

## Corso Scintille di Scienza

Incontro n. 3 - 12 novembre 2020

BUON GIORNO A TUTTI

Oggi si parlerà di:

G.P.S. E GALILEO

• Einstein e la Relatività

LE DONNE NELLA SCIENZA

E .....QUALCHE CURIOSITA'

### Cos'è il GPS?

GPS è il diminutivo di NAVSTAR GPS, acronimo di **NAV**igation **S**ystem with **T**ime **A**nd **R**anging **G**lobal **P**ositioning **S**ystem.

Il GPS è la soluzione per chi vuole rispondere alla domanda:

**In quale parte della terra mi trovo?**

### Perché si usa il GPS?

Il GPS ha numerosi vantaggi rispetto ai metodi di rilievo tradizionali:

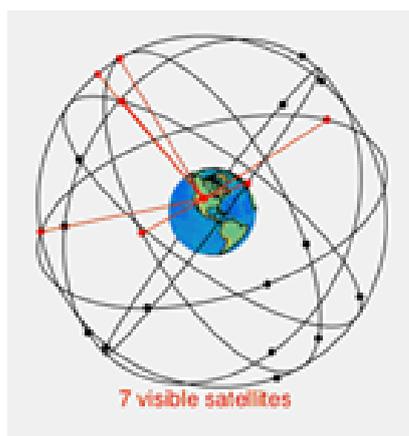
1. Non è richiesta l'intervisibilità fra i punti stazione
2. Si può usare a ogni ora del giorno e della notte, in ogni stagione
3. Produce risultati con una accuratezza geodetica molto alta
4. Il lavoro può essere eseguito in minor tempo e con pochi uomini

A che serve la relatività?  
Senza Einstein, non avremmo potuto  
avere il GPS.



“il 90% di ciò che la fisica studia non ci servirà a niente, ma il 10% ci cambierà la vita, e quel 90% ci serve per arrivare a scoprire come”  
Prof. Stefano VITALE

A cosa ci serve sapere che lo spazio si curva in presenza di grandi masse, come quelle dei pianeti, distorto anche il tempo percepito e misurato dal nostro orologio?

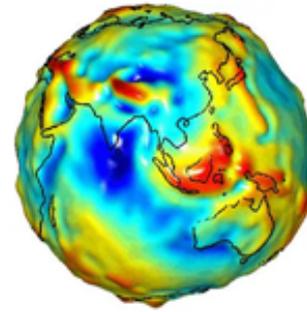


A che ci serve sapere che l'unico riferimento assoluto nell'universo è la velocità della luce, e che avvicinandoci a quelle velocità percepiamo lo scorrere del tempo in maniera del tutto diversa da un nostro gemello sulla Terra?

Scoprire l'acqua, misurare il tempo  
Sapevate che sotto il subcontinente indiano esiste un'enorme riserva di acqua che ogni anno si abbassa di 15 cm a causa dell'enorme sfruttamento idrico dell'India?

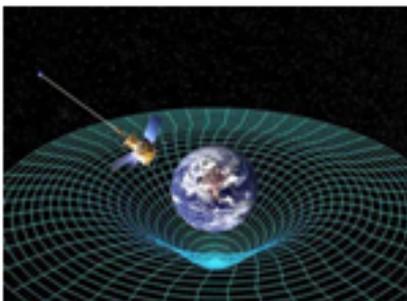
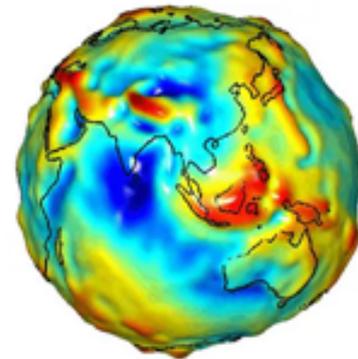
A svelarlo sono state le osservazioni di due satelliti, GRACE e GOCE, che stanno analizzando la Terra misurando il suo campo gravitazionale.

L'acqua influenza il campo gravitazionale del nostro pianeta, perciò analizzando le anomalie gravitazionali della Terra è possibile, tra le altre cose, scoprire l'esistenza di riserve idriche sotto la superficie senza bisogno di scavare.



