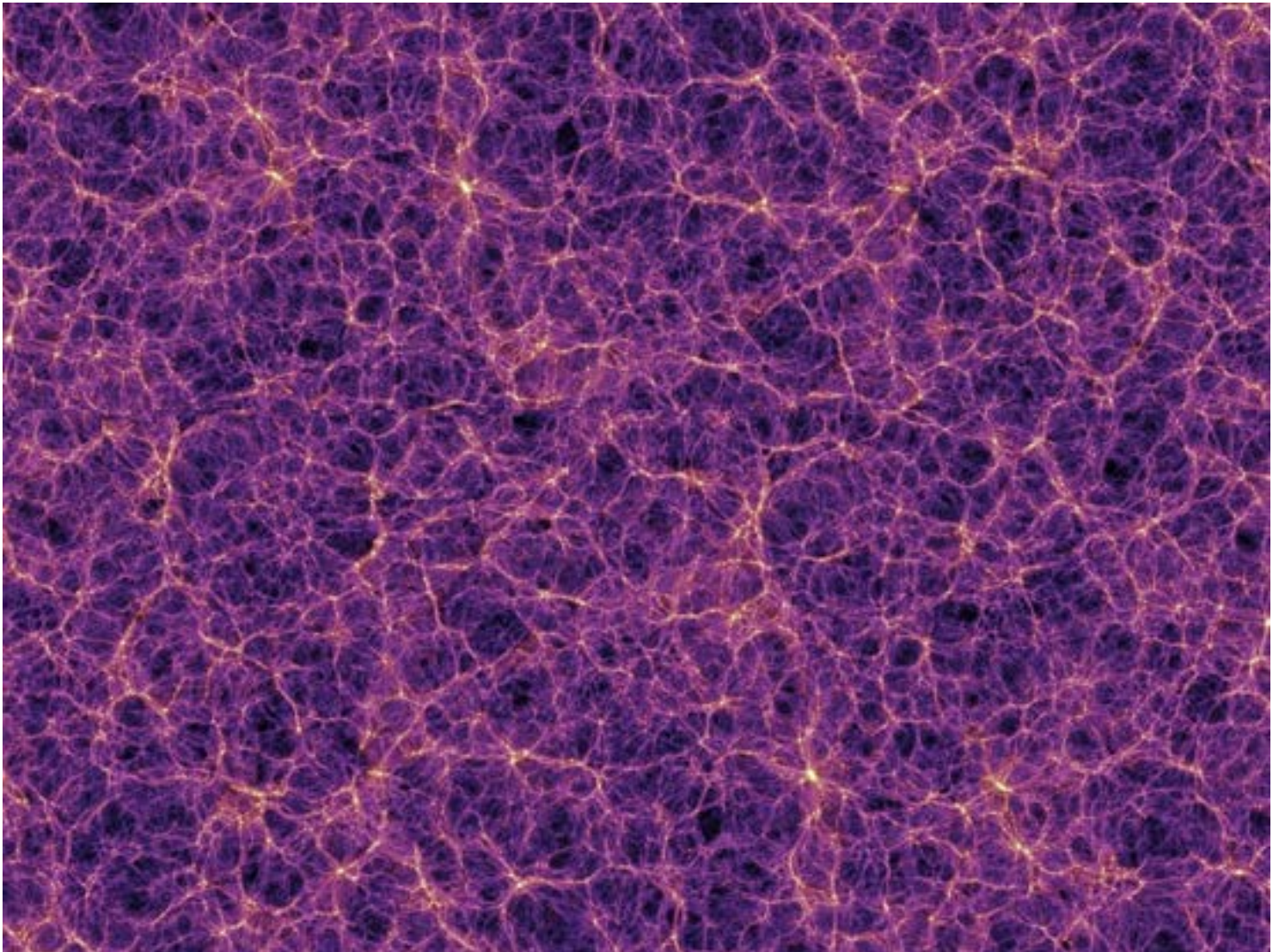
È stato dimostrato che gli ammassi di galassie come quello di Perseo possono essersi formati solamente se nell'Universo è presente materia oscura, infatti se essa non esistesse le galassie sarebbero distribuite uniformemente in tutto l'Universo

La materia, inclusa la materia oscura che non possiamo vedere, non è distribuita uniformemente nelle enormi distese dello spazio intergalattico, ma è disposta in strutture filamentose definite rete cosmica (Cosmic Web). La presenza di materia oscura, quindi, agisce gravitazionalmente e determina la formazione di questa rete cosmica che permea l'intero Universo creando strutture gigantesche caratterizzate da enormi vuoti separati da "muri" e filamenti di galassie. I punti di intersezione tra i filamenti fanno sì che le galassie si addensino creando ammassi e superammassi.

La forma e la distribuzione delle galassie che verranno osservate da Euclide sono influenzate dalla "geografia" della materia oscura. Le misurazioni

estremamente accurate e precise di Euclide di vaste aree del cielo notturno verranno utilizzate per dedurre le caratteristiche di questa distribuzione e come è cambiata nel tempo. In pratica, Euclid studierà la distribuzione degli ammassi e delle galassie al loro interno, per mappare la distribuzione di questa misteriosa componente cosmica.

La mappa prodotta ci aiuterà anche a capire come si espande il Cosmo, un fenomeno attribuito all'altra componente misteriosa dell'Universo: l'Energia Oscura, in quanto il cambiamento nel tempo della materia oscura e il raggruppamento nella sua distribuzione spaziale complessiva ci aiuteranno a rivelarne il ruolo e le proprietà.



La struttura dell'Universo sulla base di una simulazione effettuata dal Millennium Simulation Project, utilizzando il Max Planck Society's Supercomputing Centre di Garching (Germania). (Credits: The Millennium Simulation)

LA GALASSIA SPIRALE IC 342 ([link immagine HD](#))



La seconda immagine mostra una galassia conosciuta come IC 342 o Caldwell 5. È particolarmente difficile da osservare perché si trova proprio dietro il disco occupato della nostra Via Lattea, e quindi polvere, gas e stelle la nascondono alla nostra vista. Per questo motivo ha ricevuto il soprannome di "**galassia nascosta**".

Si tratta di una galassia a spirale debolmente barrata molto simile alla Via Lattea come struttura e di-

mensioni, distante circa 10 milioni di anni luce.

Il trovarsi così "vicino" la renderebbe una delle galassie più famose e fotografate del cielo, ma la Via Lattea non ne ha mai permesso una osservazione così "nitida". Ecco allora che Euclid ha risolto il problema! Grazie all'incredibile sensibilità della sua strumentazione ottica nel vicino infrarosso riesce a *guardare attraverso* la Via Lattea e studiare con estremo dettaglio oggetti altrimenti invisibili.

In questo caso ha raccolto la luce proveniente dalle numerose stelle fredde e di piccola massa che dominano la massa di IC 342.

Anche il James Webb Space Telescope (JWST) è in grado di fare questo tipo di osservazione, ma, il suo campo visivo è molto più ristretto di quello di Euclid. Al JWST occorrerebbero molti mesi per riuscire a realizzare un'immagine simile, unendo piccoli frammenti l'uno all'altro. Euclid, invece, riesce a riprenderla in una sola esposizione. Questo è l'aspetto peculiare di Euclid: in un solo scatto, può vedere un'intera galassia (o un intero ammasso, come abbiamo visto) con estremo dettaglio.

JWST ricerca il dettaglio estremo, mentre Euclid ha il compito di raccogliere una visione d'insieme attraverso la "cattura" di innumerevoli di galassie come questa. E lo studio della loro morfologia permetterà di capire come la Materia Oscura scolpisce anche le singole galassie e non solo gli ammassi.

Tornando all'immagine di IC 342, potrebbe sembrare normale, come tante altre che abbiamo visto. Ciò che rende una immagine come questa così innovativa e interessante è il fatto che fornisce una visuale estremamente ampia che possiamo ingrandire per distinguere le stelle e gli ammassi stellari che compongono la galassia. Questo fa sì che ora sia possibile tracciare la storia della galassia comprendendo meglio come le stelle si sono formate e si sono evolute nel corso della sua esistenza.

IC 342 può essere considerata una specie di "gemella" della Via Lattea per forma e dimensioni. Essendo anche molto "vicina" ne facilita lo studio, si pensi che la sua dimensione angolare nel cielo è pari a quella della Luna piena. Siccome non possiamo studiare la nostra Galassia per evidenti difficoltà osservative, date dal fatto che siamo al suo interno, l'osservazione di IC 342 ci fornirà molte informazioni sulle galassie come la nostra.

Euclid non è il primo ad osservare la *Galassia Nascosta*. Il telescopio spaziale Hubble ha già fotografato il suo nucleo, ma finora è stato impossibile studiarne i dettagli. Ad esempio, nell'immagine di Euclid sono stati individuati molti ammassi globulari in che in precedenza non erano mai stati identificati.



Posizioni di alcuni ammassi globulari di IC 342 (Credits: ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA, elaborazione delle immagini di J.-C. Cuillandre (CEA Parigi-Saclay), G. Anselmi, CC BY-SA 3.0 IGO)

Gli ammassi globulari sono insiemi molto compatti di centinaia di migliaia di stelle tenute insieme dalla gravità. Gli ammassi globulari sono oggetti costituiti da stelle tendenzialmente molto vecchie, ed appaiono di colore rosso, mentre gli ammassi stellari presenti all'interno delle galassie sono più giovani e sono tipicamente meno compatti e blu.

Nelle galassie a spirale, come la nostra Via Lattea, questi ammassi globulari si trovano principalmente nell'alone galattico (vedi figura sotto).



Alone galattico: regione di spazio che circonda le galassie spirali, compresa la nostra Galassia. Gli aloni galattici sono composti principalmente da stelle rade, ammassi globulari, gas e, probabilmente, materia oscura.

GALASSIA IRREGOLARE NGC 6822 ([link immagine HD](#))



La galassia irregolare NGC 6822 (conosciuta anche come Galassia di Barnard, dal nome dell'astronomo americano che la scoprì nel 1884), è una galassia irregolare barrata e fa parte del Gruppo Locale delle galassie.

È la galassia *non satellitare* più vicina alla Via Lattea. In altri termini si trova appena al fuori del raggio d'azione gravitazionale della nostra Galassia.

NGC 6822 è piuttosto piccola, 7.000 anni luce di diametro, ed è simile per struttura e composizione alla Piccola Nube di Magellano.

È un oggetto estremamente importante, ma non perché sia speciale di per sé, ma perché è molto vicina, "solo" 1,6 milioni di anni luce, e perché rappresenta la categoria di galassie più comuni dell'Universo. Le galassie nane e irregolari sono infatti i

mattoni fondamentali dai quali, nei miliardi di anni di esistenza dell'Universo, si sono assemblate le galassie più grandi, come la nostra Via Lattea.

È in galassie piccole, irregolari e ricchissime di stelle e gas come questa che l'Universo ha iniziato la sua attività creatrice di stelle, pianeti e metalli.

Più si guarda distante nello spazio, e quindi più lontano nel tempo, e più si vedono galassie irregolari. La gran parte delle galassie lontane che Euclid mapperà, saranno di questa taglia.

Quindi è di estrema importanza comprendere le caratteristiche, il funzionamento e l'evoluzione di una di queste galassie.

NGC 6822 è stata osservata molte volte, recentemente anche dal telescopio spaziale James Webb. Ma Euclid è il primo a catturare una immagine in alta definizione dell'intera galassia e dei suoi dintorni e lo ha fatto in circa un'ora, una cosa impossibile sia con i grandi telescopi da terra (l'atmosfera impedisce una tale) o con il JWST, che, come abbiamo visto, riprende immagini estremamente dettagliate ma di piccole porzioni del cielo.

Un aspetto molto interessante di questa piccola galassia è che le sue stelle contengono piccole quantità di elementi "pesanti" che non siano idrogeno ed elio. Questi elementi "metallici" più pesanti sono prodotti dalle stelle nel corso della loro vita e quindi non sono molto comuni nell'Universo primordiale (prima che la prima generazione di stelle, la cosiddetta Popolazione III, nascesse, visse e morisse).

La maggior parte delle stelle di NGC 6822 si è formata negli ultimi 3-5 miliardi di anni e questo perché, probabilmente, ha trascorso gran parte della sua esistenza in un tranquillo isolamento ed ha effettuato un "pericoloso" avvicinamento alla nostra Via Lattea per poi allontanarsi di nuovo e questo ha innescato al suo interno fenomeni diffusi di formazione stellare.

Ecco perché nell'immagine di Euclid vediamo, tra i suoi miliardi di stelle, qua e là delle nuvolette azzurre e violette. Sono nebulose ad emissione e resti di supernova (*supernova remnant*).

Nell'immagine che segue, sono mostrate le posizioni di quattro regioni HII. Le regioni HII sono nebulose

ad emissione contenenti stelle giovani, blu e calde. Il termine HII indica la presenza di estese nubi di idrogeno ionizzato dalla radiazione ultravioletta emessa dalle giovani stelle. Sono regioni in cui ha luogo una intensa formazione stellare. Le osservazioni infrarosse di Euclid mostrano come alcune di queste regioni HII siano distribuite nella galassia.

Una delle regioni HII più famose della nostra Galassia è la Nebulosa di Orione (M42).



Posizioni di alcune regioni HII di NGC 6822 (Credits: ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA, elaborazione delle immagini di J.-C. Cuillandre (CEA Parigi-Saclay), G. Anselmi, CC BY-SA 3.0 IGO)



Dettaglio ingrandito di una delle regioni HII, ottenuto zoomando l'immagine: impressionante!!! (Credits: ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA, elaborazione delle immagini di J.-C. Cuillandre (CEA Parigi-Saclay), G. Anselmi, CC BY-SA 3.0 IGO)

AMMASSO GLOBULARE NGC 6397 ([link immagine HD](#))



Gli ammassi globulari sono grandi insiemi di stelle di forma sferica, che, come abbiamo visto prima, si trovano nell'alone della nostra Galassia e intorno a ogni grande galassia dell'Universo. Solitamente contengono alcune centinaia di migliaia di stelle, concentrate in una sfera di un centinaio di anni luce di diametro.

Euclid ci ha mandato l'immagine ripresa dell'am-

masso globulare NGC 6397, che si trova a 7800 anni luce, all'interno dell'Alone della Via Lattea e contiene quasi mezzo milione di stelle.

È una foto che toglie il fiato ... ha una profondità ed un dettaglio che la rende spettacolare. Considerando il fatto che non si tratta nemmeno del più grande ammasso globulare orbitante nel campo gravitazionale della nostra Galassia, c'è da chiedersi quali al-

tre meraviglie ci regalerà in futuro questo telescopio.

Anche in questo caso, come con NGC 6822, nessun telescopio è in grado di realizzare un'immagine del genere, per la capacità di Euclid di fotografare contemporaneamente grandi aree del cielo, con un incredibile livello di dettaglio e profondità. Inoltre, Euclid, ha la capacità unica di riuscire a

Nessun altro telescopio oltre a Euclid è in grado di osservare un oggetto come questo per intero e allo stesso tempo distinguere i suoi deboli membri stellari nelle regioni esterne da altre sorgenti cosmiche

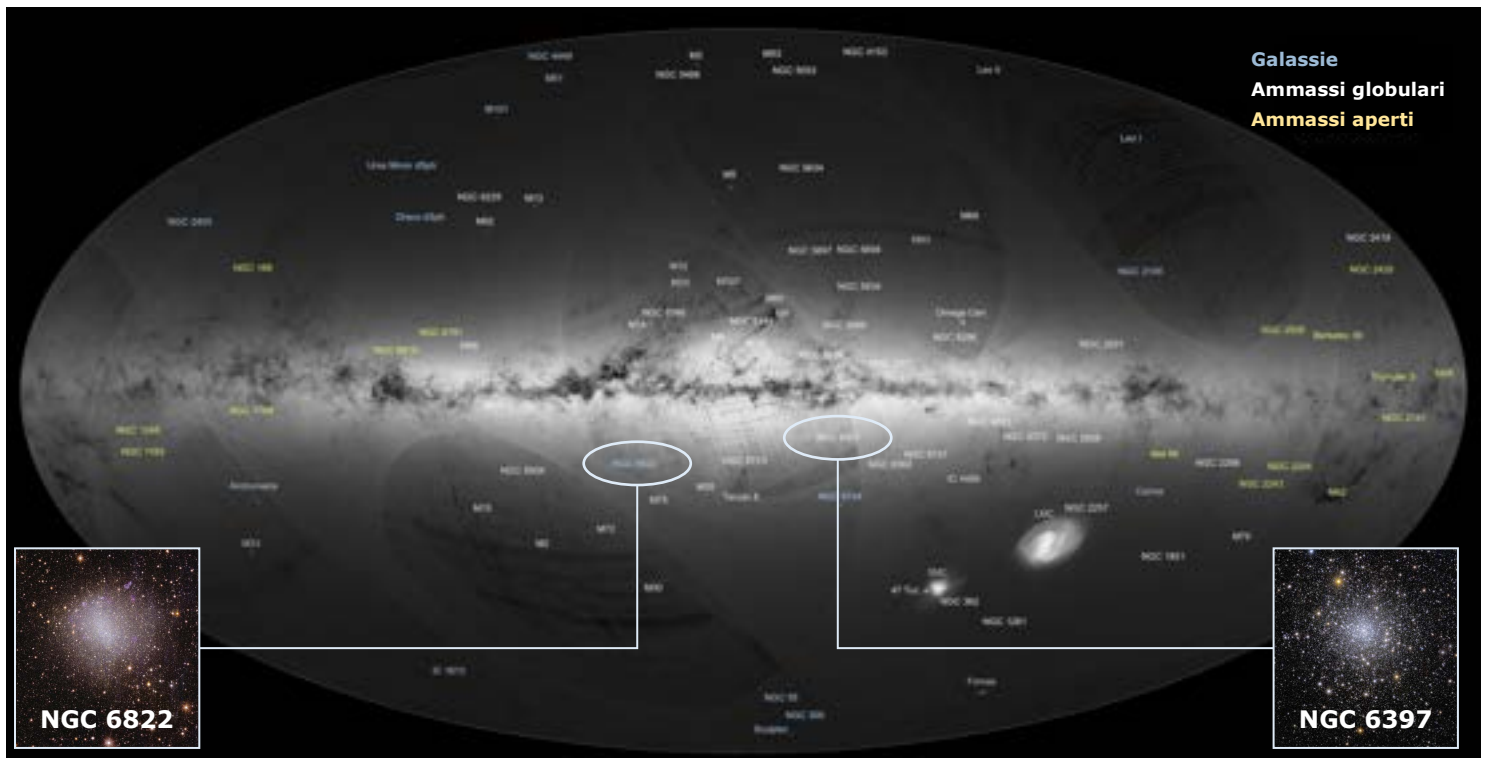
Hubble osservò in dettaglio il nucleo di questo ammasso globulare, ma non venne mappata la periferia perché ci sarebbe voluto troppo tempo, il nucleo richiese osservazioni effettuate dal luglio 2004 al goigno 2005 (vedi immagine). Euclid lo ha fatto in un'ora.

Gli ammassi globulari sono alcuni degli oggetti più antichi dell'Universo. Essi contengono molti indizi sulla storia e l'evoluzione delle galassie che li ospitano. Le nostre teorie di formazione stellare e galattica prevedono che essi siano dotati di grandi "code"



L'immagine di Hubble del nucleo di NGC 6822 (Credits: NASA, ESA, and T. Brown and S. Casertano (STScI) Acknowledgement: NASA, ESA, and J. Anderson (STScI))

di stelle, generate dalle maree galattiche, che però sono molto difficili da studiare a causa della loro estensione nel cielo e della loro debolezza. Per Euclid questo non è un problema, mappando le code mareali degli ammassi globulari, nostri e di altre galassie, sarà possibile mappare la Materia Oscura presente attorno a ciascuna galassia.



Mapa della nostra Galassia e delle galassie vicine, realizzata dal satellite Gaia dell'ESA. Sono evidenziate le posizioni di NGC 6822 e NGC 6397 fotografati da Euclid. Notare in basso a destra le due nubi di Magellano (Credits: ESA/Gaia/DPAC)

NEBULOSA TESTA DI CAVALLO ([link immagine HD](#))



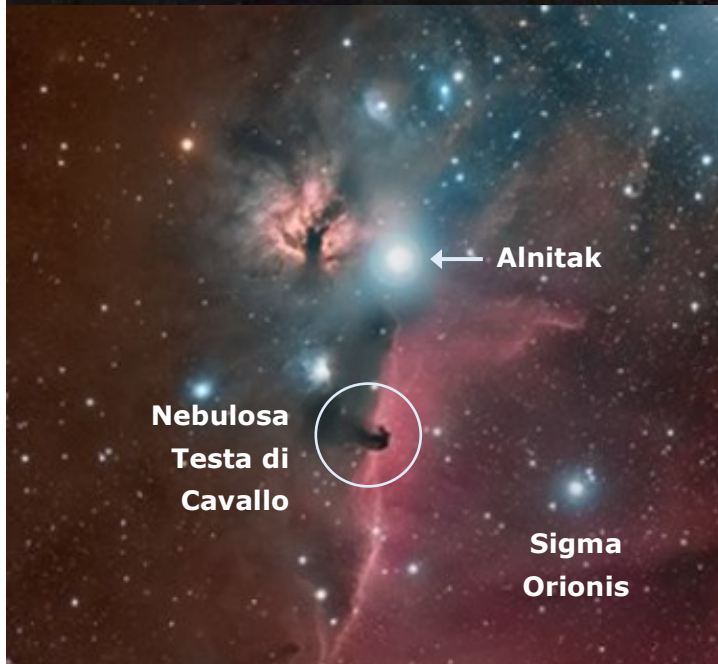
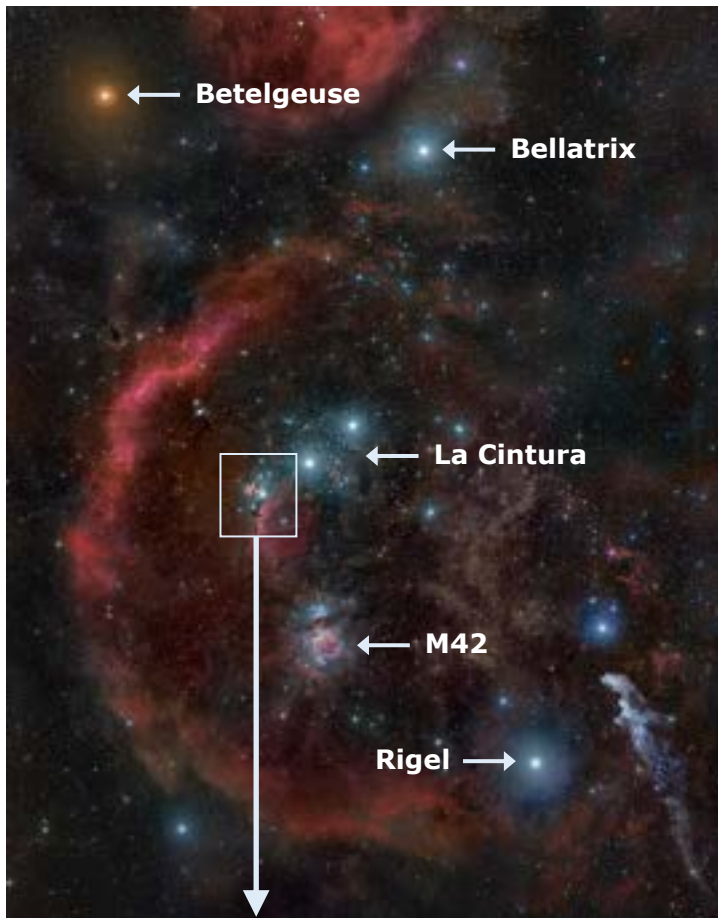
E infine ... la nebulosa Testa di Cavallo, conosciuta anche come Barnard 34, una nebulosa famosissima e fotografata innumerevoli volte in splendide foto. Hubble, ad esempio, ce ne ha regalata una stupefacente.

Nessuna, però così grande e dettagliata e ottenuta in un colpo solo, con appena un'ora di osservazioni. Si tratta di una immagine un po' "fuori tema" per

Euclid in quanto lo studio di nebulose interne alla nostra Galassia non è negli scopi primari di Euclid.

Ad ogni modo una immagine come questa permette agli scienziati di poter scoprire cose mai viste prima, proprio grazie alla straordinaria risoluzione degli strumenti di Euclid: stelle avvolte nelle dense polveri come nane brune, stelle nascenti e addirittura pianeti fluttuanti di tipo gioviano.

La nebulosa Testa di Cavallo dista circa 1.375 anni luce da noi e fa parte del complesso di Orione, una vasta nube molecolare in cui ha luogo una intensa formazione stellare.



Il Complesso di Orione: la grande nube molecolare nella costellazione di Orione. Si riconosce la famosa costellazione invernale, con la rossa supergigante Betelgeuse in alto a sinistra e la cintura al centro con M42 al di sotto (Credits: Rogelio Bernal Andreo)

Si trova appena a sud di Alnitak la prima delle tre stelle della Cintura di Orione, le tre stelle allineate al centro della Costellazione di Orione.

