

# ***Approccio integrato all'agricoltura di precisione nella moderna azienda cerealicola pugliese***

## ***Acronimo: AdP4Durum***

Modulo 3 APPLICAZIONI DI AGRICOLTURA DI PRECISIONE

Incontro 1 I sistemi di posizionamento satellitare in agricoltura, il GPS e la meccanizzazione di precisione



# AdP4 DURUM



REGIONE PUGLIA

Progetto realizzato con finanziamento della  
Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018  
"Avviso pubblico per la presentazione di Progetti  
pilota per la promozione e lo sviluppo  
dell'Agricoltura di Precisione

**Simone Giovinazzo**

*CREA Centro di Ricerca Ingegneria e trasformazioni agroalimentari*



17 gennaio 2023



Partner di progetto

**HORT@**  
From research to field

**CAIONE**  
La Grande Soc. Coop. Agricola

**CON.CER**  
ORGANIZZAZIONE DI PRODUTTORI



# Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni Agroalimentari



**Le sedi del CREA-IT**



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018  
\*Avviso pubblico per la presentazione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto  
**HORT@**  
From research to field

**CAIONE CON.CER**  
La Quercia Soc. Coop. Agricoli ORGANIZZAZIONE DI PRODUTTORI



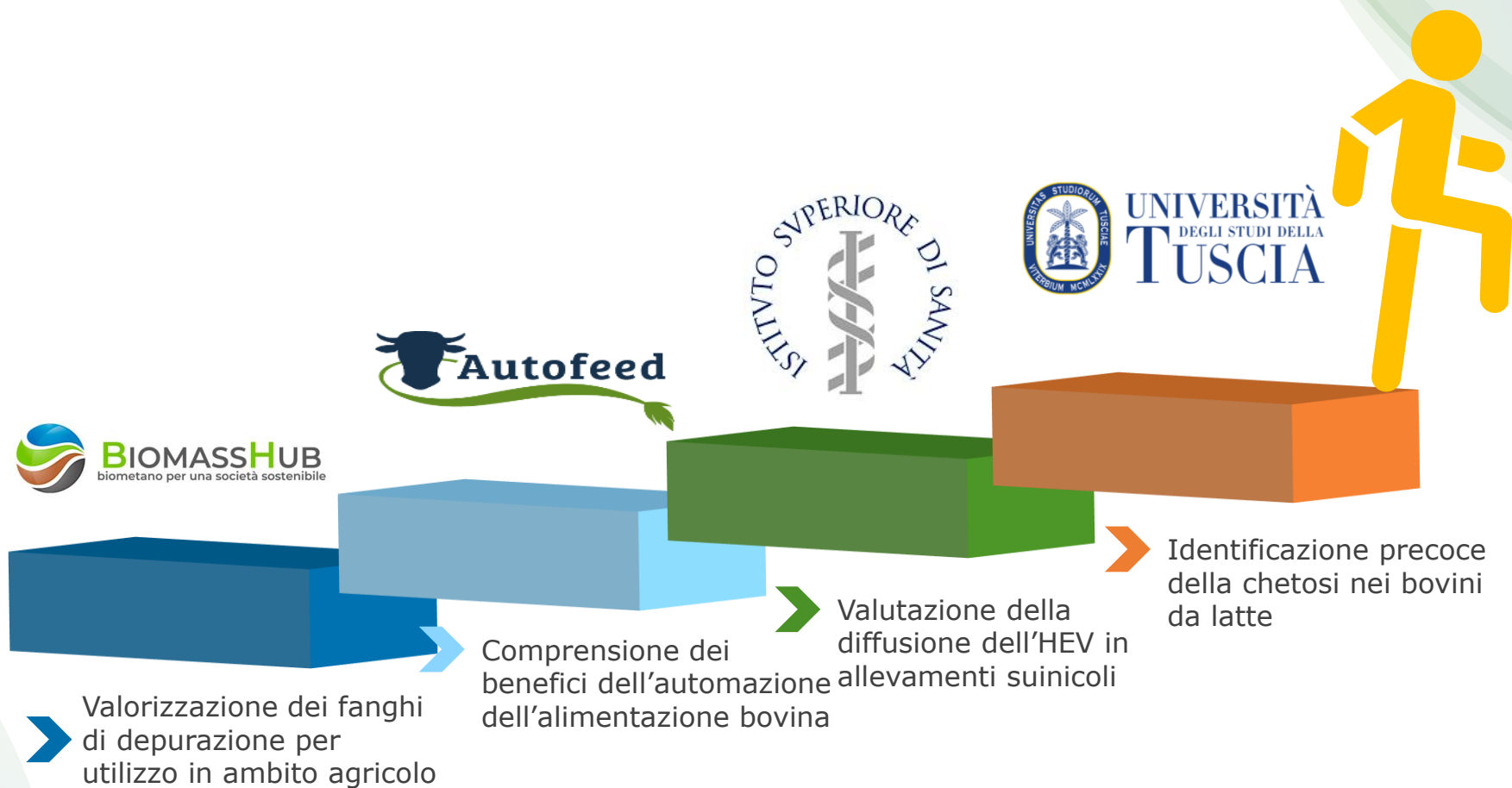


# CREA-IT Treviglio (Bg)



- 1 • Ingresso principale, uffici e biblioteca
- 2 • Sala prova motori e carburanti innovativi
- 3 • Laboratorio vibrazioni
- 4 • Prove dinamometriche
- 5 • Prove di ribaltamento
- 6 • Pista per test sulla dinamica delle macchine
- 7 • Test fonometrici
- 8 • Azienda agricola sperimentale (15 Ha)

# Il mio percorso professionale al CREA-IT di Treviglio





# Argomenti della lezione

1

**Sistemi di posizionamento globale in agricoltura**

2

**Sistemi di guida applicati alle macchine agricole**

*Dott. Lazzari*

- Sistemi di posizionamento globale (contesto storico)
- Modalità di funzionamento del GNSS
- RTK e network
- GPS in agricoltura

# Lezione Giovinazzo: Argomento n. 1

- 1) Sistemi di posizionamento globale
- 2) ...
- 3) ...
- 4) ...

# Modalità e strumenti utilizzati nel tempo per orientarsi



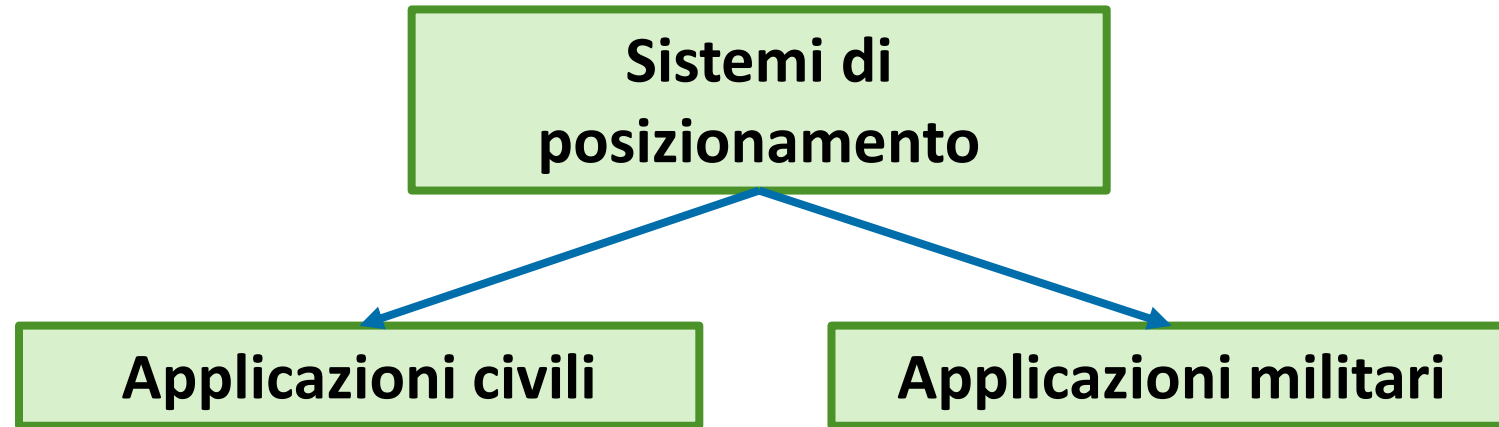
Come poter determinare la posizione sul globo terrestre per il raggiungimento della destinazione ricercata?