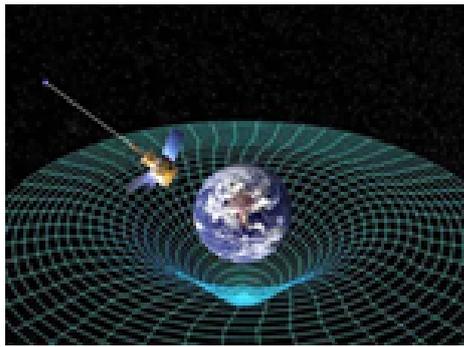
Di recente, invece, un satellite della NASA ha dimostrato un'ipotesi formulata già nel 1916: i giroscopi inseriti nei satelliti lanciati in orbita intorno alla Terra, che servono a mantenere l'orientamento del satellite rispetto a un sistema di riferimento (di solito le stelle fisse), subiscono delle lievissime ma percepibili inclinazioni in direzione della curvatura dello spaziotempo prodotta dalla massa della Terra.

E la stessa cosa, si è scoperto, capita alla Luna, che nel suo moto di rivoluzione intorno al nostro pianeta subisce l'effetto della distorsione spaziotemporale in un fenomeno noto come precessione geodetica



Forse vi stupirà sapere inoltre che attraverso l'uso di orologi atomici gli scienziati sono riusciti a dimostrare il paradosso dei gemelli,.

Einstein aveva previsto per primo che se un nostro gemello partisse oggi dalla Terra per dirigersi verso la stella più vicina a velocità prossime a quella della luce e tornasse poi a casa alla stessa velocità, impiegando circa dieci anni, ci ritroverebbe più vecchi di dieci anni – come ovvio – mentre per lui, tuttavia, il tempo trascorso apparirebbe assai inferiore, magari della metà, cosicché sarebbe invecchiato solo di cinque anni!



Un paradosso a lungo considerato impossibile da dimostrare, viste le oggettive difficoltà di accelerare un corpo dotato di una certa massa a velocità prossime a quelle della luce.

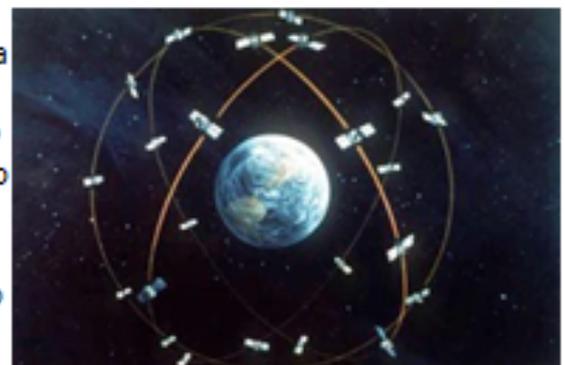
Ma negli scorsi anni ci si è riusciti utilizzando orologi al cesio ad altissima precisione, così precisi da accumulare un'inesattezza di appena 1 secondo in un tempo di  $10^{15}$  secondi (per renderci conto,  $2 \times 10^{15}$  è il tempo trascorso dall'estinzione dei dinosauri, 65 milioni di anni).

Mettendo questi orologi in orbita intorno alla Terra, è stato possibile misurare il ritardo accumulato in termini di nanosecondi per il fatto che la massa del nostro pianeta distorce lo spaziotempo rallentando – in maniera impercettibile a livello umano, ovviamente – lo “scorrere” del tempo.

#### Il GPS senza la relatività

Tutto questo può continuare a sembrare inutile, ma gli americani scoprirono a loro spese quanto fosse importante la [relatività generale](#) quando iniziarono a inviare in orbita i primi satelliti GPS, che avrebbero regalato al mondo (anche se dietro controllo dell'U.S. Army) il primo sistema di posizionamento globale tramite il quale, in linea teorica, dovremmo riuscire a non perderci mai.