La nebulosa è un luogo di formazione stellare ed è caratterizzato dalla presenza di una stella molto lu-



La Nebulosa Testa di Cavallo fotografata dal Telescopio Spaziale Hubble (Credits: NASA/ESA)

minosa: Sigma Orionis, che si trova appena fuori dal campo visivo della foto (in alto nella foto di Euclid). Non è una stella singola ma un sistema multiplo formato da cinque stelle. È un sistema molto giovane (pochi milioni di anni) con le orbite delle stelle D, E, e C instabili e, come accade anche in altri sistemi multipli, molto probabilmente verranno espulse dal sistema.

Le due componenti A e B, le più grandi, sono destinate ad esplodere come supernovae. Sono infatti molto grandi e calde ed emettono forti venti solari e intense radiazioni ultraviolette che scolpiscono ed illuminano i gas e le polveri della Nebulosa Testa di Cavallo.

Sigma Orionis, poi, appartiene ad un gruppo di oltre cento stelle, un ammasso aperto rivelato dalle osservazioni dalla missione ESA Gaia. Nell'immagine di Euclid sono già state individuate nuove stelle candidate a farne parte.

Nell'immagine di Euclid, poi, sono stati individuati anche oggetti più piccoli e freddi, come nane brune e pianeti *interstellari*, o *erranti*.

Un pianeta interstellare è un oggetto con una massa equivalente a quella di un pianeta, ma non legato gravitazionalmente a nessuna stella. Possono provenire da sistemi planetari in cui si sono formati e successivamente espulsi, oppure possono anche formarsi da soli, al di fuori di un sistema planetario. La sola Via Lattea potrebbe contenere da miliardi a trilioni di tali oggetti. Sono corpi celesti che si muovono nello spazio interstellare come oggetti indipendenti da qualsiasi sistema planetario, da qui anche l'appellativo di "*pianeta orfano*".

Nell'immagine sotto è evidenziato un esempio di questi oggetti di massa planetaria non legato gravitazionalmente ad una stella o a una nana bruna.

Si tratta di SOr62 un giovane pianeta con una massa pari a dieci volte quella di Giove. Ha una temperatura di 1.200 gradi Celsius e brilla di luce infrarossa.



Dettaglio del pianeta interstellare SOr62 (Credits: ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA, elaborazione delle immagini di J.-C. Cuillandre (CEA Parigi-Saclay), G. Anselmi,, CC BY-SA 3.0 IGO)

Ma Euclid non finisce di stupire, nell'immagine c'è un'altra sorpresa: ingrandendo e guardando atten-

tamente nella parte sopra la nebulosa si possono osservare una moltitudine di galassie che appaiono dietro alla nebulosa. Galassie lontane delle quali riusciamo a distinguere addirittura la forma, i bracci di spirale e il nucleo.



Le galassie oltre la Nebulosa: una prova della potenza di Euclid nell'ottenere immagini estremamente nitide su un'ampia regione del cielo (Credits: ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA, elaborazione delle immagini di J.-C. Cuillandre (CEA Parigi-Saclay), G. Anselmi, CC BY-SA 3.0 IGO)

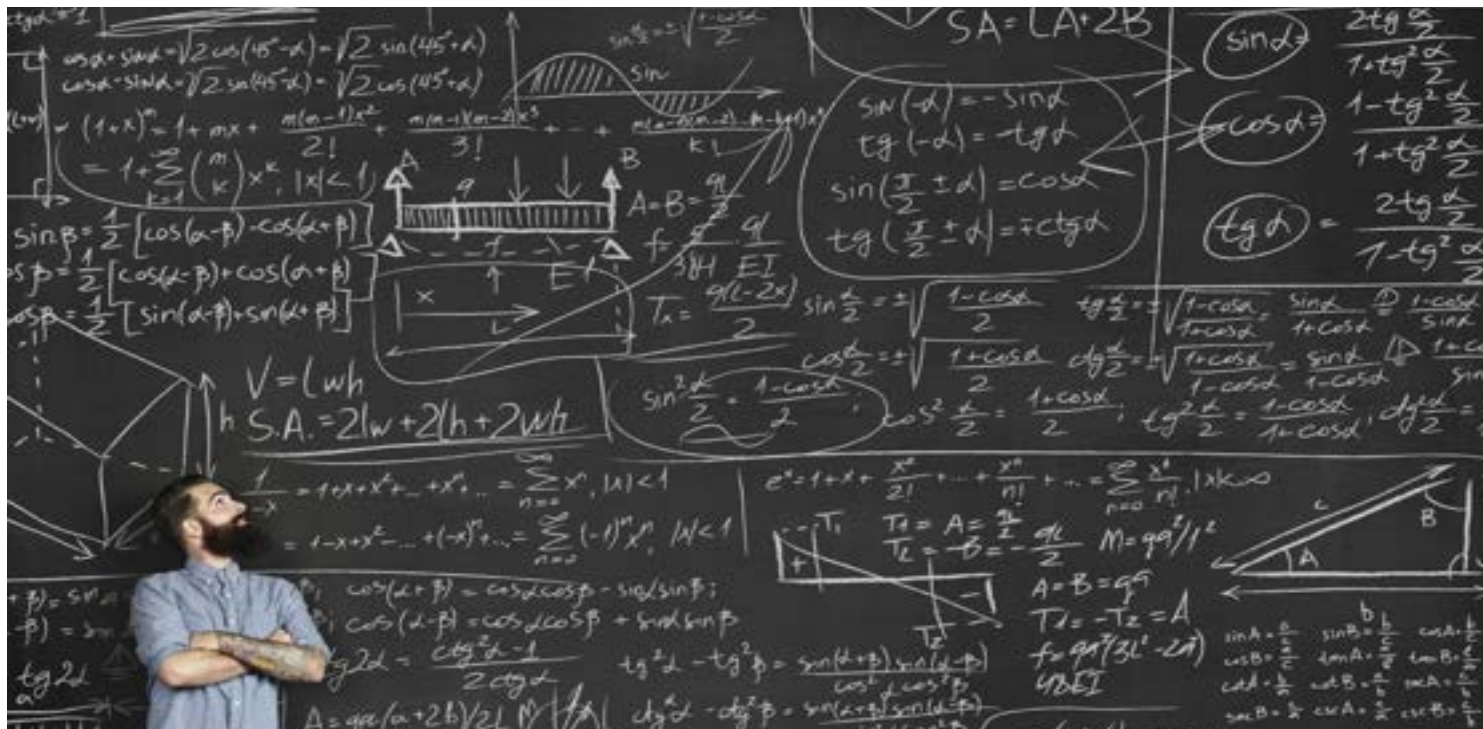
**Ed ora attendiamo nuove fantastiche immagini
Buon Lavoro Euclid!**



P O NP: QUESTO È IL PROBLEMA

Breve viaggio verso un problema da un milione di dollari

di Alessandro Borghi



Vi siete mai chiesti se si possa misurare la **difficoltà di un problema**?

Se qualcuno vi dice che un certo problema è difficile, una delle prime domande che mi vengono in mente è: "quanto?". Questo, in genere, dipende da molti fattori anche soggettivi. In ogni caso, questo quesito ha portato informatici e matematici a porre una delle domande più importanti nel mondo della scienza. Così importante che, se mai riusciste ad avere una risposta esaustiva, **vi sarà donato un milione di dollari**. Negli anni, gli informatici sono riusciti a sviluppare strumenti per poter affrontare il quesito di quanto un problema sia difficile. L'insieme di questi strumenti ha portato alla creazione della **teoria della complessità computazionale** (**computational complexity theory** in inglese).

Ma prima di buttarci nei dettagli facciamo un passo indietro e cerchiamo di capire da dove è partita questa materia. Tutto cominciò nel 1930 (vedi [1] e [2]), quando un professore tedesco scrisse alcuni punti su una lavagna con il gesso in mano durante

una conferenza. Questo professore si chiamava David Hilbert, una leggenda della matematica e un forte credente nella possibilità di *descrivere tutta la matematica tramite fondamentali leggi logiche con assoluta certezza* [1]. In questo caso con logica non intendo l'utilizzo della vostra testa per risolvere certi problemi, beh... almeno in parte, ma più che altro intendo una branca della matematica (vedi [3] per maggiori dettagli).

La logica è una materia così complessa ma così fondamentale che Bertrand Russell e Alfred North Whitehead sono riusciti a provare che $1+1=2$ in 762 pagine nel loro libro *Principia Mathematica* [1].



David Hilbert, immagine da [4]

Hilbert riteneva che per provare la sua credenza dovesse dimostrare 3 punti fondamentali che la matematica doveva avere [2]: **consistenza**, **completezza** e **decibilità**. Tornerò su questi punti dopo (per ulteriori informazioni: [1]). Questo faceva parte del suo programma di ricerca con l'obiettivo di provare le fondamenta della matematica con assoluta certezza. Non sapeva, però, che questo avrebbe scombuscolato la matematica stessa.

Nella stessa conferenza c'era un giovane studente di 24 anni, di nome Kurt Gödel che un anno dopo riuscì a dimostrare che il secondo punto di Hilbert, ovvero la **completezza**, era falso ... cosa che portò incertezza anche sul primo punto.



Kurt Gödel, immagine da [5]

Ma vediamo di spiegare meglio:

1) **consistenza**: *la matematica non può avere contraddizioni*. In genere un buon esempio per capire questo punto è l'autoreferenzialità. L'affermazione: "Io dico sempre bugie" da un po' l'idea. E da questa frase la prima cosa che vi viene in mente

è che chi l'ha detta è un bugiardo. Ma se davvero questa persona fosse un bugiardo allora la frase dovrebbe essere falsa, per cui in realtà chi l'ha detta non è un bugiardo ma sta dicendo la verità! Ok, probabilmente sarete molto confusi ma tranquilli, anche alcuni matematici a quei tempi lo erano.

2) **completezza**: *la matematica deve essere completa*. Basiamoci ancora sull'esempio del punto precedente e affermiamo: "io dico sempre bugie". Visto che vogliamo l'intera matematica **consistente**, togliamo questa frase dal vocabolario. Non permettiamo a nessuno di dirla perché andrebbe contro il primo punto. A parte il fatto che la gente vi vedrebbe un po' come un dittatore, qui arriva Hilbert e vi dice: "ma la matematica dovrebbe essere anche completa!". In altre parole non possiamo eliminare que-

sta frase! Ma non perdetevi le speranze, perché c'è ancora il terzo punto ed il più importante per noi.

3) **decidibile**: *ci deve essere un modo autonomo/meccanico per cui è possibile dimostrare che una certa teoria matematica è vera o falsa*. Non può essere che anche questo è falso.... vero? Sfortunatamente no. Nel 1936 un matematico inglese di 23 anni di nome Alan Turing [2] attaccò il terzo punto di Hilbert usando l'informatica; d'altronde era uno dei padri fondatori della materia (se non lo conoscete vi consiglio di guardare il film: *The Imitation Game*). Al tempo il computer come ve lo immaginate voi non esisteva ancora, o almeno non era così avanzato. Ma la mente umana riuscì comunque a sviluppare complicate teorie per macchinari che ancora dovevano esistere. Infatti, Turing sviluppò un macchinario immaginario che eseguiva un insieme finito di istruzioni (oggi è chiamata la *Macchina di Turing*).

Questa "macchina" è diventata famosa perché era un modello matematico che poteva descrivere *qualsunque algoritmo*. Ora la domanda che vi starete facendo è "cosa diavolo è un *algoritmo*?". Avrete sentito questa parola probabilmente in televisione o mentre stavate guardando i vostri social networks sullo smartphone. Beh nel



Alan Turing, immagine da [6]

21esimo secolo gli algoritmi hanno dato poteri all'uomo che qualche secolo fa ce li saremmo solo sognati. Senza algoritmi non saremmo andati sulla luna, non avremmo trasporti pubblici efficienti, non potremmo guardare i social network e non potreste leggere questo articolo su internet.

Ok, gli algoritmi sono importanti ... ma cosa sono esattamente? La definizione informale sarebbe: *un insieme di istruzioni finite che, date informazioni in ingresso, effettuano operazioni su di esse dando un certo risultato*. Un esempio potrebbe aiutare in que-

sto caso. Pensate alle tabelline, per esempio 12×6 . Inconsciamente diamo la risposta 72 ma quello che facciamo davvero è questo: (1) moltiplichiamo $10 \times 6 = 60$, (2) moltiplichiamo $2 \times 6 = 12$, infine (3) sommiamo $60 + 12 = 72$. Queste sono state 3 istruzioni (moltiplica le decine, moltiplica le unità, somma tutto), la cui esecuzione ha fornito esattamente il risultato che volevamo, ovvero 72. E' estremamente importante capire che la definizione data è applicabile a qualsiasi cosa, non solo ai programmi nei nostri PC. Anche noi esseri umani, in un certo senso, abbiamo algoritmi nel nostro cervello che ci danno la possibilità di vivere la nostra vita di tutti i giorni, come ad esempio: il riconoscere oggetti. Si potrebbe quasi dire, in un certo senso filosofico, che *siamo algoritmi* ma vediamo di non entrare in questo discorso.

Ora che abbiamo un'idea di cosa sia un algoritmo, torniamo alla nostra storia con Turing. Il matematico inglese usò la teoria di Gödel assieme alla sua macchina e dimostrò che il terzo punto di Hilbert era falso. In altre parole, ci saranno sempre problemi in matematica per cui nessun algoritmo può essere sviluppato per risolverli. Questo ci porta a concludere 2 cose: 1) la matematica avrà sempre limitazioni e 2) Hilbert non è rimasto molto contento.

Ma perchè vi racconto questa storia? Beh come ho detto prima il terzo punto di Hilbert, la **decidibilità**, è molto importante per noi. Il motivo è che questo punto ha influito nella creazione dello studio della "complessità computazionale". Dopo che Turing lasciò alle sue spalle il disastro, dicendo che ci sono problemi che possono essere risolti e altri no, gli scienziati guardarono le macerie e cominciarono a farsi domande.

"Questo problema si può risolvere?", "Esiste un algoritmo per risolverlo?", "**Se si, quanto è difficile risolverlo?**". Vorrei che poneste la vostra attenzione sull'ultima domanda. Vi ricorda qualcosa? Se è così, avete un'ottima memoria, se no, non preoccupatevi, vi invito a leggere il primo paragrafo di questo articolo. La domanda "Quanto è difficile risolvere questo problema?" è esattamente ciò da cui siamo partiti!

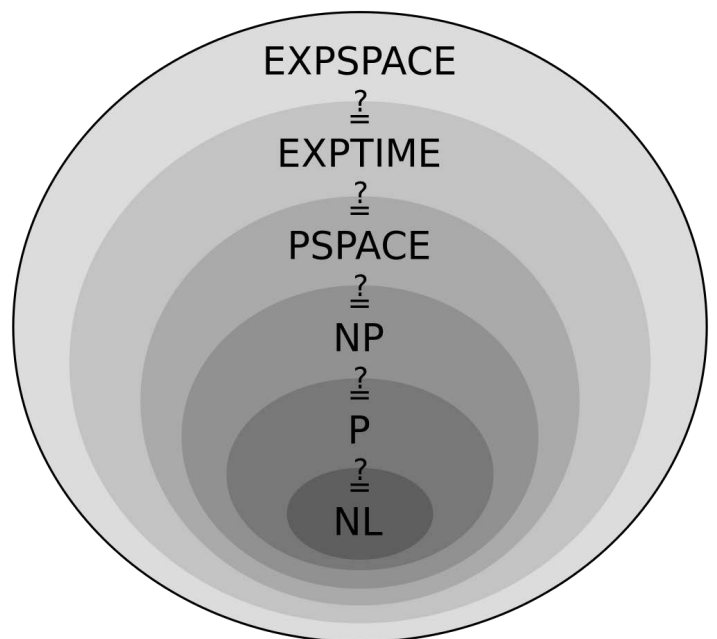
La teoria della complessità computazionale

studia quanto è difficile per un algoritmo risolvere certi problemi (se sono risolvibili)⁽¹⁾.

Dopo anni di analisi e studi, gli informatici hanno classificato i problemi in diversi insiemi, basandosi su quanto sono difficili da risolvere. Questi vengono nominati con lettere: P, NP, L, NL, EXPTIME, etc... (vedi [7]). I gruppi che ci interessano sono P e NP. Vediamo di andare un passo alla volta, cosa vuol dire P e cosa vuol dire NP?

Questa sezione sarà un po' tecnica ma non buttatevi giù di morale e non perdetevi d'animo.

P sta per *polynomial*, che tradotto in italiano sta per *polinomio*. Probabilmente li avrete studiati a scuola ma per completezza vedo di introdurli anche qua. Come in tutta la matematica elementare c'è sempre un'equazione in cui bisogna trovare la variabile. Ad esempio, dato $x^2 + x + 1 = 0$ trova x . Il termine a sini-



Le classi di complessità. Come si può vedere NP include P ma la domanda è "quale relazione li lega?" (immagine presa da [8])

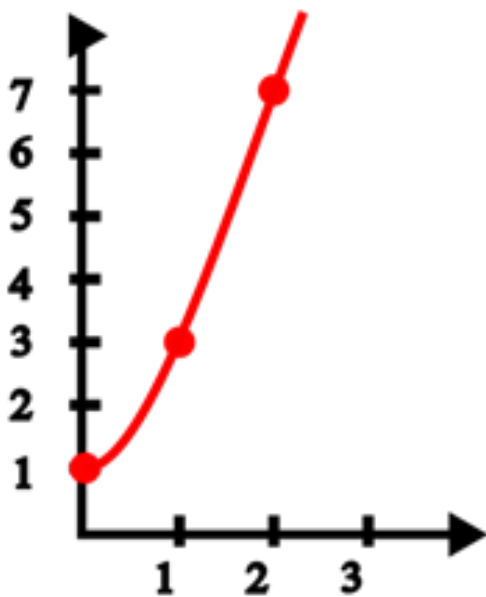
stra dell'equazione è anche chiamato polinomio da "poly" che in greco significa molti, perchè è la somma di molti monomi, ovvero i termini in cui x elevato ad una certa potenza (in questo caso la potenza di 2, 1 e 0). Vediamo, allora, di semplificare il polinomio mostrandolo in un grafico. Invece di x met-

(1) Questa definizione che ho dato è molto informale e incompleta, voglio solo dare una vaga idea al lettore di cosa si tratti questa materia.

tiamo dei numeri. Per $x=0$ abbiamo $x^2+x+1=1$, per $x=1$ abbiamo $x^2+x+1=3$, per $x=2$ abbiamo $x^2+x+1=7$... e avanti così.

Ora mettiamo questi dati in un grafico cartesiano dove nell'asse delle x mettiamo, beh... x , e nell'asse delle y mettiamo il valore del nostro polinomio. Il risultato è la linea rossa nell'immagine seguente.

Perché P sta per polinomiale? Perché intende tutti quei problemi che possono essere risolti da un algoritmo in *tempo polinomiale*. Con questo si intende che il tempo⁽²⁾ in cui l'algoritmo risolve il problema segue un'andatura simile a x^2+x+1 dove x è defini-



bile come la *dimensione* del problema. Con dimensione intendo la grandezza delle informazioni del problema o meglio *l'input*. Per indicare questo tipo di complessità si usa la "*big-O notation*", ovvero la notazione a grande O . Se, come nel nostro caso, abbiamo la nostra dimensione x e il nostro algoritmo esegue un totale di operazioni pari a x^2+x+1 per risolverlo, allora si dice che ha una complessità pari a $O(x^2)$, ovvero si prende il termine con la potenza più grande del polinomio.

Questa grande O ci dice che l'algoritmo, più o meno, esegue un totale di operazioni nell'ordine di grandezza della dimensione del problema al quadrato.

(2) In questo caso "tempo" si riferisce al numero di istruzioni che l'algoritmo esegue per risolvere un problema. Quindi non è esattamente il tempo che passa negli orologi ma le due grandezze sono proporzionali.

Facciamo un esempio. Prendiamo la moltiplicazione che abbiamo fatto qualche paragrafo fa, 12×6 , e la rendiamo un pochino più difficile scrivendo: 12×11 . Se eseguiamo l'algoritmo che abbiamo descritto avremo: (1) moltiplichiamo $10 \times 10 = 100$, (2) moltiplichiamo $10 \times 1 = 10$, (3) moltiplichiamo $2 \times 10 = 20$, (4) moltiplichiamo $2 \times 1 = 2$, infine, (5) sommiamo $100 + 10 + 20 + 2 = 132$. Questo algoritmo applicato a questa moltiplicazione ha *complessità 5* visto che ha fatto 5 operazioni. Vedrete che se aumentate il numero di cifre anche il numero di operazioni aumenterà. Ma come aumenta? Se il numero di cifre è x allora il suo aumento è pari a $O(x^2)$.

Nel nostro caso i problemi P sono i problemi "facili", nel senso che la complessità polinomiale è in genere ben vista nel mondo scientifico perché sappiamo che se aspettiamo del tempo, prima o poi l'algoritmo finirà per risolvere il problema⁽³⁾.

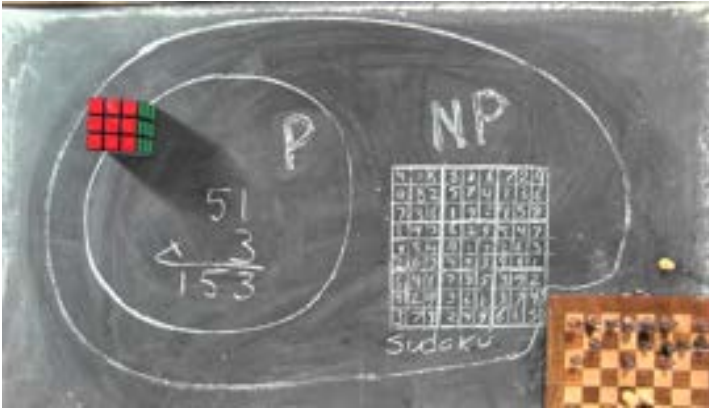
L'altro gruppo di problemi viene chiamato NP. Sfortunatamente questo non sta per "non polinomiale", ma per "*nondeterministic polynomial time*", ovvero "*tempo polinomiale non deterministico*". Questa tipologia di problemi sono estremamente difficili da risolvere (se possono essere risolti), ma se qualcuno vi dà direttamente la soluzione, allora è possibile verificare tale soluzione in tempo polinomiale. Vedetelo come un problema P al contrario, ovvero la complessità polinomiale non sta nel trovare la soluzione ma nel verificarla.

Un classico esempio che viene fatto è il *Sudoku*. Il Sudoku è un gioco estremamente difficile, pure gli algoritmi fanno fatica a risolverlo ... soprattutto se aumentiamo il numero di righe e colonne! Immaginatevi di stare facendo un Sudoku e non riuscite a risolverlo. Allora vi frustrate così tanto che ad un certo punto decidete di barare e guardate le soluzioni su internet. Appena vedete la soluzione per il vostro Sudoku penserete "accidenti ... ma era facilissimo!". Questo esempio rispecchia perfettamente un problema NP: difficile da risolvere ma facile da verificare.

Nel primo paragrafo di questo articolo ho menzionato che c'è una domanda per cui, se mai riuscite a

(3) È importante capire che, purché polinomiale, per enormi quantità di input, ci potrebbe volere una quantità di tempo spropositata perché l'algoritmo risolva il proble-

rispondere, vi saranno dati un milione di dollari. La domanda è la seguente **"Il gruppo di problemi P è uguale agli NP?"**. Torniamo alla nostra dimensione x . Diciamo anche che il problema con questa



Esempio della moltiplicazione come problema P e il sudoku come NP, immagine presa da [9]

dimensione è NP. Cominciamo a fare i conti con carta e penna e scopriamo che, come dice la definizione, il problema è estremamente difficile. Così difficile che ha una complessità di $O(x^{1484564378294846362729})$. Ma, per quanto questo sia un numero estremamente grande, la complessità è polinomiale! Certo, appena abbiamo $x=2$ solo Dio saprà il risultato di questo numero e come risolvere il problema, ma quest'ultimo rimane P. Ovviamente non è facile con questo esempio analizzare la domanda, ma, per semplificare, possiamo porci un'ultima domanda: **"Anche se i problemi sono NP e ci potrebbe voler un'eternità per risolverli, è possibile comunque risolverli in un tempo polinomiale?"**.

Bibliografia

[1] Veritasium, "Math's fundamental flaw", YouTube,

<https://www.youtube.com/watch?v=HeQX2HjkcNo&t=847s>

[2] Ben Brubaker, "Complexity theory's 50-year journey to the limit of knowledge", Quanta Magazine,

<https://www.quantamagazine.org/complexity-theorys-50-year-journey-to-the-limits-of-knowledge-20230817/>

[3] "Logica matematica", Wikipedia,

https://it.wikipedia.org/wiki/Logica_matematica

[4] "David Hilbert", Wikipedia,

https://de.wikipedia.org/wiki/David_Hilbert

[5] "Kurt Godel", Wikipedia,

https://de.wikipedia.org/wiki/Kurt_G%C3%B6del

[6] "Alan Turing", Wikipedia,

https://es.wikipedia.org/wiki/Alan_Turing

[7] "Computational complexity theory",

Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Computational_complexity_theory

[8] "Complexity class", Wikipedia,

https://en.wikipedia.org/wiki/Complexity_class

[9] "Computability and complexity theory", Wikipedia,

<https://homes.cs.washington.edu/~jrl/teaching/cseP531sp16/>

IL VOLO IPERSONICO CON SCRAMJET A IDROGENO

di Luigi Borghi



Parlando con amici e follower della nostra associazione e visti i miei precedenti di detrattore dell'idrogeno sulle automobili, sono stato "taggato" come il nemico dell'idrogeno, il che non è assolutamente vero. Se io non faccio colazione con uno stinco di maiale al forno, non significa che non mi piace lo stinco! Semplicemente lo trovo inadeguato a colazione!