# Sistemi di rilevamento e navigazione nel XX secolo

**Avvento su larga scala della tecnologia elettronica in grado di fornire un risultato univoco e ripetibile**



- **Colpire i bersagli con precisione**
- **Evitare danni non voluti**

# I sistemi di posizionamento: Decca – Loran - Omega

- Stazioni trasmittenti poste a terra
- Trasmissione di segnali radio
- Stazione Master e Stazioni Slave
- Misurata una differenza di distanza del ricevitore dalle stazioni
- Grande diffusione durante il secondo conflitto mondiale
- Definitivamente abbandonati negli anni '90

**DECCA e OMEGA**



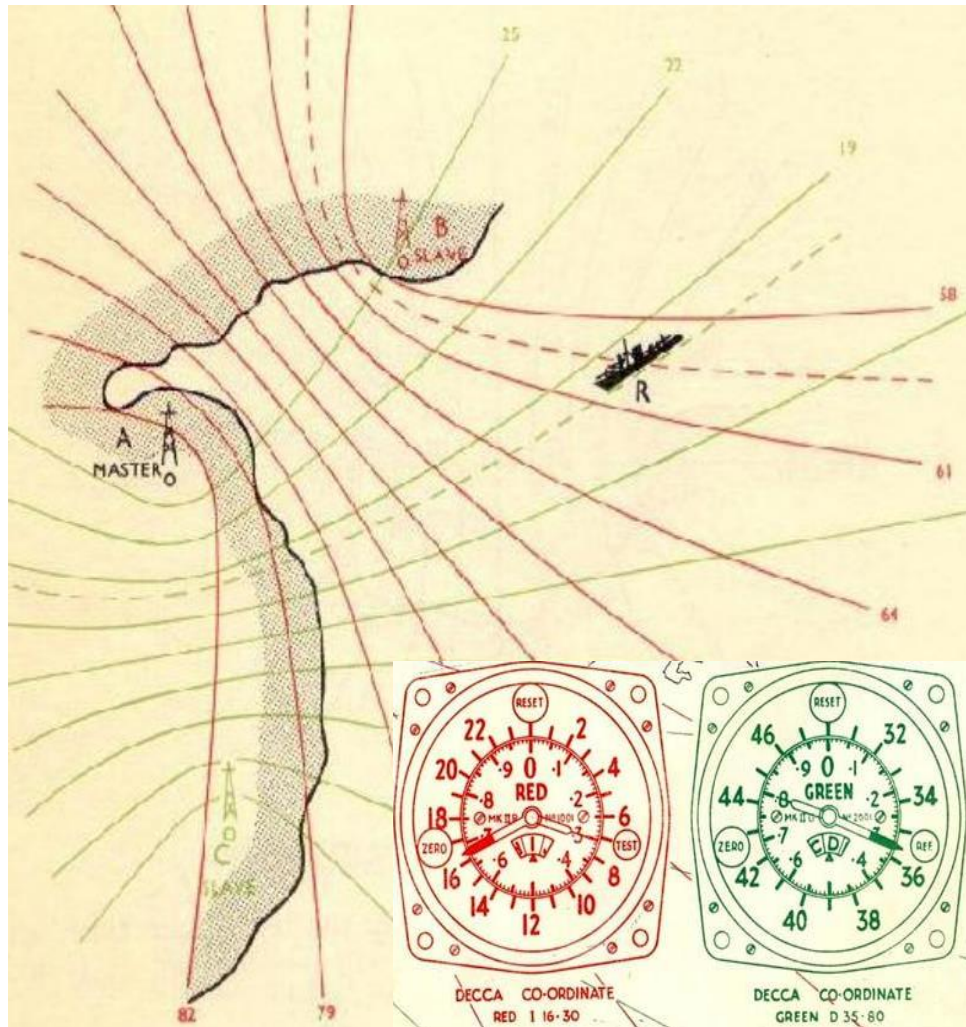
**Confronto di fase**

**LORAN**



**Confronto di tempo**

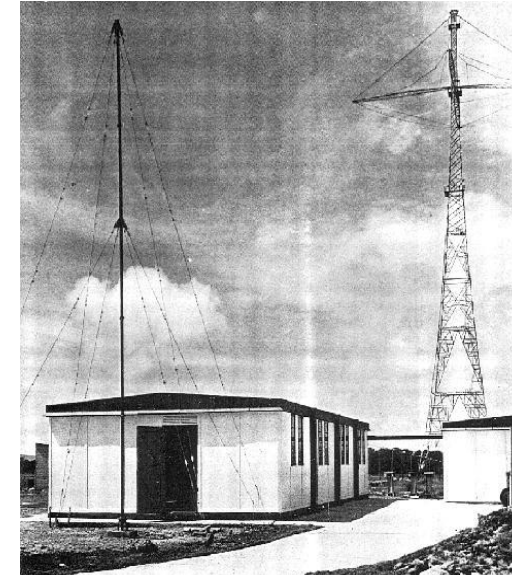
# Sistemi di posizionamento con confronto di fase



<http://www.jproc.ca/hyperbolic/decca.html>



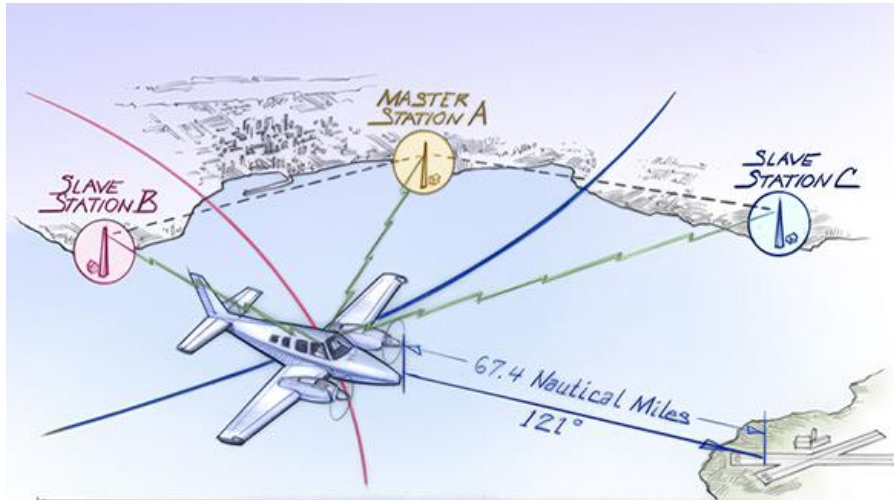
[https://en.wikipedia.org/wiki/Decca\\_Navigator\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Decca_Navigator_System)



<http://www.jproc.ca/hyperbolic/decca.html>



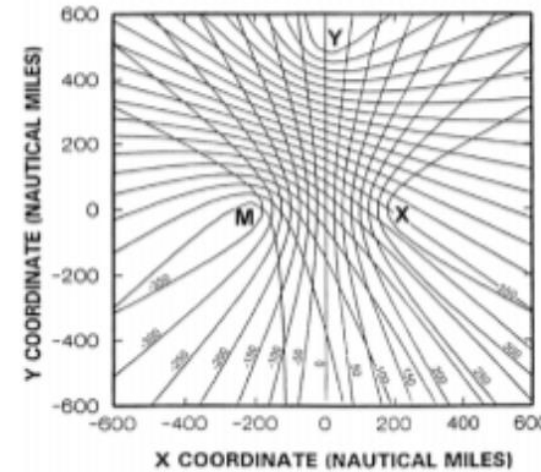
# Sistemi di posizionamento con confronto di tempo



<https://timeandnavigation.si.edu/multimedia-asset/loran-c-long-range-navigation>