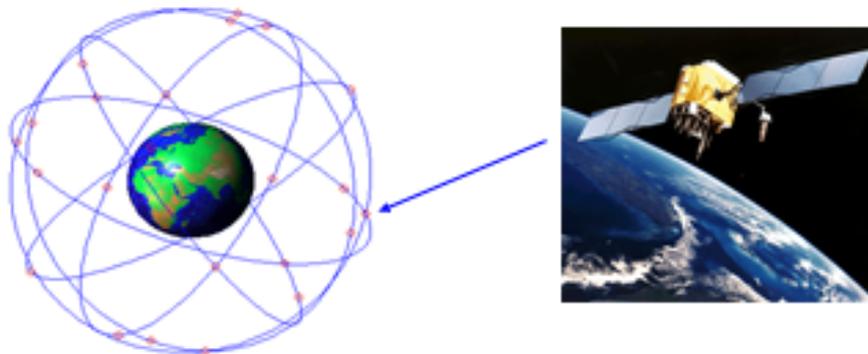
Come racconta Angelo Tartaglia, docente di fisica e relatività al Politecnico di Torino e consulente per gli attuali sistemi di posizionamento satellitare, gli ingegneri americani preferirono ignorare gli avvertimenti dei fisici riguardo la distorsione prodotta dalla gravità terrestre sul tessuto spaziotemporale all'interno del quale i satelliti si sarebbero trovati a muoversi, e lanciarono i primi satelliti convinti che bastasse solo un po' di buona fisica newtoniana e di tradizionale geometria euclidea per far funzionare il sistema, che si basa sui segnali incrociati di diversi satelliti ciascuno dei quali all'interno porta due orologi atomici, uno al cesio e uno al rubidio.



Ebbene, si scoprì con grande imbarazzo di tutti che ogni giorno il [GPS accumulava un ritardo di 38600 nanosecondi, tale da produrre un errore di posizione di oltre 11 chilometri. Più che sufficiente a rendere inservibile il GPS.](#)

Apportando successivamente le correzioni suggerite dalla teoria della relatività, tutto tornò a posto, ma i soldi sprecati furono tanti

GPS: global positioning system



- ★ 24 satelliti
- ★ Altitudine da terra: 20000 Km
- ★ Periodo di rotazione: 12 ore
- ★ Precisione: 5-10 metri

GPS: global positioning system

Almeno 4 satelliti sono sempre visibili da ogni punto della Terra ad ogni istante



Ogni satellite ha un orologio atomico



Il ricevitore GPS compara i segnali degli orologi di diversi satelliti per usare poi il metodo del posizionamento sferico

**Relatività ristretta – dilatazione dei tempi**  
rispetto all'osservatore sulla Terra, gli orologi  
sui satelliti sono più lenti

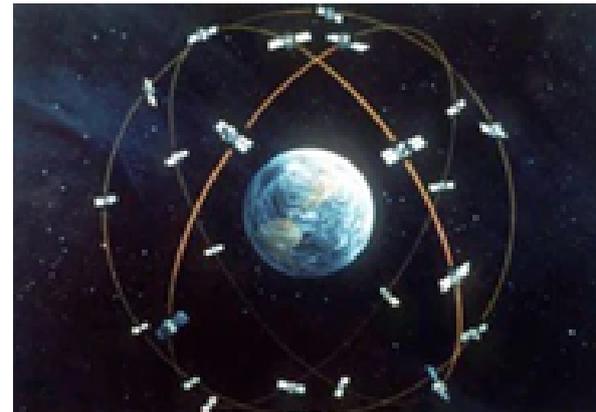


**Relatività generale – curvatura dello spazio-  
tempo**  
rispetto all'osservatore sulla Terra, gli orologi  
sui satelliti sono più veloci



**Errore di 10 Km al giorno**

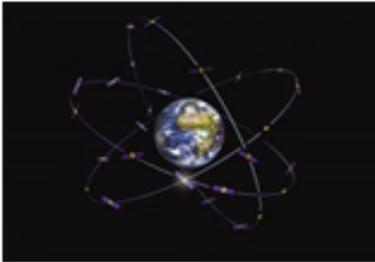
In futuro le sonde lanciate in missioni di esplorazione nel sistema solare potranno inoltre usare un sistema di posizionamento che tenga conto del problema della relatività. Viaggiando a velocità molto elevate (anche se ovviamente significativamente inferiori a quelle della luce), gli orologi atomici di queste sonde saranno rallentati rispetto a quelli sulla Terra.



Per risolvere il problema si potrebbero sfruttare una serie di segnali per determinare con assoluta precisione la propria posizione: segnali provenienti da emettitori artificiali impiantati sulla Luna, su Marte, magari su qualche grosso meteorite come Cerere, incrociati con i segnali di alcune pulsar, che costituiscono una sorta di fari intergalattici, potrebbero risultare il modo migliore per ovviare ai problemi relativisti (i segnali delle pulsar tengono già conto degli effetti della relatività) e calcolare sempre con assoluta precisione, in qualsiasi momento, la propria posizione nello spazio, come gli antichi naviganti osservando le stelle del cielo. E questo è solo l'inizio.

