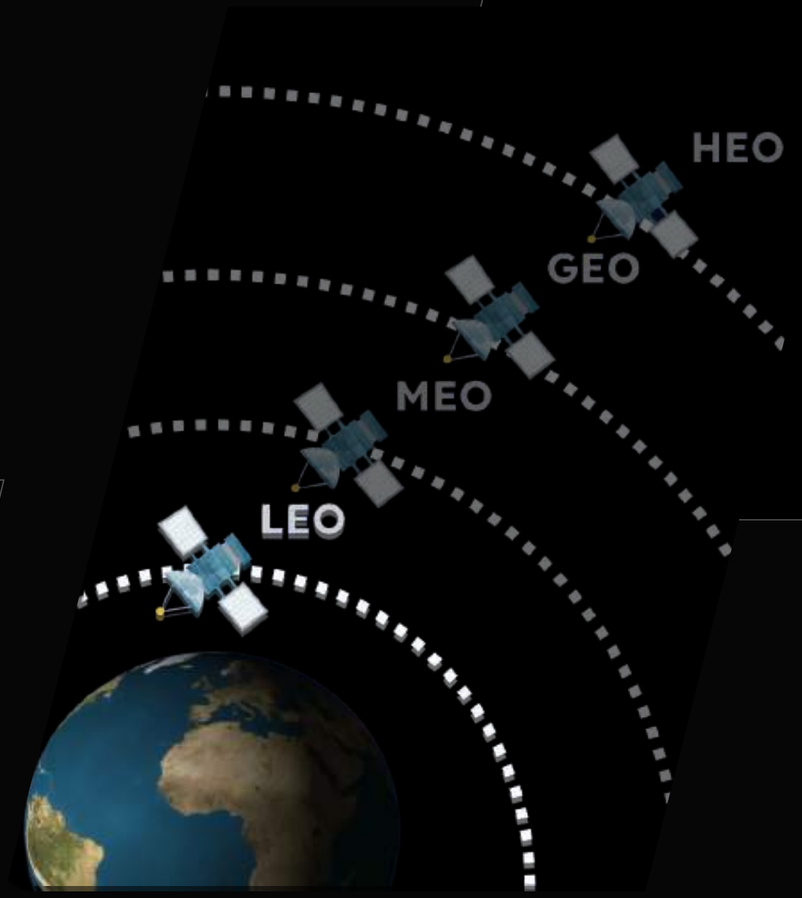
RUSSO CASTRONUOVO CIANCIO

ORBITE E SATELLITI

ORBITE LEO



L'ORBITA BASSA TERRESTRE È LA ZONA PIÙ "POPOLATA", SITUATA TRA I 160 E I 2.000 KM DI QUOTA. È QUI CHE SI TROVANO LA STAZIONE SPAZIALE INTERNAZIONALE (ISS) E LA MAGGIOR PARTE DEI SATELLITI PER L'OSSERVAZIONE DELLA TERRA.

VANTAGGI: BASSA LATENZA PER LE COMUNICAZIONI E RISOLUZIONE ALTISSIMA PER LE FOTO.

VELOCITÀ: PER RESTARE IN ORBITA A QUESTE QUOTE, BISOGNA VIAGGIARE A CIRCA 28.000 KM/H.

DRAG ATMOSFERICO

$$F_D = \frac{1}{2}\rho v^2 C_D A$$

A DIFFERENZA DEL VUOTO PROFONDO, LA LEO NON È COMPLETAMENTE VUOTA. ESISTONO TRACCE DI ATMOSFERA CHE GENERANO UNA FORZA DI ATTRITO CHIAMATA DRAG.

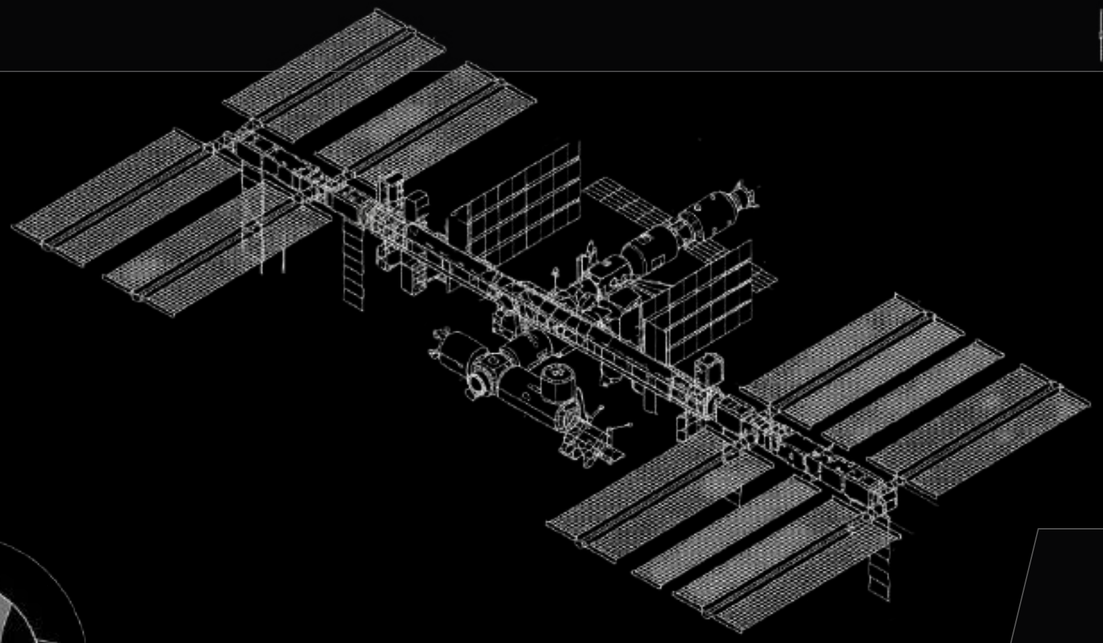
L'EFFETTO: QUESTO ATTRITO RALLENTA COSTANTEMENTE IL SATELLITE. PERDENDO VELOCITÀ, IL SATELLITE PERDE QUOTA, "SPIRALEGGIANDO" VERSO IL BASSO.

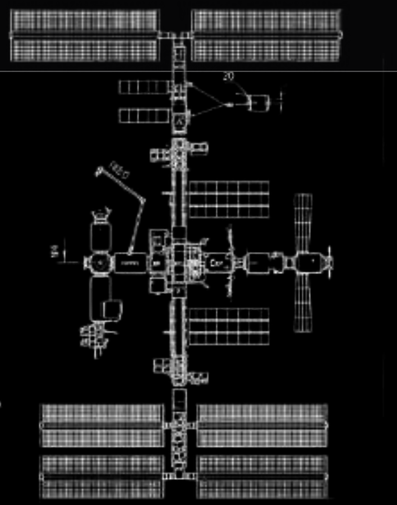
LA SOLUZIONE: I SATELLITI IN LEO DEVONO EFFETTUARE PERIODICAMENTE DEI RE-BOOST (ACCENSIONI DEI MOTORI) PER TORNARE ALLA QUOTA CORRETTA, ALTRIMENTI BRUCEREBBERO RIENTRANDO NELL'ATMOSFERA IN POCHI MESI O ANNI.

GLI ASTRONAUTI A BORDO DELLA ISS VEDONO CIRCA 15 O 16 ALBE E TRAMONTI OGNI 24 ORE PROPRIO A CAUSA DI QUESTO PERIODO COSÌ BREVE!

ISS

ITERNATIONAL SPACE STATION





LA SUA ORBITA DECADE LEGGERMENTE A CAUSA DELL'ATTRITO ATMOSFERICO E VIENE PERIODICAMENTE "ALZATA" (REBOOST).

RAGGIO ORBITALE : 6.789KM

ECCENTRICITÀ : 0 (QUASI CIRCOLARE)

VELOCITÀ ORBITALE : 7.657 M/S (CIRCA 27.565 KM/H)