[http://www.jproc.ca/hyperbolic/loran\\_a.html](http://www.jproc.ca/hyperbolic/loran_a.html)



[http://www.ingaero.uniroma1.it/attachments/1407\\_NAVIGAZIONE%20SATELLITARE.pdf](http://www.ingaero.uniroma1.it/attachments/1407_NAVIGAZIONE%20SATELLITARE.pdf)

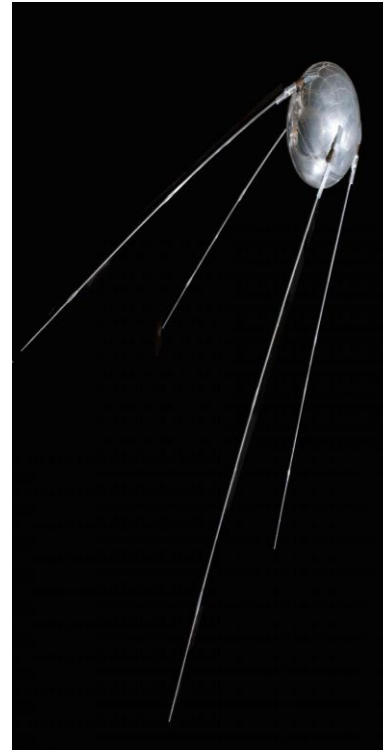
# Modalità di funzionamento del sistema LORAN



<https://www.youtube.com/watch?v=PDtHuIWGMGg&t=8s>

# L'inizio della ricerca sulla navigazione satellitare

- Con la Guerra Fredda le applicazioni militari hanno favorito la ricerca sulla navigazione satellitare per stabilire la posizione dei missili balistici
- Sputnik I come primo satellite mandato in orbita dall'URSS il 4 ottobre 1957
- Sfera in alluminio, con 4 antenne radio esterne per trasmettere gli impulsi



...determinando con precisione le orbite dei satelliti, è possibile identificare una posizione sulla Terra

<https://airandspace.si.edu/stories/editorial/sputnik-and-space-age>

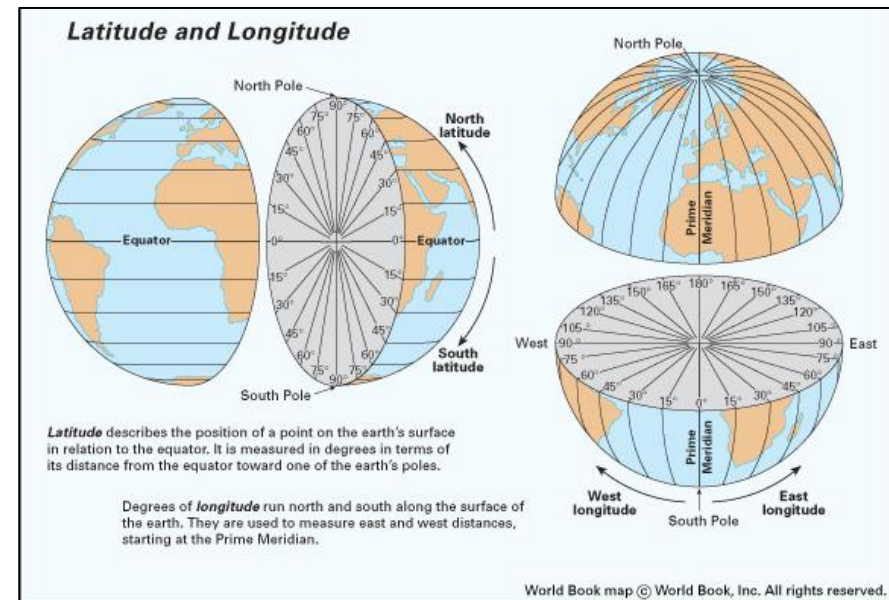


# I sistemi di posizionamento satellitare

- Il posizionamento satellitare si basa sulla ricezione di segnali a radiofrequenza provenienti da satelliti artificiali in orbita che permettono di stimare le coordinate tridimensionali di latitudine, longitudine e altitudine su un qualunque punto della superficie terrestre o dell'atmosfera con un errore prevedibile di qualche cm/metro
- La strumentazione necessaria all'utente per poter fruire di questo servizio è un ricevitore in grado di elaborare i segnali ricevuti dai satelliti in orbita attorno alla terra



<https://www.istockphoto.com/it/foto/ricevitore-gps-e-mappa-gm505850442-83899221>



<https://fitz6.wordpress.com/2015/03/11/longitude-and-latitude/>

# Ricadute applicative della tecnologia

L'informazione posizionale, determinata dal ricevitore viene poi resa disponibile ad un software applicativo per gli impieghi desiderati, in ambito civile, o in ambito militare

Tra le tante ricadute applicative di questi sistemi:

- Navigazione
- Servizi di ricerca e soccorso
- Applicazioni topografiche
- Applicazioni catastali
- Applicazioni in ambito agricolo
- ....



# I segmenti funzionali di un sistema GNSS



<https://www.spirent.com/blogs/what-is-the-difference-between-gnss-and-gps>

## Segmento spaziale

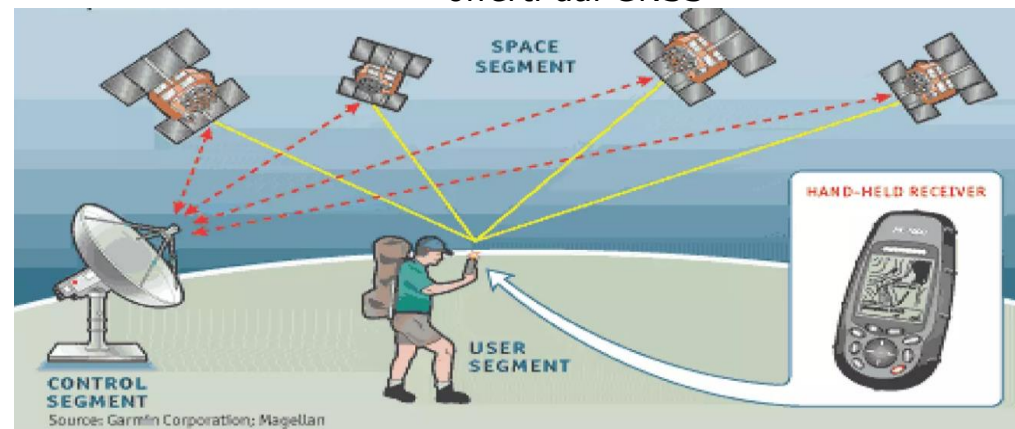
Formato dalla costellazione di satelliti che si muovono sui vari piani orbitali e che seguono orbite circolari non geostazionarie attorno al pianeta terra

## Segmento di controllo

Comprende alcune stazioni permanenti distribuite in modo omogeneo sulla terra e svolge funzioni di monitoraggio e controllo dei satelliti (orologio di bordo, calcolo orbite...)