Del resto, è passato appena da un secolo dalla scoperta della relatività. Probabilmente, le applicazioni più importanti sono ancora da scoprire.

## Il GPS e GALILEO



C'è un problema con il GPS di cui pochi sono a conoscenza: è di proprietà dell'esercito americano.

Il che vuol dire che noi lo usiamo in "comodato d'uso". Ma se, per motivi strategici, gli Stati Uniti avessero deciso in qualsiasi momento di tagliarci fuori dalla copertura satellitare, si poteva anche buttare il Tom-Tom (o quello che fosse).

Certo, non c'è motivo apparente per fare una cosa del genere. Togliere la copertura del segnale GPS è una mossa strategica fondamentale in guerra, tant'è vero che gli americani la adoperano spesso nei teatri di battaglia. Ma l'Europa è un'alleata degli Stati Uniti

Nel 2001 la Commissione per i trasporti e l'energia di Bruxelles pubblicò un documento in cui paventava la fine dell'autonomia nel settore della difesa e entro vent'anni l'Europa non si fosse dotata di un proprio sistema di navigazione rinominato **SISTEMA DI POSIZIONAMENTO SATELLITARE "GALILEO"**

**Galileo** doveva essere, come infatti è oggi, un servizio "open", a cui tutti gli Stati interessati avrebbero avuto libero accesso

La cosa agli americani non piacque per niente.

Paul Wolfowitz, all'epoca vice-segretario alla Difesa USA, ordinò seccamente all'Europa di mettere da parte il programma Galileo.

L'ingiunzione sortì l'effetto opposto: i paesi europei, che fino ad allora avevano tergiversato sulla questione, spinsero il piede sull'acceleratore, al fine di dotarsi entro pochi anni del proprio sistema di navigazione

Agli Stati Uniti non piaceva convivere con l'idea che il loro lungo predominio nel settore sarebbe venuto meno: in futuro, qualunque Stato – anche l'Iran – avrebbe avuto la possibilità di appoggiarsi al sistema Galileo facendosi beffe della spada di Damocle costituita dal GPS.

Non è un caso che a suo tempo la Cina si sia gettata nell'affare.

La Cina ha molti più interessi strategici dell'Europa riguardo la necessità di dotarsi di un sistema di navigazione satellitare che non venga "spento" ogni qualvolta Washington lo decida.

Ma dopo un po' la Cina si è ritirata dal programma e ha iniziato a sviluppare un sistema di navigazione in proprio. Pechino puntava a completare la sua costellazione, battezzata "**Beidou**", entro il 2020.

### Spazio, l'Europa mette in orbita "Galileo": sfida al GPS americano

Storico lancio dalla base europea nella Guyana francese: *"Alle 12,30 ore italiane l'Europa ha portato a casa un risultato fondamentale per la sua storia spaziale in orbita i primi due satelliti della costellazione Galileo"* che negli anni si sarebbe sostituito al GPS americano nei nostri navigatori satellitari

. Il razzo Soyuz, lanciato per la prima volta dallo spaziodoporto dell'Agenzia spaziale europea (ESA) di Kourou, nella Guyana francese – che pur essendo in America latina è territorio [europeo](#) – [ha regolarmente messo in orbita i primi due satelliti "Galileo"](#).

L'obiettivo era di arrivare, negli anni successivi, a piazzare nello spazio tutti i 30 satelliti della 'costellazione', permettendo così all'Unione europea di dotarsi di un sistema di navigazione satellitare autonomo dal GPS americano



In meno di dieci anni, quindi, i navigatori delle nostre auto non sarebbero stati più obbligati a connettersi ai satelliti del GPS, ma avrebbero potuto scegliere quelli di Galileo.

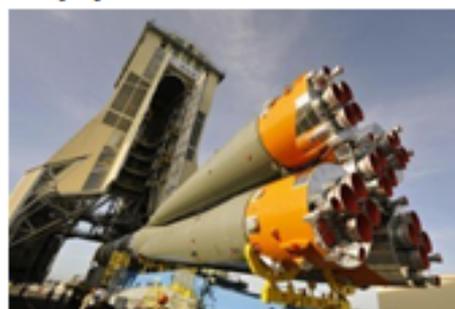
Uno "schiaccio" all'egemonia USA nel settore che ha provocato forti malumori alla Casa Bianca negli anni scorsi.

