

**NEW**

CORSO BASE DI

# TELECOMUNICAZIONI SATELLITARI



*Salvatore Coluccia*

**RISORSE  
ONLINE**











© Copyright 2024 Salvatore Coluccia

Prima edizione, marzo 2024

Progetto grafico e contenuti dello stesso autore.

È vietata la riproduzione di questo libro, anche parziale, effettuata con qualsiasi mezzo, compreso la fotocopia.



TELECOMUNICAZIONI  
**SATELLITARI**









*Ai miei genitori*







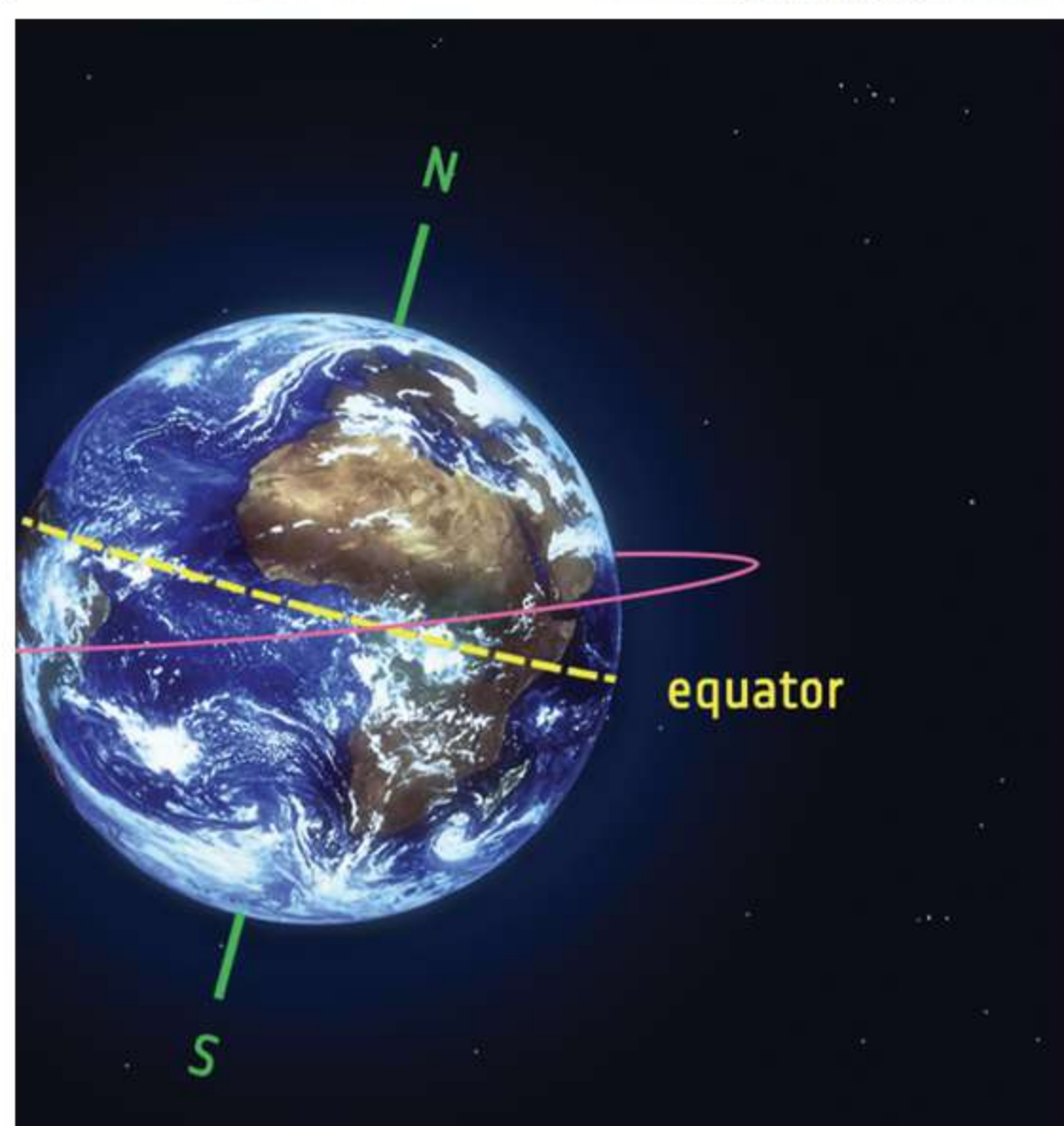
# Indice dei contenuti



<b>Capitolo 01</b>	<i>Breve storia delle comunicazioni satellitari</i>	
1.1	Isaac Newton .....	15
1.2	Arthur C. Clarke .....	21
1.3	Timeline .....	23



<b>Capitolo 02</b>	<i>Concetti generali sulle comunicazioni satellitari</i>	
2.1	Configurazione di un sistema di comunicazione via sat. ....	29
2.2	Regolamenti delle radiocomunicazioni .....	32
2.3	Tendenze di sviluppo della tecnologia .....	35



<b>Capitolo 03</b>	<i>Le orbite satellitari</i>	
3.1	Il lancio del satellite .....	39
3.1.1	Trasferimento alla orbita di Hohmann .....	39
3.2	Orbite e loro classificazione .....	40
3.3	Descrizione dell'orbita .....	42
3.3.1	Parametri orbitali .....	44
3.3.2	Siti web di utilità .....	48
3.4	Siti di lancio .....	50