Io amo l'idrogeno e ritengo che sarà l'attore principale per arrivare alla completa decarbonizzazione dei processi inventati ed utilizzati dall' homo cosidetto sapiens.

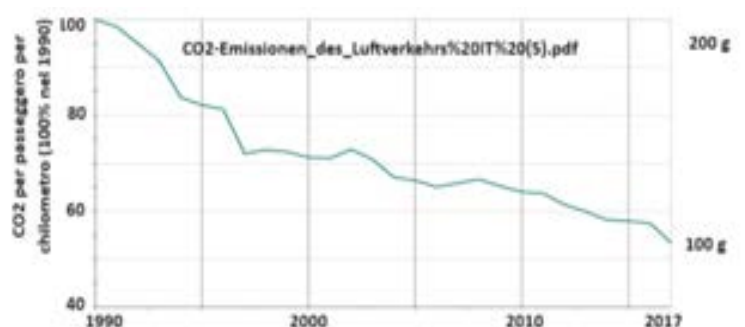
Ma non sulle auto! Quando vedo o leggo articoli di pseudo esperti che vedono le fuel-cell sulle auto come la soluzione dei nostri problemi, mi si *accappona* la pelle: un insensato spreco di energia. Ma questa è un'altra storia di cui abbiamo già abbondantemente parlato in queste pagine.

Ma ora voglio dimostrarvi che l'idrogeno è essenziale non solo per i processi energivori come le fonderie e le ceramiche, di cui non voglio e non posso ap-

profondire, ma anche sugli aerei a lunga gittata e sui prossimi ipersonici civili. E se ve lo dico io dovette crederci!

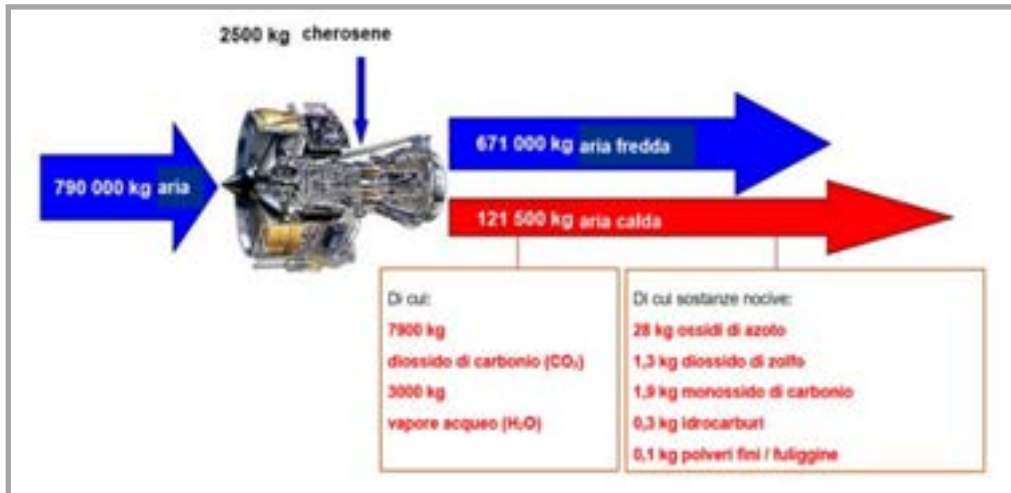
Partiamo dalla situazione attuale del volo civile

Ogni giorno decollano circa 93,000 aerei da circa 9,000 aeroporti. Ogni secondo vi sono in aria una media di 9,728 aerei che trasportano 1,270,400 persone con relativo bagaglio. Da una statistica estratta da dati Lufthansa risulta che i gas serra emessi oggi mediamente sono **100 g di CO2 per km. per passeggero.**



Un'auto diesel moderna produce 120-:-140 g di CO2 per km. Quindi possiamo dire che, se andiamo in due su un'auto, inquiniamo meno di un aereo. Ma se siamo da soli no!

Di cosa sono fatte queste malfamate "scie chimiche"?



Sostanzialmente di aria fredda, aria calda, vapore acqueo; CO₂, ed altre robette effettivamente poco raccomandabili, ma assolutamente normali prodotti di scarto della combustione di idrocarburi: esattamente ciò che esce, in percentuale, dal tubo di scarico di un normale motore a combustione interna per auto. Ogni automobile emette tante piccole "scie chimiche".

Resta comunque evidente che, se la combustione avvenisse tra idrogeno e ossigeno, anziché tra benzina avio (Avgas) e ossigeno, come dall'esempio in figura, sparirebbero 7,5 tonnellate di CO₂ che andrebbero ad aumentare le 3 tonnellate di vapore acqueo. Sarebbe e sarà tutto un altro "volare", pulito e rispettoso dell'ambiente.

Oltre che andare ad esaminare come si stanno muovendo le aziende del settore (Boeing, Airbus, ecc.) per arrivare a questi obiettivi, dobbiamo approfondire anche un altro tema che avrà uno sviluppo parallelo: i velivoli ipersonici.

Il volo ipersonico

Partiamo dal fatto che la velocità del suono in aria secca, al livello del mare ed a temperatura di 20 °C è di 343 m/s o se preferite 1.235 km/h e che que-

sta velocità viene chiamata Mach1.

Pertanto, tutto ciò che supera tale velocità, rispetto ad un determinato punto di riferimento fisso, viene classificato come velocità supersonica.

Dal momento che per superare di parecchio questa velocità (oltre Mach 3) servono tecnologie diverse

rispetto al normale volo commerciale attuale le velocità superiori a Mach 4 (circa) vengono classificate velocità ipersoniche! La velocità (Mach 1) in atmosfera non è però una costante. Dipende dalla temperatura T.

Quindi il numero di Mach di velocità Ma sarà:

$$Ma = \frac{v}{a} = \frac{v}{\sqrt{\gamma RT}}$$

Dove:

v = velocità del veicolo

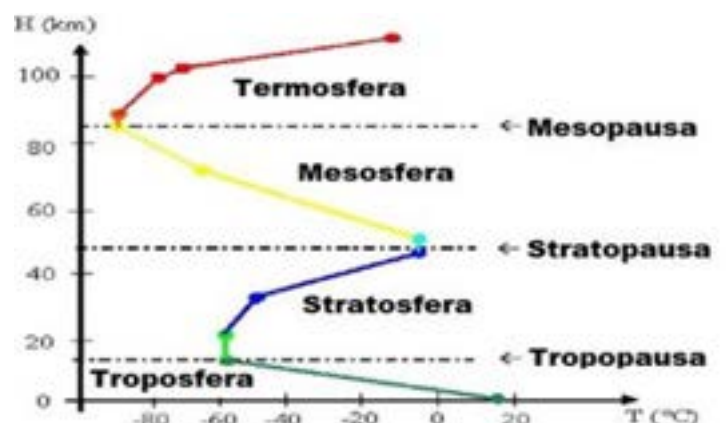
a = Mach1

γ = costante, coefficiente di dilatazione adiabatica

R = costante specifica del gas

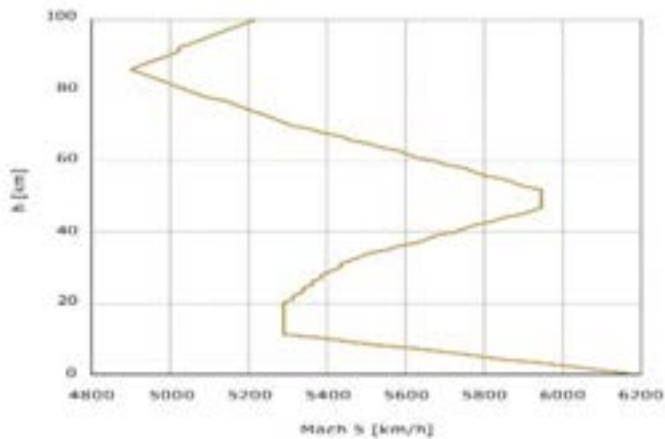
T = temperatura assoluta

La temperatura a sua volta è condizionata dall'altezza dal suolo, ne consegue che il Mach 1 a livello del mare ha un valore diverso dal Mach 1 a 40 km di altezza, come emerge dal grafico di seguito.



Quindi un ipotetico aereo che viaggi a Mach 5 avrà una velocità in km/h che dipenderà da questo grafi-

co, cioè dall'altezza in cui si trova a volare.



Tutto questo serve solo per dimostrare che il caratteristico BANG supersonico, che si verifica appunto dal superamento di Mach 1, avverrà ad una velocità che dipende da questi grafici.

La resistenza del mezzo, l'aria, chiamato Cd (o Cx), al passaggio di un veicolo aumenta proporzionalmente all'aumento della velocità, ma non è un andamento lineare. Il calcolo di questo parametro è complesso perché coinvolge la forma del veicolo, ma possiamo semplificare il ragionamento a questa semplice equazione:

$$Cd = \frac{D}{q_0 S}$$

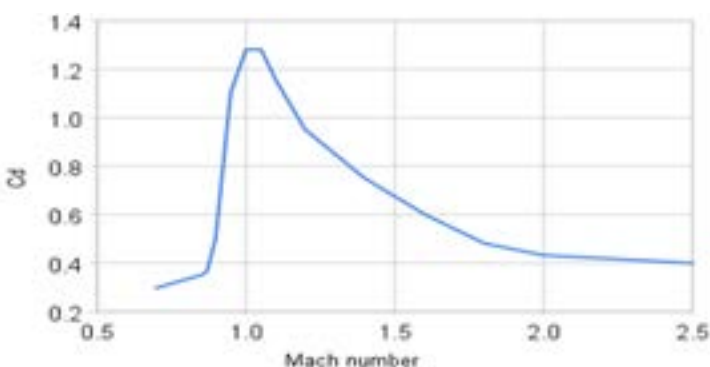
Dove:

Cd = coefficiente di resistenza aerodinamica del veicolo

D = (Drag) è la resistenza aerodinamica

q_0 = pressione dinamica del flusso indisturbato

S = Area di riferimento



Effetto «onda d'urto» o «resistenza d'onda» a Mach1

Il risultato è un "muro", il muro del suono!

Intorno a Mach 1 il coefficiente di resistenza assume valori 4 volte più alti, per poi calare decisamente a velocità superiori, pur restando in crescita rispetto al subsonico.

Fatte queste premesse, possiamo ora affrontare il mondo del trasporto aereo che si sta profilando oggi, in un'ottica di trasporto sostenibile decarbonizzato.

Le prerogative di un mezzo aereo ideale

Proviamo a scrivere le specifiche tecniche di un aereo ideale per il trasporto passeggeri e merci. Gli obiettivi potrebbero essere:

1. **Compiere il percorso nel minore tempo possibile.**
2. **Spendere poca energia (kwh/kg/km).**
3. **Non doversi portare dietro l'ossidante (ossigeno).**
4. **Ridurre l'inquinamento (CO2/kg/km).**
5. **Velivolo facilmente governabile, gestibile.**
6. **Costi adeguati all'utilizzo, quindi un veicolo riutilizzabile e adatto alle infrastrutture esistenti.**

Ovviamente sono tutti parametri non quantitativi ma comparativi. È evidente che si deve tendere al meglio per ognuno di loro.

Un moderno aereo di linea commerciale **subsonico** persegue bene gli obiettivi **3, 5 e 6** cercando un compromesso dettato dal comfort dei passeggeri, ed è in continuo miglioramento il **punto 4**. Un miglioramento che non potrà competere con aerei che volano ad altitudini superiori dove la densità dell'aria e quindi la resistenza è drasticamente inferiore. Gli attuali aerei di linea hanno scelto l'altitudine di 10 km perchè il compromesso ossigeno necessario alla combustione e densità dell'aria è ideale per quel tipo di aereo e per quel servizio.

Un aereo di linea supersonico moderno (**Mach 2**, come il vecchio Concorde), ma alimentato **ad idrogeno** come l'**Overture di Boom Supersonic (che vedremo di seguito)**, migliora il **punto 1** e centra il **punto 4**.

Un aereo **ipersonico**, civile, (non ancora sul merca-

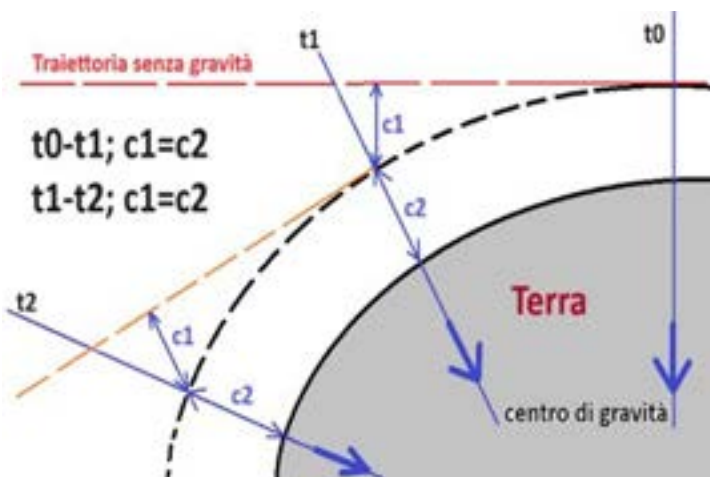
to) **centra i primi 4 obiettivi**, ma dovrà migliorare parecchio il punto 5, mentre i costi di produzione ovviamente saranno ridotti in funzione dei volumi di produzione.

Si potrebbe volare nel vuoto dello spazio, sopra i 100 km di altezza, per eliminare completamente la resistenza, ma ovviamente ci troveremo altri problemi. Dovremmo portarci dietro grossi serbatoi di ossigeno per alimentare i motori che comunque devono continuare a spingere per mantenersi nello spazio. L'unico modo che abbiamo per volare nello spazio senza spendere energia è quello di entrare in orbita.

Un satellite o la stazione spaziale sfruttano la mancanza di attrito per mantenere la velocità di 27.576 kmh (7.66 km/s) sufficiente a **garantire una caduta pari alla curvatura terrestre (orbita)**.

In realtà la ISS "cade" di circa 100 m. al giorno ma viene ripristinata ogni tanto con una spintarella.

Cosa significa **"una caduta pari alla curvatura terrestre"**?



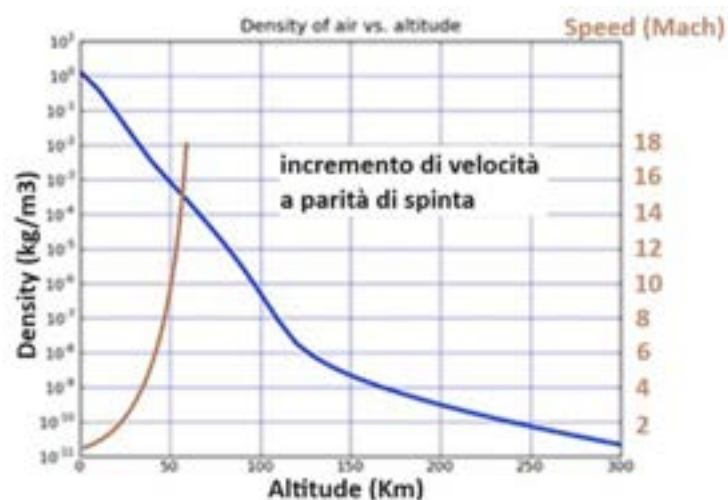
Come si evince dalla figura, in realtà a quella velocità di 7,66 km/s e ad una altezza di circa 350 km la caduta del satellite, dovuta alla forza di gravità rispetto alla traiettoria rettilinea (in rosso) è esattamente uguale alla caduta del profilo della sfericità della Terra ($C1=C2$) lasciando pertanto costante la distanza suolo/satellite.

Questo scherzetto si ripete istante per istante e dal momento che anche il vettore di gravità ruota istante per istante fino a ritrovarsi nella stessa direzione

dopo 360 gradi, ecco che, dopo appunto 360 gradi, il satellite si trova esattamente dove eravamo partiti con il ragionamento. Ed il ciclo si ripete orbita dopo orbita.

Quindi trascuriamo per ora la possibilità di accedere all'orbita per andare da Londra a New York, aspettiamo tempi migliori ed accontentiamoci di un compromesso tra queste quattro impellenti necessità che contrastano tra loro:

- A. Necessità di ossigeno per la combustione**
Richiederebbe di abbassare la quota di volo
- B. Densità dell'aria (quindi attrito)**
Richiederebbe di alzare la quota di volo
- C. Velocità**
Piu si vola in alto e meno fatica si fa!
- D. Manovrabilità**
Piu l'aria è densa e meglio si governa con le superfici di controllo (ali, timoni, canard, ecc.)

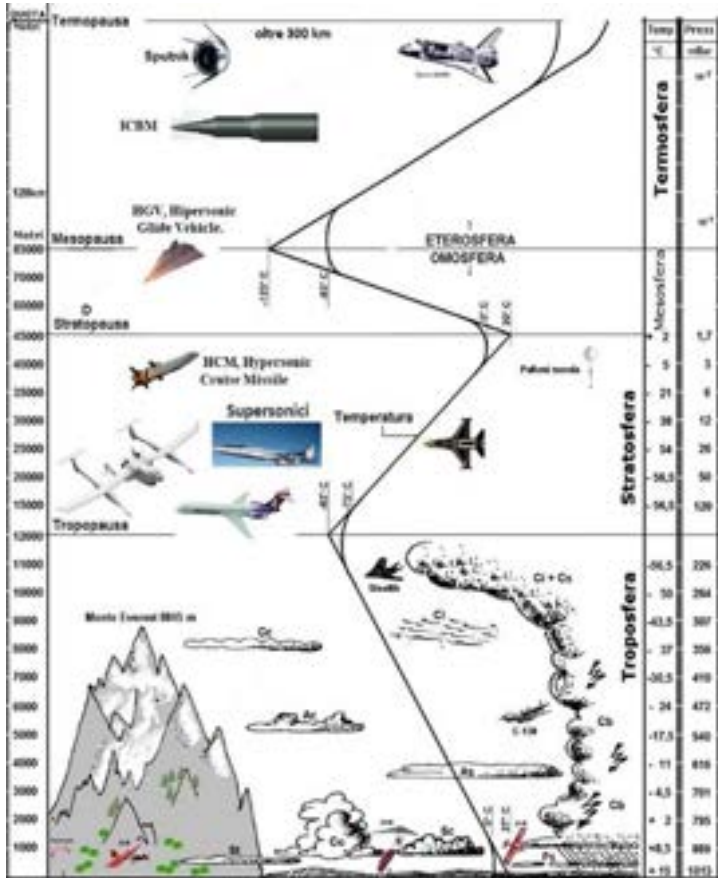


Nel grafico (approssimativo) la linea rossa, a sinistra, rappresenta la velocità (Mach) a cui potrebbe arrivare un veicolo **a parità di spinta alle varie altezze**.

Nel grafico successivo, invece, sono rappresentate le varie condizioni ambientali (temperatura e pressione) alle varie altezze ed i velivoli studiati per quell'ambiente.

Il "corridoio" ambito per il volo degli aerei di domani occupa l'area che va da 25 km fino a oltre 50 (prima della mesopausa), dove c'è ancora un minimo di aria con cui alimentare i motori (ossigeno)

ma anche per manovrare l'aereo.



Ora diamo un rapido sguardo a quelli che sono i gradi di libertà di movimento di un aereo e quali sono le forze in gioco:

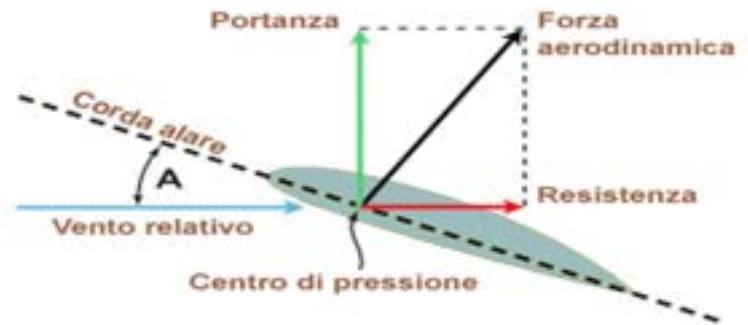
Spinta, Resistenza, Portanza, Peso



È evidente che della resistenza ne faremmo volentieri a meno. Poca **resistenza** significa poca **trazione** e quindi poca dissipazione di energia.

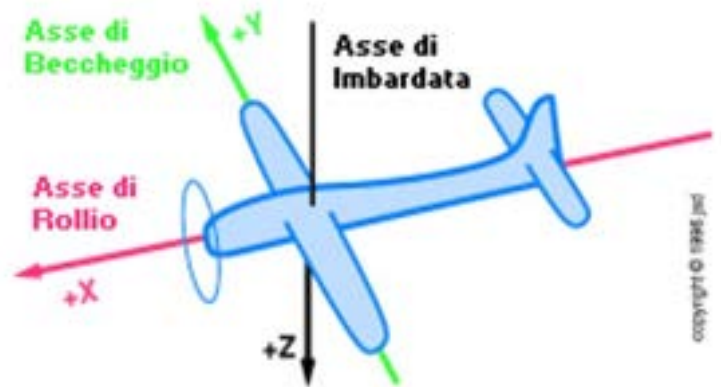
Ma a comporre la *forza resistenza* vi è anche l'angolo di **corda alare** che è l'angolo che genera la **portanza** che contrasta il **peso**.

Con queste forze abbiamo mantenuto in volo il veli-



vo, ma non gli abbiamo ancora dato un assetto. Quello si controlla con altre superfici atte a modificare questi tre parametri che sono i tre assi **X**, **Y** e **Z** su cui può ruotare un aereo:

Rollio, Imbardata e Beccheggio



Risulta evidente che, se si vuole avere la capacità di controllare un aereo senza dover utilizzare dei razzi di assetto (*Thruster*), un minimo di aria che spinga sulle superfici di controllo (timone e flaps) ci vuole!

Volare a velocità ipersonica

Quando si parla di volo ipersonico si deve anche stabilire se si parla di velivoli che respirano aria (*Airbreathing*) oppure no.

Questa è infatti la caratteristica fondamentale che differenzia due macrocategorie di mezzi ipersonici:

1) Quelli che respirano aria (*Airbreathing*)

- A. Aerei civili ipersonici (non ancora sul mercato).
- B. Cruise militari o Gliders (entrati alla ribalta in Ucraina).

2) Quelli che si portano dietro l'ossidante

- A. Missili balistici (ICBM) che esistono dai tempi della V2 del 1944.
- B. Razzi lanciatori per accesso allo spazio (Falcon9; Soyuz, Delta, Ariane, SLS, Starship, Vega, Lunga marcia, H-IIA, ecc.)

La differenza, come vedremo, è notevole!

Aiutandoci con l'immagine sotto cercheremo di capire la metamorfosi dei motori per mezzi volanti in funzione appunto della velocità, della disponibilità di ossidante esterno e della applicazione specifica.

Una metamorfosi che usa il serbatoio dell'ossigeno solo nei razzi dove è strettamente necessario e inoltre, ha la tendenza a semplificare la struttura del motore al fine di ridurre i costi ed aumentarne e il **MTBF** (*Mean Time Between Failures*).

Vediamo che sul **razzo (il primo in alto)** adatto a lavorare anche nel vuoto, oltre al serbatoio di carburante (rosso) abbiamo il serbatoio dell'ossidante (blu).

Entrambi i fluidi prima di entrare nella camera di combustione hanno bisogno di essere compressi (circa 300 bar). Questa funzione viene svolta solitamente da una coppia di turbine separate che sono alimentate dagli stessi fluidi di alimentazione del razzo e che danno energia agli alberi delle turbine attraverso due prebruciatori (burner in giallo).