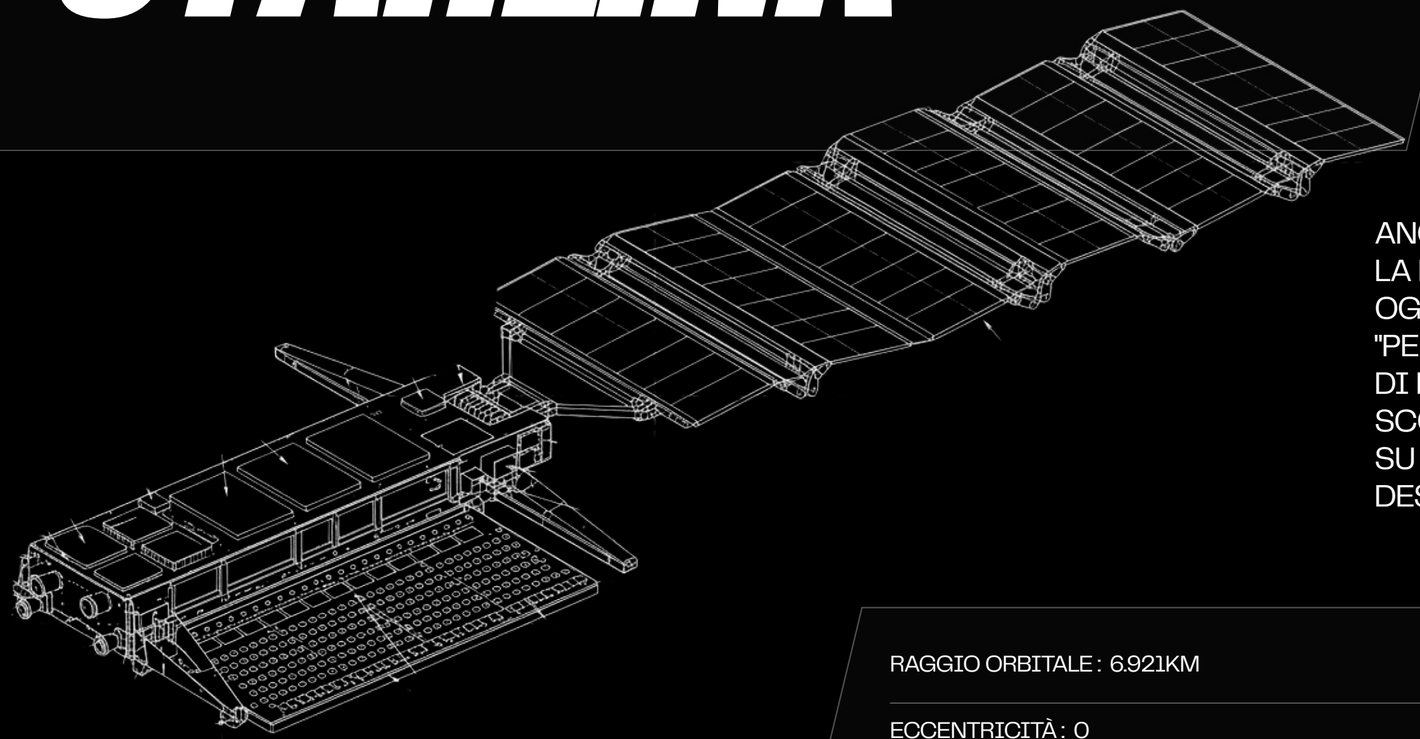
ENERGIA POTENZIALE : -2,638 X 10^{13} J

ENERGIA CINETICA : 1,319 X 10^{13} J

ENERGIA MECCANICA : -1,319 X 10^{13} J

I SATELLITI STARLINK SONO PIU DI 6000, MA COME FANNO A NON SCONTRARSI?

STARLINK



USANO MOTORI INTELLIGENTI, VIAGGIANO IN CORSIE SEPARATE E "PULISCONO" L'ORBITA QUANDO HANNO FINITO DI LAVORARE.

ANCHE SE SONO MIGLIAIA, LA PROBABILITÀ CHE DUE OGGETTI SI COLPISCANO "PER CASO" È COME QUELLA DI DUE FORMICHE CHE SI SCONTRANO CAMMINANDO SU UN CAMPO DA CALCIO DESERTO

RAGGIO ORBITALE : 6.921KM

ECCENTRICITÀ : 0

VELOCITÀ ORBITALE : 7.583 M/S (CIRCA 27.300 KM/H)

ENERGIA POTENZIALE : $-4{,}6 \times 10^{10}$ J

ENERGIA CINETICA : $2{,}3 \times 10^{10}$ J

ENERGIA MECCANICA : $-2{,}3 \times 10^{10}$ J

ORBITE GEO E FASCIA DI CLARKE

ORBITE GEO: UN'**ORBITA GEOSTAZIONARIA** (GEOSTATIONARY EARTH ORBIT O GEO) È UN'ORBITA **CIRCOLARE ED EQUATORIALE** SITUATA A UNA ALTEZZA TALE PER CUI IL PERIODO DI RIVOLUZIONE DI UN SATELLITE CHE LA PERCORRE COINCIDE CON UN **GIORNO SIDERALE TERRESTRE.**

FASCIA DI CLARKE: LA DISTANZA PER CUI SI HA UN'ORBITA GEOSTAZIONARIA È ANCHE CHIAMATA **FASCIA DI CLARKE**, DALLO SCRITTORE DI FANTASCIENZA E SCIENZIATO BRITANNICO **ARTHUR C. CLARKE**, CHE NEL 1945 IPOTIZZÒ PER PRIMO L'USO DI QUEST'ORBITA PER I SATELLITI DI TELECOMUNICAZIONI.

IMPORTANZA DELLA FASCIA: ESSA È FONDAMENTALE PER LA TELEVISIONE SATELLITARE E LE TELECOMUNICAZIONI, POICHÉ PERMETTE ALLE PARABOLE DI RIMANERE PUNTATE IN UNA DIREZIONE FISSA.

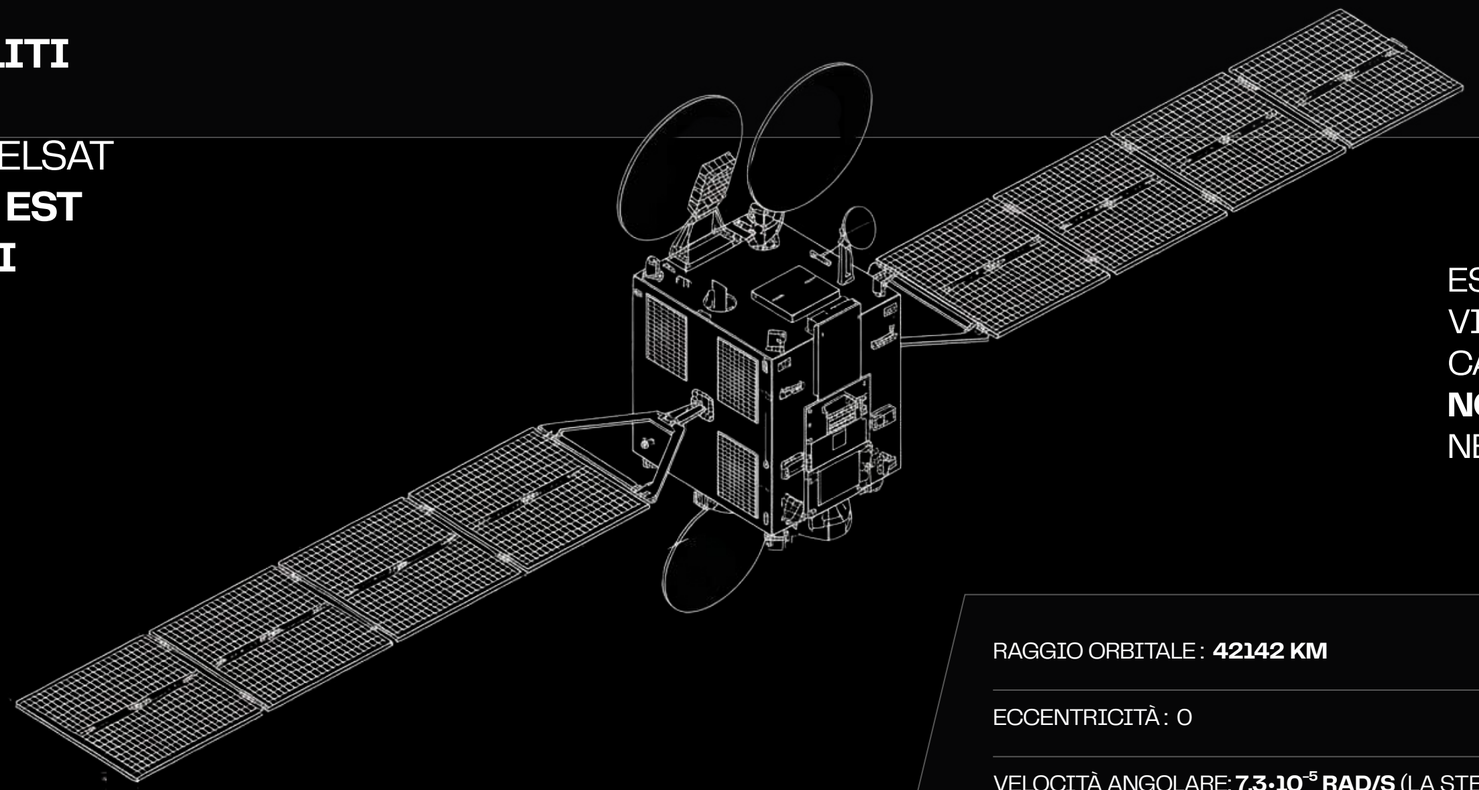
CALCOLO DEL RAGGIO: POICHÈ IL PERIODO ORBITALE DEL SATELLITE COINCIDE CON IL PERIODO DI ROTAZIONE DELLA TERRA, PER CALCOLARE IL RAGGIO DELL'ORBITA DEL SATELLITE USEREMO LA **TERZA LEGGE DI KEPLERO**, CIOÈ LA **LEGGE DEI PERIODI**.
TRAMITE QUESTA LEGGE SI TROVERÀ CHE:

- LA DISTANZA DAL **CENTRO DELLA TERRA** EQUIVALE A CIRCA **42142 KM**
- LA DISTANZA DALLA **SUPERFICIE TERRESTRE** EQUIVALE A CIRCA **35771 KM**

*IL **GIORNO SIDERALE TERRESTRE** È IL TEMPO CHE IMPIEGA LA TERRA A COMPIERE UN GIRO COMPLETO ATTORNO AL PROPRIO ASSE E DURA CIRCA
23 ORE, 56 MINUTI E 4 SECONDI

HOT BIRD

IL NOME **HOTBIRD** RAPPRESENTA UN INSIEME DI **SATELLITI GEOSTAZIONARI** POSSEDUTI DA EUTELSAT POSIZIONATI A **13° EST DAL MERIDIANO DI GREENWICH.**