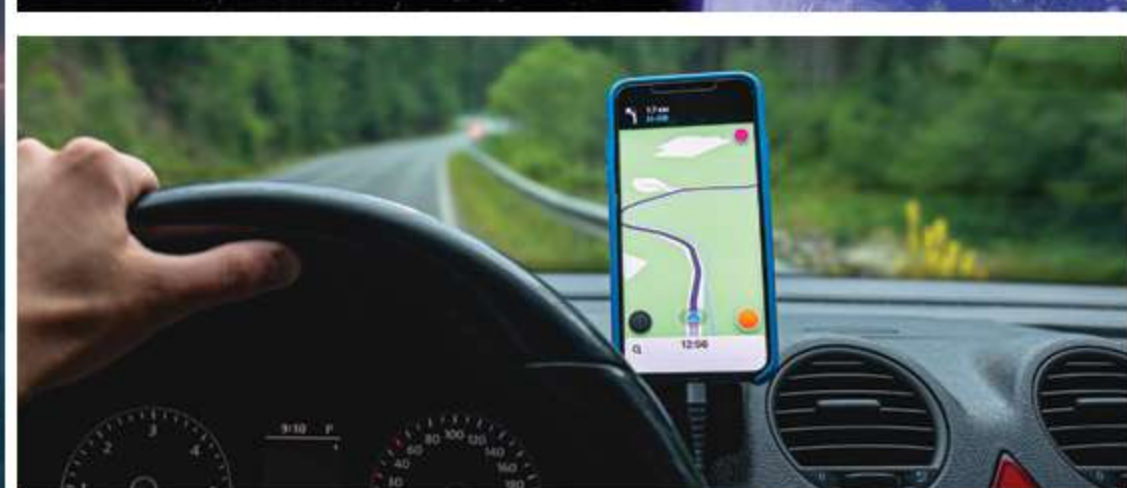
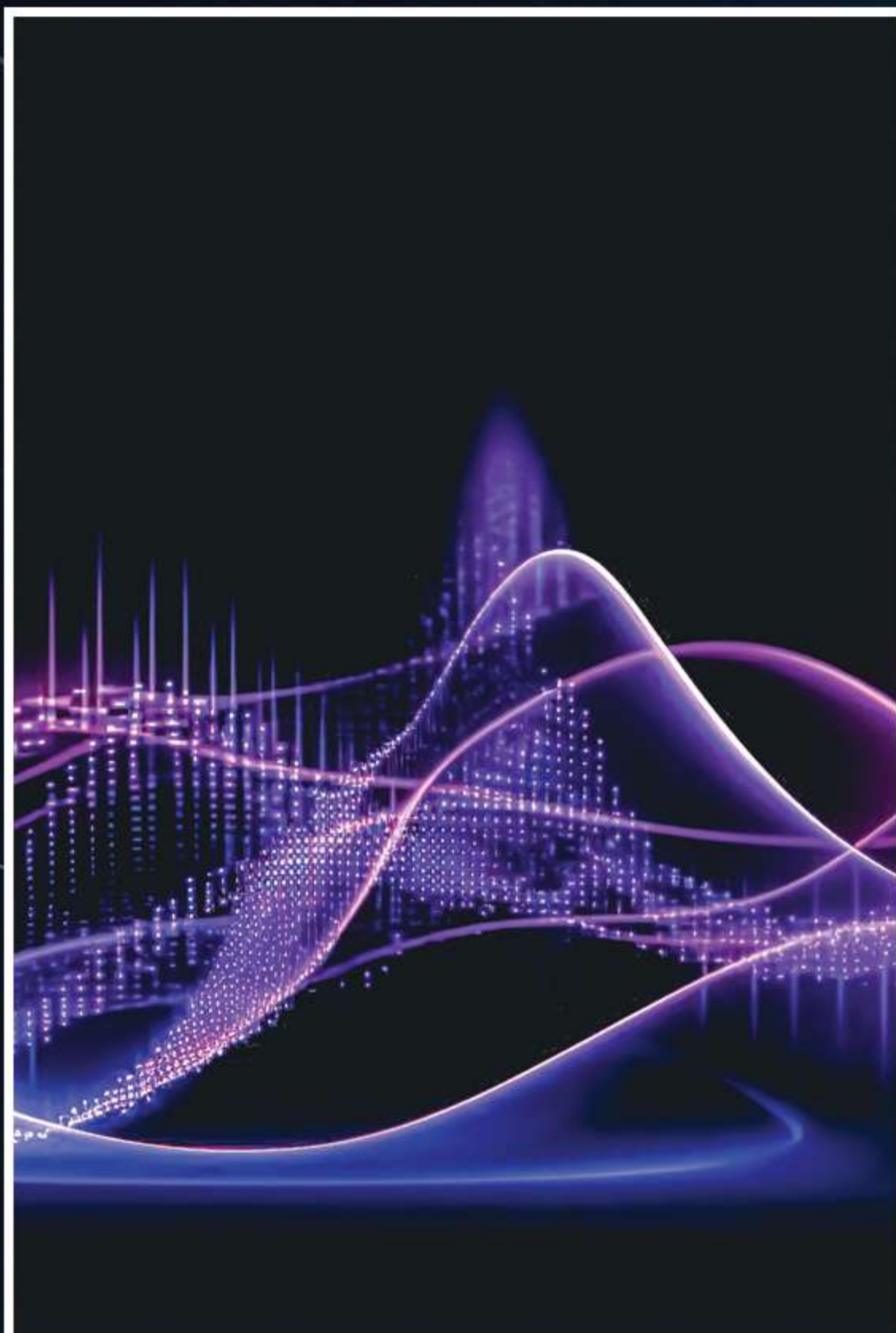


<b>Capitolo 04</b>	<i>Il satellite</i>	
4.1	Il satellite .....	54
4.2	Le antenne del satellite .....	56
4.3	Il transponder .....	58
4.4	Tecniche di accesso al satellite .....	60
4.5	Station Keeping Box .....	62



<b>Capitolo 05</b>	<i>L'antenna</i>	
5.1	Le antenne .....	66
5.1.1	Tipologie di antenne .....	66
5.1.2	Le antenne satellitari .....	66
5.2	Gli apparati satellitari .....	73
5.3	Link Budget .....	75
5.4	Il puntamento satellitare .....	76
5.5	Geometria per il calcolo di Azimut ed Elevazione .....	80
5.5.1	Esempio pratico di calcolo .....	82





## Capitolo 06

### *Il segnale*

6.1	Modulazione	88
6.1.1	Generalità	88
6.1.2	Le onde elettromagnetiche	89
6.2	Modulazione di fase	92
6.2.1	Modulazione nPSK	94
6.2.2	Modulazione 2PSK	94
6.2.3	Modulazione 4PSK	95
6.2.4	Modulazione 8PSK	95
6.3	Attenuazione dovuta alle precipitazioni piovose	97
6.4	Codifica FEC	98
6.5	Le eclissi	100

## Capitolo 07

### *I satelliti militari*

7.1	SICRAL	105
7.2	SICRAL 1B	106
7.3	SICRAL 2	108
7.4	ATHENA-FIDUS	114
7.5	COSMO SkyMed	116
7.6	CCG SICRAL di Vigna di Valle	120

## Capitolo 08

### *Il GPS*

8.1	Sistemi di localizzazione e navigazione	126
-----	---	-----

## Capitolo 09

### *Quale futuro*

9.1	Incontriamoci in orbita	131
9.2	Guerre Stellari dalla Terra	136
9.3	Inmarsat	140
9.4	Intelsat	142
9.5	STARLINK	144
9.6	Amazon (Kuiper)	146
9.7	Il ruolo dell'ITU	148



NEW



CORSO BASE DI  
**TELECOMUNICAZIONI  
SATELLITARI**



NEW



CORSO B  
**TELECOMUNICAZIONI  
SATELLITARI**



Salvatore Coluccia

NEW



CORSO BASE DI  
**TELECOMUNICAZIONI  
SATELLITARI**



Salvatore Coluccia

**RISORSE  
ONLINE**









## PREFAZIONE

Sono stato ispirato a scrivere questo libro dopo una presentazione fatta a un gruppo di persone con esperienze lavorative diverse e poca conoscenza sui satelliti. La mia presentazione includeva un compito per il calcolo dell'angolo di elevazione e di azimut sulla base di una ipotetica posizione di lavoro e sull'utilizzo di un particolare satellite geostazionario. La risposta alla presentazione è stata travolgente, e molti membri desideravano ulteriori informazioni.