## Segmento di utilizzo

Costituito da tutti gli utenti che usufruiscono dei servizi offerti dai GNSS



Source: Garmin Corporation; Magellan

Kenna P., Identification of location co-ordinates of blood in simulated crime scene using DGPS, 2018



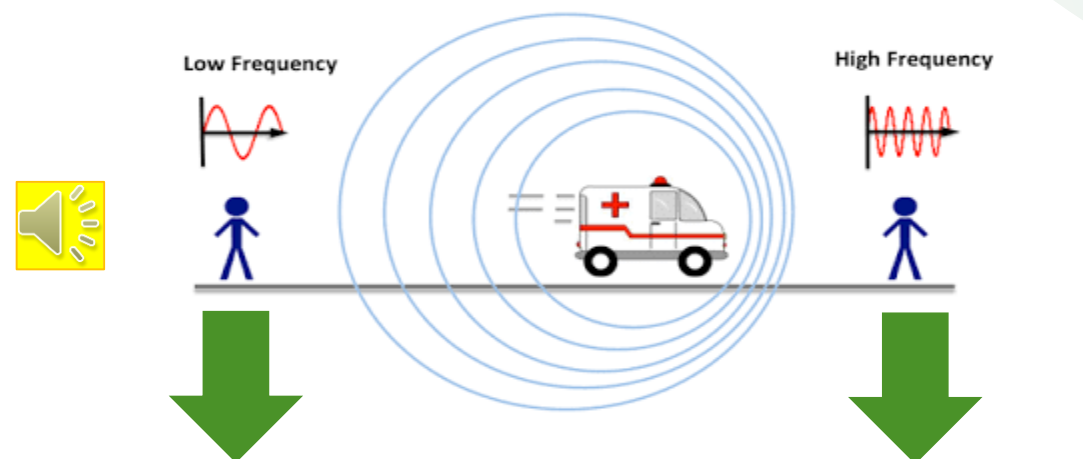
# Il primo sistema di posizionamento satellitare: Transit

- Il primo sistema di posizionamento satellitare inventato fu il sistema statunitense Transit agli inizi degli anni '60
- Tecnologia composta da 5 satelliti che basa la propria operatività sull'effetto Doppler

<https://www.kfyrtv.com/2022/07/11/morse-code-weather-how-doppler-radar-is-used-detect-rotation-within-thunderstorms/>

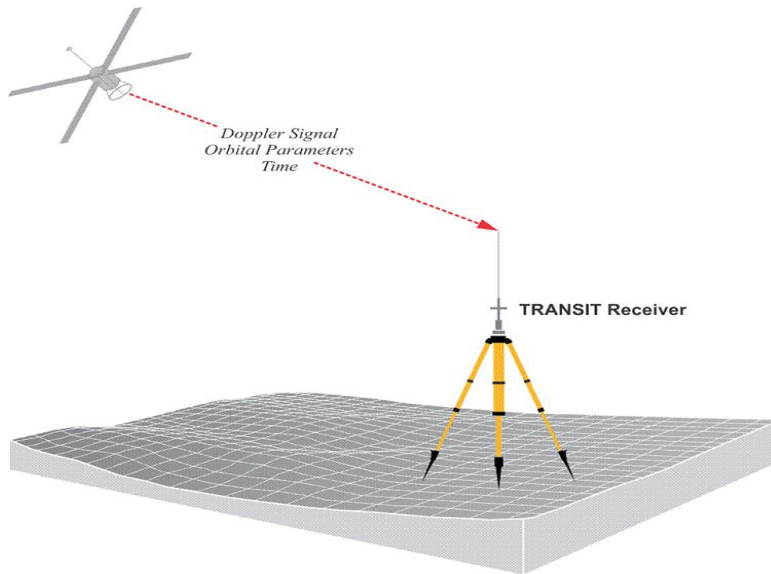


**Si verifica sia quando la sorgente si muove e il ricevitore è fermo sia nel caso opposto**



- Onde sonore stirate
- Intervallo di tempo tra 2 onde successive aumenta
- Numero di onde (frequenza) diminuisce
- Onde sonore comprese
- Intervallo di tempo tra 2 onde successive diminuisce
- Numero di onde (frequenza) aumenta

# Vantaggi e svantaggi del sistema Transit



<https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1767>

- I satelliti si spostano su orbite note e trasmettono i loro segnali su una frequenza specifica
- La frequenza ricevuta differisce da quella nominale a causa dello spostamento del satellite rispetto al ricevitore
- Monitorando questa variazione di frequenza su un breve intervallo di tempo, il ricevitore poteva determinare la sua posizione

## Vantaggi

Stessa organizzazione funzionale dei segmenti costituenti il sistema

1

## Svantaggi

1

Suscettibili alla resistenza atmosferica e alle variazioni gravitazionali

2

Invio continuo da terra di messaggi per modifiche del percorso orbitale per aggiornamento trasmissione dati

**Orbita a 11.000 km di distanza  
dalla superficie terrestre**

# Il sistema di posizionamento Navstar-GPS

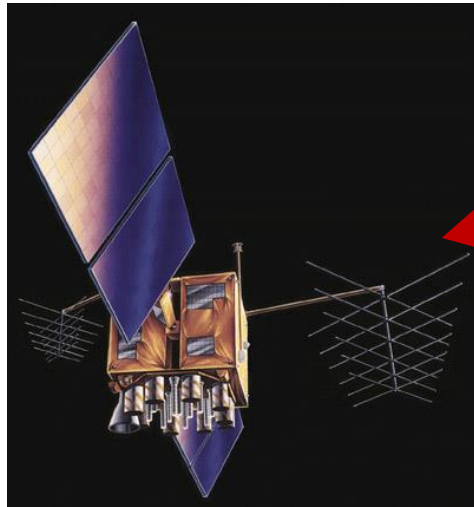
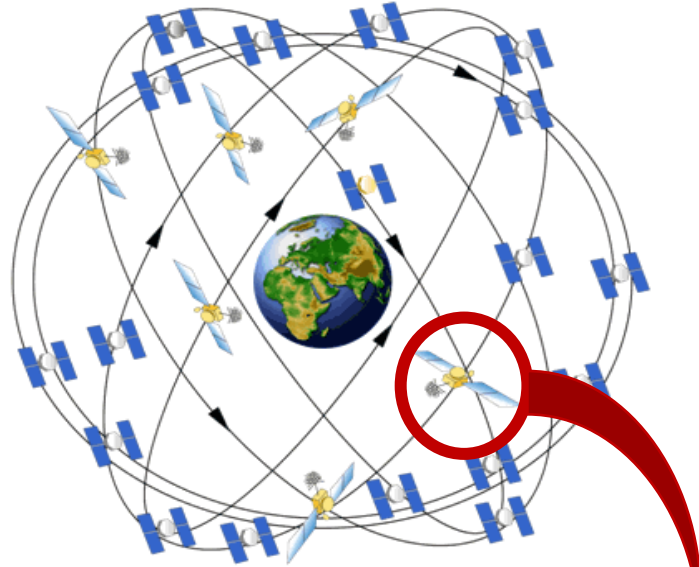


- Nel 1973 fu varato il progetto Navstar GPS, acronimo di "NAVigation Satellite Time and Ranging Global Positioning System"
- Il NAVSTAR Global Positioning System (GPS) è un sistema di navigazione spaziale in grado di operare in ogni condizione meteo, sviluppato dal Dipartimento di Difesa Americano per soddisfare le richieste delle forze armate per stimare accuratamente la loro posizione, velocità e tempo in un comune sistema di riferimento, ovunque e indifferentemente sulla Terra o sopra di essa [Wooden, 1985]



# Segmento spaziale del sistema Navstar GPS

## Segmento spaziale

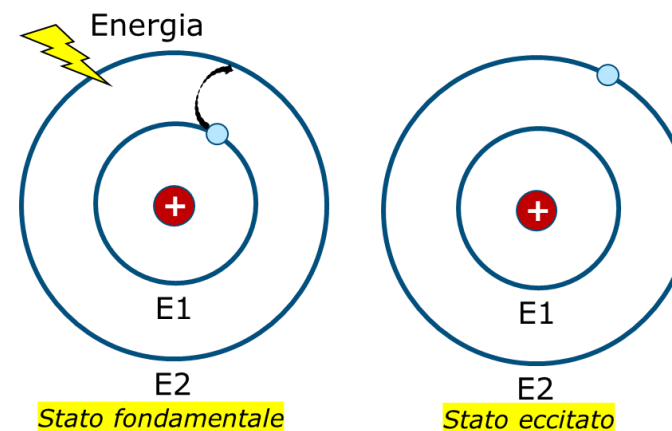
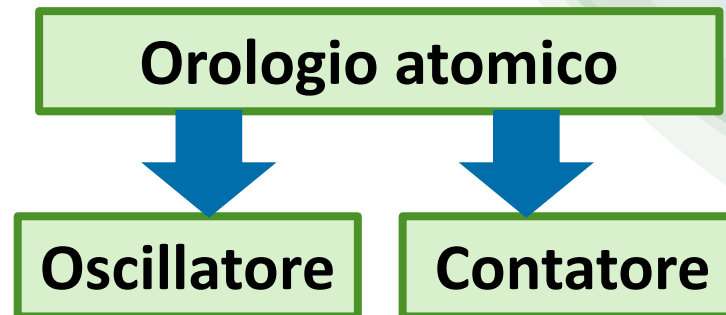