ESSI PERMETTONO LA VISIONE DI OLTRE 1000 CANALI TV E RADIO NEL **NORD AFRICA**, **EUROPA** E NEL **MEDIO ORIENTE**

RAGGIO ORBITALE : **42142 KM**

ECCENTRICITÀ : 0

VELOCITÀ ANGOLARE: **$7{,}3 \cdot 10^{-5}$ RAD/S** (LA STESSA DI QUELLA TERRESTRE)

VELOCITÀ TANGENZIALE: **3073 M/S**

ENERGIA MECCANICA: **$-2{,}12 \cdot 10^{10}$ J**

ENERGIA POTENZIALE: **$-4{,}25 \cdot 10^{10}$ J**

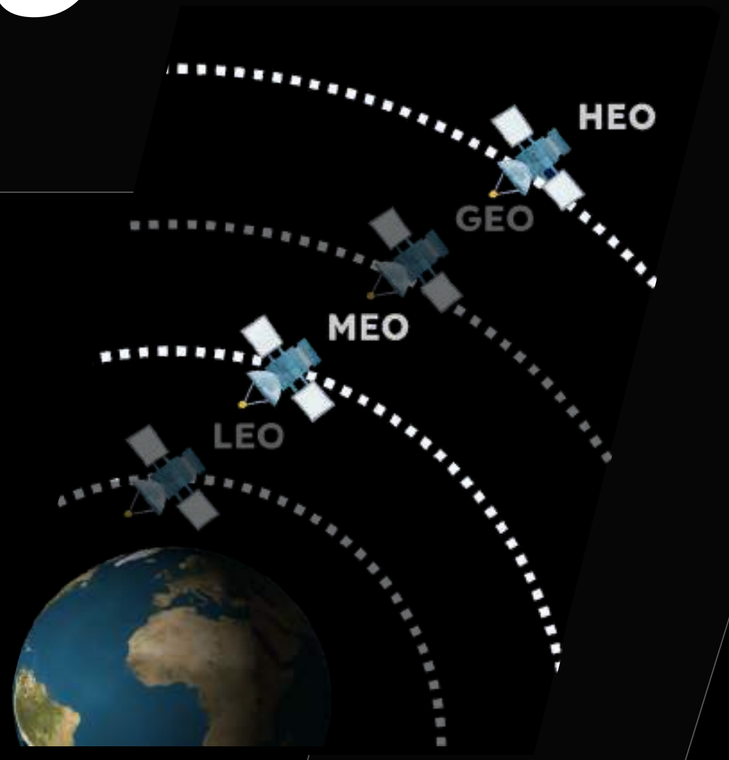
ENERGIA CINETICA: **$2{,}12 \cdot 10^{10}$ J**

ORBITE MEO E HEO

ORBITE MEO

L'ORBITA MEO OCCUPA LA VASTA REGIONE DI SPAZIO COMPRESA TRA L'ORBITA TERRESTRE BASSA (LEO, SOTTO I 2.000 KM) E L'ORBITA GEOSTAZIONARIA (GEO, A 35.786 KM).

QUESTA È L'ORBITA "REGINA" PER I SISTEMI DI NAVIGAZIONE GLOBALE (GNSS), COME LO STATUNITENSE GPS, L'EUROPEO GALILEO E IL RUSSO GLONASS. POSIZIONARE I SATELLITI A QUESTA ALTEZZA È IL COMPROMESSO PERFETTO: SONO ABBASTANZA ALTI DA COPRIRE VASTE AREE DEL PIANETA CONTEMPORANEAMENTE, MA ABBASTANZA BASSI DA NON RICHIEDERE ANTENNE O TRASMETTITORI DI DIMENSIONI SPROPOSITATE SULLA TERRA.

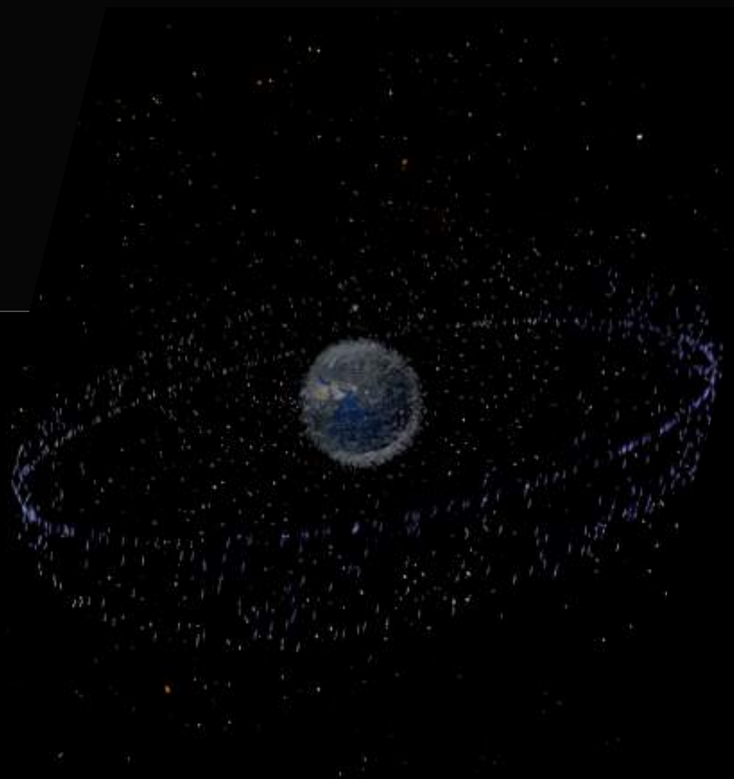


ORBITE HEO

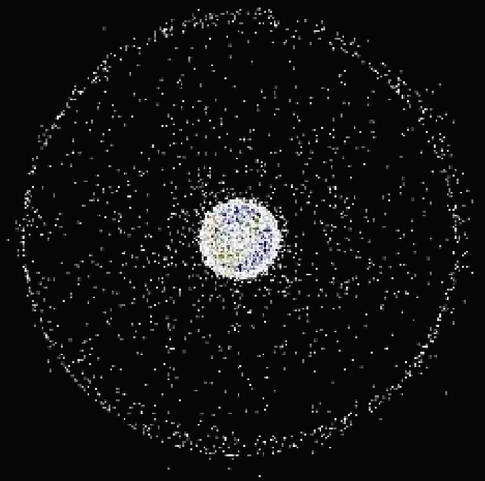
LE ORBITE HEO INDICA NO QUALSIASI ORBITA CIRCOLARE CHE SI TROVI OLTRE L'ORBITA GEOSTAZIONARIA (QUINDI A PIÙ DI 35.786 KM DALLA SUPERFICIE).

QUESTA ZONA È USATA PRINCIPALMENTE PER SATELLITI SCIENTIFICI, TELESCOPI SPAZIALI O COME "ORBITA CIMITERO" (GRAVEYARD ORBIT) DOVE VENGONO SPOSTATI I VECCHI SATELLITI GEOSTAZIONARI A FINE VITA PER NON CREARE INTRALCIO.

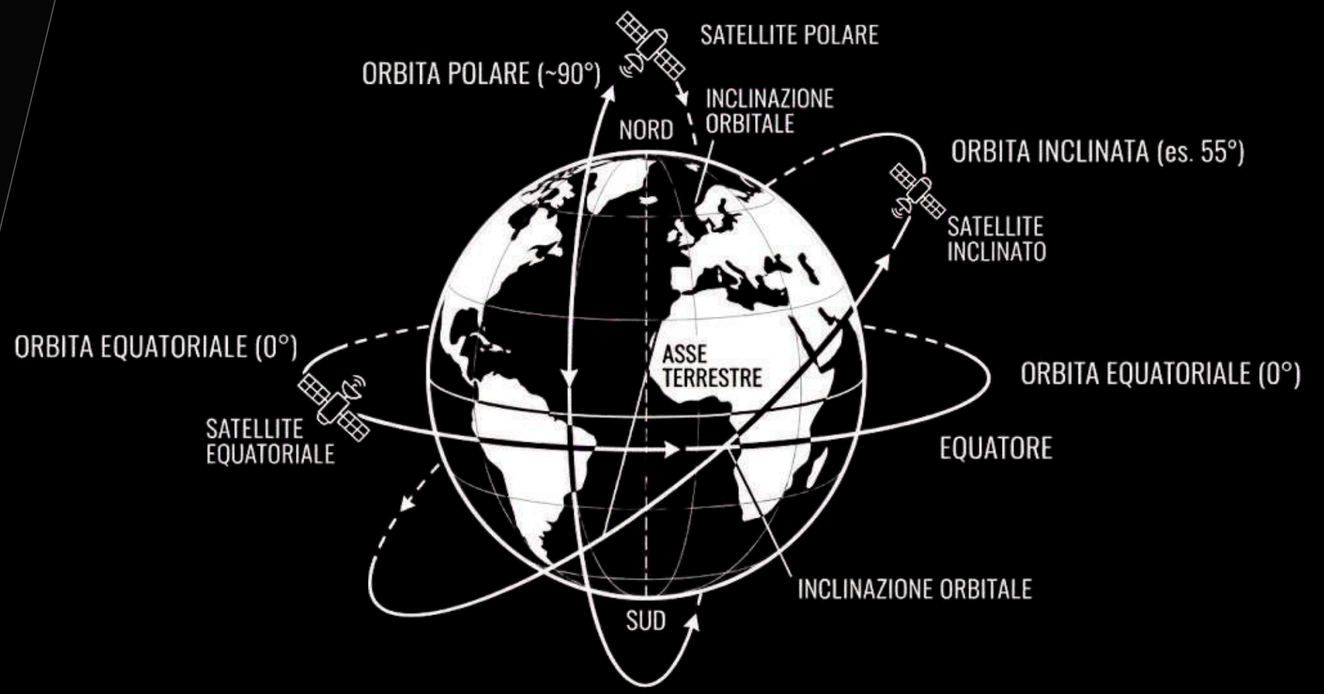
ORBITE CIMITERO



L'ORBITA CIMITERO, POSTA A CIRCA 300 KM AL DI SOPRA DELL'ORBITA GEOSTAZIONARIA, È UNA DELLE PIÙ ESTREME ORBITE INTORNO ALLA TERRA DESTINATA AD ACCOGLIERE, AD ESEMPIO, SATELLITI IN DISUSO O APPARECCHIATURE CHE HANNO TERMINATO IL LORO CICLO DI FUNZIONALITÀ[1].
L'ORBITA CIMITERO ATTUALMENTE NON INTERSECA ALTRE ORBITE "COMMERCIALI" O "SCIENTIFICHE".