Fin dall'inizio ho capito che la mia presentazione doveva essere semplice, chiara, interessante e divertente, quindi ho incluso abbondanti illustrazioni, terminologia familiare e spiegazioni semplici. Per *"Telecomunicazioni Satellitari"* ho sviluppato ancora più materiale del genere e spero di rendere la scienza dei satelliti altrettanto chiara e comprensibile per voi come lo è stata per il mio pubblico, indipendentemente dal vostro background, età o esperienza lavorativa.

Questo libro risponde alle seguenti domande sui satelliti: Che cos'è un satellite? Quali sono le missioni dei satelliti? Quanti satelliti sono in orbita? Quanto si avvicinano l'uno all'altro? Quanta spazzatura c'è in orbita? Quali forze perturbano il satellite? Come si mantiene un satellite in orbita? Come si mantiene il satellite orientato e puntato nella giusta direzione? Qual è il futuro della tecnologia satellitare?

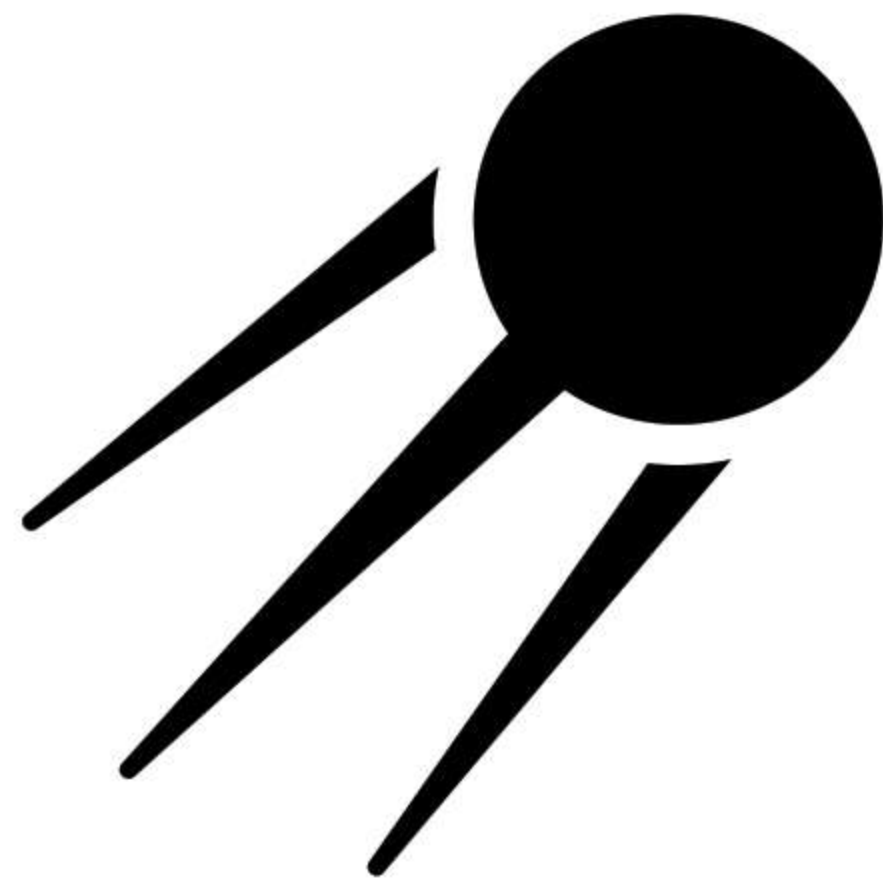
L'obiettivo principale di questo libro è stimolare un ampio interesse nell'ingegneria e nella scienza.

*Sabatou Coluccio*







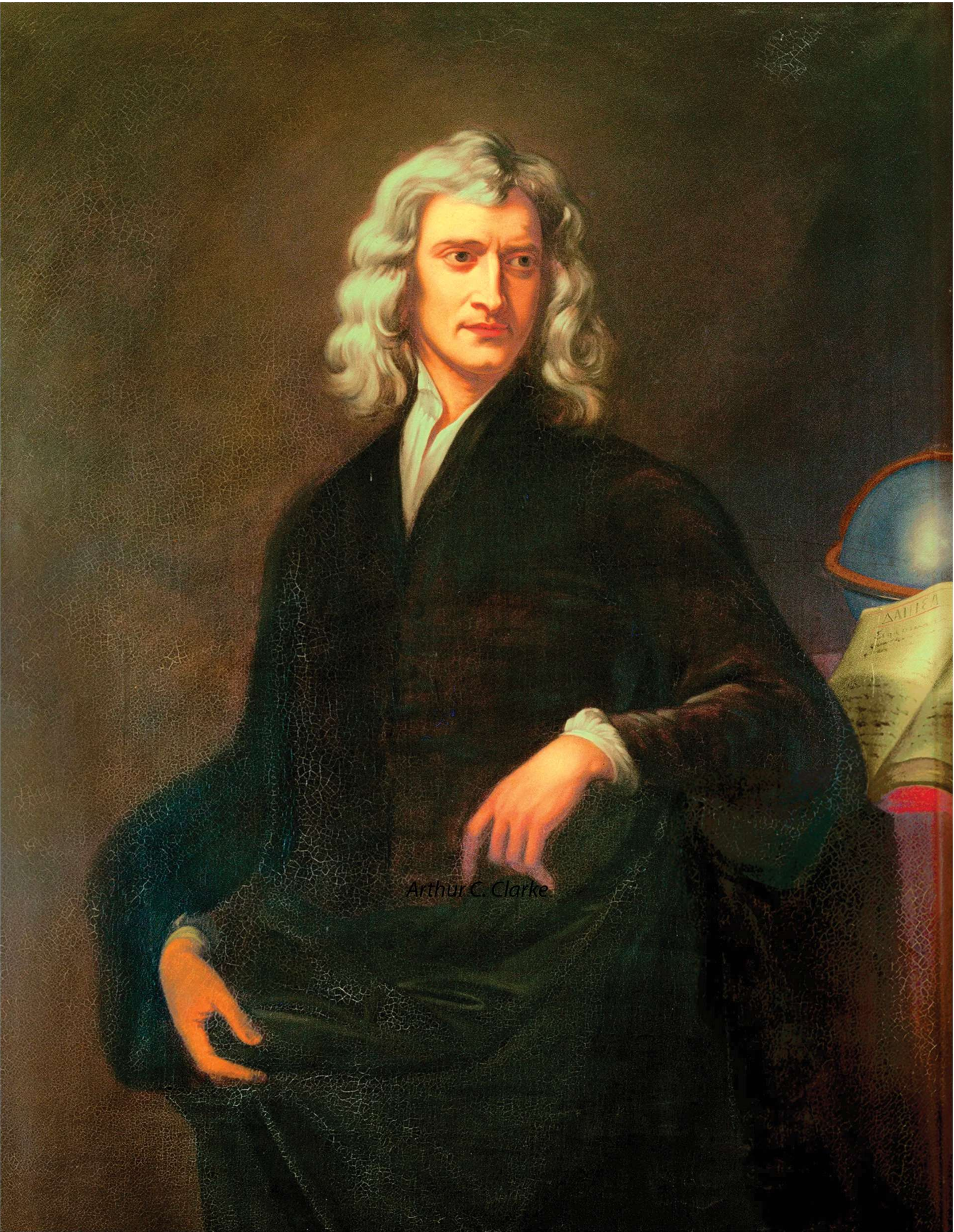


## 1. Breve storia delle telecomunicazioni satellitari

*“Viviamo in una società profondamente dipendente dalla scienza e dalla tecnologia e in cui nessuno sa nulla in merito a tali questioni. Si tratta di una formula sicura per il disastro.”*