- Il segmento spaziale del sistema comprende ad oggi 32 satelliti (24 pienamente operativi e 8 tra satelliti di scorta o a fine vita)
- Orbitano ad una quota di 20.200 km su 6 piani inclinati rispetto al piano equatoriale di 55°
- I satelliti seguono un'orbita circolare e ripetono lo stesso percorso nel cielo dopo un giorno siderale
- Equipaggiati con orologi atomici che sfruttano le oscillazioni di atomi di cesio e di rubidio per la trasmissione dei segnali e pannelli solari

[https://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/c5\\_p15.html](https://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/c5_p15.html)

# Teoria alla base degli orologi atomici

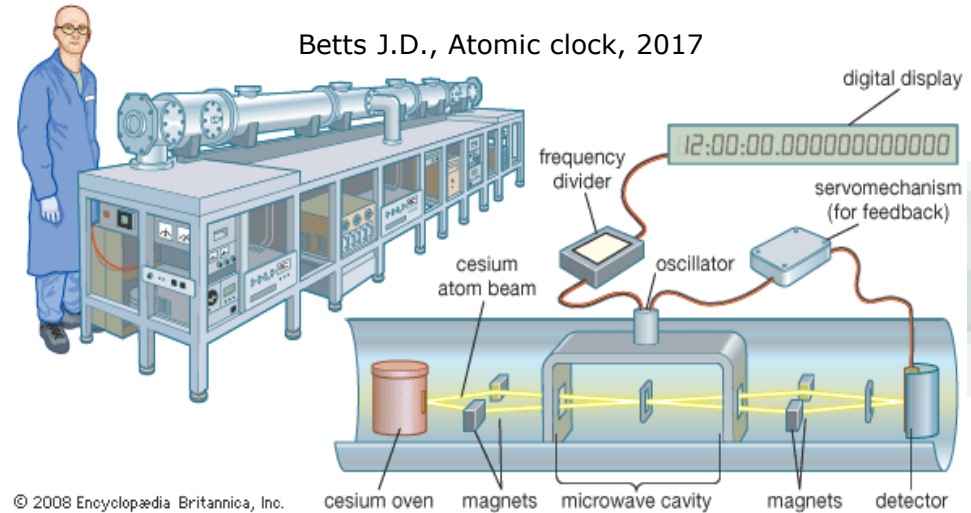
- Gli elettroni modificano la propria orbita con "step" precisi determinati dalla quantità di energia somministrata
- Salti energetici quantizzati a frequenze stabili definita *frequenza di risonanza dell'atomo*
- Gli elettroni rimangono nella propria orbita per un tempo infinitesimale dell'ordine di  $10^{-9}$  secondi
- Definizione di secondo stabilita nel 1967 come 9.192.631.770 cicli della transizione della struttura iperfine tra due livelli dell'atomo di cesio 33



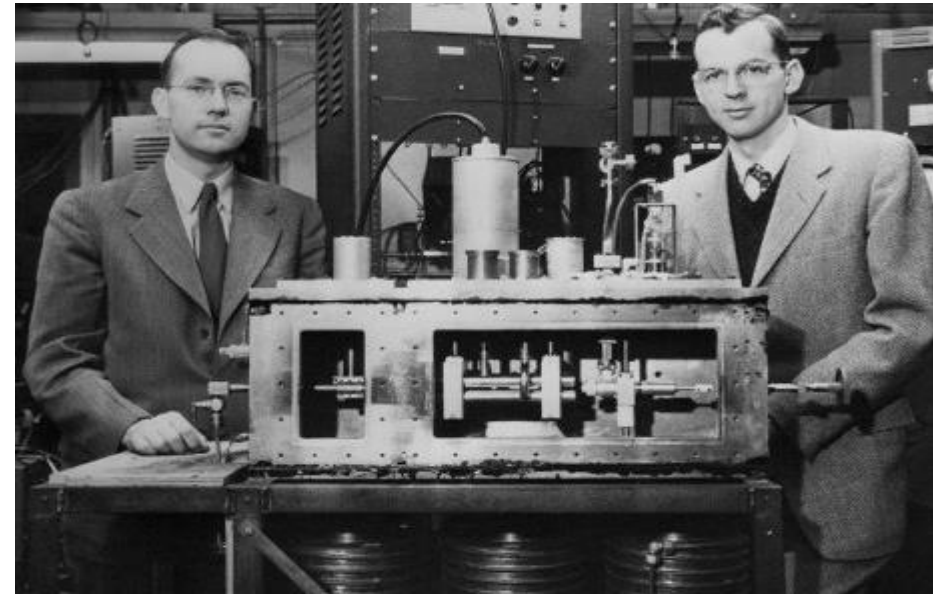
# Come funzionano gli orologi atomici?

- Step1**
- Gli atomi di cesio vengono scaldati in forno ed eccitati
- Step2**
- Campo magnetico separa atomi con diverso stato energetico
- Step3**
- Fascio di radiazione microonde con frequenza di 9.192.631.770 hertz eccitano elettroni
- Step4**
- Secondo campo magnetico elimina atomi rimasti allo stato energetico fondamentale
- Step5**
- Rilevatore misura frequenza di risonanza dell'atomo e la converte in misura temporale

Orologi al rubidio meno precisi, usati come riserva: stesso principio di funzionamento



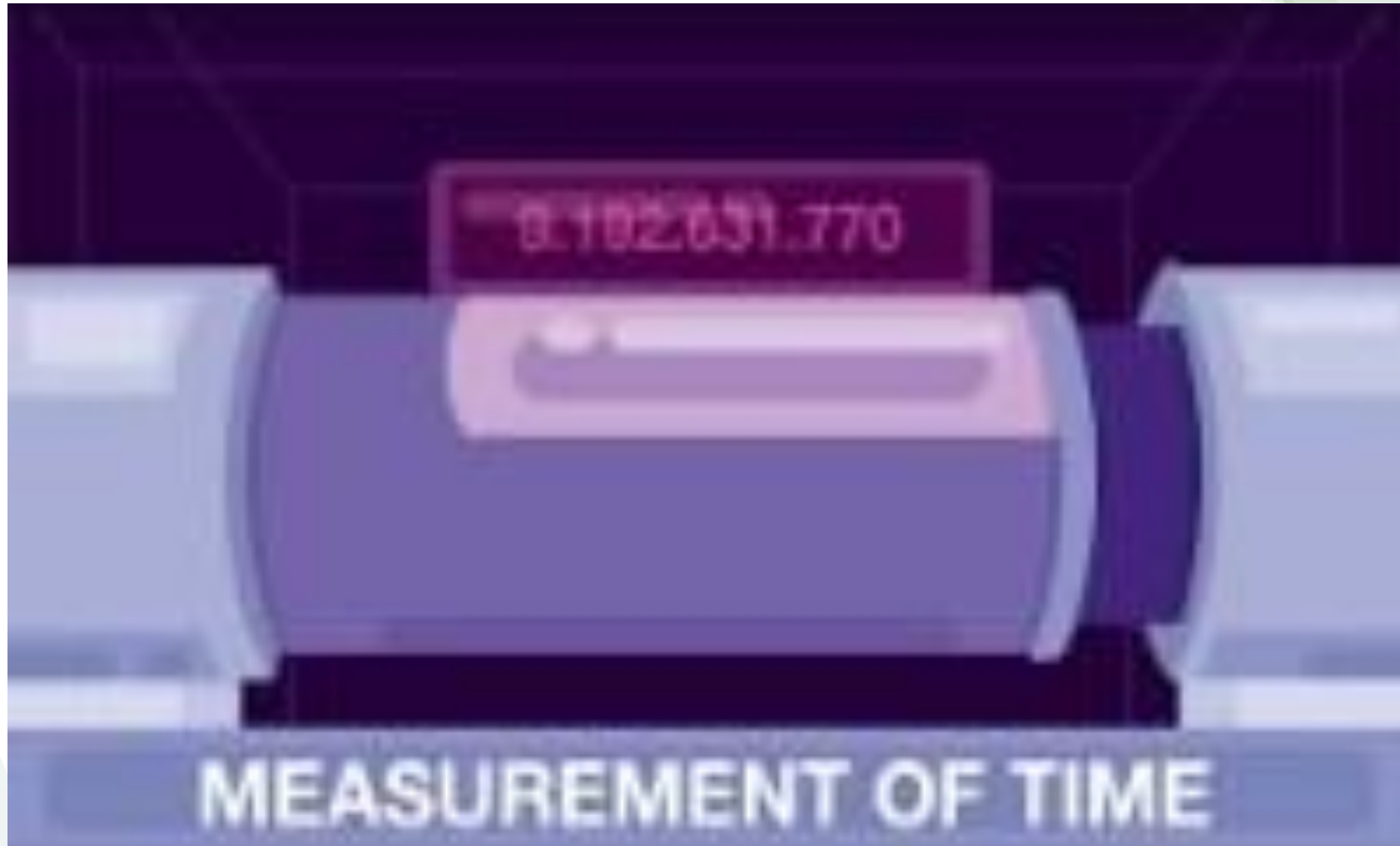
© 2008 Encyclopædia Britannica, Inc.