ORBITE E INCLINAZIONI



EQUATORIALE (0°): IDEALE PER SATELLITI GEOSTAZIONARI (FISSI NEL CIELO).

POLARI(90°): COPRE L'INTERO GLOBO MENTRE LA TERRA RUOTA SOTTO IL SATELLITE.

INCLINATA (X°): COMPROMESSO OPERATIVO PER RAGGIUNGERE BASI DI LANCIO SPECIFICHE.

THANK YOU

RUSSO CASTRONUOVO CIANCIO

ANALISI ENERGETICA DELL'UNIVERSO

INDICE

01 Analisi dei grafici di potenziale, definizione dei punti di equilibrio stabile e instabile

02 Analisi dell’orbita di Mercurio: il calcolo classico e l’anomalia. L’idea di vulcano

03 Il termine correttivo di Einstein e la modifica al potenzial: la precessione

04 Calcolo della sfera di influenza (Sol)

05 L’equazione di Firedmann e la costante di Hubble

06 Il destino dell’universo

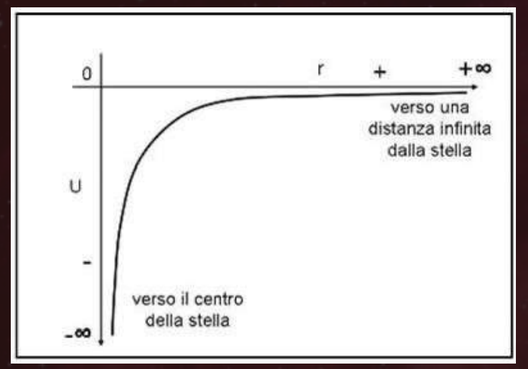
ANALISI DEI GRAFICI DI POTENZIALE, DEFINIZIONE DEI PUNTI DI EQUILIBRIO STABILE E INSTABILE

01 Il potenziale gravitazionale descrive l’energia del campo generato da una massa.

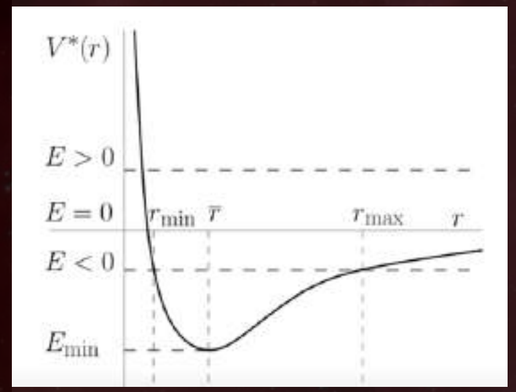
02 Il grafico diminuisce con la distanza e tende a zero all’infinito.

03 L’equilibrio si ha quando la forza è nulla, cioè dove il potenziale è minimo o massimo.

04 Un minimo corrisponde a equilibrio stabile, mentre un massimo corrisponde a equilibrio instabile.



$$V(r) = -\frac{G \cdot M}{r}$$



1. **Termine attrattivo (Gravità):** $-\frac{GM}{r}$
2. **Termine repulsivo (Barriera centrifuga):** $+\frac{L^2}{2mr^2}$

ANALISI DELL'ORBITA DI MERCURIO: IL CALCOLO CLASSICO E L'ANOMALIA. L'IDEA DI VULCANO

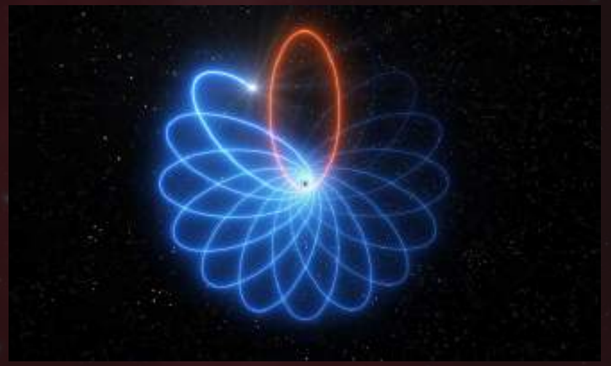
$$F = G\frac{Mm}{r^2}$$

01 Mercurio presenta una precessione anomala del perielio

02 Le previsioni di Newton non coincidevano con le osservazioni.

03 Si ipotizzò l'esistenza del pianeta Vulcano, mai trovato.

04 Einstein spiegò tutto con la relatività generale e la curvatura dello spazio-tempo.



$$\Delta\phi = \frac{24\pi^3 a^2}{T^2 c^2 (1 - e^2)}$$

IL TERMINE CORRETTIVO DI EINSTEIN E LA MODIFICA AL POTENZIAL: LA PRECESSIONE

01 Il potenziale gravitazionale descrive l’energia del campo generato da una massa.

02 Einstein introdusse la costante cosmologica per mantenere questo Il grafico diminuisce con la distanza e tende a zero all’infinito.

03 L’equilibrio si ha quando la forza è nulla, cioè dove il potenziale è minimo o massimo.

04 Un minimo corrisponde a equilibrio stabile, mentre un massimo corrisponde a equilibrio instabile.

$$V_{Newton}(r) = -\frac{GMm}{r}$$

$$V_{eff}(r) = \frac{L^2}{2mr^2} - \frac{GMm}{r}$$

$$V_{Einstein}(r) = \underbrace{\frac{L^2}{2mr^2} - \frac{GMm}{r}}_{Newton} \underbrace{- \frac{GML^2}{mc^2r^3}}_{Correzione}$$

$$\Delta\phi \approx \frac{6\pi GM}{a(1-e^2)c^2}$$

CALCOLO DELLA SFERA DI INFLUENZA (SOL)

01 La gravità nel Sistema Solare è dominata principalmente dal Sole e dai pianeti vicini.

02 La Sfera di Influenza (SoI) è la regione in cui prevale la gravità di un pianeta rispetto al Sole.

03 Per la Terra, la SoI si estende fino a circa 925.000 km di distanza.

04 Dentro questo limite le orbite sono legate alla Terra, fuori sono dominate dal Sole.

$$r_{SoI} = a \cdot \left(\frac{m}{M}\right)^{2/5}$$

- $a = 150.000.000\ \text{km}\ (1,5 \times 10^{8}\ \text{km})$

$$m_{Terra} = 5,97 \times 10^{24}\ \text{kg}$$

$$M_{Sole} = 1,98 \times 10^{30}\ \text{kg}$$

$$\frac{m}{M} = \frac{5,97 \times 10^{24}}{1,98 \times 10^{30}} \approx 3,01 \times 10^{-6}$$

$$(3,01 \times 10^{-6})^{0,4} \approx 0,00617$$

$$r_{SoI} = 150.000.000\ \text{km} \times 0,00617 \approx$$

$$\approx \mathbf{925.000}\ \text{km}$$

L’EQUAZIONE DI FIREDMANN E LA COSTANTE DI HUBBLE

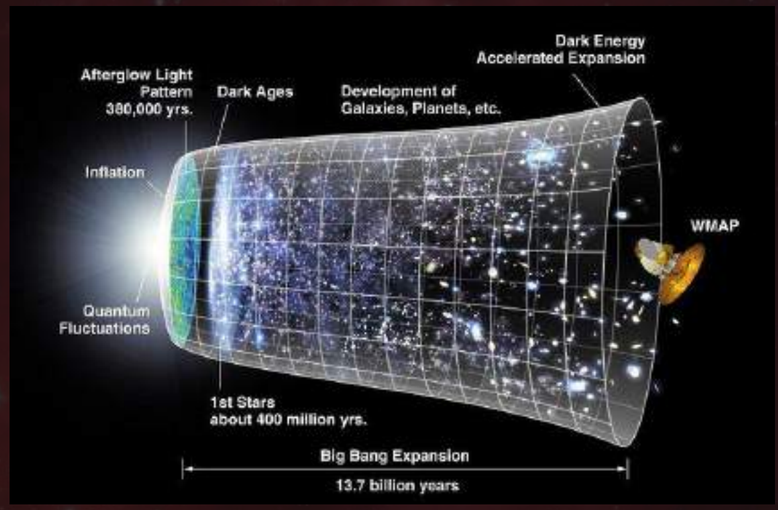
01 L’Universo era inizialmente considerato statico e immobile.