Carl Sagan





Arthur C. Clarke







## 1.1 Isaac Newton

### **Ogni satellite è arrivato nello spazio grazie alla legge gravitazionale di Newton.**

Ciò che sale deve scendere, anche se non sempre nel modo che ti aspetti. Questa è la Legge Universale di Gravitazione di Newton, e puoi ringraziarla per il GPS, Google Earth e persino le immagini trasmesse dall'altro lato del Sistema Solare. Ecco perché.

L'equazione descrive accuratamente l'attrazione gravitazionale che due oggetti provano l'uno verso l'altro, a causa delle loro masse e della distanza tra i loro centri. È questa equazione che prevede quanto duramente gli oggetti cadono sulla Terra quando vengono lasciati cadere. Ma non è stato del tutto il lavoro di Newton, nonostante il suo nome.

Per secoli gli scienziati riflettevano sul moto delle lune e dei pianeti nel nostro Sistema Solare, e molti di loro - abbastanza comprensibilmente - pensavano che tutto ruotasse intorno alla Terra. Così fu fino a quando Johannes Kepler studiò attentamente il moto di Marte all'inizio del XVII secolo - l'idea dei pianeti che orbitano attorno al Sole prese piede. Ciò che Kepler fece fu generare tre equazioni che descrivevano con notevole precisione il moto ellittico dei satelliti in orbita, come la Luna intorno alla Terra o Marte intorno al Sole. Ciò che non spiegò, però, fu come il corpo centrale mantenesse l'altro nel suo orbita.

Molti scienziati hanno cercato di colmare le lacune. Nel 1645, l'astronomo francese Ismael Bouleau suggerì che "il potere con cui il sole tiene in mano i pianeti... diventa più debole e attenuato a distanze maggiori". Aveva ragione, ma il suo ragionamento era discutibile; semplicemente confrontava l'attrazione con i raggi di luce. Successivamente, nel 1666, Robert Hooke portò avanti la stessa idea, aggiungendo che "questi poteri attrattivi sono tanto più potenti nell'operare quanto più il corpo su cui si agisce è vicino ai loro centri stessi". Era sulla buona strada, ma ancora non l'aveva completamente compresa.

Nella sua pubblicazione del 1687 intitolata "Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica", Newton liberò la sua Legge di Gravitazione nel mondo. Riunì tutto ciò che era stato detto in precedenza sull'argomento, formalizzando il suo pensiero nell'equazione sopra indicata. L'equazione ci permette di calcolare la dimensione della forza gravitazionale,  $F$ , sperimentata da due oggetti come il prodotto delle loro masse divise per il quadrato della distanza tra di essi,  $r$ , il tutto moltiplicato per una costante gravitazionale,  $G$ . (Incidentalmente, quest'ultimo numero è misurato sperimentalmente. Nel 2010, aveva il valore di  $6,67384 \times 10^{-11}$  metri cubi per chilogrammo secondo quadrato; sarà aggiornato nel 2018).

Ci furono lamentele che accusavano Newton di attribuirsi il lavoro altrui, soprattutto da parte di Hooke. Per quello che vale, in una lettera a Hooke nel febbraio 1676, Newton scrisse: "Se ho visto più lontano, è perché stavo sulle spalle dei giganti". Mentre alcuni studiosi sembrano pensare che potesse essere una stoccata diretta alla statura fisica di Hooke - era piuttosto basso - è forse più piacevole supporre che fosse un raro lampo di modestia accademica da parte di Newton.



## La Mela

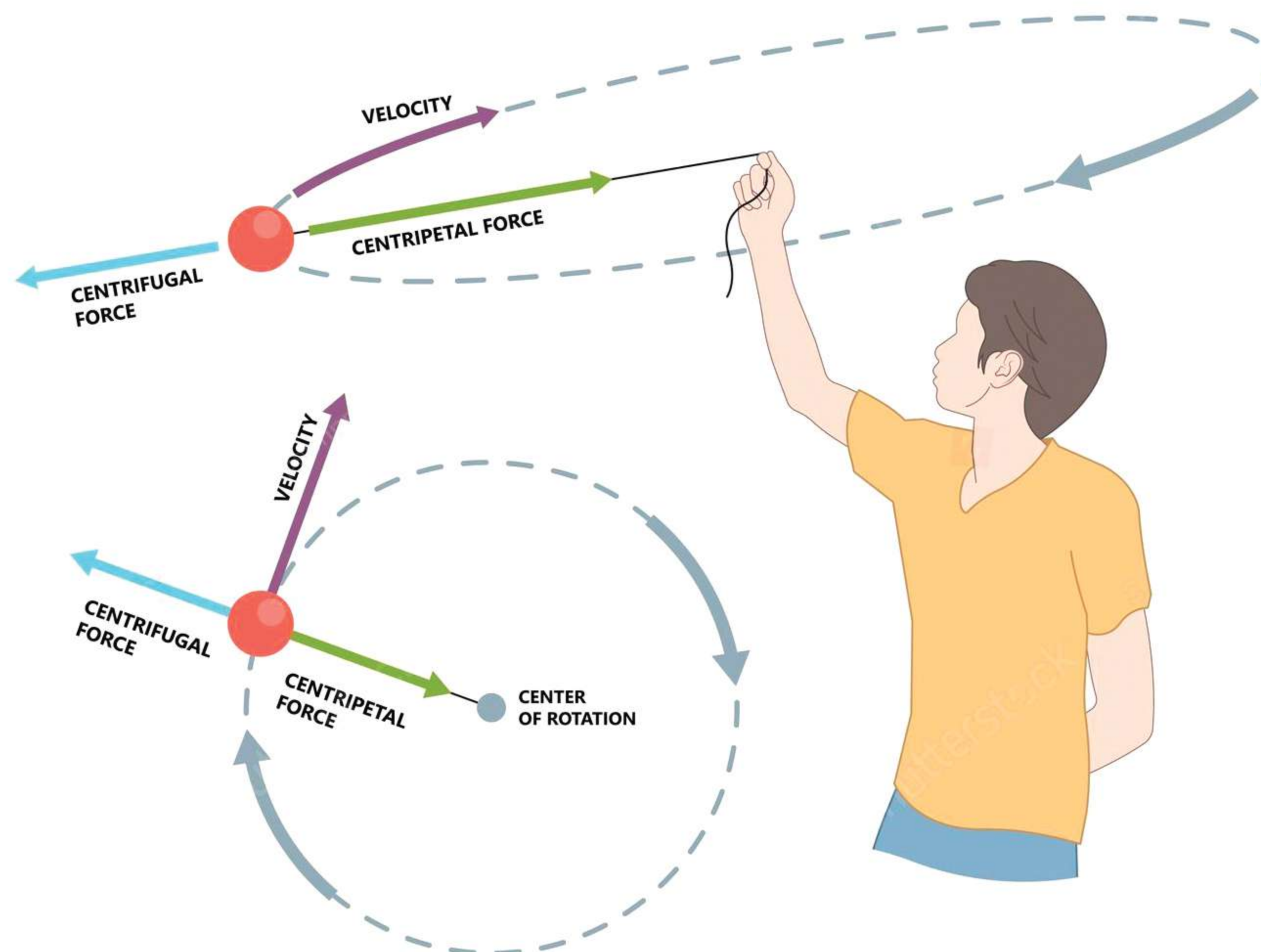
Quindi, come è riuscito Newton là dove gli altri avevano fallito? Secondo la storia, era seduto sotto un melo quando uno dei suoi frutti cadde sulla Terra, e soprattutto, cadde dritto sulla Terra. Non lateralmente o diagonalmente, ma dritto verso il basso. Era in Lincolnshire, una contea nel Regno Unito, al momento, ma la stessa cosa accadeva a Cambridge, a Londra, e ovunque altro sul pianeta, per quanto ne sappiamo.