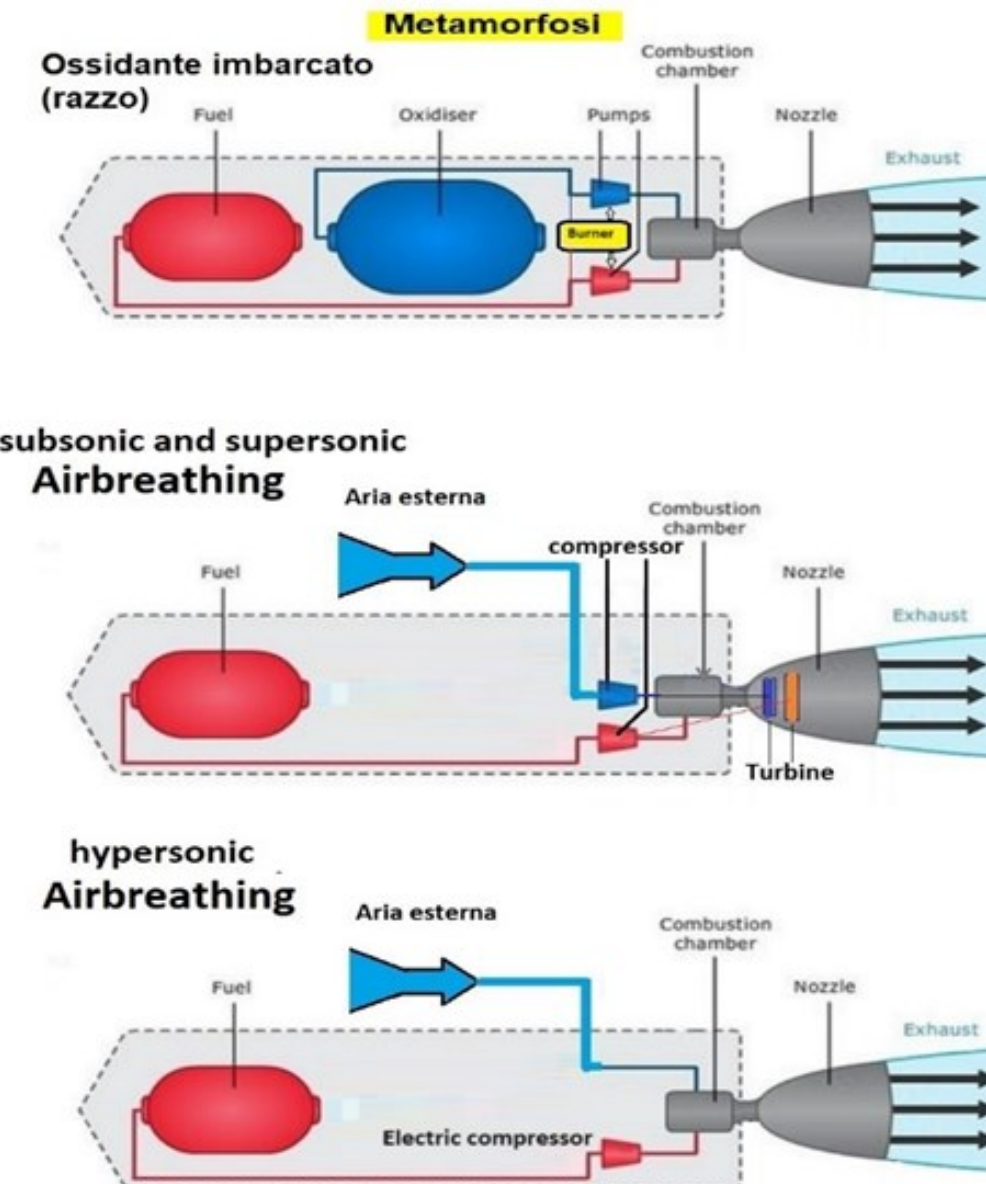
Ho abbondantemente parlato di come funziona esattamente un razzo su questa rivista nel numero 58°- Anno 15 - N° 3 - 1/09/2023 a pagina 2 con riferimento al Raptor della SpaceX a cui vi rimando se volete approfondire. Quindi non mi soffermo più del minimo necessario.

Dopo la camera di combustione si ha un ugello (cono convergente e divergente di de Laval) che, libero da ogni tipo di meccanica, genera la spinta.

Ora vediamo il primo tipo di motore a respirazione di aria che è il **turbojet** e la sua evoluzione in turbofan che è lo schemino successivo (**subsonic and supersonic airbreathing**).

Vediamo che è sparito il serbatoio dell'ossigeno ma anche il prebruciatore che dava energia alle pompe.

Dal momento però che l'ossigeno che arriva dalle bocche anteriori dell'aereo non ha una pressione sufficiente a garantire una buona combustione, ecco che dopo la camera di combustione è stato posto un sistema di palette che assorbono parte della energia del gas di scarico e fanno girare uno o più alberi con i quali, dal lato di ingresso, avremo calettate una o più turbine che comprimono l'aria.

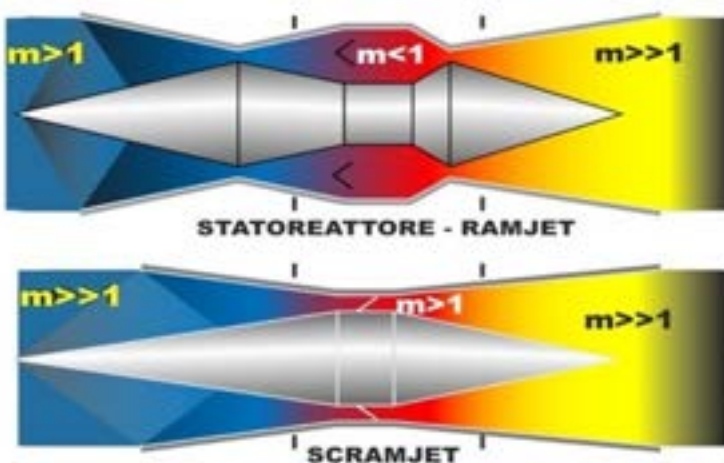


La compressione del combustibile invece può essere generata da una normale pompa elettrica (rossa). Il vincolo meccanico è che la ventola di ingresso e della pompa (blu) devono essere in asse con quella o quelle di uscita. Esamineremo meglio più avanti questo aspetto.

L'ultimo schema in basso rappresenta i velivoli **hypersonic airbreathing** dove, pur restando senza serbatoio di ossigeno, sparisce anche la pompa relativa, lasciando di nuovo **libero da meccanismi l'ugello di uscita**.

Come si ottiene la giusta pressione dell'ossigeno per una buona combustione?

Attraverso la velocità! Questi motori, infatti, per poter essere "innescati" hanno bisogno di una velocità oltre Mach3 altrimenti non si accendono, perchè la pressione e la velocità dell'aria di ingresso non è sufficiente.



In figura vediamo lo schema di principio dei due tipi di statoreattori (cioè reattori senza turbine) che sfruttano la compressione dell'aria attraverso la velocità: il primo in alto è un **Ramjet**(*), ed il secondo in basso è uno **Scramjet**.

La necessità di tali soluzioni è dettata dal fatto che non esiste turbina che possa sopportare un tale range di velocità: da fermo a oltre Mach 4.

Come si vede dallo schema semplificato, entrambi sfruttano la divergenza del cono di ingresso per comprimere l'aria in arrivo, creando una strozzatu-

ra. La differenza tra i due sta nella velocità dell'aria in transito dentro al "tubo". Nel caso del Ramjet la strozzatura è tale da ridurre la velocità di ingresso da **supersonica (fino a mach 2-:-4)** a **subsonica**.

Nello SCRamjet invece, studiato per andare molto più veloce, la strozzatura è inferiore ed è tale da mantenere a velocità supersonica il flusso interno.

Infatti, **SCRamjet** sta per **Supersonic Combustion Ramjet**.

Questo comporta due vincoli: la velocità di "accensione" del Ramjet è più bassa rispetto allo SCRamjet, ma questo implica anche un limite superiore di velocità invalicabile, pena la resistenza della struttura troppo sollecitata, sia come forze, che come temperature.

D'altro canto, lo SCRamjet si innesca solo dopo Mach4 ma ha un limite superiore molto elevato.

Emerge chiaramente che entrambi sistemi non sono autonomi. Hanno bisogno di qualche cosa d'altro che li porti alla velocità di accensione per poter lavorare.

Ecco che dobbiamo tornare un attimo sulle "vecchie" tecnologie con le quali poter far partire da FERMO il nostro veicolo.

Quindi riprendiamo un attimo e approfondiamo il turbofan, che resta il motore aeronautico più efficiente ad oggi sul mercato. Un motore che sarà alla base dei prossimi aerei a idrogeno e che potrebbe portare a velocità sufficienti per accendere un Ramjet, come già fatto nel mitico:

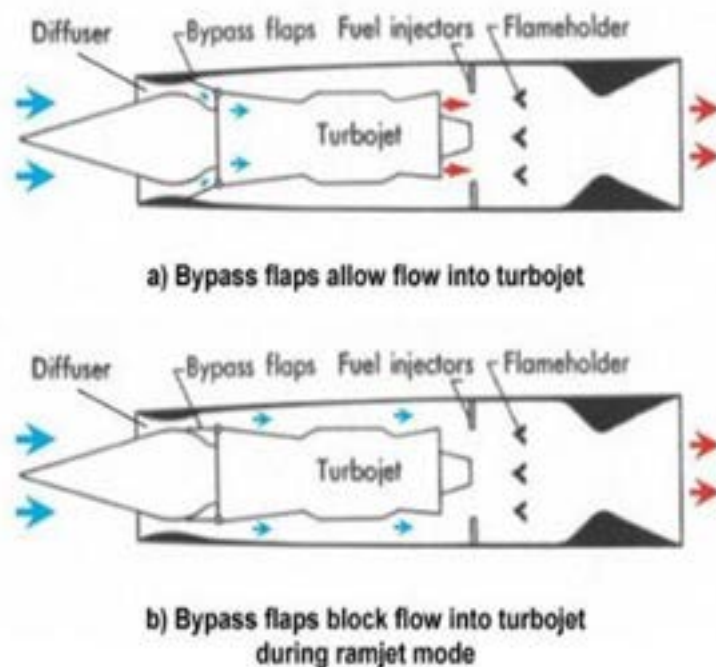
SR-71 «Blackbird»



(*) RAM deriva da to ram = speronare, o ram up.= accelerare.

Questo aereo, il Lockheed SR-71, «Blackbird», era un ricognitore strategico statunitense in servizio dal 1966 fino al 22 novembre 1989 ed usato per sorvolare e fotografare il territorio sovietico, senza essere abbattuto. Il SR-71 aveva un motore ibrido, **jet-ramjet**. Partiva da una pista aeroportuale (lunga) con i motori in assetto turbojet. Poi superato Mach2, l'assetto cambiava (bypass del turbo) e diventava un Ramjet, arrivando fino a 3500 km/h.

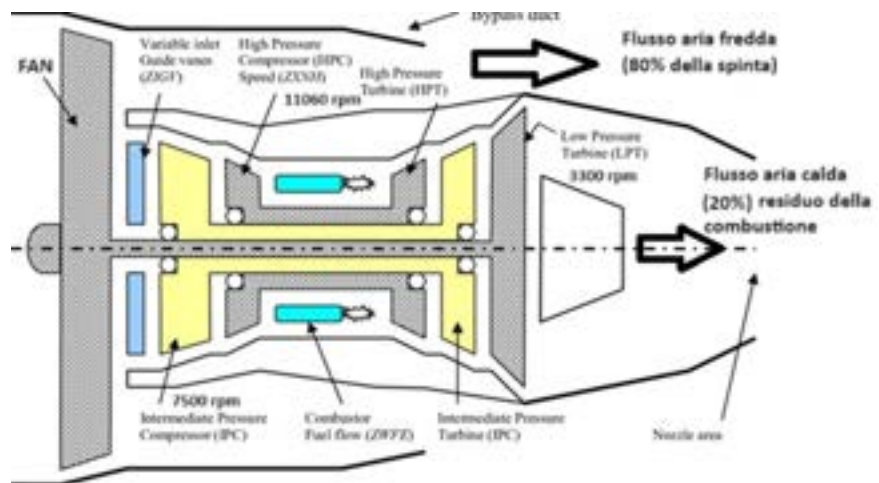
Il bypass del gruppo turbojet avveniva attraverso due paratie (**Bypass flaps**) che convogliavano l'aria in una delle due direzioni diverse, come si vede nella figura sottostante.



Nella configurazione Ramjet, a valle del *flameholder* (che serve per evitare un ritorno della combustione) avviene l'iniezione di carburante e diventa quindi la camera di combustione del Ramjet.

Turbofan o fanjet

Nell'immagine successiva vediamo la struttura di un moderno motore turbofan dove, per aumentare il rendimento si è diviso il flusso in 3 aree e generato profili di palette adeguate alle diverse velocità del fluido. I tre alberi concentrici permettono di collega-



Schema a blocchi di motore turbofan a tre bobine (cioè, tre alberi concentrici)

re meccanicamente la parte lenta di ingresso (la ventola) alla zona lenta del flusso motore di uscita. Questo concetto è applicato anche alla parte a media e ad alta velocità, sfruttando al meglio, con i 3 alberi separati, l'energia prodotta nella camera di combustione.

Rapporto di bypass: flusso di massa d'aria che bypassa il nucleo/flusso di massa d'aria che passa attraverso il nucleo.

I motori che hanno una spinta della ventola notevolmente maggiore rispetto alla spinta del getto sono noti come turbofan **ad alto bypass ovvero pari a 5** (dove la spinta è data per l'80% dal flusso di aria fredda della ventola, esterna al jet, e per il 20% quella calda in uscita dal jet.)

Hanno l'efficienza maggiore (alto impulso specifico).

Confronto impulsi specifici delle varie tecnologie

Cosa si intende per Impulso Specifico (Isp)? È semplicemente un metodo per qualificare una tecnologia di propulsione. Una sorta di rendimento del processo. Il che non significa che una tecnologia con un buon Isp sia meglio di una con un basso Isp, perché dipende dall'ambiente in cui lavora e dagli obiettivi che ci si prefigge con una data tecnologia.

L'Isp è definito come il rapporto tra la quantità di propellente consumato e la quantità di impulso di propulsione generato. Un impulso specifico più alto indica che il motore è più efficiente e può generare

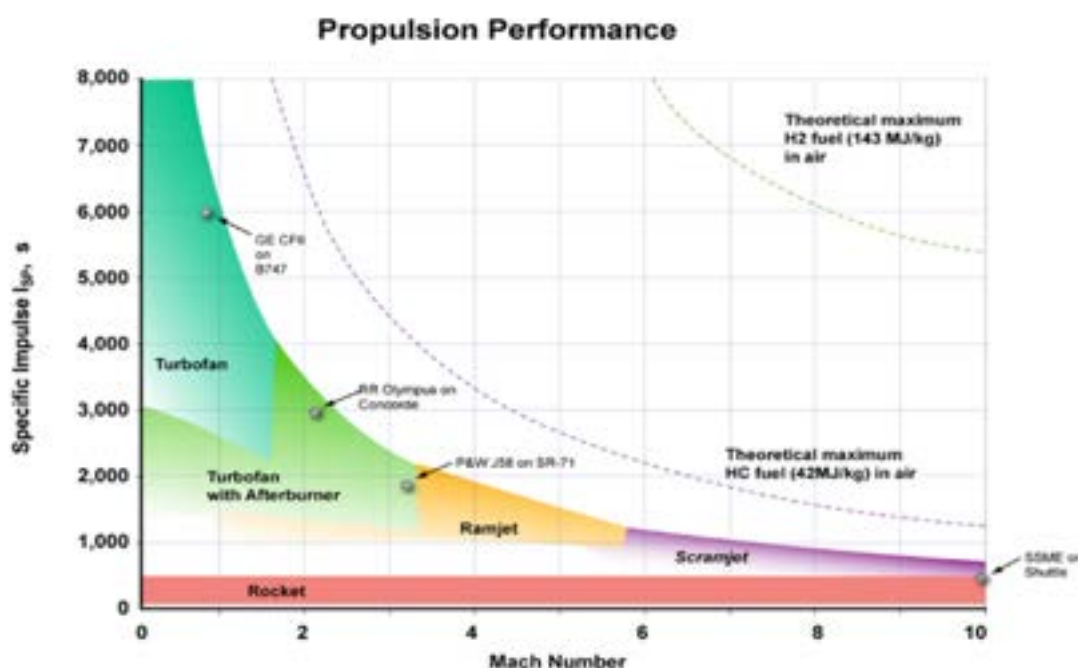
più impulso con una quantità minore di propellente.

Esistono diversi tipi di Isp (Impulso specifico ponderale, volumetrico e di sistema), ma credo sia più intuitivo utilizzare l'Isp ponderale che si misura in secondi e rappresenta il rapporto tra l'impulso totale e il peso di propellente consumato.

Semplicemente significa questo: **per quanti secondi una unità di massa di carburante può produrre la stessa quantità di spinta equivalente alla massa?**

Facciamo un esempio: un motore che ha un impulso specifico di 100 secondi significa che può generare 1kN di spinta con 1kN di propellente (massa a livello del mare) per 100 secondi.

Nel grafico seguente vediamo una comparazione tra le varie tecnologie



Dal grafico appare evidente che il turbofan GE CF6 è quello più performante, ma non va oltre Mach 1 e non funziona nello spazio vuoto.

Il tipo di motore che non ha praticamente limiti di velocità e che funziona benissimo nello spazio è il razzo (Rocket) ma ha un Isp che mediamente arriva a 300 secondi, quindi venti volte peggio di un turbofan.

Poiché aspiriamo ad andare il più veloce possibile pur restando in atmosfera, vediamo dal grafico che

la tecnologia giusta è il Ramjet o lo SCRamjet.

Emerge anche un altro aspetto importante. La curva tratteggiata in basso rappresenta il limite teorico della combustione di idrocarburi (HC fuel) che è di 42 MJ per kg.

Mentre la curva tratteggiata in alto evidenzia quanto migliore sia il limite teorico della combustione di idrogeno (H₂ fuel) che è di ben 142 MJ/kg.

È ovvio concludere che è molto conveniente dal punto di vista della massa, bruciare idrogeno piuttosto che kerosene.

Già, ma l'idrogeno ha anche altri aspetti che lo rendono non facile da gestire. È molto leggero, quindi per fare un kg di idrogeno, compresso a **700 bar c'è bisogno di un ingombro di 25,5 litri**. Se invece lo si trasporta **liquido c'è comunque bisogno di 14,3 litri per ottenere un kg di combustibile**.

Inoltre, l'idrogeno liquido, se non è mantenuto alla temperatura necessaria, ha bisogno di uno sfiato che garantisca la sua evaporazione senza farlo esplodere.

Facciamo una analisi comparativa tra i vari vettori di energia disponibili per la propulsione sugli aeromobili.

Densità energetica (kw/kg) dei vettori utilizzati in aeronautica civile:

- **Idrogeno 142 MJ/kg** (39,7 kWh/kg.). Considerando di **bruciarlo in un turbofan** con un rendimento del 60%, avremo **23,8 kWh/kg.**
- **Idrogeno Turbofan con motore elettrico a celle combustibile** (fuel-cell, con un rendimento del 60%; Turbofan elettrico 95%) 39,7 kWh/kg x 0,6 x 0,95 rimangono **22,6 kWh/Kg.**

- **Kerosene (jet A-1) 45 Mj/kg** (12,5KWh/Kg). Turbofan: 60%; **rimangono 7,5 kWh/kg.**
- **Elettrico a batterie al litio (Li-BAT): 0,2 kWh/Kg**, motore elettrico 95% rimangono **0,19 kWh/kg.**
- **Elettrico a Pannelli solari:** idonei per aerei sperimentali ma la potenza generata per m² di pannello è **decisamente insufficiente** per un aereo commerciale!

Non c'è dubbio! L'idrogeno vince su tutti.

Allora perchè non abbiamo aerei ad idrogeno sul mercato? Perché l'idrogeno "grigio", quello cioè prodotto partendo dai fossili, che costa poco perché è prodotto in grandi quantità (il 90% dell'idrogeno in circolazione oggi) **non risolve per nulla** il problema della decarbonizzazione del trasporto aereo e obbligherebbe a convertire aerei, sistemi di rifornimento, sicurezza e quant'altro, per nulla.

Serve l'idrogeno "verde", prodotto per elettrolisi dall'acqua utilizzando energia elettrica rinnovabile. Semplice ma costoso! **Ma è l'unica strada che abbiamo e che dobbiamo seguire.**

Infatti, le più grandi aziende costruttrici di aerei stanno lavorando con prototipi di aerei commerciali subsonici ad idrogeno.

Tra questi posso citare i più promettenti ed avanti nel progetto ed in fase di costruzione dei prototipi.

Il Lockheed Martin X-59 realizzato in collaborazione con la NASA, è già pronto per il test di volo che dovrebbe avvenire entro il 2023.



*QuesT ("Quiet SuperSonic Technology").
Rendering artistico dell'X-59 QueSST*

È un velivolo sperimentale a basso boom sonico (pari ad un millesimo di quello di un velivolo supersonico convenzionale). Il prototipo sarà spinto da un turbofan General Electric F414 a benzina avio, ma sono in corso test per turbofan ad idrogeno da parte di diversi costruttori.

Uno fra tutti: Rolls Royce



*Il turbofan a idrogeno di Rolls-Royce ed easyJet
(Foto: Rolls-Royce)*

Nel caso specifico di questo turbofan ad idrogeno della Rolls Royce lo si applicherà su un aereo prototipo della Airbus.



Nel rendering della immagine sopra si nota la **collocazione del serbatoio di idrogeno liquido, posto all'esterno della fusoliera del veicolo.**

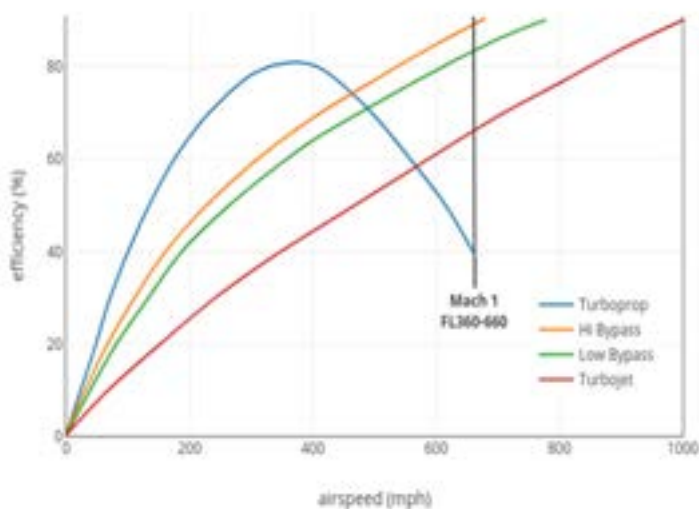
Quel serbatoio asimmetrico posto all'esterno garantisce aspetti di sicurezza legati al fatto che l'idrogeno liquido ha bisogno di uno sfogo e che tale fuoriuscita di idrogeno gassoso non deve avvenire in ambiente a contatto con i passeggeri e con scintille o fiamme libere.

Un altro rendering della Airbus a zero emissioni potrebbe essere questo con ali a delta:



Siamo sempre, per ora, nel caso di sviluppo di veicoli subsonici, passeggeri, ad emissione zero, spinti da turbofan a idrogeno ad alto rapporto di bypass (Hi Bypass). Veicoli che cominceranno ad essere operativi entro il 2027- 2030.

Propulsive efficiency comparison for various gas turbine engine configurations



In questo grafico appare evidente il notevole vantaggio in termini di rendimento della versione Hi Bypass di un turbofan rispetto ad altri tipi di motori subsonici.

Cattura e stoccaggio della anidride carbonica

È necessario accennare anche ad un'altra "via" che le grandi compagnie aeree stanno implementando per arrivare alla decarbonizzazione anche se non totale.

La **easyJet** è la prima compagnia aerea al mondo ad aver sottoscritto un contratto con Airbus relativamente alla sua strategia di rimozione delle emis-

sioni di anidride carbonica. Disponibile attraverso la **Carbon Capture Offer di Airbus**, questa tecnologia si avvale del **DACCS – Direct Air Carbon Capture and Storage**, sistema di cattura e immagazzinamento diretto della CO₂ nell'aria, con lo scopo di offrire alle compagnie aeree di tutto il mondo **crediti** per l'eliminazione della CO₂, favorendo così i loro obiettivi di decarbonizzazione.

La tecnologia DACCS filtra e rimuove le emissioni direttamente dall'aria utilizzando ventole di estrazione ad alta potenza. Una volta rimossa dall'aria, la CO₂ viene immagazzinata in modo sicuro e permanente in serbatoi sotterranei. Le emissioni rilasciate nell'atmosfera durante le operazioni di volo non possono essere eliminate direttamente alla fonte, ma grazie al DACCS è possibile estrarre dall'aria una quantità equivalente.

Personalmente non la ritengo una soluzione. È un metodo sicuramente utile per colmare temporaneamente i danni prodotti dalla mancanza di azioni risolutive.

La strada maestra è sicuramente l'idrogeno.

Dobbiamo tornare ai nostri ipersonici civili!

A che punto siamo con questa tecnologia sui prototipi civili e militari?

Potreste obiettare: ma cosa ce ne frega di quelli militari? Giusta osservazione! Purtroppo, la realtà è questa: molti sviluppi tecnologici, quasi tutti nell'ambito aeronautico, sono stati sviluppati e finanziati prima dai militari e quasi sempre con il supporto della NASA e del DARPA (nel caso degli Stati Uniti), o direttamente per lo stato nel caso di Cina e Russia, quindi si parte sempre da lì: nuove armi.



X-43 sviluppato da Boeing per conto della NASA

Il primo prototipo ipersonico in grado di volare è stato l'X-43 della Boeing sviluppato per conto della NASA.

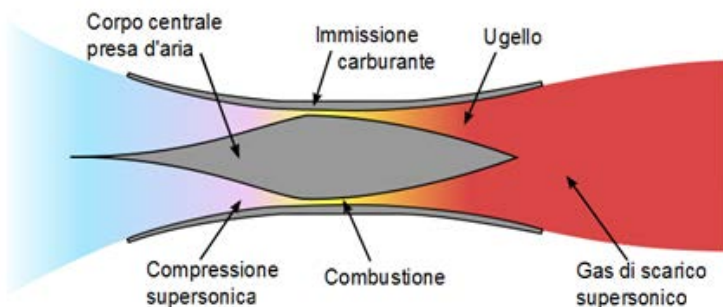
Questo velivolo senza pilota volò il **2 aprile 2004** a 30 km di altezza, a mach 10, per una manciata di sec. Un test positivo, dopo tanti fallimenti.