02 Einstein introdusse la costante cosmologica per mantenere questo equilibrio.

03 Hubble scoprì che le galassie si allontanano le une dalle altre.

04 Questo dimostra che l’universo è in espansione e non statico

$$v = H_0 \cdot d$$



$$T \approx 1/H_0$$

$$H^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{kc^2}{a^2}$$

IL DESTINO DELL'UNIVERSO

01 Il destino dell'universo dipende dal bilancio tra espansione e gravità.

02 Questo equilibrio è determinato dalla densità rispetto a quella critica.

03 Se la densità è bassa, l'universo si espande per sempre (big freeze); se è alta, collassa (big crunch).

04 Oggi sappiamo che l'energia oscura accelera l'espansione, rendendo più probabile un universo freddo e in espansione continua espansione.

$$\frac{1}{2}m(H \cdot R)^2 - \frac{G \cdot m \cdot (\rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3)}{R} = 0$$

1. **Energia Cinetica (K):** $K = \frac{1}{2}mv^2$

$$\rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G}$$

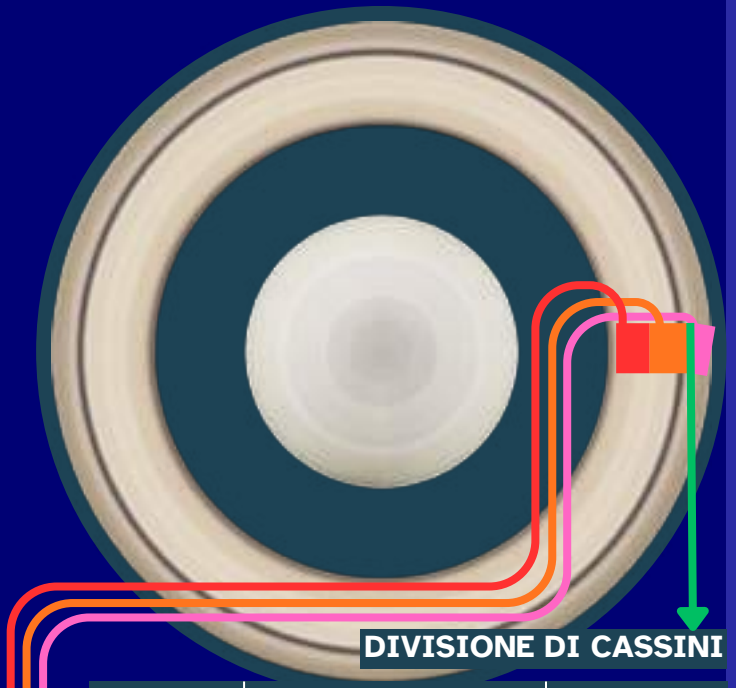
$$v = H \cdot R$$

$$U = -\frac{GmM}{R}$$

THANK YOU

Realizzato da Elvira Pambianco, Giusy Carrozza, Michelangelo Falvino, Michela Coiro, Alessia Binetti e Luca Lovito.

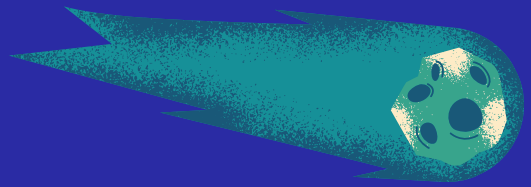
ANELLI DI SATURNO



Nome	Distanza dal centro di Saturno	Larghezza
Anello A	122200-136800 km	14600 km
Anello B	92000-117500 km	25500 km
Anello C	73800-92000 km	17500 km

Gli anelli di Saturno sono composti da miliardi di frammenti di roccia e ghiaccio, organizzati in sette fasce separate da divisioni quasi vuote, la cui struttura è regolata dai satelliti pastori. Si estendono da 6.600 a 120.000 km dalla superficie, sono denominati con le prime lettere dell'alfabeto e hanno uno spessore medio di soli 10 m. Essendo l'asse di Saturno inclinato, gli anelli risultano visibili dalla Terra.

LA FRAMMENTAZIONE DELLE COMETE



La frammentazione delle comete può essere attribuita essenzialmente a tre effetti: all'urto con un meteorite, a effetti mareali di un corpo maggiore, alle conseguenza dello shock termico derivante da un repentino riscaldamento del nucleo cometario.

COMETA SHOEMAKER-LEVY 9

La cometa Shoemaker-Levy 9 è divenuta famosa perché è stata la prima cometa osservata durante la sua caduta su un pianeta. Scoperta il 25 marzo 1993 destò immediatamente l'interesse della comunità scientifica. Gli studi dell'orbita della cometa portarono alla conclusione che essa sarebbe precipitata su Giove nel luglio del 1994. Questo chiarì il significato di piccoli crateri, posti in linea retta uno dopo l'altro che si trovano sulla Luna e su altri corpi rocciosi. È evidente che una cometa passò troppo vicino al nostro pianeta e andò a finire contro la Luna causando la catena di crateri.

VIAGGIO D'ISTRUZIONE NELLO SPAZIO

A cura di Salvatore Borraccia, Manuel De Marca e Gabriele Sassano

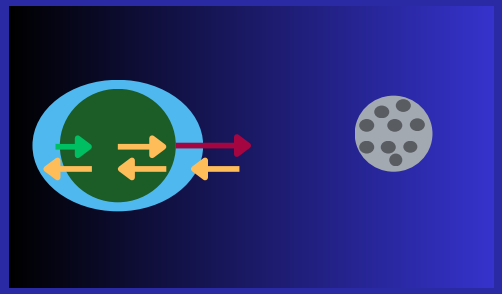
PERCORSO

- Partenza dalla Terra;
- Sguardo alla Luna al perigeo;
- Vista su Saturno e sui suoi anelli;
- Ritorno verso casa con sguardo alla Luna all'apogeo;
- Atterraggio sulla Terra.

20 APRILE 2026

LA FORZA DI MAREA

La forza di marea benchè sia un fenomeno naturale ampiamente conosciuto non sempre è ben compreso, infatti intuitivamente ci verrebbe da dire che è l'effetto della gravità della Luna sulla Terra attirando la parte di oceano più vicina a se, ma ciò e solo parzialmente corretto in quanto possiamo notare che si forma l'"alta" marea sia sulla parte che guarda la Luna, ma anche sulla parte opposta mentre sulle parti intermedie si forma la "bassa" marea.



Per spiegare ciò prendiamo in considerazione la prima nozione più semplice,
a questa situazione iniziale però va aggiunta la nozione che la Terra non avverte la forza di attrazione media proprio perché è in caduta libera verso la Luna senza vincoli. Da questo ne deriva quindi la sottrazione del vettore medio agli estremi che dunque si bilanciano in versi opposti, oltre alla conseguenza dello schiacciamento dei poli (processo di spaghettificazione). Inoltre le forze di marea sono anche causa di dispersione energetica e questo ha fatto sì che nel tempo la luna eguagliasse la sua rotazione con la rivoluzione terrestre. Inoltre proprio per queste forze la Luna si sta progressivamente allontanando.

IL LIMITE DI ROCHE

Édouard Roche (1820-1883)

Il limite o il raggio di Roche prende il nome dall'astronomo e matematico francese che l'ha calcolato intorno al 1850.
Il raggio di Roche è la distanza minima a cui un corpo, tenuto insieme dalla propria gravità, può avvicinarsi a un pianeta o ad una stella senza essere distrutto dalle forze di marea.

Esistono 2 formule per calcolare il limite di Roche, in base al tipo di satellite:

Satellite fluido

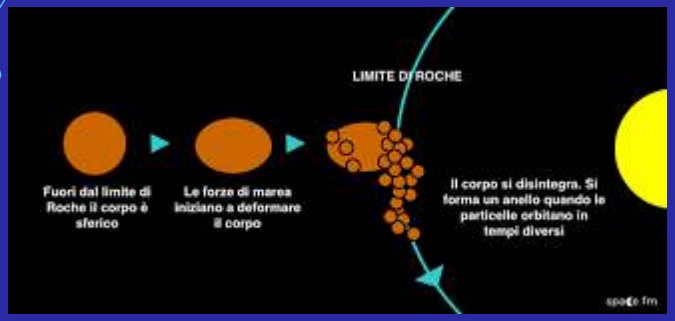
$$d = R_M \cdot \left(2{,}44 \frac{\rho_M}{\rho_m}\right)^{1/3}$$

Satellite rigido

$$d = R_M \cdot \left(1{,}26 \frac{\rho_M}{\rho_m}\right)^{1/3}$$

In cui:

- d = raggio di Roche
- R_M = raggio del pianeta
- ρ_M = densità del pianeta
- ρ_m = densità del satellite



Pultroppo, non possiamo immergerci a fondo nella dimostrazione di queste formule per via di calcoli matematici non ancora trattati, ma
possiamo utilizzare una forma approssimata la cui dimostrazione può essere visionata da qui:

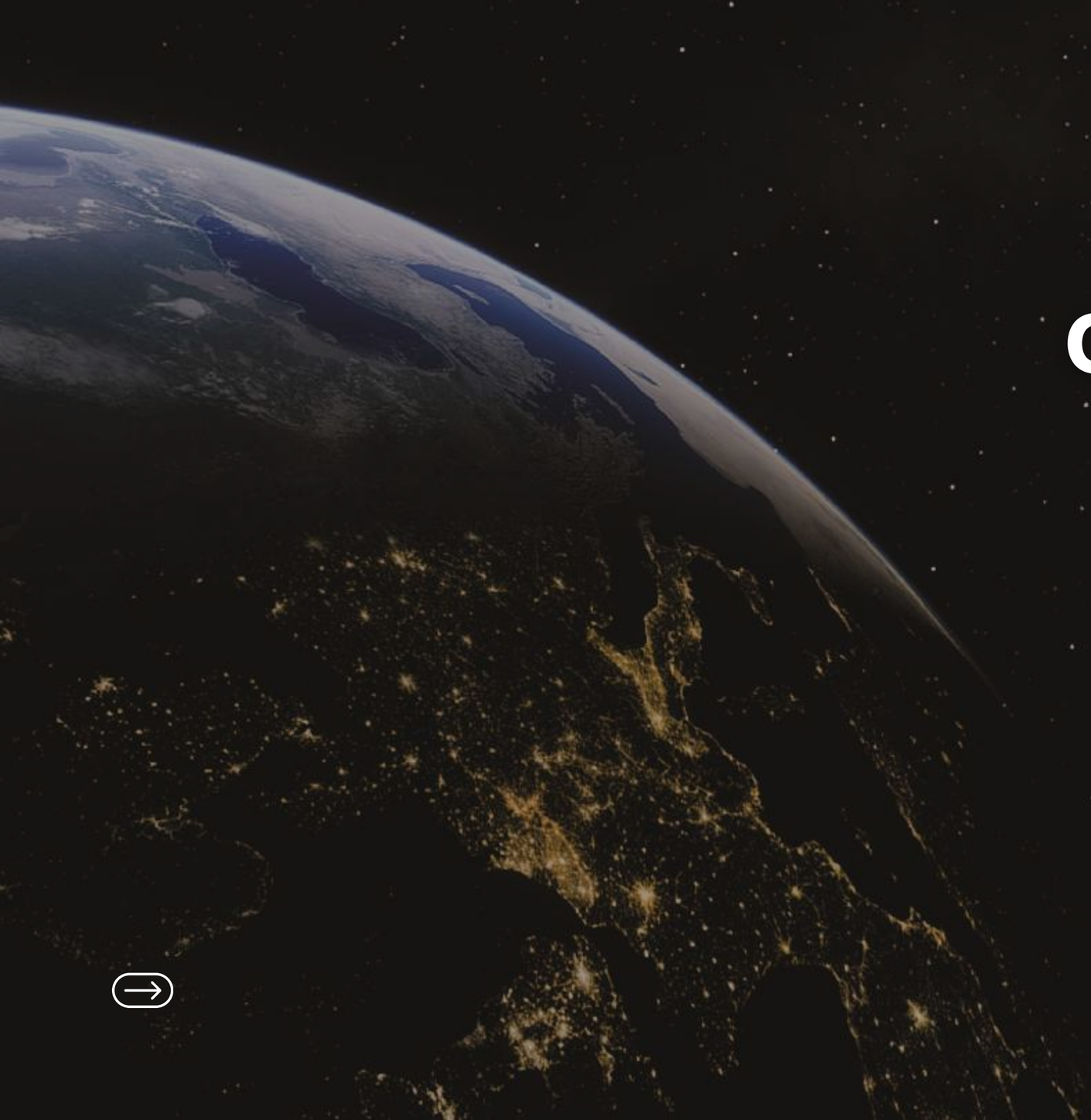
oppure al link
https://drive.google.com/file/d/1LQxNh1CsmNBGoMH6ihLAVC4Z8bKznvPA/view?usp=sharing

Utilizziamo quindi questa stima del limite di Roche per satellite rigido/fluido e otteniamo quello della Terra e quello di Saturno:

- Terra → $8{,}03 \cdot 10^6$ m
- Saturno → $1{,}42 \cdot 10^8$ m

La Luna dunque si trova in una zona sicura in quanto non rischia la frammentazione (fenomeno che avviene quando le forze di marea superano quelle di coesione del satellite) trovandosi a 3,44 x 10^8m (ben 47 volte più lontano dal limite)

LA FISICA DELLA
GRAVITÀ



COSA TRATTEREMO

- Velocità di fuga e raggio di Schwarzschild
- I buchi neri e l’orizzonte degli eventi
- ·La formula di Einstein per la deflessione, l’indice di rifrazione gravitazionale
- Ottica gravitazionale: l’effetto delle lenti gravitazionali ,·l’esperimento di Eddington, anelli e croci di Einstein

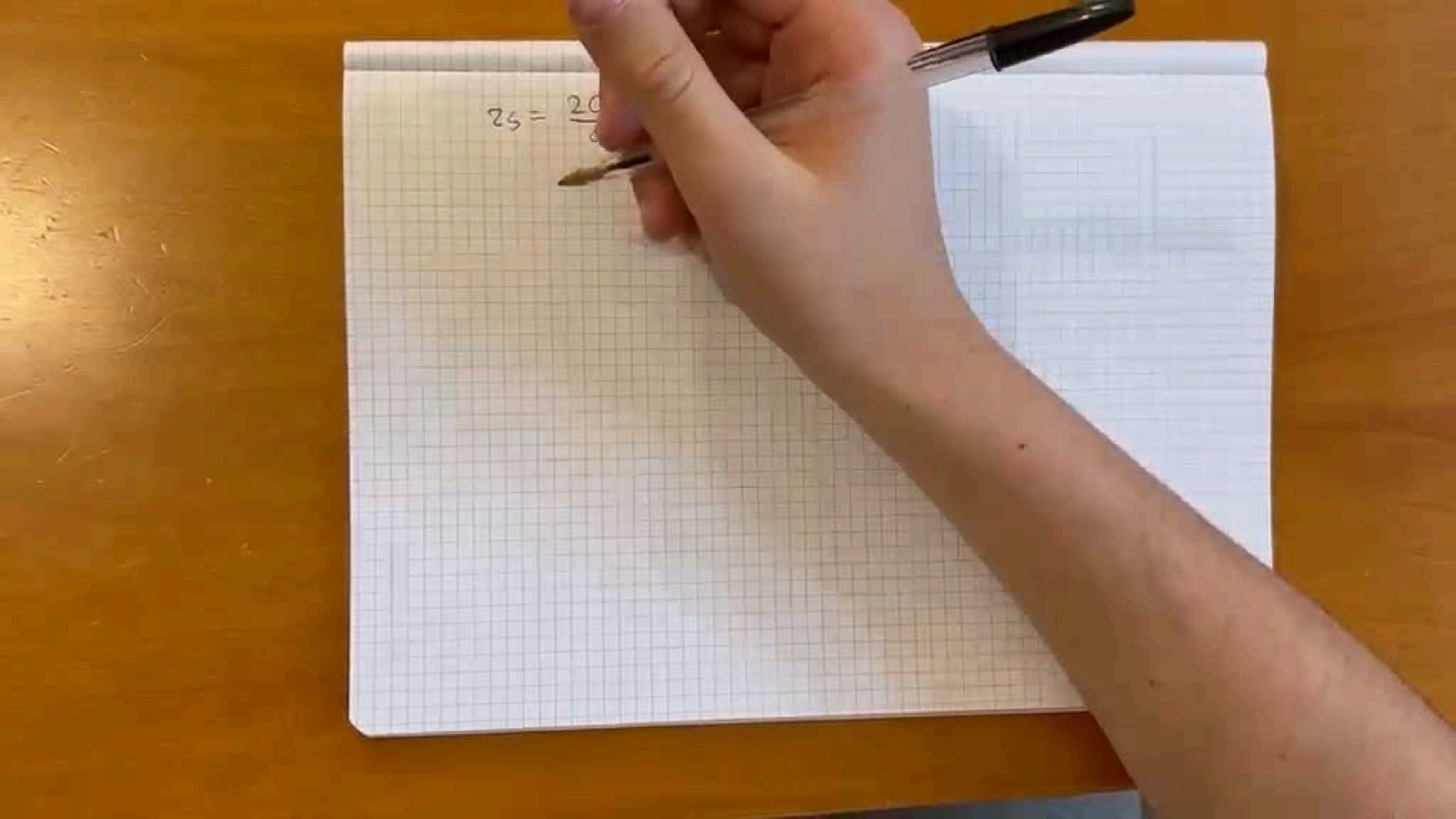
LA VELOCITÀ DI FUGA

La velocità di fuga è la velocità minima che un oggetto deve viaggiare per liberarsi dall'attrazione gravitazionale di un corpo celeste, come un pianeta o una luna, e non tornare mai.

IL RAGGIO DI SCHWARZSCHILD

Il raggio di schwarzschild è la misura del raggio che un corpo celeste deve avere per diventare un buco nero.
Prende il nome dal fisivo Karl che nel 1916 scoprì questa misura

adidas



I BUCHI NERI

COSA SONO?

Sono regioni dello spazio dove la gravità è così intensa che nulla può sfuggire, nemmeno la luce.

Già nel 1700, John Michell e Laplace ipotizzano stelle così massicce da trattenere perfino la luce.

I buchi neri sono semplici (No-Hair Theorem)

- Un buco nero è descritto solo da:
  - massa
  - rotazione
  - carica elettrica (di solito nulla)
- Tutte le altre informazioni vengono “perse” oltre l’orizzonte.
- raqggi x emessi dalla materia che cade
- movimenti delle stelle vicine
- effetti di lente gravitazionale

gas che si riscalda e brilla mentre cade dentro
onde gravitazionali da collisione

CYGNUS X-1

Nel 2019 è arrivata la prima immagine reale di un buco nero, grazie al progetto Event Horizon Telescope.
Non è una foto diretta del buco nero, ma:
dell’ombra che proietta sul gas incandescente attorno
L’immagine riguarda il buco nero nella galassia Messier 87.