[https://www.lescienze.it/news/2013/07/12/news/definizione\\_secondo\\_orologio\\_atomico\\_cesio\\_stronzio-1736886/](https://www.lescienze.it/news/2013/07/12/news/definizione_secondo_orologio_atomico_cesio_stronzio-1736886/)



# Modalità di funzionamento di un orologio atomico



<https://www.youtube.com/watch?v=RUD2pvKbpfs&t=167s>



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018  
\*Avviso pubblico per la presentazione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto  
**HORT@**  
From research to field

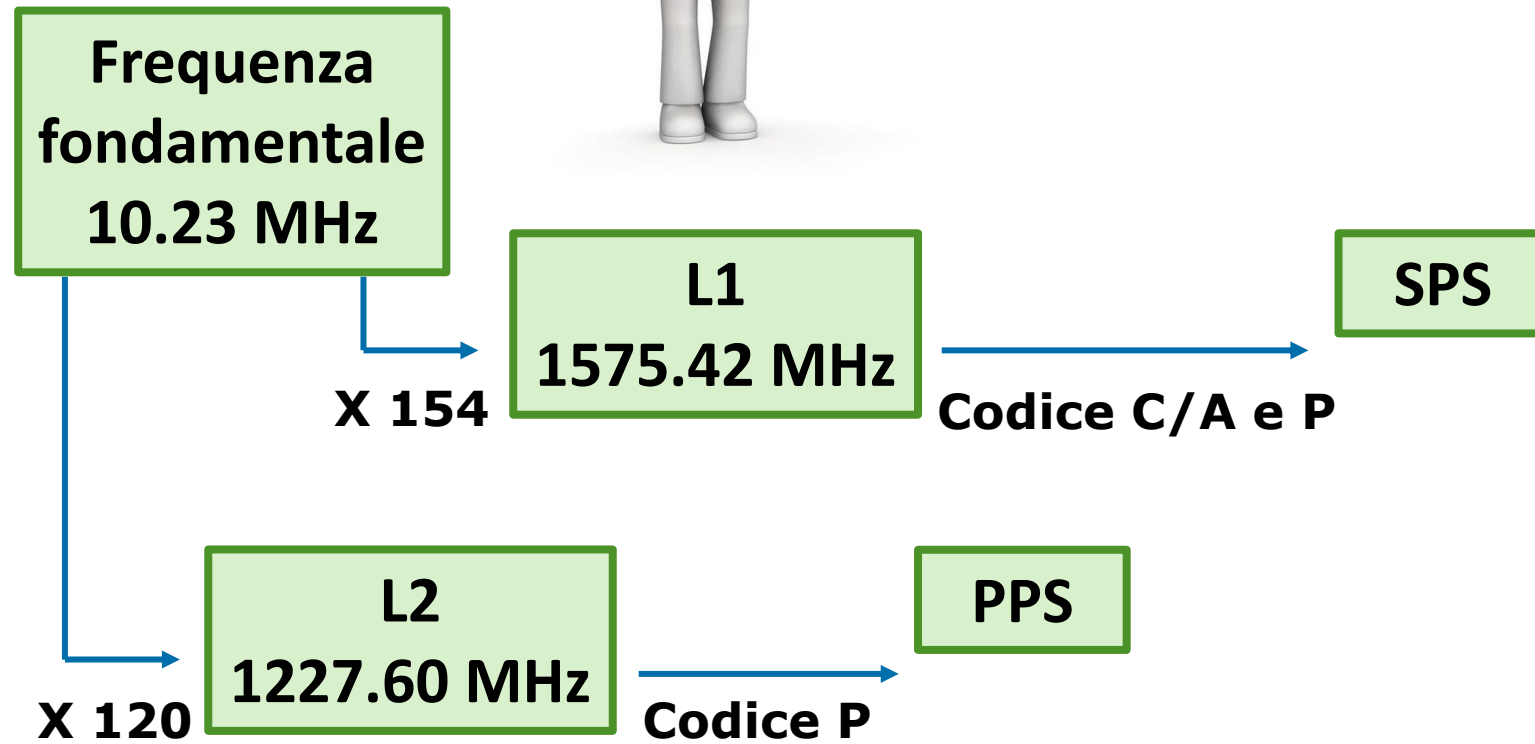
**CAIONE CON.CER**  
La Quercia Soc. Coop. Agricoli ORGANIZZAZIONE DI PRODUTTORI



# Segnali generati dai satelliti Navstar GPS

- Gli orologi atomici oscillano ad una frequenza fondamentale di 10.23 MHz
- Ciascun satellite trasmette su due canali L1 e L2
- Le frequenze portanti sono di 1575,42 MHz (L1) e di 1227,6 MHz (L2) derivate dalla frequenza fondamentale dell'orologio atomico moltiplicato per 154 e 120
- Su ciascuna onda portante vengono trasmessi segnali o codici che una volta giunti sulla terra possono essere elaborati dal ricevitore
- Il livello dei servizi resi disponibili dal sistema sono 2
  - Standard Positioning Service (SPS): libero e reso disponibile a chiunque sia munito di un ricevitore e trasmesso su L1
  - Precise Positioning Service (PPS): riservato ad utenti autorizzati e trasmesso su L2
- I codici generati sono 2 e consistono in una successione di cifre binarie zero e uno, note come bits
  - Coarse acquisition (o codice C/A), assegnato ad ogni satellite che permette ai ricevitori GPS di identificare quale satellite stia trasmettendo un particolare codice
  - Precision (o codice P)
- La funzione del ricevitore di bordo è di identificare il satellite attraverso la banca dati di codici che quest'ultimo ha in suo possesso; infatti ogni satellite ha un codice grazie a cui il ricevitore lo identifica