Quello che Newton aveva capito era che la forza gravitazionale che altri avevano descritto stava tirando gli oggetti verso il centro della Terra. Dopo tutto, quella era l'unico modo in cui la mela poteva cadere a terra allo stesso modo in Inghilterra e in Nuova Inghilterra. E notò anche che più grande era la massa della mela, più grande era la forza che la attirava verso il basso - e, di conseguenza, più grande era la massa della Terra, più grande era la forza che causava l'attrazione.

La realizzazione che la forza agiva verso il centro degli oggetti era vitale. Combinata con la conoscenza che la forza gravitazionale diminuiva con la distanza, permise a Newton di moltiplicare la massa dei due corpi e quindi dividere la sua equazione per il quadrato della distanza di separazione. Ha senso: se immagini che il campo gravitazionale intorno a un oggetto sia una serie di sfere concentriche tutte disegnate intorno al centro dell'oggetto, allora lo stesso campo gravitazionale agisce su una superficie maggiore man mano che ti sposti verso l'esterno. Dato che la superficie aumenta con il quadrato della distanza,  $r$ , la forza gravitazionale deve diminuire allo stesso rapporto.

Ma mentre Newton rifletteva su quella mela, iniziò a pensare: e se l'albero di mele fosse più grande? O molto più grande? O molto, molto, molto più grande, così che la mela fosse alla stessa altezza della luna? Aspetta, perché la luna non cade dal cielo come fa la mela, dato che non è sostenuta da un albero?

## MOTO CIRCOLARE





## **La Luna Sta Sempre Cadendo**

La risposta fastidiosa a questa domanda è che, in effetti, lo fa. Ma a differenza della mela, sta anche muovendosi lateralmente. Newton rifletté su questo enigma pensando non alla Luna stessa, ma a una palla di cannone. Sparare una palla di cannone in orizzontale dalla cima della collina locale e essa seguirà una traiettoria curva, muovendosi orizzontalmente attraverso il cielo ma anche verso il basso grazie all'attrazione gravitazionale della Terra. Sparala molto più velocemente e essa tratterà una curva più lunga, ma comunque cadrà sulla Terra. Sparala proprio alla giusta velocità - ammettiamolo, una velocità molto elevata - e la sua velocità orizzontale sarà sufficientemente alta in modo che ogni volta che la palla di cannone scende verso la Terra si sia anche spostata abbastanza in avanti in modo che la superficie della Terra si sia incurvata sotto di essa nella stessa misura.

Questo è esattamente ciò che accade con la Luna. Quando quella massa rocciosa che orbita intorno alla Terra è stata generata, ha raccolto sufficiente energia per fornirle il movimento laterale per viaggiare attraverso lo spazio in modo che non cadesse mai sulla Terra, anche se stava cadendo continuamente. E senza altre forze che agiscano su di essa - non c'è resistenza dell'aria nello spazio - continua a muoversi, e a muoversi, e a muoversi. Questo è, naturalmente, ciò a cui ora ci riferiamo casualmente come un'orbita - e la Legge di Gravitazione di Newton consente agli scienziati di calcolare quanto di quella energia laterale è necessario per mettere un satellite in quella traiettoria rotazionale, piuttosto che farlo semplicemente cadere sulla Terra come la mela.

Può essere sorprendente, ma quella singola equazione può fornire agli scienziati informazioni sufficienti per mettere in orbita satelliti intorno al nostro pianeta. Tutti i satelliti che orbitano intorno alla Terra, che stiano scattando fotografie, trasmettendo segnali di posizionamento o fungendo da casa per gli astronauti, sono stati messi lì con essa. Ma analizzando il moto di uno qualsiasi di quei satelliti mentre passano vicino alla Terra, la traiettoria non coincide esattamente con la dinamica che ci si aspetterebbe in base alle forze previste dall'equazione di Newton. Non è perché la sua equazione è sbagliata, però: è perché ogni corpo nell'Universo esercita una forza gravitazionale su ogni altro corpo. Ovviamente, quanto più grandi e vicini sono, tanto maggiore è la forza - Newton ha esercitato molte meno forze su quella mela, ad esempio, rispetto a quanto ha fatto la Terra - ma ciò non significa che ogni problema possa essere ridotto a semplici sistemi di due corpi.

## **La Legge di Newton, più i Computer**

La buona notizia è che la Legge di Gravitazione di Newton è in realtà chiamata la Legge Universale di Gravitazione di Newton. Ciò significa che è possibile calcolare tutte le forze esercitate da diversi corpi, per capire quali potrebbero effettivamente avere importanza. La cattiva notizia è che i calcoli necessari per determinare il moto risultante dei corpi in base a tutte queste forze non sono del tipo che si possono fare con carta e penna. Infatti, nel 1890, quando il matematico francese Henri Poincaré cercò di rappresentare il moto risultante di tre corpi - nel suo caso una stella, un pianeta e una particella di polvere - disse di essere così "colpito dalla complessità di questa figura che non sto nemmeno cercando di disegnare". Per fortuna arrivarono i computer, permettendo alle forze previste dall'equazione di Newton di essere elaborate in dettaglio laborioso mentre gli scienziati sedevano a bere tè.