Il test però è servito a fornire tantissime risposte ed ha dimostrato:

- **validità delle teorie in gioco;**
- **collaudo del nuovo motore Scramjet;**
- **giusto compromesso tra densità dell'aria e necessità di ossigeno per il motore;**
- **la resistenza dei materiali;**
- **la geometria della bocca di ingresso dell'aria dello Scramjet;**
- **la capacità di controllare la direzione del velivolo con delle superfici particolarmente adatte a quelle velocità, densità e peso del velivolo;**
- **assetto di lancio.**

Tutte problematiche che, fino al momento della verifica fisica effettuata dal test, erano state solamente teorizzate.

Tra queste la reale efficienza del profilo interno del "tubo" che possa garantire un processo stabile di combustione ed espulsione del flusso senza creare onde d'urto che, oltre a compromettere l'efficienza potrebbero distruggere lo SCRamjet.



Descrizione del flusso di aria nello SCRamjet

Perché uno SCRamjet possa funzionare e generare una spinta, è necessaria una velocità di accensione molto elevata. Questo fa parte dell'assetto di lancio.

Facciamo l'esempio del Boeing X-51 WaveRider (realizzato da Boeing, Pratt & Whitney e Rocketdyne, in collaborazione con NASA, DARPA e USAF):

1. A maggio 2013, è stato portato ad oltre 16 km di quota ad una velocità di 950 km/h da un Boeing B-52



2. Quindi rilasciato ed accelerato fino a Mach 4,5 da un razzo *Pegasus*. **Tale velocità ha permesso di raggiungere le condizioni fluidodinamiche adatte al funzionamento del motore scramjet**



3. Infine, si è staccato dal razzo e con la ignizione del propulsore scramjet ha raggiunto Mach 5 a 23,3 km di quota, con una durata del volo scramjet di circa 3 minuti



Ed ora, facciamo un po' di storia sullo sviluppo di questa tecnologia.

- **1928: Il sovietico Boris Stechkin** espose una teoria sui motori ramjet.
- **1935: René Leduc** brevettò un aereo pilotato a propulsione ramjet. Il 21 aprile 1949 volò il primo velivolo sperimentale.
- **1947: Antonio Ferri**, italiano specializzato in fluidodinamica, venne nominato direttore della Gas Division Branch (NACA a Langley, USA).
- **1958: Ferri riuscì ad ottenere una combustione stabile e senza onde d'urto in un flusso a Mach 3.**
- **1958:** La NASA (anno della sua costituzione) avviò il progetto **Hypersonic Airbreathing Propulsion Branch (HAPB)**, rivolto allo studio della propulsione ramjet/scramjet.
- **Dal 1964** vennero affidati al programma **Hypersonic Research Engine (HRE)** gli studi relativi alla combustione supersonica.
- **Dal 1987 al 1995**, negli Stati Uniti, il programma National AeroSpace Plane (NASP) diede ulteriore impulso alla ricerca utilizzando nuove gallerie del vento ipersoniche e **validando le capacità predittive** dei nuovi modelli di fluidodinamica computazionale (CFD).

Abbiamo visto le origini ed anche i risultati dei test dei prototipi di SCRamjet, ma cosa si sta facendo per arrivare al volo ipersonico civile?

Ora vedremo alcuni progetti che stanno perseguendo questo obiettivo. Non solo volo ipersonico civile in alta atmosfera, ma anche velivoli in grado di portare passeggeri oltre l'atmosfera, in orbita bassa!

È il caso dello **Skylon** inglese.

Le caratteristiche salienti di questo aereo sono:

- **STTO (single stage to orbit)**, cioè la capacità di partire da terra, portare in orbita il carico pagante e ritornare a terra tutto intero, senza perdere stadi o altre parti durante il tragitto;
- **HOTOL (Horizontal take-off and landing)**. Cioè la partenza da terra e l'arrivo saranno effettuate su una pista da aeroporto e non da un

rampa di lancio;

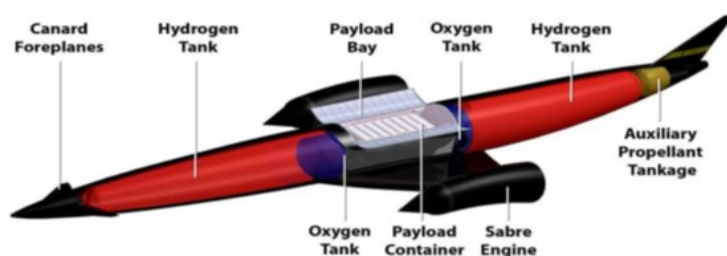
- **potrà eseguire anche voli suborbitali (con una diversa configurazione);**
- **caratteristiche fisiche: lunghezza 84 m; peso al decollo 275 t; carico utile (payload) pari a 10 t;**
- **tempo di ripristino tra un volo ed il successivo: 2 giorni;**
- **vita operativa 200 missioni.**



Rendering del velivolo Skylon della Reaction Engines Limited (UK), dotato di motori ibridi jet-ramjet-razzo: i SABRE (Synergetic Air Breathing Rocket Engine)

Appare evidente che, se tutti questi obiettivi verranno raggiunti, i costi di accesso allo spazio che erano attorno ai 20.000 USD/kg, abbassato drasticamente da Elon Musk con il recupero del primo stadio dei suoi Falcon e Starship, verrà ulteriormente abbassato. Obiettivo? Andare sotto i 1000 USD al kg.

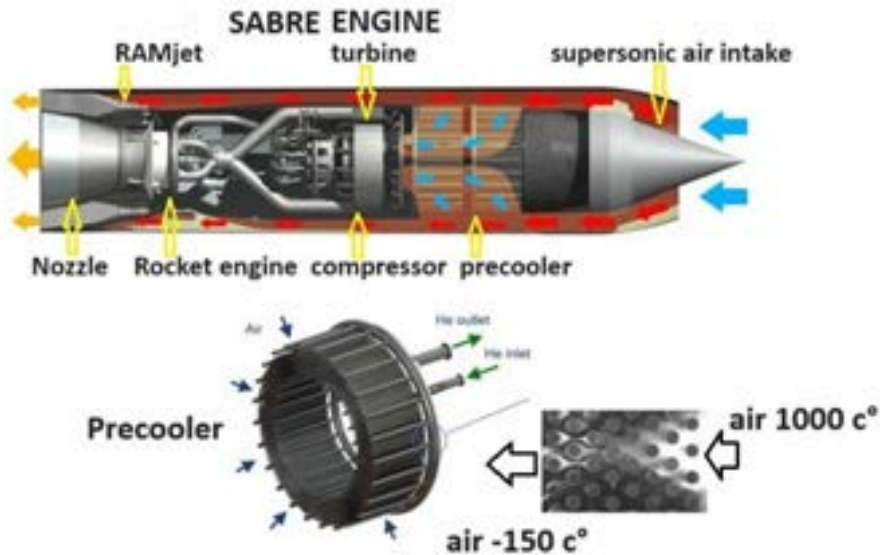
Ora diamo un'occhiata alla struttura dell'aereo, poi vedremo il motore che è la vera novità di questo progetto.



Nell'immagine vediamo due grandi serbatoi di idro-

geno (rossi) ed un piccolo serbatoio di ossigeno (blu) che servirebbe solo per il tratto di funzionamento a razzo, fuori dalla atmosfera nel tratto tra i 30km di altitudine e l'orbita bassa (oltre i 250 km).

Ed ora, diamo una occhiata al motore SABRE.



Dalla figura si evidenziano i "3 motori in uno" che caratterizzano questo propulsore nato come una scommessa tecnologica.

Il combustibile (idrogeno) è comune a tutti e tre gli stadi. L'ossigeno invece proviene dall'aria di ingresso (supersonic air intake) ed alimenta un turbojet le cui turbine sono poste subito dopo il precooler, a monte del compressore. I gas di reazione escono ovviamente dal nozzle. Quando parte da fermo il turbojet non riceve aria supersonica. Quando si arriva a oltre Mach 2, l'aria di ingresso può raggiungere i 1000 °C, una temperatura che impedirebbe una

combustione efficiente.

Ecco che entra in gioco la scommessa: il precooler!

Come si vede dalla immagine, questo reticolo di microtubi percorsi da elio liquido è attraversato dall'aria di ingresso producendo un raffreddamento quasi istantaneo e portandola a -150 °C, adeguatissimi per il Ramjet.

Quindi, dopo Mach 2, l'aria continua ad entrare ma il turbojet lascia spazio al Ramjet, dove attraverso l'apertura di una paratia (indicata dalla freccia gialla Ramjet) e la iniezione di idrogeno nella nuova camera, si accende il Ramjet, che porterà il velivolo fino a limite dell'atmosfera.

A questo punto siamo già oltre mach 5 e a oltre 25 km di altezza. Quasi fuori dall'atmosfera.

Ora il condotto di ingresso (supersonic air intake) viene completamente chiuso facendo avanzare il cono di ingresso, viene spento anche il Ramjet e parte il razzo (rocket engine) che userà l'ossigeno liquido del serbatoio per portare lo Skylon fino alla velocità ed all'altezza della LEO (orbita bassa).

La scommessa, come evidenziato, è stato il precooler. Ora i test di questo dispositivo sono stati già fatti con esito positivo ed hanno cominciato ad arrivare i finanziamenti.

L'Agenzia Spaziale Europea **ESA** e quella britannica **UKSA**, hanno appena concluso l'analisi preliminare del progetto **SABRE**. Nel 2015 il noto colosso aerospaziale **BAE Systems** è entrato come finanziatore nel progetto, seguito da **Rolls Royce**, **Boeing** e dall'agenzia statunitense **DARPA**.

Non ho trovato tracce credibili di una data di entrata in servizio. Visti i problemi ancora da risolvere (e sono convinto che verranno risolti perchè sono solo problemi ingegneristici) non è ipotizzabile vederlo in volo entro il 2030. Ma il fatto che siano entrati gli americani (Boeing e DARPA), potrebbe accelerare i piani di sviluppo.

Ora, andiamo avanti con altri progetti promettenti



ed in avanzato stato di realizzazione.

Destinus, l'ipersonico civile entro il 2030 (6.500 km/h)



Destinus, è una startup svizzera, fondata dal fisico e imprenditore di origine russa Mikhail Kokorich.

Sta sviluppando un **velivolo alimentato ad idrogeno** capace di volare alla velocità di crociera di **oltre 6.000 km/h**. (tratta **New York-Londra in soli 90 minuti**).

L'aereo dovrà volare oltre i 50 km, proprio sul bordo superiore dell'atmosfera terrestre.

L'aereo ipersonico utilizzerrebbe **motori turbojet a respirazione ad aria alimentati a idrogeno per il decollo e l'atterraggio, con un motore Ramjet separato per portarlo a velocità ipersoniche**.

L'aereo sarà in grado di trasportare 25 passeggeri fino a 7.500 km.

In questo caso abbiamo solo due tipi di motori coinvolti perchè non è prevista la navigazione fuori dall'atmosfera. Pertanto, non vi sarà nessun serbatoio di ossigeno.

L'altra differenza rispetto al SABRE sta anche nel fatto che i due tipi di motori non sono sullo stesso asse o nello stesso involucro ma sono motori separati.

IPERSONICO CIVILE «Hypersonix»

Parte in Australia la sperimentazione di Dart AE, la punta di diamante degli aeromobili a idrogeno: una vera e propria "freccia" ipersonica.

Hypersonix ha presentato una versione dimostrativa della sua tecnologia SCRamjet SPARTAN realizzata con la lega **Inconel 718** (una lega di nichel-cromo usata anche sul Raptor2 di SpaceX).

Il motore, riutilizzabile, stampato in 3D, alimentato



ad idrogeno, è costruito in HTCMCs (High Temperature Ceramic Matrix Composites) da un rinomato produttore aerospaziale europeo.

L'aereo sarà in grado di raggiungere velocità fino a oltre Mach 7.



Motore SPARTAN realizzato in 3D ed in Inconel



Insieme motore e serbatoio idrogeno del simulatore

Poi abbiamo Draco Airbus, un «concept plane» che si candida a raccogliere l'eredità del Concorde per voli di linea velocissimi, ben oltre la barriera del suono (fino a Mach 6).

Drako è un velivolo ipersonico pensato in Francia (i colori sono quelli dell'Air France)



Drako Airbus, un «concept plane»

Continuiamo con il più probabile vincitore di questa gara contro il tempo per il volo supersonico, un quadrigetto della americana **Boom supersonic**.

Overture di Boom Supersonic



Sono in fase di sviluppo, per l'utilizzo su Overture, dei propulsori turbofan a medio bypass a due bobine.

L'italiana **Leonardo** e la statunitense **Boom** stanno lavorando insieme come partner per l'integrazione, la progettazione e la costruzione delle se-

zioni della fusoliera di Overture.

Questo aereo sarà operativo dal 2028 ed è già forte di **ben 35 ordini da parte di American Airlines e United Airlines**.

La Boeing e l'ipersonico tra il civile ed il militare.

Lo scorso Paris Air Show la Boeing ha pubblicato un rendering di quello che potrebbe essere l'erede del Concorde



Questo nuovo aereo supersonico sarà in grado di viaggiare alla velocità massima di Mach 5, ovvero poco meno di 6.300 km/h. La maggiore velocità di crociera sarà resa possibile anche dalla capacità di questo nuovo aereo di volare ad un'altitudine di 29 mila metri, circa 9.000 in più di quanto era capace il Concorde.

Ma Boeing sta lavorando anche sul Valkyrie II.



Boeing ha rilasciato una nuova immagine concettuale del suo velivolo ipersonico riutilizzabile Valkyrie che, secondo la società, potrebbe essere applicato a una varietà di missioni, come intelligence, sorveglianza e ricognizione.

Applicazioni quindi che non prevedono il trasporto passeggeri, ma squisitamente militari o di intelligence.

Sarà un aereo a ciclo combinato quindi potrà decollare da una pista utilizzando un motore a turbina a gas e, una volta raggiunta una velocità supersonica sufficiente, passare al volo a respirazione d'aria ipersonico utilizzando un motore scramjet.

Sono previsti range di velocità che vanno da zero a Mach 6.

Il progetto della Boeing si basa sulle lezioni apprese dal programma X-43 della NASA che abbiamo visto in questo articolo.

Nel cassetto dei progetti di Boeing si è aggiunto recentemente, dopo gli accordi con la **Reaction Engines Limited**, anche il SABRE.

Qui vediamo un rendering pubblicato da Boeing:



Continuiamo con Hermeus



Hermeus, una startup di Atlanta, punta a costruire un aereo passeggeri che vola a Mach 5. Un'impresa audace sostenuta dal Pentagono e da investitori interessati ai viaggi aerei ipersonici.

Hermeus ha accettato il suo primo motore F100 da **Pratt & Whitney**. Predisposto per essere integrato nel sistema di propulsione potenziato *Chimera II* a ciclo combinato basato su turbina (TBCC), questo potente componente del motore segna una pietra miliare fondamentale nello sviluppo di *Darkhorse* da parte di Hermeus, destinato a sbloccare nuove possibilità nelle applicazioni ipersoniche sia militari che commerciali.

L'F100 spingerà il velivolo senza pilota *Darkhorse* a velocità di circa Mach 2,8. A questo punto di transizione un ramjet prenderà il sopravvento, spingendo *Darkhorse* alla velocità target di Mach 5.

Durante lo sviluppo del *Quarterhorse*, un veicolo dimostrativo progettato per test di volo ad alto Mach, l'architettura del motore Hermeus è stata dimostrata attraverso la prima iterazione di *Chimera* che utilizza il General Electric J85 come nucleo. Coerentemente con i propri principi fondamentali, Hermeus ha sviluppato e prodotto internamente gli altri componenti del motore, tra cui l'ingresso, il preraffreddatore, il bruciatore del pistone e il sistema di bypass. Questi elementi saranno tutti potenziati per l'integrazione nell'avanzato *Chimera II*.

Gli ipersonici militari

Nel settore civile i costi di produzione e di utilizzo sono determinanti per poter entrare nel mercato. Il settore militare è molto più tollerante. Infatti, quasi tutte le applicazioni ipersoniche sono «a perdere», come le bombe.

I missili ipersonici non sono una novità della guerra in Ucraina. Purtroppo, esistono dagli anni '60.

Erano e sono gli ICBM (Intercontinental Ballistic Missile) con velocità molto maggiori dei famigerati missili ipersonici venuti alla ribalta oggi.

Missili multistadio e multi target (MIRV: multiple independent targeted reentry vehicle) che arrivano a oltre 12.000 km di distanza a velocità che va dai 4 ai 7 km/s, con testate "belliche", anche nucleari, di alcune tonnellate.

Un ICBM esegue volo "balistico"! Risulta pertanto molto probabile intercettarlo e stabilirne la traiettoria.

Con i moderni sistemi di intercettazione (Patriot e Iron Dome) è possibile distruggerlo in volo con oltre il 95% di probabilità (ma basta quel 5% per distruggere tutto).

Gli attuali ipersonici «che respirano aria», hanno velocità più basse degli ICBM, **ma sono manovrabili, quindi imprevedibili.**

La loro intercettazione è tardiva rispetto ad un ICBM.

È un pericolo per il paese bersaglio ma anche per chi lo lancia perchè provocherebbe inevitabilmente una reazione immediata all'attacco, una rappresaglia, con tutti i sistemi oggi disponibili.

Le varie tipologie di ipersonici militari non balistici

I moderni missili militari ipersonici (**airbreathing**) si dividono in due categorie:

- **HGV, Hipersonic Glide Vehicle**
- **HCM, Hypersonic Cruise Missile**

Gli HGV sono dei *gliders*, cioè degli alianti, senza motore. Un veicolo di rientro manovrabile.

Essi vengono portati nella stratosfera da normali razzi che li conducono nel range di autonomia dal bersaglio, dopodiché vengono sganciati ed essi proseguiranno a velocità ipersonica, plananti sugli strati alti dell'atmosfera (come il sasso che rimbalza sull'acqua) e manovrando fino al raggiungimento dell'obiettivo, con velocità ovviamente sempre crescente.



Esempio di un HGV o Gliders

Gli HCM sono invece veri e propri missili "cruise" autonomi. Volano con traiettorie parallele alla superficie terrestre, in altissima atmosfera e con il motore acceso durante tutta la durata del volo con superfici di guida (le alette) per permettere la manovrabilità.

Come abbiamo già visto per il **Boeing X-51 WaveRider** sono portati in quota da un aereo, poi viene rilasciato un veicolo formato da due stadi:

1° stadio → un razzo a propellente solido che porta il missile fino a Mach 5 (adatta allo scramjet);

2° stadio → il motore "scramjet" si accende e continua il volo da mach 5 in poi, rendendo possibile il proseguimento della traiettoria in regime ipersonico.

Sono tutti veicoli "a perdere".

Colpiscono autodistruggendosi. Sono dei kamikaze, una bomba molto costosa.

Questo è il vero inconveniente di quest'arma: il costo!



Esempio di HCM Cruise missile

Cos'è che li rende pericolosi e quindi adatti come arma di attacco o rappresaglia?

Il primo aspetto è la loro caratteristica *stealth* o "furtiva". Deriva dal fatto che durante il volo ipersonico si genera attorno al corpo del velivolo, per attrito, quindi surriscaldamento, un guscio di aria ionizzata in grado di assorbire le onde radio (e non rifletterle). **Questo scudo assorbente lo rende particolarmente difficile da intercettare con sistemi radar standard.**

Per poterli intercettare occorrono metodi basati su

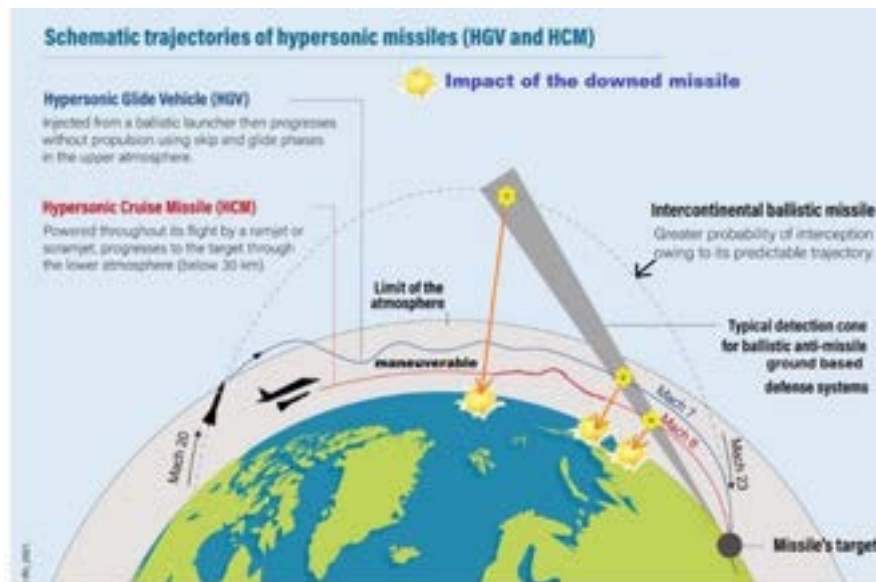
altri sistemi di tipo ottico, infrarosso o comunque molto sopra la banda radar classica.

Per tutto il volo ipersonico stealth il missile non è in grado o fatica ad usufruire dei segnali GPS (USA) o GLONASS (Russia) o BeiDou (Cina) o Galileo (EU). Ma il supporto INS di bordo (sistema di navigazione inerziale), per breve tempo, può eliminare l'inconveniente.

Non è in grado di comunicare con nessuno quindi la eventuale strategia di manovra per evitare l'intercettazione deve essere precostituita o inventata (AI) al momento dal mezzo, basandosi esclusivamente sui sistemi di guida inerziali di bordo.

È evidente che la precisione ne soffrirà parecchio.

Il secondo aspetto è la traiettoria



Come si vede dalla immagine, supponendo la intercettazione effettuata da un radar terrestre (oggi sappiamo che esistono sistemi di rilevamento satellitare che riducono di parecchio questo "vantaggio"), la visibilità in linea di vista di un ICBM, che fa una traiettoria molto più alta, è molto più precoce. Gli ipersonici volano molto più bassi e sono pure manovrabili; quindi, **la traiettoria non può essere prevista ma deve essere inseguita.**

I sistemi di intercettazione moderni

Dicevamo che il sistema di intercettazione di un ipersonico militare non può basarsi solo sul radar, perchè durante una buona parte del suo percorso, il

missile è protetto da uno scudo ionizzato provocato dallo sfregamento con l'aria circostante; quindi, sono stati sviluppati dei sistemi di "Early Warning" di tipo ottico.

Un esperimento di rilevamento ottico è stato effettuato nel 2021 con il **Prototype infrared payload (Pirpl)**, sviluppato da Northrop Grumman, l'Agenzia per lo sviluppo spaziale (Sda) e l'Agenzia per la difesa missilistica (Mda) del dipartimento della Difesa di Washington.

Un sistema basato sulla visione passiva di emissioni ad infrarosso.

Esiste già una rete di satelliti geostazionari in grado di esplorare questo tipo di spettro, ma nel caso della intercettazione dei cruise ipersonici, bisogna avere sensori molto più performanti in orbita bassa, in grado di avere una risoluzione molto più elevata.

In fase di realizzazione da parte USA vi è anche la rete di satelliti **PWSA (Proliferated warfighter space architecture)**. Sarà composta da migliaia di satelliti in orbita LEO e costituita da un "Transport layer" dedicato alle connessioni globali a larga banda, ma anche da un "Tracking layer" che andrà ad integrare i satelliti geostazionari Space Based Infrared System (SBIRS) per la detenzione sia dei missili balistici che degli ipersonici HGV e HCM.

Concludo questo aspetto "militare" degli ipersonici con alcune considerazioni ed una analisi delle nuove minacce.

Considerazioni:

- ⇒ **Cina e Russia sono interessati a far mostra delle loro capacità militari per rafforzare la loro posizione di fronte ai loro rivali, ma anche ai loro alleati ed al loro interno;**
- ⇒ **gli USA hanno tutto l'interesse a rappresentare le armi russe e cinesi come formidabili in grado di colpire gli Stati Uniti senza difficoltà. È un ottimo sistema per ottenere da parte del Pentagono finanziamenti dal Congresso;**

- ⇒ **l'efficacia delle armi ipersoniche è sopravvalutata (lo dimostra l'alto tasso di abbattimento ottenuto in Ucraina con i Patriot). Non è vero che non sono intercettabili;**
- ⇒ **la realizzazione di questi missili richiede un processo lungo e costoso (materiali e tecnologie di produzione, stampa 3D), il che rende impossibile la produzione di un elevato numero di sistemi;**
- ⇒ **le manovre che gli HGV o HCM sono in grado di compiere durante il volo, aumentano la furtività del vettore, ma determinano anche una riduzione della velocità, con una conseguente maggiore tracciabilità e riduzione dell'energia cinetica accumulata dal vettore al momento dell'impatto.**

Insomma, stiamo spendendo energie di ricerca e risorse nel modo sbagliato, e questa è una grossa ipoteca sulla credibilità del genere umano.