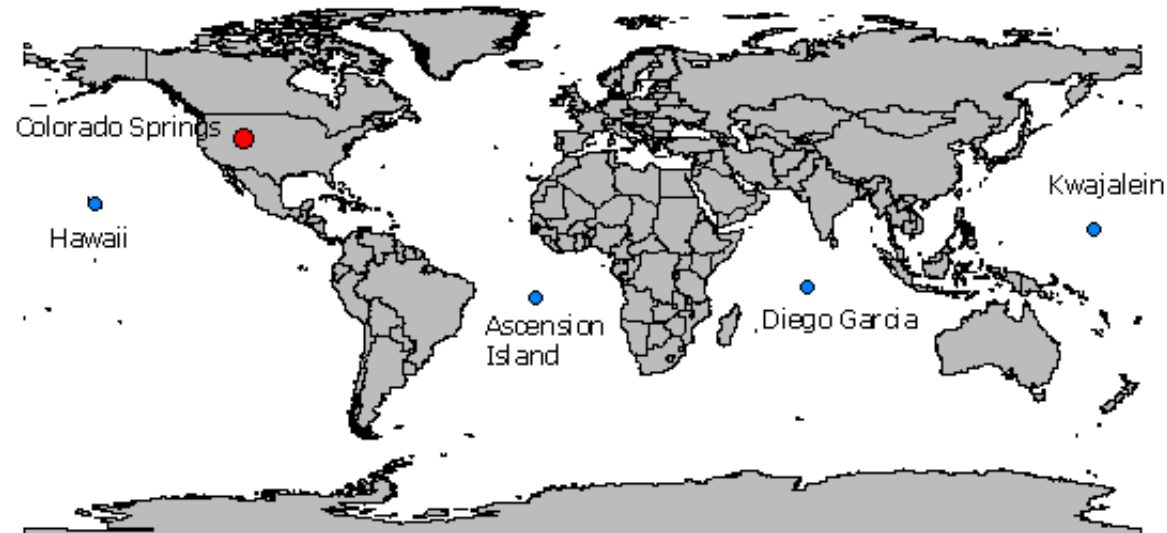
# Rappresentazione grafica dei segnali generati dai satelliti





# Segmento di controllo del sistema Navstar GPS

- Il segmento di controllo è composto da una stazione principale, una stazione di controllo principale alternativa, antenne terrestri e stazioni di controllo e monitoraggio dedicate
- Le cinque stazioni di monitoraggio tracciano l'orbita di ogni satellite avvistato e passano i dati alla stazione master che li processa per effettuare eventuali correzioni alle orbite dei satelliti o ai loro orologi



● Master Control Station

● Monitor Station

<https://www.umweltanalysen.com/en/gps/>



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018  
\*Avviso pubblico per la presentazione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto  
**HORT@**  
From research to field

**CAIONE**  
La Quercia Soc. Coop. Agricoli

**CON.CER**  
ORGANIZZAZIONE DI PRODUTTORI



# Segmento di utilizzo del sistema Navstar GPS



## Segmento di utilizzo



Calcante A., Sistemi di posizionamento globale e sistemi di guida delle macchine agricole, 2016

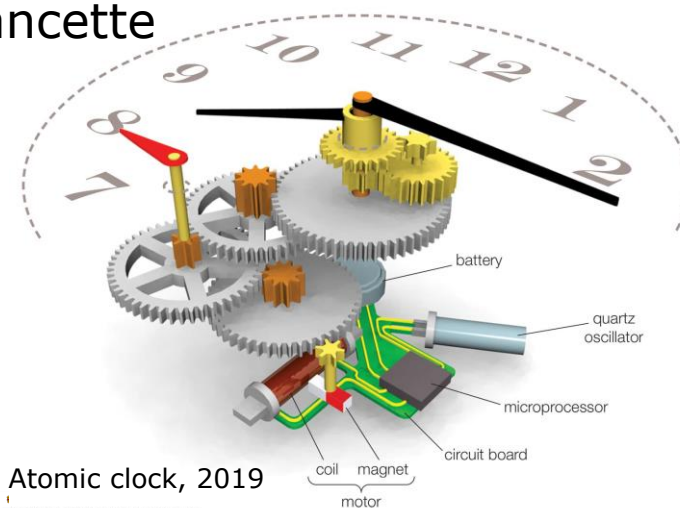
I ricevitori si compongono di:

1. Antenna
2. Microprocessore
3. Sorgente di tempo (oscillatore al quarzo)
4. Display

<https://www.losangeles.spaceforce.mil/News/Article-Display/Article/343994/the-global-positioning-systems-wing-space-assets-as-a-force-multiplier-in-all-f/>

# Come funzionano gli oscillatori al quarzo?

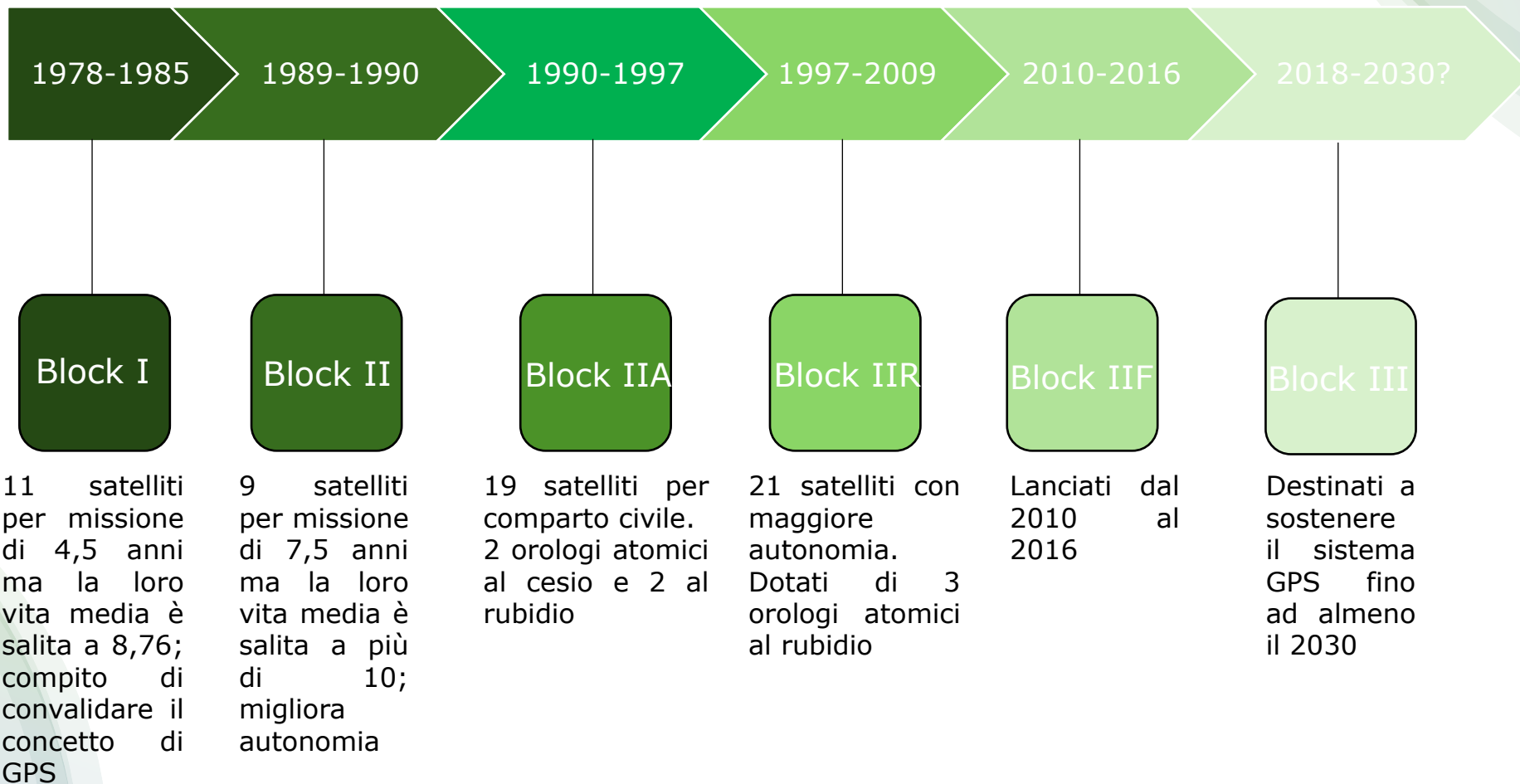
- Misurazione del tempo dalle oscillazioni di un cristallo di quarzo
- La batteria contenuta nel circuito elettrico assicura una differenza di potenziale necessaria a far scorrere corrente elettrica nel circuito che pone in oscillazione il cristallo di quarzo
- Questo vibra ad una frequenza costante di 32.768 Hz
- Circuito conta il numero di oscillazioni e genera impulsi elettrici regolari (uno al secondo) al motore elettrico dell'orologio che, muovendo alcune ruote dentate, sposta regolarmente le lancette