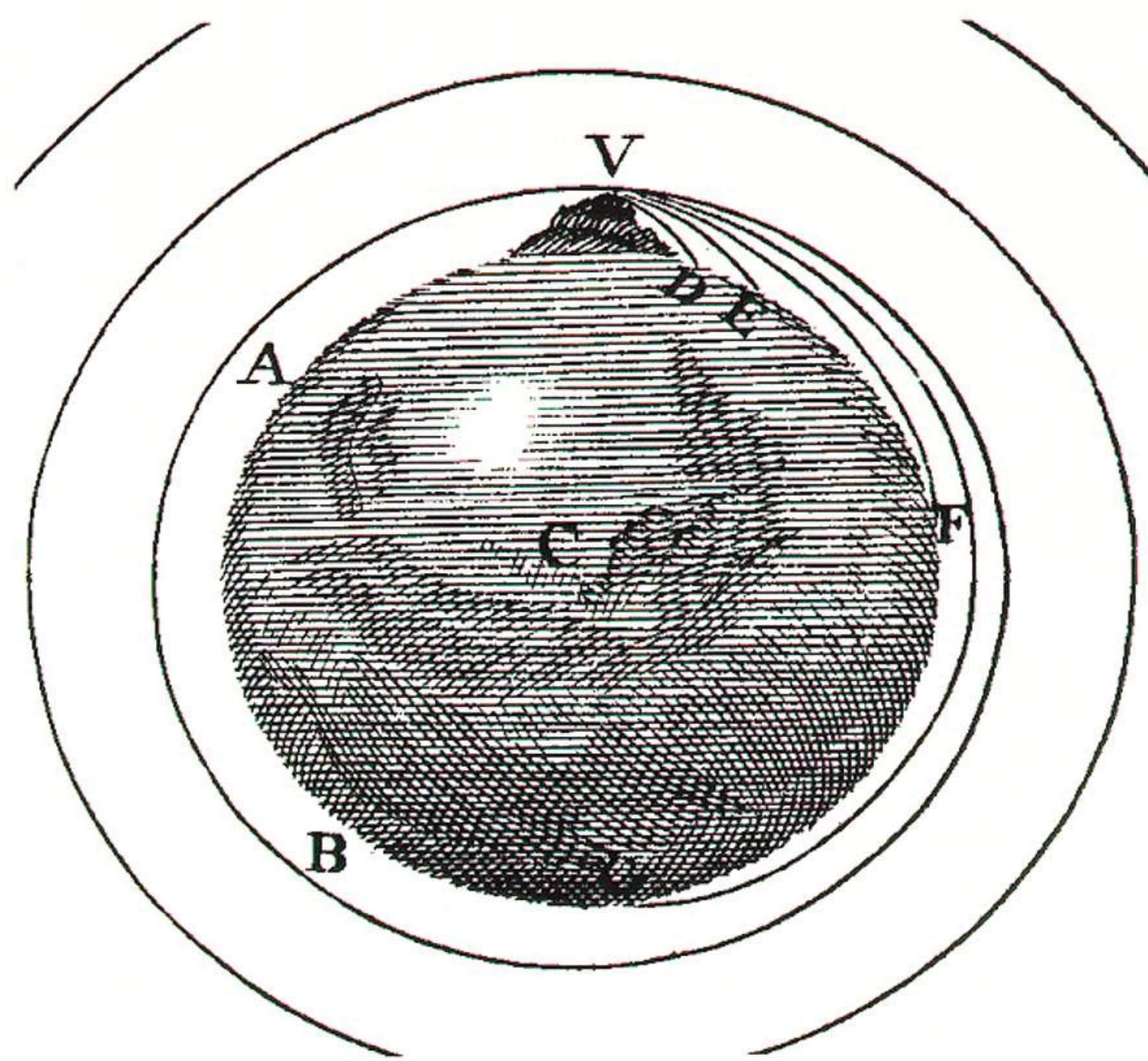






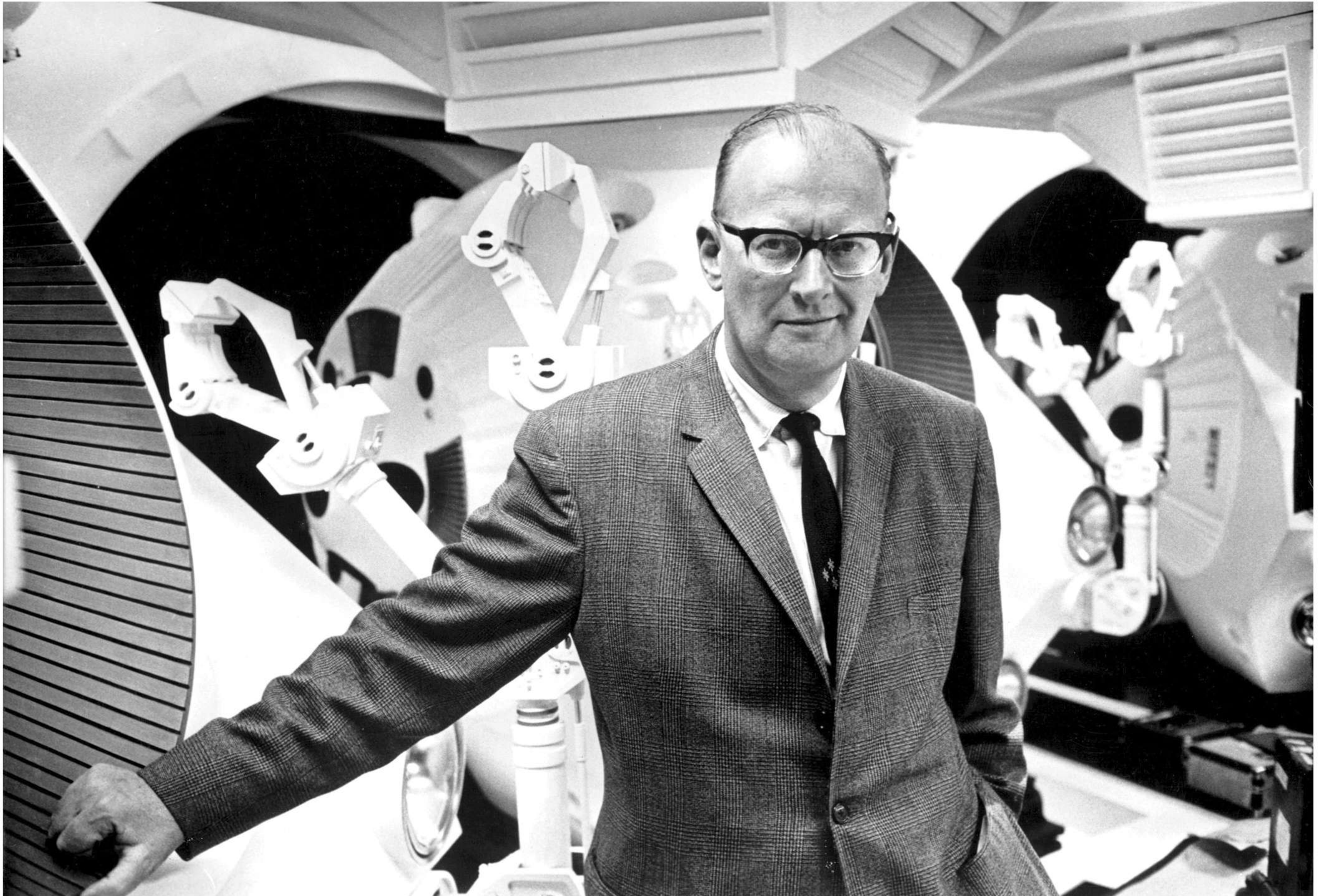
Infatti, i fisici eccitati dalla prospettiva di una crescente potenza di calcolo si resero conto che potevano combinare le forze generate dai corpi più grandi nel nostro Sistema Solare per mappare dove la gravità aveva i maggiori effetti e, interessante, dove si annullava. Risulta che ci siano una serie di tubi interconnessi nello spazio con una trazione gravitazionale costante, e crucialmente bassa, che ora vengono chiamati la Rete di Trasporto Interplanetario. Pensateli come contorni su una mappa più facili da seguire che camminare in salita. Lanciate un'astronave attraverso questa rete e potranno navigare nello spazio con molto poco input di energia, rendendo facile percorrere lunghe distanze con poca benzina.