Nuove minacce

"Burevestnik» l'arma invincibile di Putin. Codice NATO: SSC-X-9 «Skyfall»).

A proposito di spendere energie nel modo peggiore che si possa immaginare eccovi, a conclusione dell'approfondimento sui missili militari, un'altra dimostrazione.

Propulsione nucleare in aria

Non è una idea (malsana) nuova! Ci avevano già provato gli americani e i sovietici a metà del secolo scorso.

Alla fine degli anni '50 gli USA ci provarono con **CAMAL (Continuous Airborne Missile Air Launcher)**, un Convair NX-2, a propulsione 100% nucleare (cancellato) e poi con Project Pluto. I motori che furono sviluppati erano stati pensati per essere utilizzati su un missile da crociera senza equipaggio (come il **Burevestnik di Putin ma fatto 70 anni fa**), che prese il nome di SLAM (Supersonic Low Altitude Missile). Il programma produsse due motori che vennero utilizzati per effettuare delle prove a terra. In particolare, il 14 maggio 1961, il primo

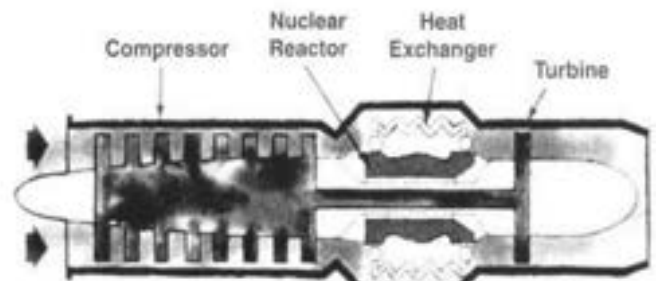
statoreattore a propulsione nucleare, chiamato Tory-IIA, fu acceso per pochi secondi su un pianale ferroviario. Il 1° luglio 1964, il programma Plutone venne cancellato.



Un prototipo del progetto Pluto

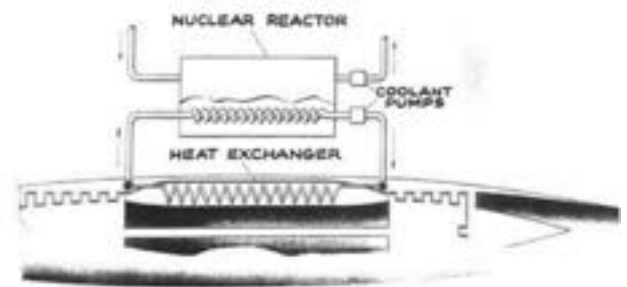
Fu poi tutto abbandonato per il danno all'ambiente che questa propulsione avrebbe prodotto durante tutto il suo percorso e per gli accordi contro la non proliferazione delle armi nucleari. Emette aria radioattiva più o meno contaminata in funzione del tipo di reattore:

- **ciclo diretto** (l'aria spinta fuori per reazione è la stessa che ha raffreddato il core in fissione)



Direct Cycle Nuclear Turbojet Engine

- **ciclo indiretto** (l'aria è passata attraverso uno scambiatore che ne riduce la contaminazione)



Indirect Cycle Nuclear Turbojet Engine

Non so quale tipo sia usato sul Burevestnik russo

ma di certo non è un oggetto che vorresti passasse sulla tua casa. Certo che il danno che fa quando e se arriverà sarà totale, perchè sarà caricato con testata nucleare, ma il fatto che prima di arrivare al bersaglio (se ci arriverà) giri per il mondo contaminando l'atmosfera, non è piacevole. Tant'è vero che lo chiamano ... "il Chernobyl volante".

Queste le sue caratteristiche (note):

- 9M730 "Burevestnik» a propulsione nucleare attraverso un **turbojet alimentato ad uranio** come combustibile e ad aria come propellente.
- Autonomia: **giorni o settimane!** Dipende dall'uranio di bordo. Scarica aria radioattiva per tutto il percorso.
- Capacità di volo radente per non essere avvistato dai radar.
- È un'arma di rappresaglia nel senso che può essere lanciata con lo scopo di colpire dopo giorni o settimane (se non viene beccato prima).

I russi ci avevano già provato nel 2019, ma il 19 agosto 2019 fu registrata un'esplosione presso lo State Central Navy Testing Range russo.

Proviamo a concludere in pace questo lungo articolo!

Si può volare con motori elettrici (o turbofan elettrici) anziché turbofan a combustione interna?

Come abbiamo visto nel campo dei voli subsonici a lungo percorso o degli ipersonici in generale, la propulsione elettrica è assente!

La ragione è semplice: per grandi autonomie la densità energetica diventa la protagonista. Non si può pensare di portarsi dietro troppo peso quando si vola.

Quindi il volo elettrico non è possibile?

Assolutamente no! È possibilissimo! Basti guardare il proliferare di droni, quadricotteri ed altre diavolerie volanti che sono praticamente tutte con motori elettrici e batterie agli ioni di litio.

Bye Aerospace e Quantum Air lavorano ad un progetto per realizzare una flotta di aeromobili elettrici

che colleghino l'aeroporto di Los Angeles agli aeroporti limitrofi

Per i velivoli ad ala fissa convenzionali che volano con un profilo di missione di aviazione generale, come quelli sviluppati dall'americana Bye, è richiesta alta potenza solo per il decollo e la salita, che sono di durata relativamente breve.

Bye sta provando batterie al litio-zolfo che sono più leggere; quindi, si potrà mettere una batteria più grande sul velivolo garantendo una maggiore autonomia.



eFlyer 4 della Bye

Caratteristiche:

Max.speed: 250 km/h;

Endurance: 3,5 hours (>700 km).

Obiettivo di costo passeggero: 23 dollari/ora.

Anche il gruppo Stellantis ha intenzione di entrare nel campo dei taxi volanti elettrici.



Il Gruppo si allea con Archer per produrre Midnight (nell'immagine), un velivolo a decollo verticale (eVTOL).

Un investimento di 141 milioni di euro.

In produzione dal 2024.

È progettato e certificato con un pilota a bordo e comfort per un massimo di **quattro passeggeri e bagagli**, l'autonomia è di **161 km**, e la capacità è di **454 kg**.

È in grado di eseguire oltre **3.000 cicli di volo** e consente un tempo di **ricarica rapida di circa 12 minuti** tra un volo e l'altro.

Midnight utilizza una disposizione strategica di sei pacchi batteria indipendenti nelle sue ali per garantire affidabilità e una corretta distribuzione del peso.

Il sistema avionico di Midnight comprende quattro computer di controllo di volo, con navigazione inerziale ridondante, sensori GNSS e AGL per garantire dati robusti e affidabili al pilota.

Ciascuna coppia di motori elettrici di prua e di poppa è alimentata in modo indipendente, contribuendo a garantire che l'aereo possa completare il volo in sicurezza in caso di guasto dell'intero pacco batteria.

Riferimenti

<https://www.aviation-report.com/jet-supersonico-lockheed-martin-x-59-della-nasa-sembrava-pronto-a-volare/>

<https://youtu.be/esMV-T1T6ug>

https://www.ilsole24ore.com/art/airbus-l-appello-all-italia-volare-idrogeno-AEJfJpS?refresh_ce=1

<https://www.ingenia.org.uk/ingenia/issue-84/air-breathing-rocket-engine>

<https://hypersonix.com/hypersonix-portfolio-goes-reusable/>

https://www.corriere.it/tecnologia/cards/drako-airbus-airfrance-aereo-supersonico/cose-drako_principale.shtml?refresh_ce

https://www.corriere.it/tecnologia/cards/jet/in-volo-nel-futuro_principale.shtml

https://aviationweek.com/commercial-aviation/lithium-sulfur-answer-electric-aviation-s-battery-limits?NL=AW-05&Issue=AW-05_20190809_AW-05_562&sfvc4enews=42&cl=article_1&utm_rid=CP_EN1000003362352&utm_campaign=20666&utm_medium=email&elq2=1aef11bd479f4da68afd53a2dca

[68f60](#)

<https://insideevs.it/news/629565/aereo-elettrico-midnight-stellantis-archer/>

<https://aresdifesa.it/rafael-advanced-defense-systems-presenta-lo-sky-sonic-per-intercettare-missili-ipersonici/>

<https://rollingsteel.it/aerei/incredibile-storia-bombardiere-propulsione-nucleare-nb36h/>

<https://www.geopolitica.info/armi-ipersoniche/>

<https://www.notiziegeopolitiche.net/cina-rese-note-le-caratteristiche-del-missile-ipersonico-yj-21/>

<https://www.aviation-report.com/>

https://www.hwupgrade.it/news/scienza-tecnologia/da-new-york-a-londra-in-90-minuti-ecco-il-jet-a-idrogeno-da-6000-km-h_115887.html

<https://www.the-sun.com/tech/7858601/hypersonic-jet-fly-nyc-london-90-minutes/>

<https://www.wired.it/lifestyle/mobilita/2015/11/09/8-velivoli-futuro/>

<https://youtu.beAJuHiWYvILTc>

<https://www.cira.it/it/comunicazione/news/hexafly-progetto-di-sviluppo-del-velivolo-ipersonico>

<https://www.startmag.it/smartcity/leonardo-ecco-i-piani-di-mbda-sullintercettore-ipersonico-europeo/>

<https://boomsupersonic.com/company>

<https://www.eurasiareview.com/05022018-boeings-hypersonic- Valkyrie-ii-aircraft-aims-to-circle-world-in-1-3-hours/>

<https://www.hermeus.com/press-release-f100-arrival>

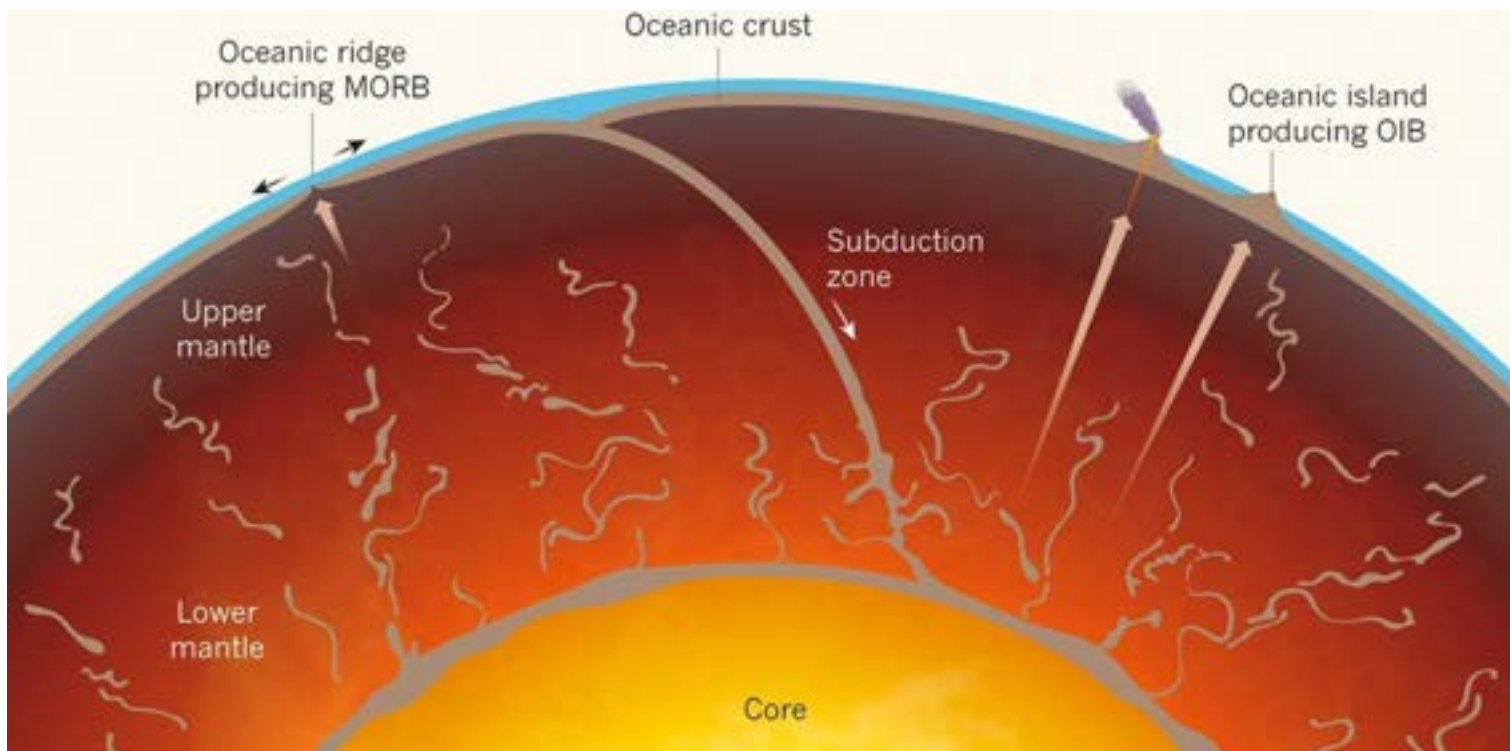
https://www.corriere.it/motori/attualita/20_maggio_11/aereo-elettrico-diventa-taxi-51ffd3c4-9134-11ea-8803-d2f1e93f61bd.shtml

<https://www.archer.com/midnight>

<https://italiavola.com/2023/10/09/easyjet-aderisce-alla-tecnologia-innovativa-di-airbus-per-la-rimozione-delle-emissioni-di-anidride-carbonica/>

LE PROFONDITA' ESTREME DEL MANTELLO TERRESTRE

di Davide Borghi



In questa rivista abbiamo spesso parlato delle profondità dello spazio e dell'esplorazione del Sistema Solare, ma stiamo continuando ad imparare ed esplorare qualcosa di molto più vicino a noi ma altrettanto misterioso ed interessante: le profondità del mantello terrestre (vedi figura di apertura dell'articolo).

Il mantello terrestre è un intero strato geologico della Terra, di consistenza solido-plastica, spesso quasi 3000Km, e rappresenta l'**84% del volume del pianeta**, quindi di gran lunga la parte preponderante. Ma in realtà molto poco conosciuta.

La pressione laggiù è enorme: nelle profondità del mantello, al confine col nucleo, raggiunge **un milione e mezzo di atmosfere** (140GPa).

Il mantello inferiore è composto per lo più di silicio, magnesio e ossigeno con percentuali minori di ferro, calcio e alluminio. I minerali principali sono la perovskite e la magnesio-wuestite. Entrambi hanno struttura cubica, più adatta a sostenere le crescenti pressioni del mantello.

Tutti gli episodi di vulcanismo e solidificazione per raffreddamento dei passati miliardi di anni hanno

prodotto una sottile crosta di prodotti fusi cristallizzati vicino alla superficie, che noi chiamiamo "superficie terrestre", sopra la quale noi viviamo. Ovvero, in altre parole, **siamo sulla sottilissima crosta solidificata del profondissimo mantello terrestre**. I gas sprigionati durante la fusione del mantello della Terra hanno avuto anche un grande effetto sulla composizione e abbondanza dell'atmosfera terrestre.

La struttura interna del mantello terrestre è suddivisa in due parti: il **mantello superiore** e il mantello inferiore. Il mantello superiore, immediatamente sotto la crosta terrestre, viene definito "mantello litosferico" e insieme alla crosta costituisce la litosfera. A maggiore profondità, che varia da circa 80 km sotto gli oceani a circa 200 km sotto i continenti, c'è uno strato a bassa viscosità, comunemente definito astenosfera. Il **mantello inferiore**, invece, si estende dalla zona di transizione fino al confine con il nucleo terrestre.

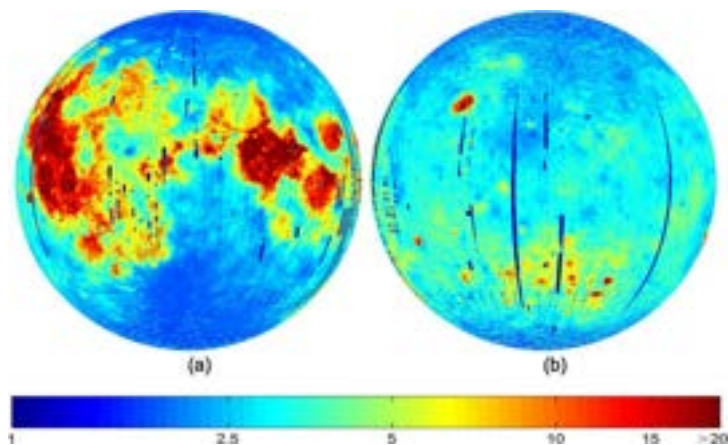
Ed è proprio del mantello inferiore che andiamo a parlare in questo articolo. Là dove possono finire tratti di placche tettoniche dopo essere sprofondate

per subduzione a causa della tettonica a placche.

La prima notizia relativa alle profondità del Mantello Terrestre, di questi giorni, è che gli scienziati hanno rilevato una quantità sorprendente, per la Terra, di **Elio-3**, una rara versione di elio, che è famosa per la sua relativa abbondanza sulla superficie lunare e per la sua utilità per alimentare reattori a fusione nucleare con alto rendimento e con meno emissione di neutroni. È stata trovata una abbondanza circa 67 volte maggiore del normale nelle rocce vulcaniche dell'isola canadese di Baffin, avvalorando la teoria secondo cui il gas nobile sta fuoriuscendo dal nucleo della Terra – e ciò avviene da millenni.

Il gruppo di ricerca ha rilevato anche l'elio-4 all'interno delle rocce.

Ma mentre l'elio-4 è comune sulla Terra, l'elio-3 si trova più facilmente altrove nel cosmo, motivo per cui gli scienziati sono rimasti sorpresi nel rilevare una quantità maggiore dell'elemento rispetto a quanto precedentemente riportato nelle rocce dell'isola di Baffin. Uno studio che descrive la scoperta pubblicato di recente sulla rivista Nature.



Distribuzione globale dell'abbondanza di 3He (ppb) per la superficie lunare. (a) Lato vicino, (b) lato lontano

Questa **non cambia molto nel forte interesse di Cina e Stati Uniti per l'elio-3 lunare**, siccome sulla Terra rimane comunque **molto raro** rispetto alla Luna. E quindi rimane tutto l'interesse per tornare sulla Luna.

La scoperta scientifica è invece molto utile **per caratterizzare meglio le profondità estreme del mantello terrestre**, giù giù fino alla superficie del nucleo ferroso del nostro pianeta.

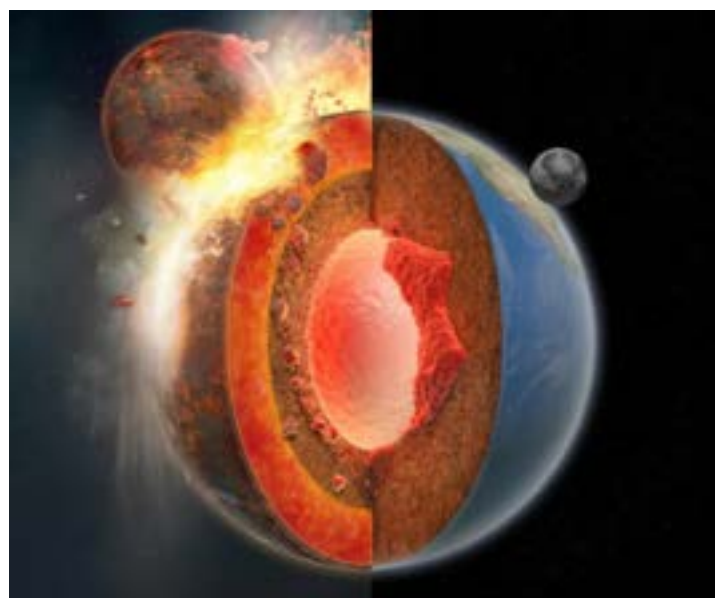
È stato osservato che la lava associata ai pennacchi del mantello hanno rapporti $3\text{He}/4\text{He}$ più elevati rispetto al mantello convettivo superiore, cosa che aiuta a raffinare i **modelli geofisici, geodinamici e geochimici dell'interno profondo** della Terra.

Gli autori dell'articolo sostengono che la concentrazione estremamente elevata di Elio-3 rispetto all'Elio-4 potrebbe derivare **direttamente dal nucleo della Terra**.

Un'altra notizia, sempre di questi giorni, è che sono stati trovati i resti del planetoida *Theia* nelle profondità del mantello terrestre. Si tratta quindi della stessa zona da dove proviene l'Elio 3.

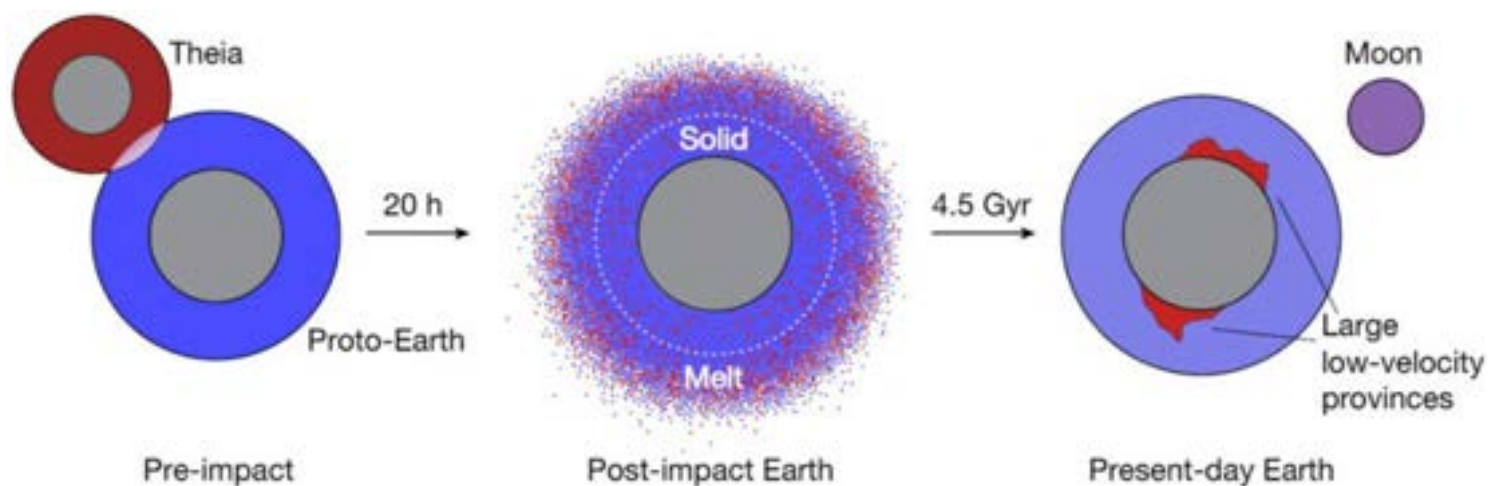
Gli scienziati hanno quindi trovato i resti del planetoida *Theia*, che si è scontrato con la Terra 4 miliardi e mezzo di anni fa, strappandogli ampie porzioni di mantello e dando così luogo alla formazione della Luna.

Questa teoria, della nascita della Luna per impatto di un planetoida, era uno dei principali risultati scientifici delle missioni Apollo: la Luna è fatta di Terra, in particolare di mantello terrestre.



Rappresentazione dello schianto di *Theia* col pianeta Terra, dando luogo ai depositi di materiali nelle profondità del mantello, anch'esse rappresentate

I resti di *Theia* si troverebbero, disposti in modo non uniforme, sulla superficie esterna del nucleo ferroso del nostro pianeta, a circa **2.900 Km sotto la superficie**.



Era già noto da alcuni decenni la presenza di due massicci "blobs" di materiale lassivo, di diverse migliaia di Km di dimensione orizzontale e spessi alcune centinaia di Km, posizionati nelle profondità sotto al mantello. **Uno si trova sotto l'Africa e uno sotto l'Oceano Pacifico.**

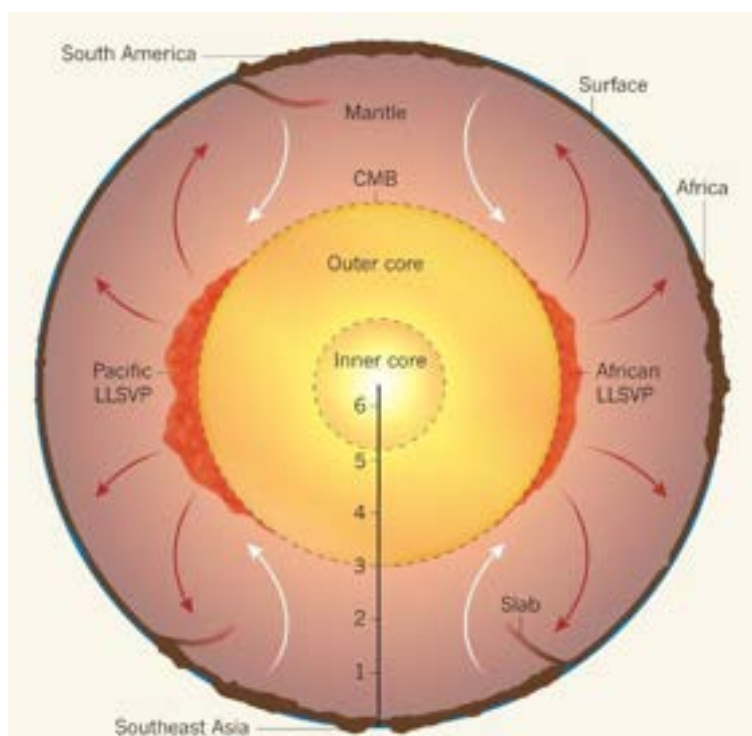
Questi blobs sono chiamati "large low-velocity provinces" (**LLVP** per gli amici...) a causa della differente velocità con cui le onde sismiche si propagano attraverso essi, rispetto alla velocità di propagazione nel mantello e nel nucleo ferroso della Terra.