DENTRO UN BUCO NERO

Secondo la Relatività generale, tutta la massa collassa fino a un punto chiamato singolarità.
Qui succede qualcosa di estremo:
densità → infinita
volume → praticamente zero
le leggi della fisica, come le conosciamo, smettono di funzionare

Il confine chiave è chiamato orizzonte degli eventi:

- È il punto di non ritorno
- Una volta superato, non puoi più uscire

Se ti avvicinassi troppo, entreresti in un processo chiamato spaghettificazione:

- La gravità tira più forte sui piedi che sulla testa
- Il tuo corpo si allunga e si comprime

Tempo avvicinandoti all'orizzonte degli eventi:
per un osservatore lontano → sembri rallentare sempre di più
per te → il tempo scorre normalmente
Questo effetto si chiama dilatazione del tempo gravitazionale.

il paradosso dell'informazione

- La relatività dice che l'informazione sparisce in un buco nero.
- La meccanica quantistica dice che l'informazione non può andare perduta.

Il fisico Stephen Hawking ha proposto che i buchi neri non siano completamente "neri".
Possono emettere una debole energia chiamata:
radiazione di Hawking

se il Sole fosse sostituito da un buco nero con la stessa massa:

- i pianeti continuerebbero a orbitare normalmente
- cambierebbe solo la luce (diventerebbe buio)

SAGITTARIUS A*

La Via Lattea è una galassia giovane a spirale ed è accompagnata da due galassie satelliti: la Grande e la Piccola Nube Magellano.

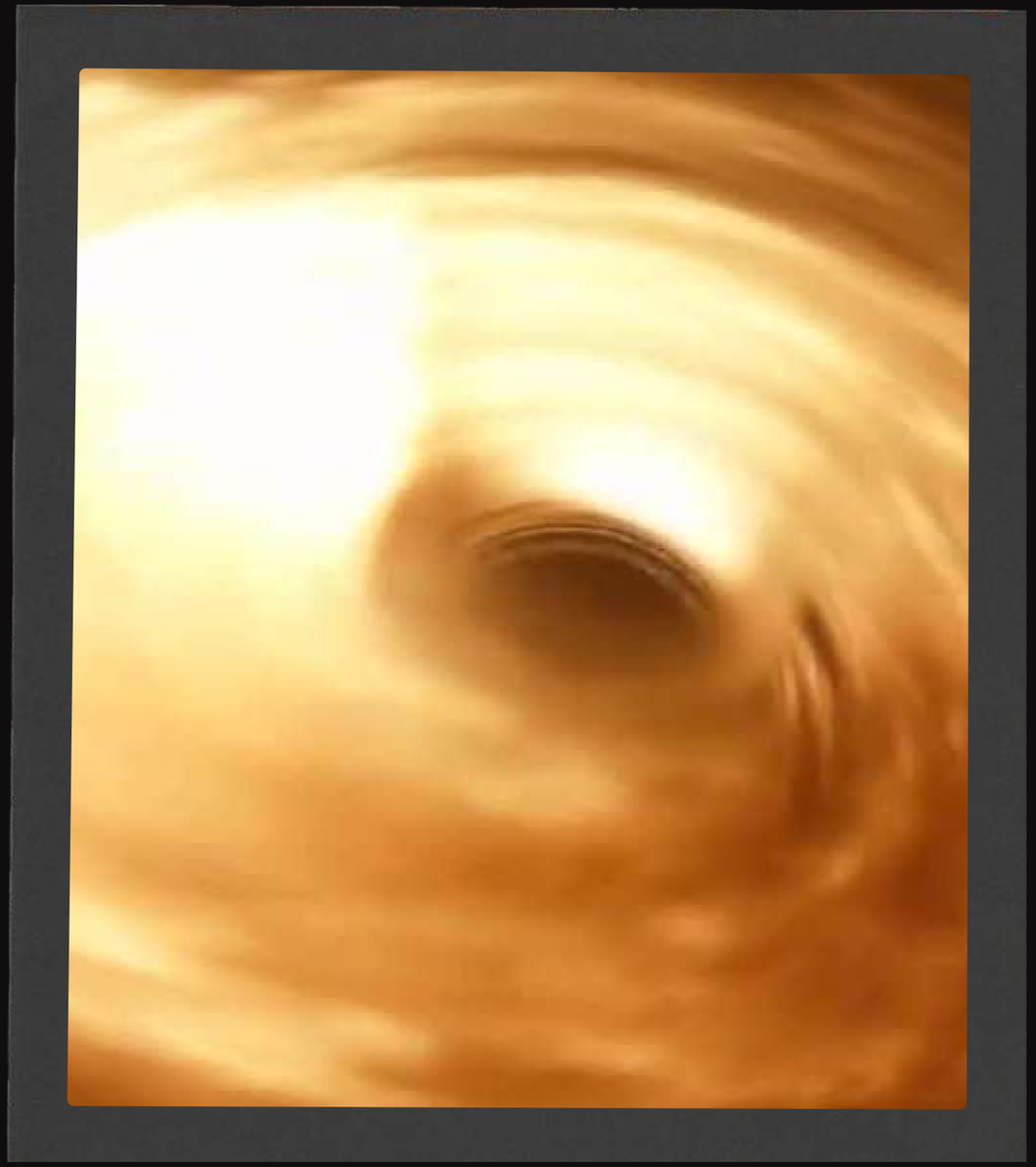
E’ un buco nero supermassiccio
Yihan Wang spiega che la rapida rotazione e il suo disallineamento con il momento angolare della Via Lattea potrebbero essere la prova di una passata fusione di buchi neri, frutto dell’interazione tra la Via Lattea con la galassia Gaia Enceladus.

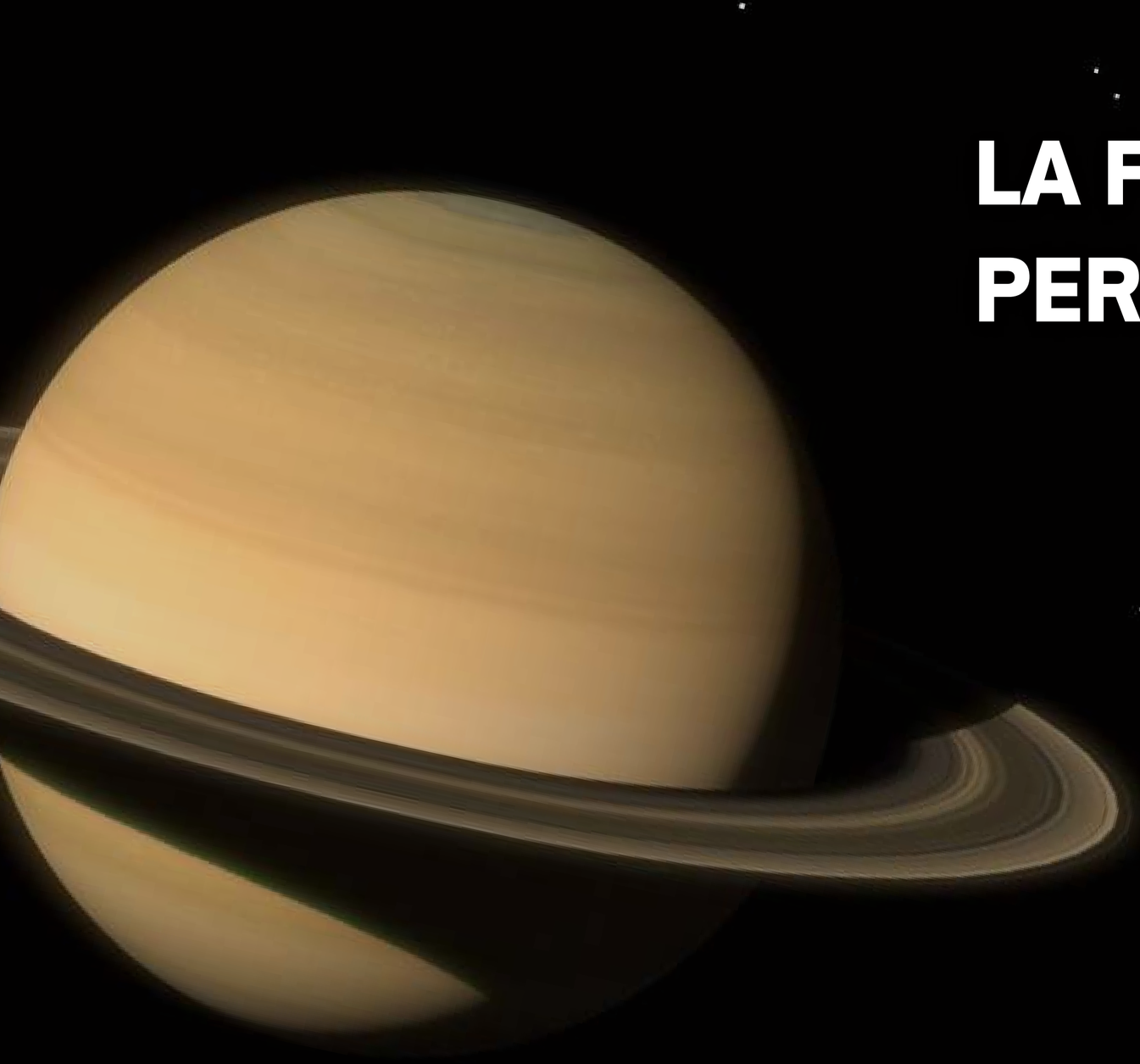
Le scoperte in seguito a numerose simulazioni condotte da astrofisici, suggeriscono che una fusione con rapporto di massa di 4:1 è la spiegazione migliore per le sue caratteristiche di rotazione uniche, ed è probabilmente avvenuta circa 9 miliardi di anni fa.