In realtà, questi tubi vengono ora utilizzati per inviare satelliti ai confini del Sistema Solare. Le missioni Genesis e Solar and Heliospheric Observatory della NASA al Sole li hanno utilizzati; anche la Cina ha inviato la sua sonda Chang'e 2 verso l'asteroide 4179 Toutatis attraverso di essi. E tutto ciò, insieme all'aumento della potenza di calcolo, è merito della Legge di Gravitazione di Newton.



**"...e lo stesso anno [1666] cominciai a pensare alla gravità che si estende fino all'orbita della Luna, e avendo scoperto come calcolare la forza con cui un globo che ruota all'interno di una sfera preme contro la superficie della sfera, dalla legge di Keplero dei periodi dei Pianeti che sono in proporzione sesquialtera con le distanze dal centro delle loro orbite, dedussi che le forze che trattengono i Pianeti nelle loro Orbite devono essere reciproche ai quadrati delle loro distanze dai centri attorno a cui ruotano: e così paragonai la forza richiesta per trattenere la Luna nella sua orbita con la forza della gravità sulla superficie della Terra e trovai che esse corrispondevano piuttosto bene. Tutto ciò avvenne nei due anni della peste del 1665 e del 1666, poichè in quegli anni ero nel fiore della mia età creativa e mi dedicai alla Matematica e alla Filosofia più di quanto abbia mai fatto in seguito." Isaac Newton (UK, 1642-1727)**





*Arthur C. Clarke*





## 1.2 Arthur C. Clarke

Prima del 1962, non esisteva nulla come una trasmissione in diretta da aree remote del globo. Persino una trasmissione televisiva in diretta tra due grandi città come New York e Londra era fantascienza. Ma tutto cambiò con un satellite dal peso di ottanta chilogrammi, ormai quasi dimenticato, e una trasmissione mondiale che per breve tempo avvicinò il pianeta come una comunità globale unica.

### 1945: Un'Odissea di Fantascienza

Sebbene *Arthur C. Clarke*, all'età di 28 anni, non avesse pianificato di essere il padre delle comunicazioni satellitari globali, la prima opera pubblicata dello scrittore di fantascienza pose inaspettatamente le basi per le moderne trasmissioni satellitari a livello mondiale. Nell'autunno del 1945, Arthur C. Clarke, reduce dalla Royal Air Force, presentò un manoscritto alla rivista *Wireless World* proponendo la comunicazione globale attraverso satelliti geostazionari. Aveva già diffuso il documento tra alcuni membri selezionati della British Interplanetary Society e aveva ricevuto un riscontro positivo. Clarke, che aveva contribuito alla tecnologia del radar per la RAF durante la Seconda Guerra Mondiale, basò le sue idee sul lavoro di Herman Potocnik, un ingegnere missilistico austro-ungarico tra i primi scienziati a proporre soluzioni pratiche per l'abitazione umana nello spazio. Clarke intitolò il suo manoscritto "*Relè Extraterrestri: Possono le Stazioni Spaziali Offrire Copertura Radio Mondiale?*" In esso, Clarke sottolinea che la tecnologia radio attuale non era scalabile e non poteva soddisfare la crescente necessità di comunicazione globale affidabile. Il problema delle onde radio è che viaggiano in linee rette. Quindi, a causa della curvatura della terra, possiamo inviare segnali solo per circa 50 miglia da una stazione di trasmissione prima che si dirigano nello spazio. Utilizzando solo le onde radio, la comunicazione globale è impossibile. Dovremmo posizionare stazioni di trasmissione ogni 40 miglia in tutto il mondo affinché i segnali raggiungano tutti. Ma anche se ciò non sembra ridicolo, la trasmissione attraverso l'oceano sarebbe comunque impossibile. Tuttavia, la teoria di Clarke era piuttosto semplice. Clarke propose di posizionare in orbita attorno alla Terra delle "stazioni spaziali" di comunicazione. Le stazioni terrestri avrebbero potuto trasmettere segnali alle stazioni spaziali che, a loro volta, avrebbero ritrasmesso i segnali verso la Terra. Inoltre, la chiave della teoria di Clarke era che le stazioni spaziali dovevano essere "geostazionarie". Clarke evidenziò che se si collocavano le stazioni spaziali in un'orbita di 42.000 km, la loro orbita sarebbe stata in sintonia con la velocità di rotazione della Terra. Di conseguenza, le stazioni spaziali sarebbero apparse stazionarie a un osservatore sulla Terra.

Il suo articolo fu pubblicato nell'ottobre 1945, ma, a parte un piccolo gruppo nella comunità scientifica, il documento di Clarke non ebbe alcun impatto sulla cultura mainstream. Tuttavia, Clarke diventò uno degli scrittori di fantascienza più venerati del XX secolo. Scrisse la serie "Odissea nello spazio", tra cui "2001: Odissea nello spazio" e "2010: Odissea due", oltre al premiato con il Nebula e il Hugo "Incontro con Rama" e a numerosi altri romanzi, racconti brevi e opere di saggistica.

Oggi, i satelliti geostazionari risiedono nell'orbita di 42.000 km che rende possibile la comunicazione globale. Gli scienziati hanno chiamato questa fascia attorno alla Terra la "Fascia di Clarke". Tuttavia, nonostante la brillante teoria di Clarke, sarebbero passati quasi 20 anni prima che le trasmissioni satellitari diventassero realtà.



## 1.3 Timeline



### 1957 - Primo lancio di un satellite artificiale

L'Unione Sovietica lancia lo Sputnik, il primo satellite artificiale a orbitare attorno alla Terra. Ha una massa di 83,6 kg e viaggia in un'orbita ellittica ad un'altitudine compresa tra 939 km e 215 km sopra la Terra. Si sposta a una velocità di 29.000 km/h e impiega 96,2 minuti per ogni orbita.