I risultati della ricerca sono pubblicati sulla rivista scientifica Nature.

Si noti comunque che questa tesi è **una di quelle possibili**: un'altra interpretazione attribuisce l'origine degli LLVP a rimanenze di crosta oceanica finita nel mantello per subduzione miliardi di anni fa.

Bibliografia

- https://www.nature.com/articles/s41586-023-06589-1.epdf?sha-ring_token=nqg1_93hPSU85C7twBAzR9RgN0jAjWel9jnR3ZoTv0OUGDu6sS_mNfR5UvQfwmQuhRBG9RUEBCCNqd9DYb0Af1sH0DFPRJ8mdBQFieBE-5vvedOZ_aS6wmxslx9ti28U_9-dEYmgJpaYjmcS-7UZAesbzTGO1Y1sHE-wS6Qj4yt6fi-GAJYWID8HDEvN0rufQLSLmKQX4lqpGNIWJvIMK3xNk-z25RMqAA_VI7hgCI%3D&tracking_referrer=edition.cnn.com
- https://www.nature.com/articles/s41586-023-06590-8.epdf?sha-ring_token=wRu9ZwbpBKabZReN0Z9A3tRgN0jAjWel9jnR3ZoTv0PKmXMX8n7E_pqStH5omCW26qpSsyne8kcCIqZL3QnJhv41PDOUbXpwQH_D5BNKa8PW1DwlOVdD-GeWfZjcLyz7l8txun10CBdnFJI3BlzTYuGaC52nGm_sAqAyc-ckOF4xv_6Q0hDCDK9T4mOZfnLTyli6w5Di_VCQCu1I1Jv8N3JA9AzBv5z3IuRwbNeTBAic%3D&tracking_referrer=edition.cnn.com
- <https://webthesis.biblio.polito.it/17228/1/tesi.pdf>



I depositi di materiale che potrebbero essere i resti di Theia nelle profondità del mantello terrestre

- https://www.researchgate.net/figure/Global-distribution-of-3-He-abundance-ppb-for-lunar-surface-a-nearside-b-farside_fig5_227194157#:~:text=According%20to%20the%20above%20remote,estimation%20has%20not%20been%20reported.
- <https://edition.cnn.com/2023/10/27/world/earth-core-helium-leak-science/index.html>
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Helium-3>

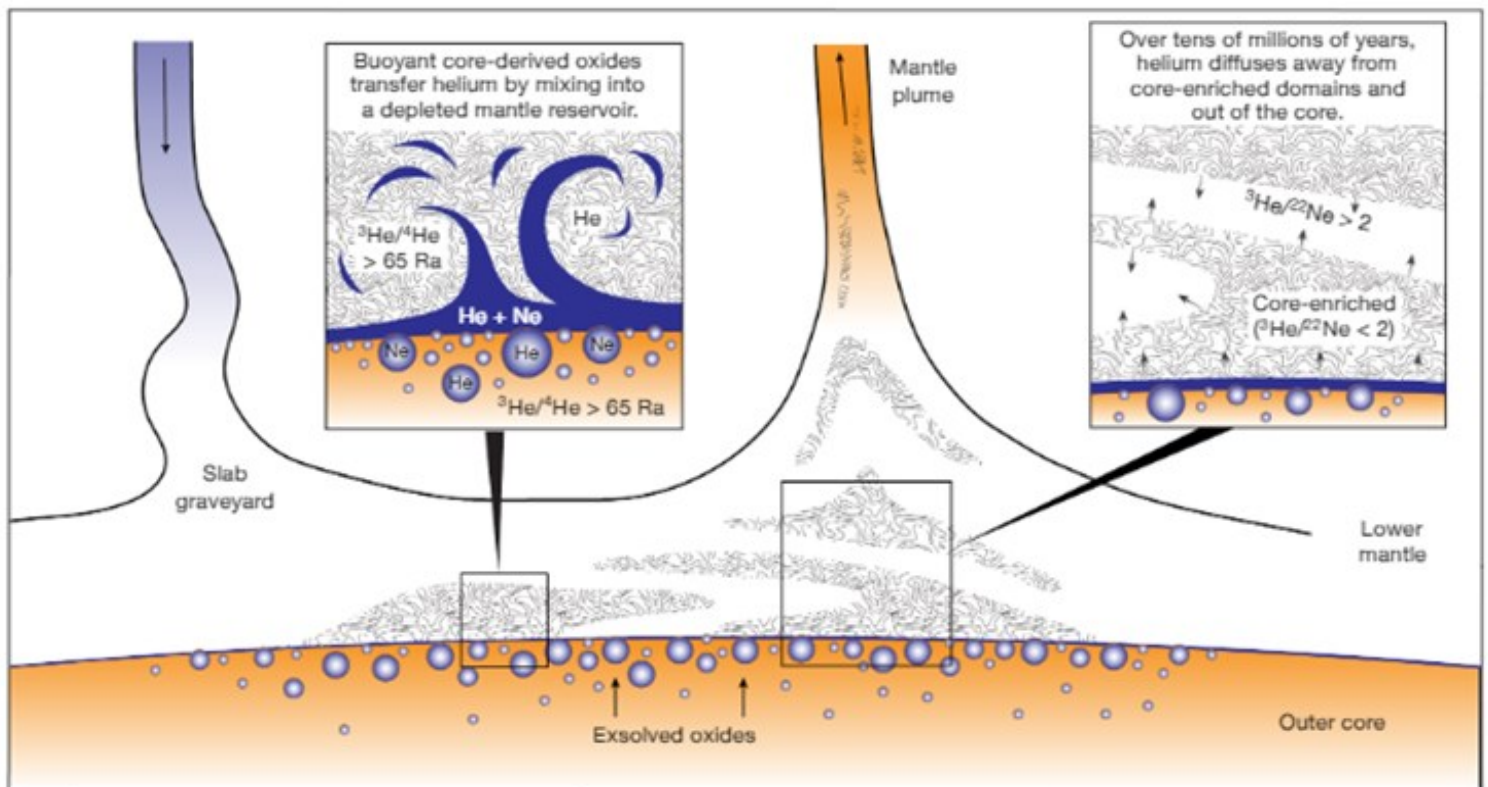


Illustrazione schematica del trasferimento dal nucleo al pennacchio. Gli ossidi espulsi dal nucleo esterno possono mescolarsi in una zona del mantello più bassa composto da mantello impoverito subdotto (cioè un cimitero di placche tettoniche affondate decine o centinaia di milioni di anni fa). Il mantello arricchito da materiale derivato dal nucleo potrebbe quindi ereditare elevati livelli di Elio 3 dal nucleo. Nel corso di decine di milioni di anni, l'Elio derivato dal nucleo potrebbe poi diffondersi nel mantello impoverito circostante. Entrambi i domini – uno arricchito da ossidi derivati dal nucleo, l'altro dalla diffusione di Elio – potrebbero essere incorporati nei pennacchi del mantello, come il pennacchio che ha prodotto le lave dell'isola di Baffin

Un viaggio programmato

Cronache, e consigli, da un "cacciatore di eclissi"

di Antonio Melandri



Credits: Getty Images/Pitris

Il mio precedente articolo, nel numero 53/2022 del Cosmo, era intitolato "un viaggio improvvisato". Il titolo derivava dall'improvvisazione necessaria nell'organizzare un viaggio per assistere ad un lancio spaziale (in quel caso il lancio STS-90 dello Space Shuttle Columbia). La data di un lancio è in genere approssimativa e nella maggior parte dei casi da rivedere in corsa, per tenere conto degli inevitabili ritardi e cancellazioni.

Un viaggio che può essere programmato con largo anticipo, è quello per assistere a un'eclisse di Sole. L'eclisse è uno degli eventi astronomici più facilmente prevedibili, in quanto segue cicli ben noti fin dall'antichità: ***i cicli di Saros***.

Wikipedia definisce così il ciclo di saros:

Un saros (talvolta scritto Saros con la maiuscola iniziale) è un periodo di 223

mesi sinodici, cioè circa 18,03 anni (18 anni, 11 giorni, 8 ore e 42 minuti), al termine del quale Sole Terra e Luna si trovano quasi esattamente nella stessa posizione reciproca e possono ripetersi le stesse eclissi lunari e solari. Durante un saros avvengono 29 eclissi di luna e 41 eclissi di sole.

Anche se la periodicità delle eclissi è ben definita, il luogo in cui questa avverrà cambia da periodo a periodo e un'eclisse si ripete approssimativamente nello stesso luogo solo dopo circa 54 anni. Questo fa sì che per osservarla, il cacciatore di eclissi debba visitare molti luoghi diversi e viaggiare un po' per tutto il mondo.

L'eclissi di Sole non è un fenomeno così raro come ci si aspetterebbe. L'eclissi avviene nel momento in

cui il Sole, la Luna e la Terra sono allineate e si trovano nello stesso piano. Quello che rende rara l'osservazione di un'eclisse di Sole totale è la ristretta fascia di terreno che verrà percorsa dall'ombra della Luna. Per vedere la totalità, occorrerà essere nel punto giusto, al momento giusto e avere un cielo sereno... cose che difficilmente si verificano, anche quando ci si mette d'impegno nel scegliere con cura la località per l'osservazione.

Visto che le date delle eclissi sono note con grande anticipo, gli aspetti principali per organizzare un viaggio sono quindi:

- scelta del luogo in base alle condizioni meteorologiche;
- accessibilità del luogo prescelto e possibilità di spostarsi per trovare condizioni meteo migliori;
- attrattive turistiche nei dintorni

Essendo le probabilità di vedere le eclissi non sempre a favore del viaggiatore, almeno si deve cercare di fare in modo che il resto del viaggio sia piacevole e giustifichi l'investimento.

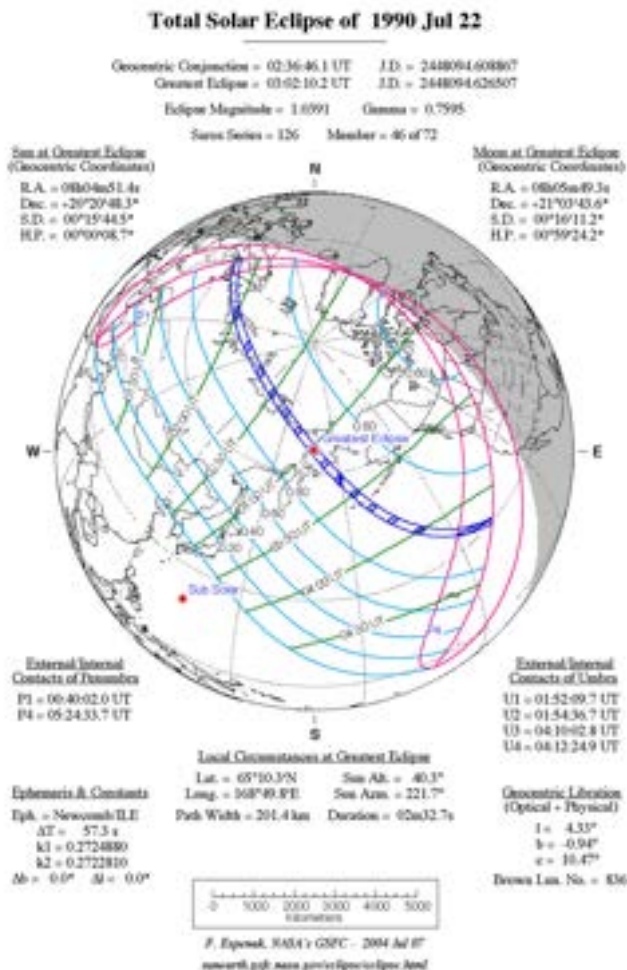
La mia passione per le eclissi totali è iniziata nel 1990, quando con il Planetario di Ravenna andammo nell'attuale ex Unione Sovietica, più precisamente a Belomorsk, sul mar Bianco.



L'impresa era disperata, considerando le normali condizioni meteo della zona, ma la prospettiva di visitare alcune delle più belle città della Russia, in un periodo storico di cambiamento come quello della Perestroika, era una forte attrattiva. Il viaggio prevedeva la visita di S. Pietroburgo e poi il trasferimento in aereo a Murmansk, città famosa per la base navale oltre il circolo polare artico. "Caccia a Ottobre Rosso", film proprio del 1990, inizia con la partenza da questa base navale del sottomarino atomico sovietico "Ottobre Rosso".

La zona di visibilità dell'eclisse era un po' più a sud di Murmansk e quindi ci spostammo a Belomorsk in

treno. Già allora la ricerca della migliori condizioni di visibilità alimentavano un fiorente mercato turistico, con una competizione tra operatori per offrire alloggi vicini alla fascia di osservazione dell'eclissi.



La disponibilità reale di questi alloggi era poi da verificare sul posto e l'overbooking era da considerarsi normale... nel nostro caso, all'arrivo in stazione, ci venne comunicato dall'agenzia turistica "sovietica" che le nostre camere erano state occupate da un gruppo svedese e quindi venimmo reindirizzati alla locale scuola elementare, dove era organizzato un convegno di astrofili. Il capitalismo era appena sbarcato in U.R.S.S.

Il giorno dell'eclisse, il 22/07/1990, vedemmo il Sole esclusivamente all'alba e poi la copertura di nuvole fu totale per il resto della giornata. Il viaggio continuò in treno nei giorni successivi, per concludersi nella bellissima Mosca.

Non avendo avuto modo di osservare l'eclisse, con il Planetario di Ravenna ci riprovammo con un tour in

ASTRONOMIA

Messico per l'anno successivo, data prevista l'11/07/1991.



La destinazione del viaggio era Puerto Vallarta, nei pressi del quale si sarebbe osservata l'eclisse, per poi continuare il viaggio visitando alcuni dei siti archeologici più famosi delle civiltà precolombiane (Oxaca, Palenque, Uxmal, Cichenitza, Tulum).

La tappa conclusiva fu a Cancun, dove ci godemmo anche qualche giorno di mare.



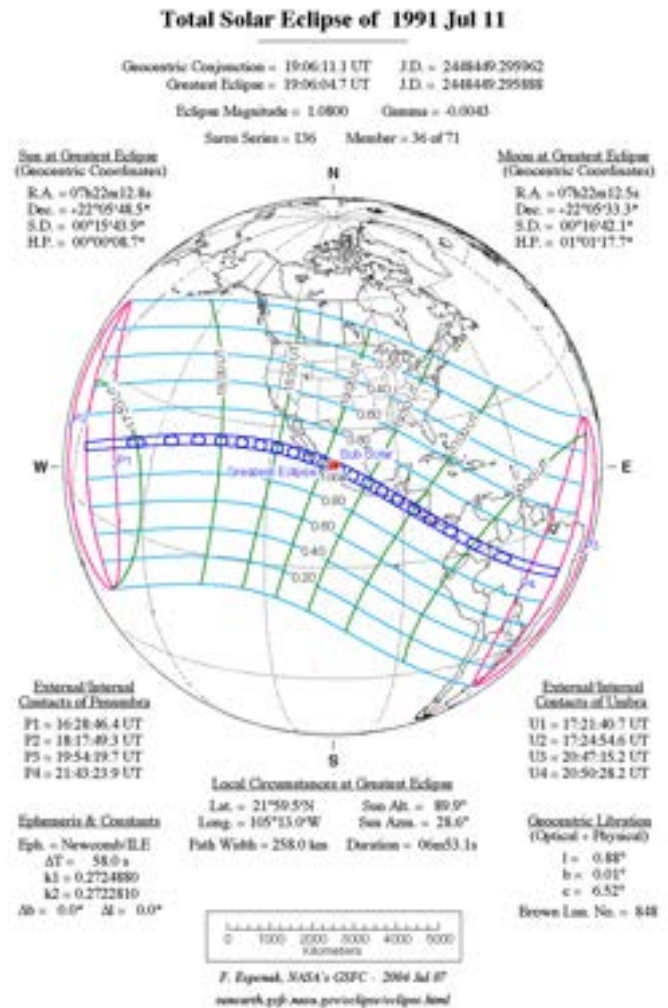
L'oscurità sulla spiaggia all'avvicinarsi della totalità



Sfortunatamente proprio all'inizio della fase di totalità, una nuvola si interpose limitando la visibilità dell'eclisse.



La fase di totalità disturbata dalle nuvole

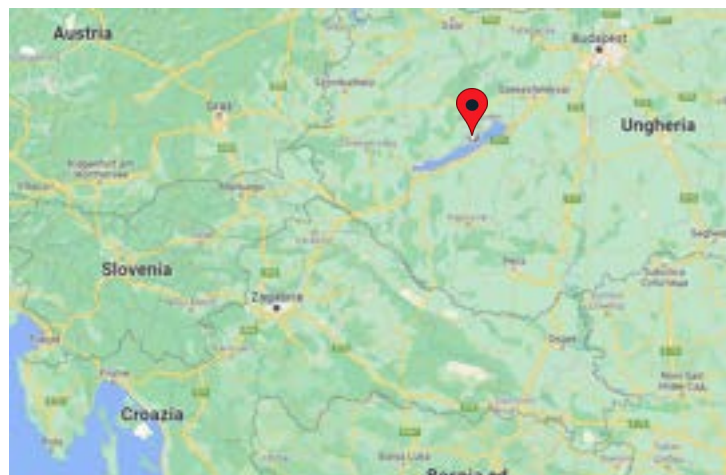


La mia terza eclisse di Sole è stata quella dell'11 agosto 1999. La fascia di totalità attraversava tutta l'Europa, ma le migliori condizioni meteo erano nelle zone meridionali. Con un paio di amici decidemmo

ASTRONOMIA

quindi di recarci in Ungheria, sul Lago Balaton, che statisticamente offriva un buon microclima con molti giorni soleggiati in estate.

Il luogo prescelto per l'osservazione fu Tihany, piccola penisola sul lago, con ampia visibilità sull'orizzonte.



Anche in questo caso trovare un alloggio si dimostrò impossibile e quindi ci adattammo ad una notte in tenda, in campeggio.

Dopo un temporale notturno che lasciava presagire brutto tempo, ci svegliammo con un bellissimo sole e la giornata fu perfetta.



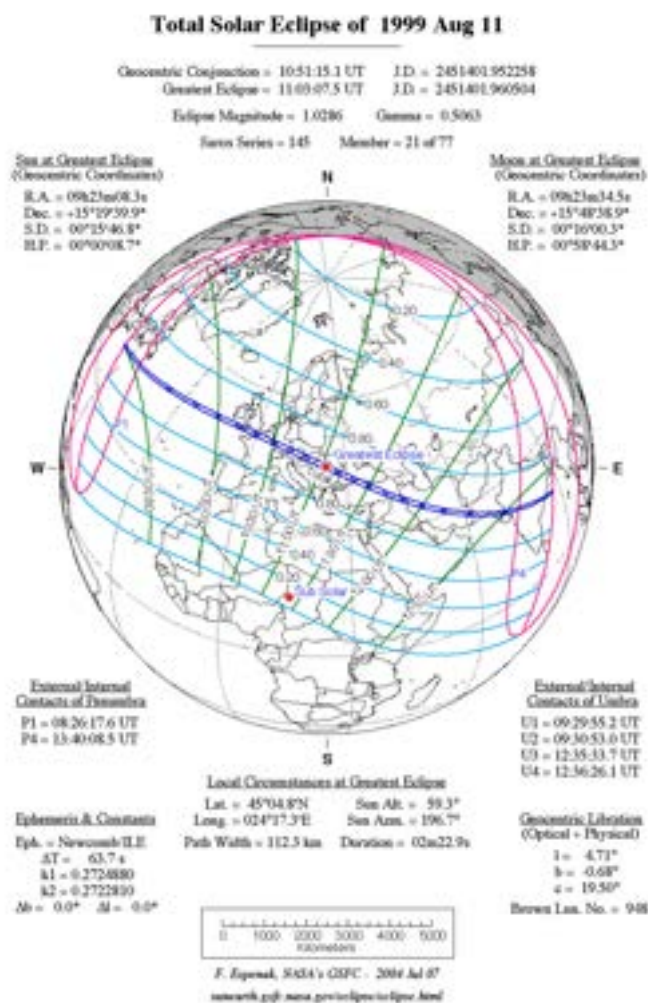
Stefano & Stefano pronti per la totalità

Come si può notare nelle due immagini di seguito, la corona solare si presentò quasi perfettamente circolare, con diverse protuberanze (immagine a sinistra).

Nell'immagine di destra, presa dopo la totalità, si vede il termine della fase di eclisse parziale.



Eclissi dell'11 agosto 1999



L'ultima eclisse l'ho vista con mia figlia Arianna, in Wyoming il 21/08/2017.

Se ricordate la lunghezza del ciclo di Saros, noterete che questa è "sostanzialmente" la stessa eclisse del 1999. Invece che attraversare tutta l'Europa, in questo caso ha attraversato gli Stati Uniti, dalla costa ovest alla costa est.

Il viaggio è partito da Las Vegas, per risalire le montagne rocciose, toccando alcuni dei parchi più famosi

La fascia della totalità correva proprio lungo la statale 26 e questo facilitò la ricerca di un buon punto di osservazione. Alla fine ci fermammo in un'area di sosta attrezzata a metà strada tra Shoshoni e Casper, che ben presto si riempì di astrofili di varie nazionalità.



... e la simulazione su Stellarium:



Simulazione su Stellarium

La stella in basso a sinistra, visibile anche nella foto acquisita (freccia bianca), è Regolo, la stella più luminosa della costellazione del Leone.

La distribuzione della corona solare durante l'eclissi dipende dalla fase del ciclo solare. Durante una fase di scarsa attività, la corona è sostanzialmente circolare (eclisse del 1999), mentre nei periodi di massimo, con il sole molto attivo, la corona è generalmente allungata (eclisse del 2017).



La Luna comincia a coprire il Sole

Di seguito un confronto tra l'immagine "scattata" durante l'eclissi ...



Immagine acquisita durante la totalità



Nella foto le protuberanze visibili appena prima della fine della totalità

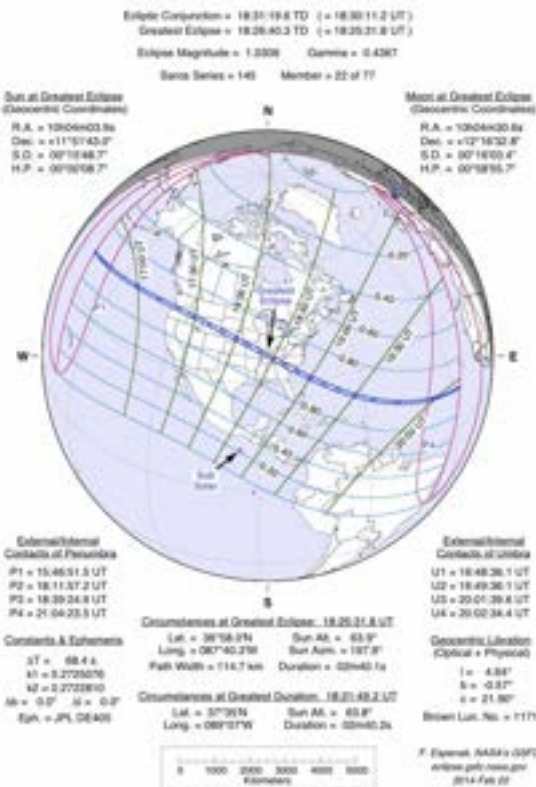
L'attrezzatura necessaria per l'osservazione può andare dal semplice binocolo, ad un teleobbiettivo fo-

tografico con cavalletto, ad un vero e proprio telescopio dotato di motore per l'inseguimento. Immancabile il filtro solare per proteggere la vista durante la fase parziale.



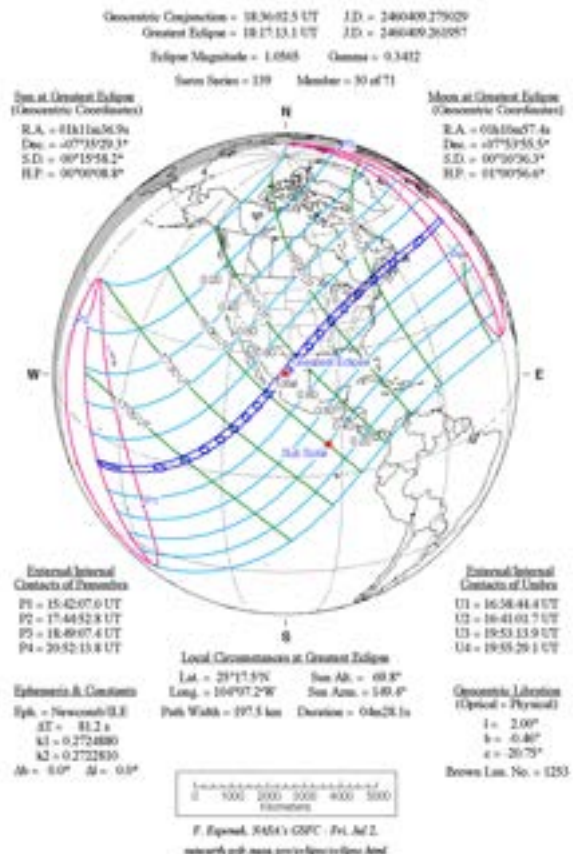
L'attrezzatura è un elemento importante

Total Solar Eclipse of 2017 Aug 21



La prossima eclisse totale sarà l'8 aprile 2024 e percorrerà tutta l'America del Nord, partendo dal Messico, per salire lungo il Texas e proseguire lungo la parte orientale degli Stati Uniti.