Sagittarius A èstato osservato dalle orbite delle stelle vicine; le prime prove risalgono agli anni ‘70, nel 1990 il telescopio Hubble e altri stumenti diedero dati più concreti sulla sua esistenza.

i ricercatori che hanno condotto gli studi e esaminato i vari risultati ottenuti, Genzel e Ghez, hanno vinto il premio Nobel 2020.

Gli astrofisici ritengono che questa scoperta potrebbe aiutare a prevedere fusioni simili utilizzando rilevatori di onde gravitazionali spaziali, come il Laser Interferometer Space Antenna (LISA), il cui lancio è previsto per il 2035.





LA FORMULA DI EINSTEIN PER LA DEFLESSIONE

Quando pensiamo alla luce, immaginiamo che viaggi sempre in linea retta. In realtà, secondo la Relatività generale di Albert Einstein, le cose funzionano in modo diverso. Einstein ha capito che la gravità non è una forza come le altre, ma è una deformazione dello spazio e del tempo. Possiamo immaginare lo spazio come un telo elastico: se mettiamo sopra una massa molto grande, come il Sole, questo telo si incurva. Di conseguenza, anche la luce, passando vicino, non segue più una linea retta, ma una traiettoria curva.

Questo fenomeno si chiama deflessione gravitazionale della luce. Einstein lo ha descritto con una formula che mostra che la deviazione aumenta se la massa è maggiore e se la luce passa più vicino all'oggetto. Per esempio, un raggio di luce che sfiora il Sole viene deviato di una quantità molto piccola, circa 1,75 secondi d'arco, ma comunque misurabile. Questa previsione fu confermata nel 1919 dall'esperimento di Arthur Eddington durante un'eclissi solare, quando si osservò che le stelle vicino al Sole apparivano leggermente spostate. Fu una scoperta importantissima, perché dimostrò che Einstein aveva ragione e lo rese famoso in tutto il mondo.

Salford & Co.

STORIA

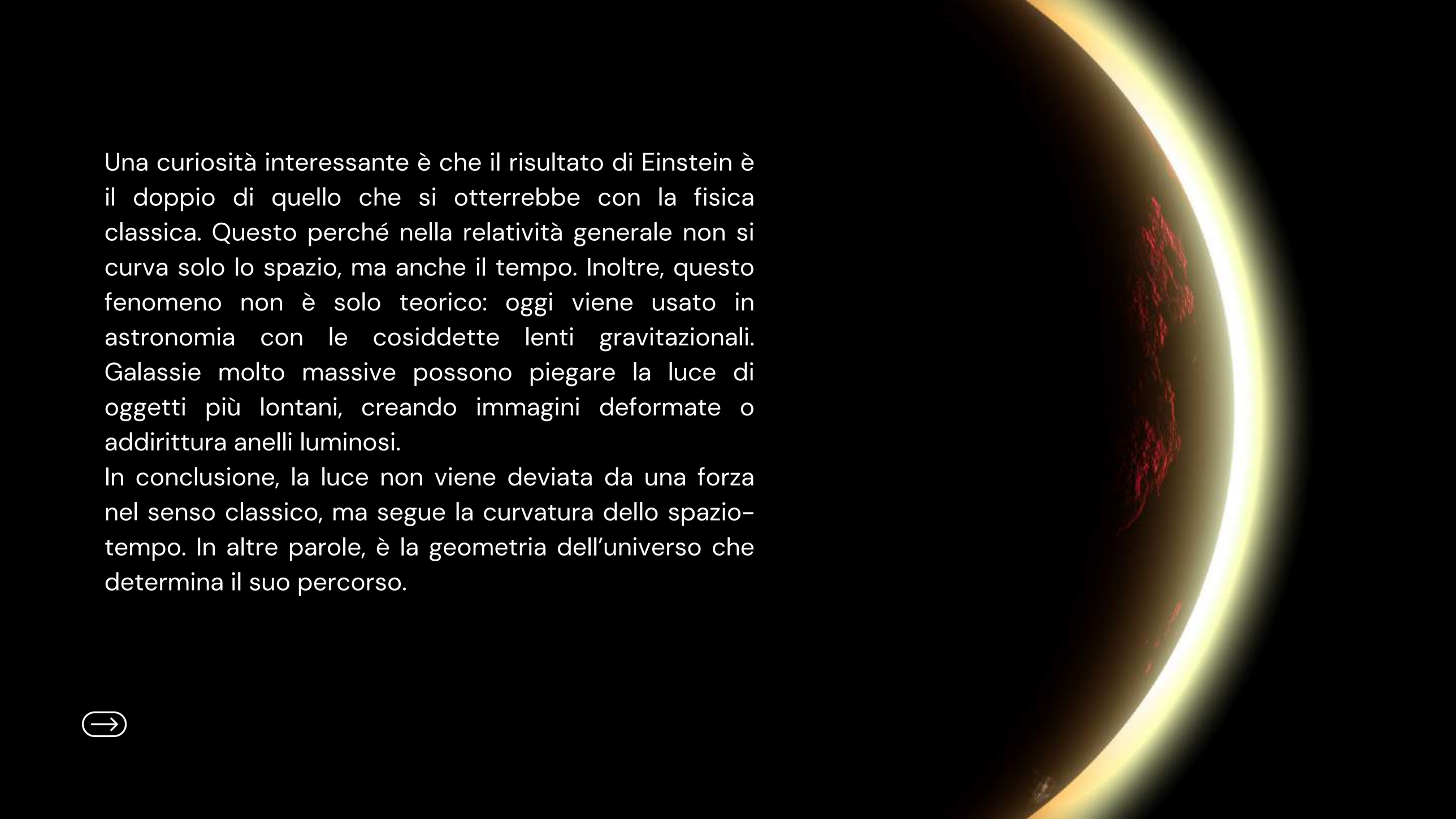
- **1801 (Soldner):** Prima di Einstein, Johann von Soldner calcolò una deflessione usando la fisica newtoniana, considerando la luce come una particella veloce. Tuttavia, ottenne un valore di 0,87 secondi d'arco, la metà di quello corretto.
- **1911 (Einstein - tentativo errato):** Einstein calcolò inizialmente 0,87" usando solo il principio di equivalenza (equivalente a un approccio Newtoniano).
- **1915 (Einstein - Relatività Generale):** Einstein completò la teoria della relatività generale, rendendosi conto che la curvatura spaziale raddoppiava il valore precedente, portandolo a 1,75".
- **1919 (Conferma):** Sir Arthur Eddington verificò il valore di 1,75" durante un'eclissi solare, confermando la teoria di Einstein.

L’INDICE DI RIFRAZIONE GRAVITAZIONALE

Un modo più intuitivo per capire questo fenomeno è usare un’analogia con l’ottica. Quando la luce passa dall’aria all’acqua, cambia velocità e quindi direzione: questo dipende dall’indice di rifrazione. In modo simile, possiamo immaginare che lo spazio vicino a una massa si comporti come un mezzo che modifica leggermente la velocità della luce. Questo effetto, chiamato indice di rifrazione gravitazionale, aiuta a visualizzare perché la luce si incurva.

Una curiosità interessante è che il risultato di Einstein è il doppio di quello che si otterrebbe con la fisica classica. Questo perché nella relatività generale non si curva solo lo spazio, ma anche il tempo. Inoltre, questo fenomeno non è solo teorico: oggi viene usato in astronomia con le cosiddette lenti gravitazionali. Galassie molto massive possono piegare la luce di oggetti più lontani, creando immagini deformate o addirittura anelli luminosi.

In conclusione, la luce non viene deviata da una forza nel senso classico, ma segue la curvatura dello spazio-tempo. In altre parole, è la geometria dell'universo che determina il suo percorso.



OTTICA GRAVITAZIONALE

la gravità non è solo una forza, ma una curvatura dello spazio-tempo. Di conseguenza, anche la luce segue traiettorie curve quando passa vicino a oggetti molto massicci (galassie, ammassi di galassie, buchi neri)

LENTI FORTI

Se la massa è molto grande e l’allineamento tra sorgente, lente e osservatore è quasi perfetto, la luce può seguire più percorsi diversi attorno alla lente. Di conseguenza, noi osserviamo più immagini della stessa sorgente. Nei casi più estremi, quando l’allineamento è perfetto, queste immagini si dispongono in modo simmetrico formando un anello luminoso, chiamato Anello di Einstein.

LENTI DEBOLI

Se invece l’allineamento non è preciso o la massa è meno intensa, la deviazione della luce è più debole. In questo caso non si formano immagini multiple, ma le galassie appaiono leggermente deformate e allungate. Questo effetto è difficile da notare su un singolo oggetto, ma osservando molte galassie insieme si può individuare una deformazione comune

MICROLENSING

Le microlenti gravitazionali sono un fenomeno astronomico che si origina da sorgenti di lenti gravitazionali che hanno masse minori di quelle delle stelle e delle galassie, come ad esempio i pianeti gassosi. Le microlenti gravitazionali producono solo una variazione della luminosità apparente di un corpo celeste nello sfondo, ma permettono di rilevare la presenza di corpi celesti anche di piccole dimensioni che non emettono luce o altra radiazione elettromagnetica.

MEET OUR ASTRONAUT

Alessandro Morgante

Caterina Lapadula

Serena Lo Duca

Chiara Botta

THANK
YOU!