*Foto di uno scienziato spaziale sovietico con lo Sputnik 1 prima del lancio.*



### 1960 - Primo satellite meteorologico di successo

La NASA lancia il Tiros-1, il primo satellite meteorologico considerato un successo. Trasmette immagini infrarosse della copertura nuvolosa della Terra ed è in grado di rilevare e tracciare gli uragani. Questo segna l'inizio del programma Tiros, seguito dal programma di satelliti meteorologici Nimbus.



### 1961 - Prima persona a orbitare intorno alla Terra

Il cosmonauta russo Yuri Gagarin (1934-1968) diventa la prima persona a orbitare intorno alla Terra nel suo veicolo spaziale Vostok. Dopo questo evento, diventa una celebrità internazionale e intraprende diverse tournée all'estero.



### 1962 - Primo satellite per le comunicazioni

Viene trasmessa la prima teletrasmissione transatlantica in diretta utilizzando Telstar-1, un satellite in bassa orbita. Successivamente, viene formato un consorzio internazionale di satelliti globali (Intelsat), che gestisce una costellazione di satelliti per le comunicazioni fornendo servizi di trasmissione internazionale.

*Nella foto a sinistra: Assemblaggio del Telstar-1 presso i laboratori Bell*



### **1964 Lancio del primo satellite geostazionario**

Syncom 3 fu il primo satellite per le comunicazioni geostazionario, lanciato il 19 agosto 1964 con il veicolo di lancio Delta D #25 da Cape Canaveral. Il satellite, in orbita vicino alla Linea Internazionale del Cambio di Data, aveva l'aggiunta di un canale a banda larga per la televisione e fu utilizzato per trasmettere in diretta le Olimpiadi estive del 1964 a Tokyo negli Stati Uniti. Anche se a Syncom 3 viene talvolta attribuito il merito del primo programma televisivo a attraversare l'Oceano Pacifico, il satellite Relay 1 trasmise per la prima volta la televisione dagli Stati Uniti al Giappone il 22 novembre 1963.



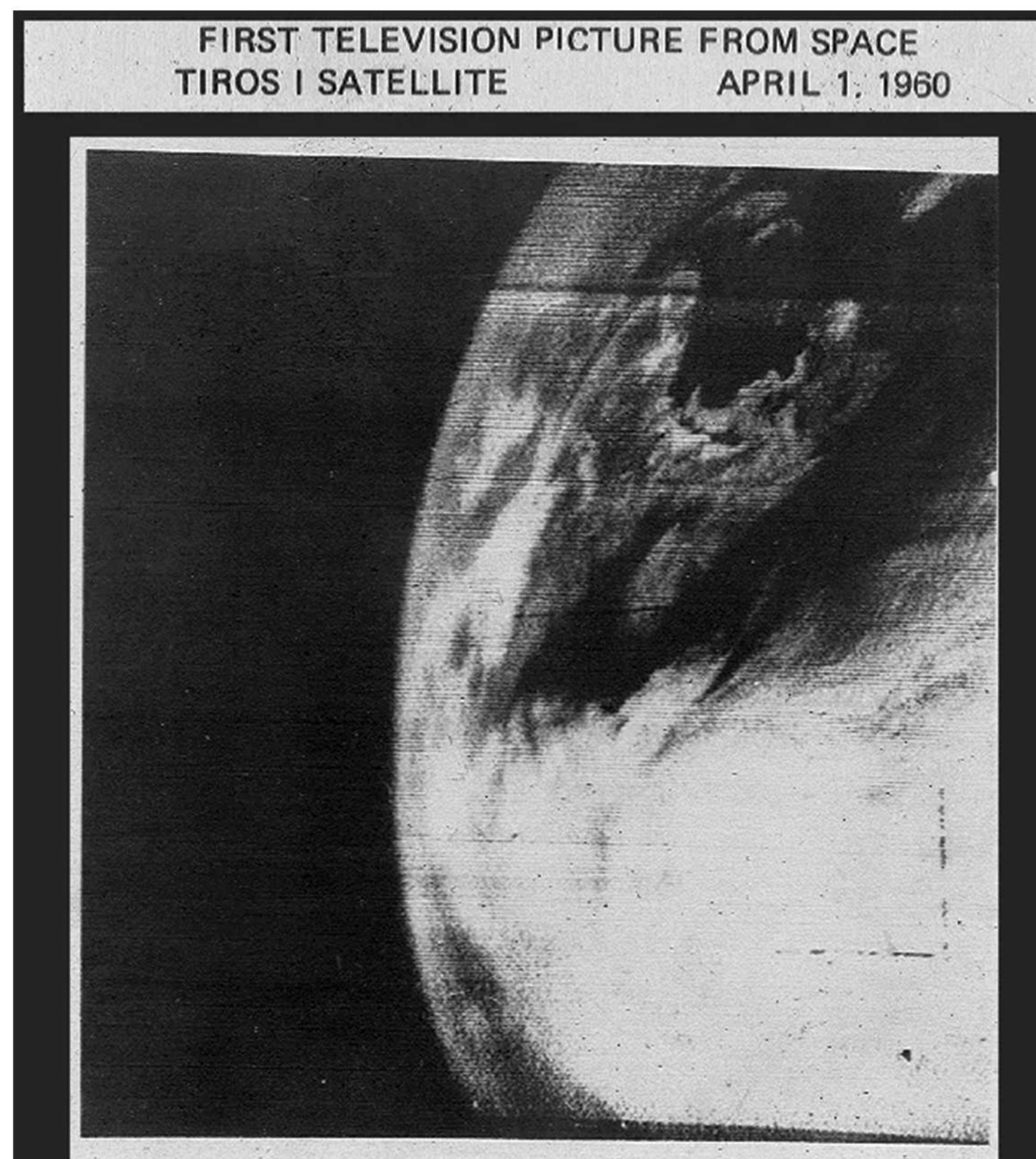
### **1964 Nasce INTELSAT**

Acronimo di International telecommunications satellite organization, che designa l'organismo internazionale istituito nel 1964 per realizzare un sistema globale di telecomunicazioni di carattere commerciale; il sistema funziona grazie a satelliti in orbita geostazionaria sugli oceani Atlantico, Pacifico, Indiano e stazioni a terra con antenne fortemente direzionali.



### **1994 - Prima costellazione GPS**

Entra in funzione la prima costellazione del sistema di posizionamento globale (GPS). Essa è composta da 24 satelliti in orbita geosincrona. Il GPS è un sistema di navigazione satellitare basato su spazio che fornisce informazioni sulla posizione e sul tempo in qualsiasi condizione meteorologica, ovunque sulla Terra o nelle sue vicinanze.



*La prima immagine della Terra scattata dal satellite Tiros-1.*





*Scarica la timeline  
più dettagliata.*