Total Solar Eclipse of 2024 Apr 08



Spero sarà l'occasione per ripercorrere dopo 32 anni il viaggio in Messico del 1991. Il programma proposto da Robintur per quest'eclisse prevede un'itinerario molto simile a quello dell'epoca, con visite alle località più affascinanti delle civiltà precolombiane del Messico. Nel caso fosse interessante la partenza è prevista per il 4 aprile e il rientro per il 18 aprile 2024!

In conclusione suggerisco alcune indicazioni sull'equipaggiamento e sulla fotografia durante l'eclissi di Sole.

Per un viaggio di questo tipo è consigliabile portare:

- ✓ filtro solare o occhiali per l'osservazione dell'eclisse (guardare il sole a occhio nudo o attraverso strumenti ottici è pericoloso e può danneggiare la vista seriamente);
- ✓ un cappello con visiera per schermare la luce solare quando si osserva all'oculare (anche un telo scuro potrebbe fare la funzione di schermo);

- ✓ binocolo per la fase della totalità;
- ✓ macchina fotografica con un teleobiettivo tale da ingrandire il Sole sul "fotogramma", senza però riempirlo, per lasciare spazio alla corona che comparirà durante la fase di totalità. Per l'eclisse del 1999 ho utilizzato un MTO1000 f/10 su macchina *fullframe* a pellicola (Pentax MeSuper), mentre nel 2017 un DOI 500mm f/8 a lenti, su camera digitale APS-C (Pentax K5II). Complessivamente credo sia preferibile un obiettivo a lenti o un telescopio rifrattore, in quanto limita maggiormente i riflessi interni;
- ✓ un filtro solare per l'obiettivo fotografico. Ne esistono di vari materiali e dimensioni. I più economici sono fatti con un film metallizzato di mylar;
- ✓ un cavalletto robusto, ma trasportabile durante tutto il resto del viaggio senza troppi problemi;
- ✓ un dispositivo di scatto remoto, per evitare di trasmettere vibrazioni alla camera.

Nella fase di eclisse parziale, l'esposizione dipenderà essenzialmente dal filtro che necessariamente dovrà

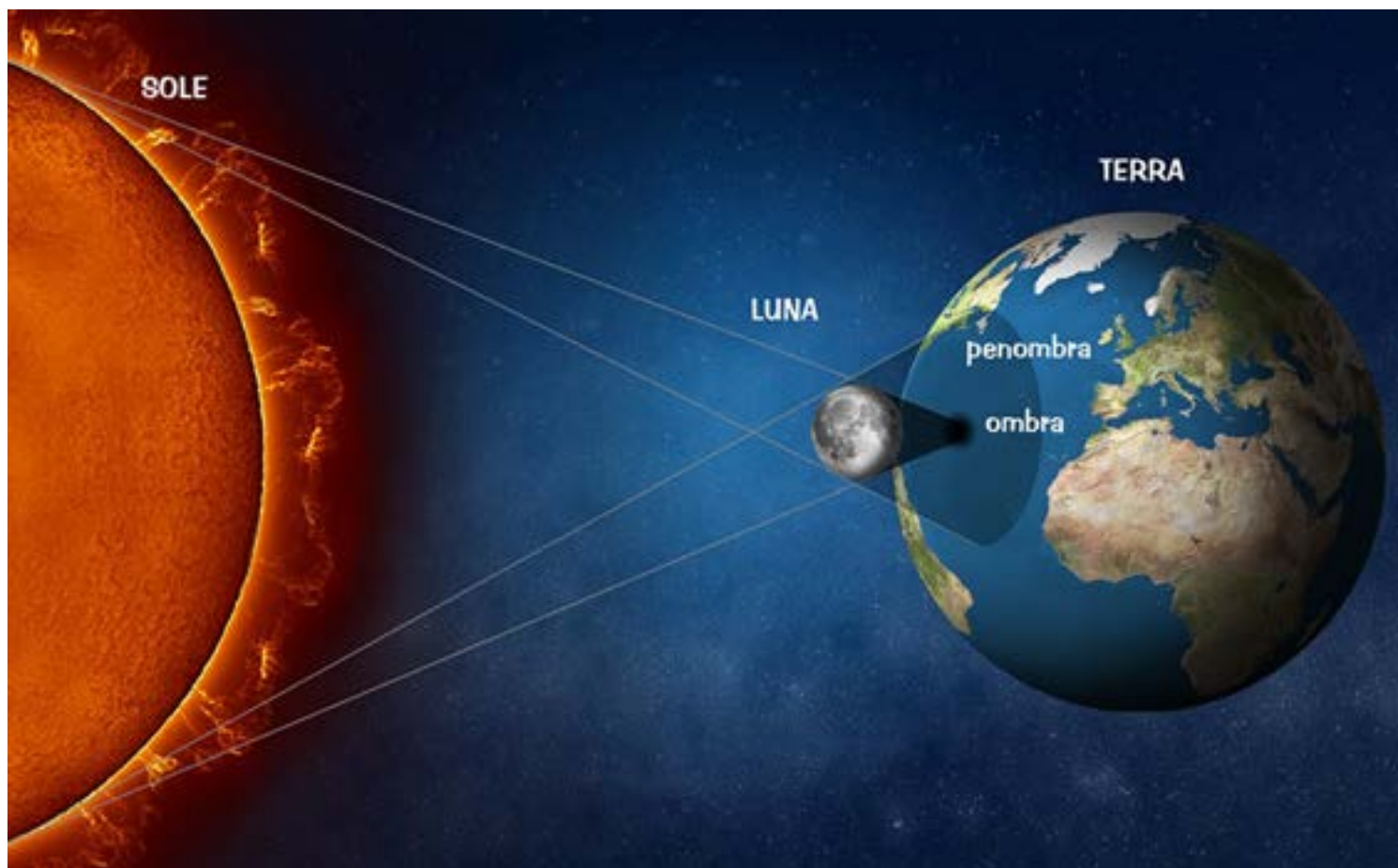
essere usato per attenuare la luce solare, mentre durante la totalità dipenderà dalle parti del sole che si vorrà mettere in evidenza:

- corona interna, intermedia o esterna
- protuberanze e cromosfera

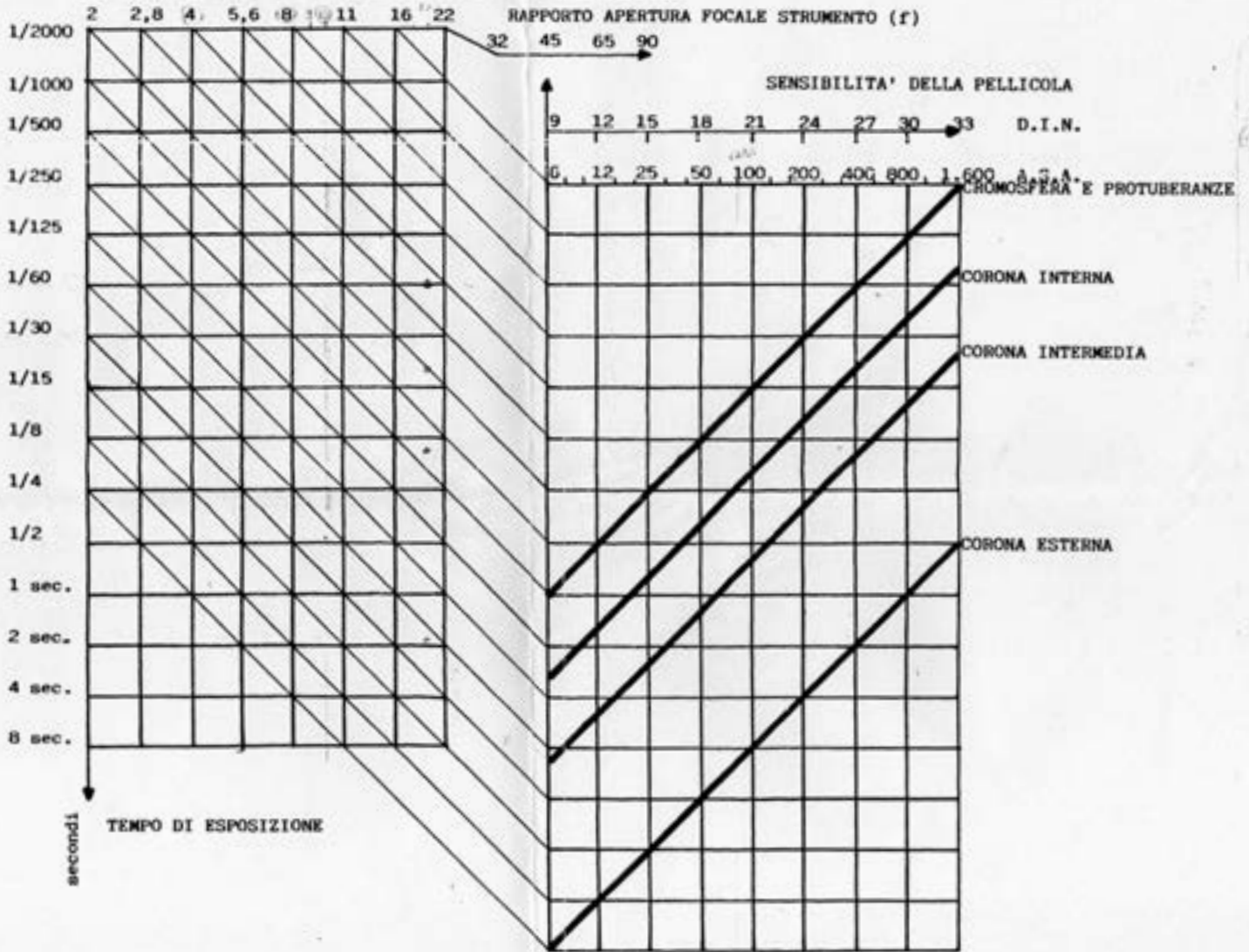
Per l'eclisse in Russia venne distribuita la tabella che riporto alla fine dell'articolo e che consente di calcolare il tempo di esposizione, in funzione della sensibilità selezionata e del diaframma impostato sull'obiettivo. Al tempo delle camere digitali, che consentono di vedere il risultato immediatamente è decisamente obsoleta, può essere utile per farsi un'idea dei tempi da usare.

In generale con un'esposizione più lunga si riuscirà a catturare la corona esterna del Sole e ottenere una fotografia spettacolare dell'eclisse... tenendo però conto che senza una montatura motorizzata si andrà incontro al rischio di ottenere una foto mossa.

E questo è tutto ... spero di aver stuzzicato la vostra curiosità, quindi ... buon viaggio!



TEMPI DI ESPOSIZIONE RELATIVI AD ECLISSE TOTALE DI SOLE

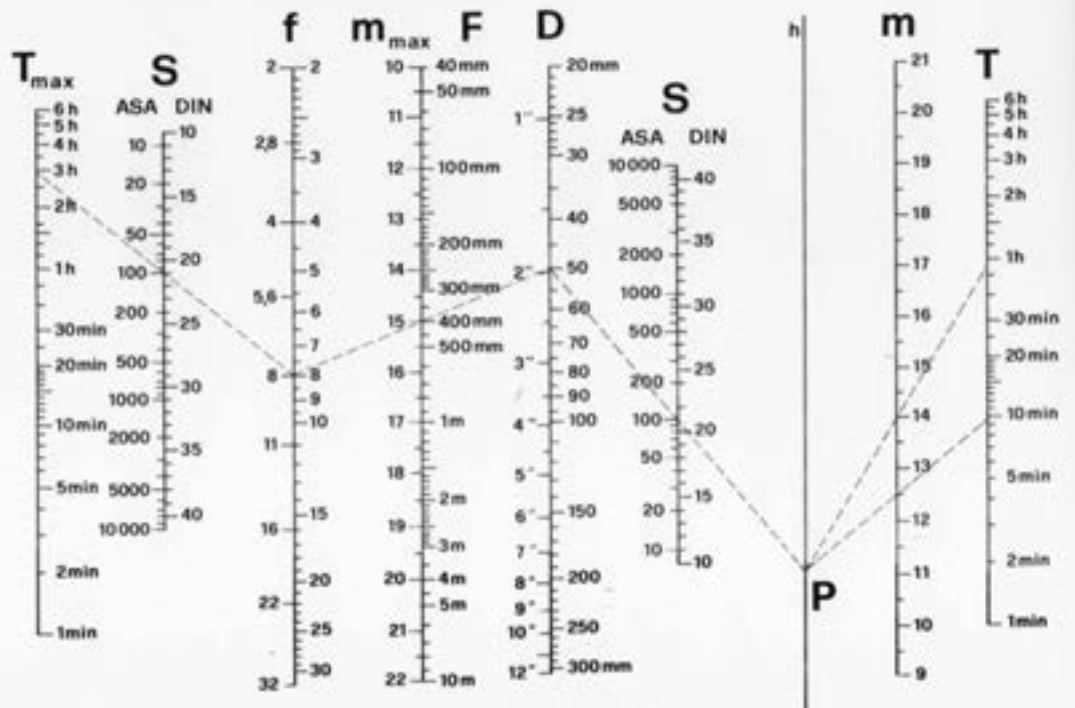


ASTRONOMIA UAI
PERIODICO Bimestrale della Unione Astrofili Italiani

NORMOGRAMMA PER IL CALCOLO DELLE POSE FOTOGRAFICHE

BIROMA EDITORE

ALLEGATO ALL'ALMANACCO 1990
 SUPPLEMENTO AL N. 689 DI «ASTRONOMIA»



Un incontro a Play 2023

Intervista a Luca Cattini di Asmodee Italia

di Leonardo Avella



Play 2023: Il COSMo da alcuni anni partecipa a questa manifestazione con un proprio stand. È un'ottima occasione per incontrare il pubblico ed altre associazioni. Quest'anno ho conosciuto Luca Cattini, Country Manager (deleghe commerciali) di **Asmodee Italia**.

Luca Cattini (a sinistra nella foto) è *Country Manager* (deleghe commerciali) di **Asmodee Italia**

Asmodee Italia è una casa editrice che sviluppa, pubblica e distribuisce giochi da tavolo e giochi di ruolo. Fa parte del gruppo francese Asmodee, uno dei principali editori internazionali di giochi

Insieme all'inseparabile Massimo Bianchini (a destra nella foto), che si occupa di produzione e marketing, vanta una lunghissima esperienza nel mondo dei giochi da tavolo che ha avuto inizio nel 1987, quando Luca e Massimo conobbero per la prima volta il gioco **Dungeons and Dragons**.

Fu una folgorazione, tanto che negli anni successivi

decisero di aprire una ludoteca a Correggio e, successivamente, nel 2007 fondarono **Asterion Press**. Asterion ha distribuito numerosi titoli di Asmodee fin dal 2010, anno in cui prese i diritti per la distribuzione di Dixit in versione italiana.

I forti legami e le ottime relazioni tra le due aziende, assieme a una visione condivisa del futuro dei giochi da tavolo in Italia, hanno portato, nel febbraio 2015, [all'acquisizione di Asterion da parte di Asmodee](#).

Luca e Massimo sono delle **istituzioni nel mondo dei giochi da tavolo**. Per darvi un'idea: in tutti i manuali in italiano di Dungeons and Dragons usciti negli ultimi anni c'è il tocco di Massimo Bianchini.

Ad un primo acchito potrebbe sembrare che il mondo dei giochi da tavolo non abbia granché a che fare con la missione della nostra associazione.

Sappiamo però che i giochi da tavolo per essere concepiti hanno bisogno di tanta conoscenza scien-

tifica. Inoltre quelli più di successo sono i meglio bilanciati dal punto di vista matematico.

Così, abbiamo pensato di fare un'intervista a Luca Cattini e pubblicarla sulla nostra rivista trimestrale.

Ma iniziamo con le domande.

Luca, ci raccontate cosa fate?

Asmodee Italia importa e distribuisce giochi di società, giochi di carte collezionabili, giochi di miniature e giochi di ruolo.

Qual è la mission di Asmodee?

La nostra mission è semplicissima: identificare i giochi migliori esistenti sul mercato internazionale, farne la versione localizzata e portarli sul mercato italiano per la fruizione degli appassionati e non.

Quanti siete in Italia e nel mondo?

Al momento siamo 42 dipendenti nell'unità distributiva italiana e più di 1000 tra tutte le varie Asmodee.

Che progetti avete per il futuro?

Allargare sempre di più il mercato italiano, portando la conoscenza del gioco di società al maggior numero di persone. Riteniamo che ci sia ancora molto spazio di crescita e confidiamo di poter svolgere un ruolo importante nella diffusione di questo mondo che per noi rimane una passione ancor prima che un mestiere.

I giochi vengono ideati da voi, oppure li comprate da creativi che di mestiere inventano giochi?

In passato abbiamo sviluppato 2 giochi internamente (di autori italiani) ma la nostra attività primaria è, e rimane, l'importazione e la distribuzione, per cui ci limitiamo ad andare in cerca dei migliori giochi già pubblicati e portarne in Italia la versione localizzata. Sono due mestieri completamente diversi e spesso in contrapposizione per impiego di risorse e strategie.

Come fate a scegliere i nuovi giochi?

Molto banalmente, li proviamo e se ci piacciono, e pensiamo possano avere mercato, cerchiamo di acquisirne la distribuzione sul territorio nazionale.

Quali sono le variabili che vi fanno preferire un

gioco rispetto ad un altro?

In primis l'aspetto grafico, prima ancora della meccanica, poi ovviamente entriamo nel dettaglio della giocabilità e infine subentrano considerazioni sul prezzo e la commerciabilità.

Tra i vostri giochi quale ha avuto maggiore successo? (maggiori vendite in Italia e nel mondo)

I nostri best seller sono *Dobble*, *Dixit* e *Ticket to Ride* a cui si sono aggiunti recentemente anche *Exploding Kittens* e *Throw Throw Burrito*.

Le differenze culturali (nel mondo) incidono sul successo di un gioco rispetto ad un altro?

Può essere. In realtà è sufficiente affermare che non è detto che un successo internazionale lo sia in tutti i paesi del mondo. A volte ci sono sfumature che per retaggio culturale o influenze di moda possono fare la differenza nelle vendite di un prodotto. In generale però è abbastanza raro, ovvero se un gioco è un successo tende a esserlo ovunque.

Quali sono i canali per far conoscere i giochi? (Es: fiera come quella di PLAY, ...).

Il canale primario è ovviamente la fiera, strumento di diffusione imprescindibile, poi ovviamente vengono sfruttati tutti i canali social, ma noi tendiamo a incoraggiare anche le attività nei negozi fisici.

Siamo molto curiosi riguardo alle dinamiche di gioco ed alle tipologie. Quando parlo di dinamiche di gioco mi riferisco ad esempio alle seguenti: dice rolling, simulation, set collection, tile placement, cooperative, solitaire. Per le tipologie intendo, ad esempio: card game, wargame, fantasy, abstract, sci-fi, historical, economic, ecc. Quali sono le dinamiche/ tipologie che vendono di più oggi?

L'Italia rimane un mercato particolare con un occhio che guarda al mercato tedesco, e quindi ai cosiddetti *German*, e un altro che guarda al mercato americano. In realtà ciò di cui abbiamo visto lo sviluppo maggiore sono i *party game* facili e immediati.

Quali sono quelle più promettenti per il futuro?

Noi quest'anno punteremo forte sui giochi di carte

collezionabili, crediamo ci possa essere spazio per la creazione di nuovi giocatori nell'ambito di questa meccanica interessante

Qual è il suo gioco preferito?

Io provengo dal mondo dei giochi di ruolo e per me *Dungeons & Dragons* rimane il primo amore.



Personaggi D&D—Fonte: deviantart.com

Detto questo, il motivo per cui faccio questo mestiere è Dixit e la sua magia.



Fonte: asmodee.it

In passato, nella nostra rivista abbiamo pubblicato contenuti riguardanti *Dobble*, e mi è rimasto un dubbio.



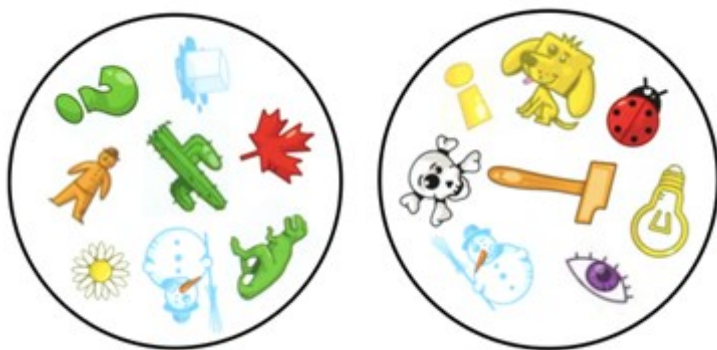
Fonte: asmodee.it

Dobble ha 55 carte, ma così facendo i simboli presenti non appaiono tutti con la stessa fre-

quenza: il pupazzo di neve appare solo 6 volte invece di 8. Altri 14 simboli appaiono invece 7 volte invece di 8.

Bastava aggiungere al gioco le due carte rappresentate qui sotto e tutti i simboli sarebbero apparsi 8 volte.

Per quale motivo Dobble ha 55 carte e non 57?



Credo dipenda dal fatto che un foglio di stampa porti 55 carte e quindi sia una ottimizzazione in questo senso.

Secondo me c'è sotto qualcos'altro ... mi può aiutare a mettermi in contatto con chi può saperlo?

Chiederemo allo studio che lo realizza 😊

Ringraziamo Luca Cattini per la sua disponibilità.

Speriamo di aver iniziato con questa intervista una collaborazione sempre più stretta per il futuro tra la nostra associazione ed Asmodee Italia.

Asmodee Italia ed il C.O.S.Mo. sono realtà che a prima vista sembrano lontane, ma che hanno molti più punti in comune di quanto si possa pensare!



Gli Eventi del C.O.S.Mo

Di seguito l'elenco (parziale) dei prossimi eventi del C.O.S.Mo. Sono quelli che sono già organizzati, ma altri potrebbero essere realizzati, per questo restate sintonizzati con i nostri social (trovate i link in fondo a questa pagina).

Mercoledì 6 dicembre 2023. Ore 21:15

Analisi del secondo volo di Starship

Evento on-line a cura di Latitude 44.5 ([Link](#))

A due settimane dal secondo volo un'analisi di quello che è accaduto

Intervento di *Ciro Sacchetti*

Giovedì 7 dicembre 2023. Ore 19-21

Torniamo sulla Luna. Cinquant'anni dopo

Evento a porte chiuse presso la scuola elementare Anna Frank, Montale (Modena)

Lunedì 18 marzo 2024 ore 16:00 - 18:00

Inizia il nostro corso di 8 lezioni di astrofisica ed astronautica presso la Università della Terza Età (Via Cardinal Morone, Modena).

Per le iscrizioni: 059 221930

2024: UN ALTRO EQUINOZIO CON IL C.O.S.Mo

Ad ogni equinozio, il C.O.S.Mo, in collaborazione con il Civico Planetario "F. Martino" di Modena, presenta una serie di conferenze presso l'Aula Magna del Planetario di Modena. Di seguito il calendario delle conferenze di Marzo-Aprile:

1) Martedì 5 marzo 2023. Ore 21

Aggiornamento su Starship.

Relatori *Ciro Sacchetti e Leonardo Avella*

2) Martedì 12 marzo 2023. Ore 21

Intelligenza Artificiale.

Relatori *Davide Borghi e Leonardo Avella*

3) Martedì 19 marzo 2023. Ore 21.

Base su Marte

I requisiti per una base stabile e operativa e preparazione dei coloni. Diventeremo "marziani"?

Relatore *Luigi Borghi*

4) Martedì 24/10/2023. Ore 21

Carne Artificiale (o meglio: Coltivata)

... evento da confermare ...

5) Martedì 2 aprile 2023. Ore 21

"Arduo da vedere il Lato Oscuro è"

(*Yoda, gran maestro dell'ordine Jedi*)

La missione Euclid e l'esplorazione dell'Universo Oscuro. Comprendendo Materia ed Energia Oscura comprenderemo la Gravità?

Relatore *Roberto Castagnetti*

6) Martedì 9 aprile 2023. Ore 21

Energia: Sole vs Atomo

COP28, e riscaldamento globale: confrontiamo l'energia da fonti rinnovabili con l'atomo

Relatore *Luigi Borghi*



Restate aggiornati!

Seguiteci sui nostri social

[Clicca qui per l'elenco](#)

Per Info e contatti

Sito: www.ilcosmo.net

Email: info@cosmo.net

Uscita del prossimo numero:

MARZO 2024