Ma perché Galileo? Perché non accontentarci del GPS che, tutto sommato, sembrava funzionare

## Le prossime tappe

Alla fine del 2020, se tutto andrà bene, saranno invece tutti in orbita i 30 satelliti Galileo, a un'altitudine di circa 24.000 chilometri dalla superficie terrestre, nella cosiddetta "orbita media" dove si trovano già i satelliti GPS.

La scaramanzia è d'obbligo: Galileo è molto indietro rispetto al cronoprogramma iniziale.



L'ESA prevedeva di mettere in orbita i primi satelliti per il 2004, e completare la costellazione nel 2008.

Solo dopo che i primi satelliti erano ormai stati completati, il Parlamento europeo e il Consiglio sono riusciti a raggiungere un accordo per il finanziamento della parte restante del programma e la sua governance.

# GALILEO

Il sistema Galileo ha un'accuratezza di gran lunga superiore a quella del GPS: ciascun satellite è equipaggiato con un orologio atomico che spacca il nanosecondo, necessario per poter regolare la propria posizione rispetto a quella degli altri satelliti della costellazione.

Ciò farà sì che il nostro navigatore satellitare potrà calcolare l'esatta posizione della vettura che stiamo guidando con uno scarto di al massimo un metro. E per quanto i costi siano lievitati negli ultimi anni, i guadagni saranno più che soddisfacenti: il mercato dei servizi di navigazione satellitare supera attualmente i 25 miliardi di dollari nel mondo. Secondo le stime dell'UE, il fatturato di Galileo dovrebbe situarsi intorno ai 9 miliardi di euro l'anno

## Come funzionano il GPS e/o GALILEO

GPS o GALILEO (Sistema globale di posizionamento) si basano su una costellazione di 24/30 satelliti che orbitano ad altissima quota attorno alla Terra.

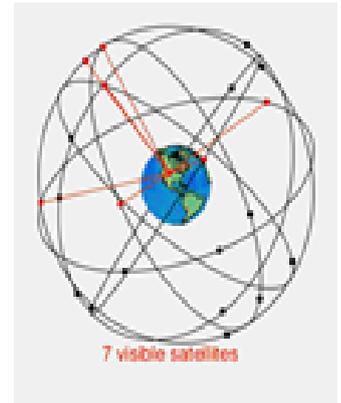
Questo sistema permette oggi a chiunque abbia uno smartphone o un altro dispositivo di conoscere la sua posizione su una pianta e anche essere guidato per andare in qualunque posto desideri.



Questi satelliti ruotano intorno alla Terra ad un'altezza di circa 20.200 km e permettono di fornire la posizione planimetrica e altimetrica di qualsiasi punto sulla superficie terrestre, che sia ferma o in movimento.

## Come funzionano il GPS e/o GALILEO

Il GPS calcola la distanza tra il punto interessato e un certo numero di satelliti (almeno 4), tramite un radio messaggio emesso dai satelliti e captato da un ricevitore posto sul punto capace di acquisire i segnali trasmessi dai satelliti, eseguire le misure necessarie e memorizzare i dati. Basandosi sui calcoli effettuati da tutti e 4 i satelliti si è in grado di risalire alla posizione di quel punto.



La TRILATERAZIONE. un pò più in dettaglio, il sistema considera ciascun satellite come il centro di una sfera il cui raggio è la distanza tra il satellite e il punto interessato. Le coordinate del punto di intersezione tra le 4 sfere immaginarie indicherà la posizione del ricevitore.

Per poter fare tutto questo, il GPS deve avere apparecchiature che misurano il tempo in modo molto preciso e in grado di correggere gli errori dovuti a vari fattori, come il passaggio del segnale nell'atmosfera terrestre.

E' importante, inoltre, conoscere l'esatta posizione dei satelliti nel momento della misurazione. Per fare questo ci si avvale di stazioni terrestri, dislocate nel pianeta. Alcune, dette stazioni di tracking, rilevano continuamente i dati sulle posizioni dei satelliti lungo le loro orbite. Una stazione principale (chiamata master) riceve ed elabora questi dati e trasmette poi i dati ai satelliti.