Betts J.D., Atomic clock, 2019



# Le generazioni di satelliti del sistema Navstar GPS



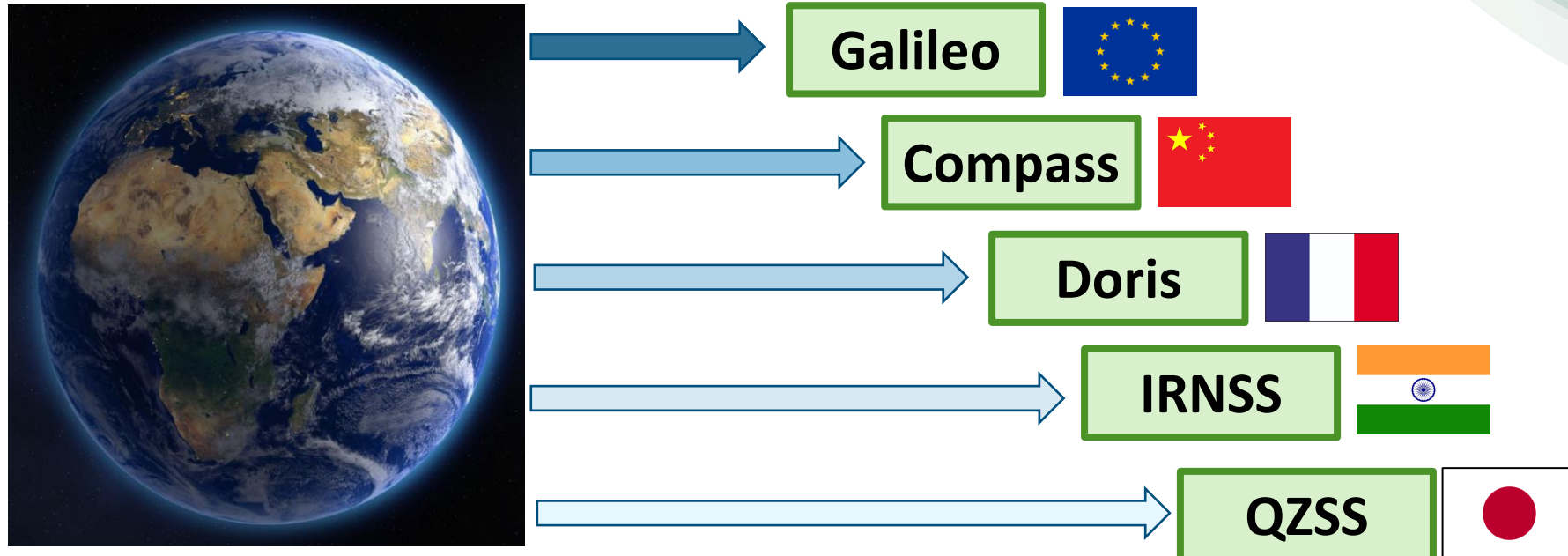
# Il sistema di posizionamento Glonass



- Nel 1982 fu varato il sistema di navigazione russo Glonass, acronimo di "GLObal NAvigation Satellite System"
- Raggiunse la piena operatività nel 1995, per poi subire un lento degrado a causa delle vicissitudini che colpirono l'allora Unione Sovietica
- Il segmento spaziale comprende 31 satelliti, 24 di questi operativi e 4 di scorta orbitanti su tre piani orbitali ad una quota di 19100 km
- 3 generazioni di satelliti (l'ultimo GLONASS-K con aspettativa 10 anni)
- L'intero segmento di controllo si trova sul territorio dell'ex-Unione Sovietica

# Altri sistemi di posizionamento satellitare

- Nonostante gli USA abbiano dichiarato di offrire il servizio GPS gratuitamente a tutti gli utenti, mantenendo sempre aggiornato il sistema, la preoccupazione che sensibili attività civili debbano dipendere da un sistema controllato da forze militari di un unico Paese, portò altri a sviluppare, un proprio sistema di navigazione satellitare



- GNSS, Global Navigation Satellite System, ossia la possibilità di impiegare contemporaneamente i segnali acquisiti dalle costellazioni globali operative e future anche agli accordi effettuati tra i vari gestori di tali sistemi per garantire la massima compatibilità e interoperabilità



# I sistemi Galileo e Compass

- **Galileo:** Progettato nel 2002 dall'Agencia Spaziale Europea e dalla Commissione Europea esclusivamente per scopi civili. Il sistema ad oggi conta 8 satelliti in orbita, e a regime sarà costituito da 30 satelliti orbitanti ad una quota di circa 24000 km dalla superficie terrestre. Compatibile con il Navstar-GPS in modo da consentire una maggiore accuratezza nella geolocalizzazione degli utenti rispetto a quella fornita dal solo sistema GPS statunitense

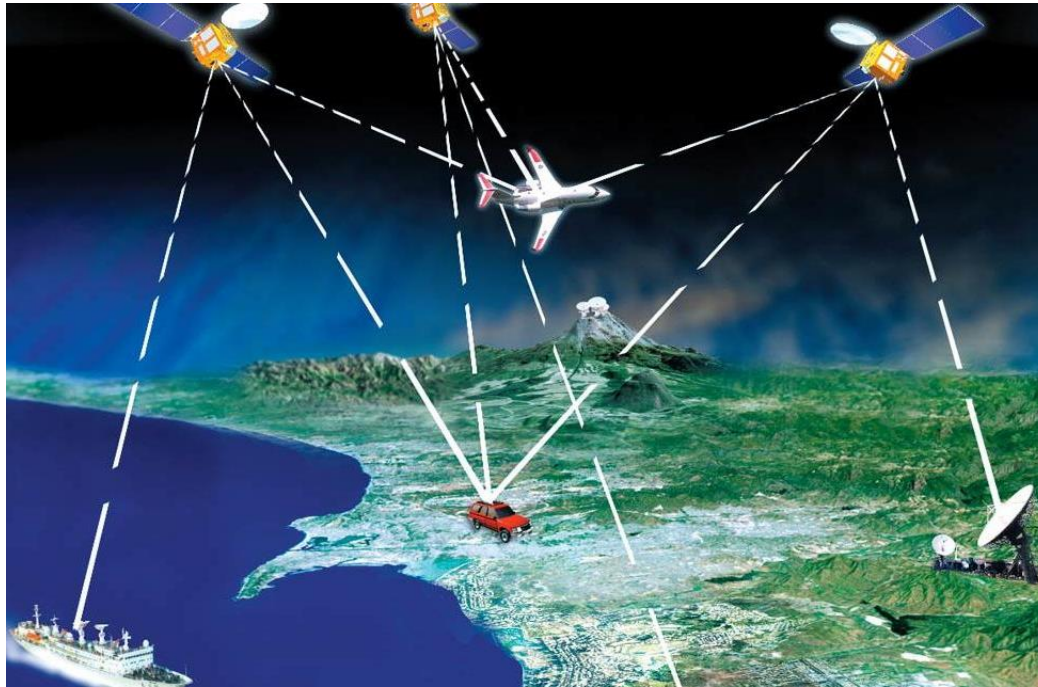


- **Compass:** Progettato dalla Repubblica Popolare Cinese, ad oggi comprende 9 satelliti mentre a regime sarà costituito da 30 satelliti orbitanti a circa 21500 km dalla Terra. Il sistema offrirà due tipi di servizio: uno ad alta precisione il cui uso sarà riservato alle forze armate cinesi ed a quelle pakistane, ed uno che sarà aperto all'uso civile

# Lezione Giovinazzo: Argomento n. 2

- 1) Sistemi di posizionamento globale
- 2) Modalità di funzionamento del GNSS
- 3) ...
- 4) ...

# Calcolo del satellite ranging



- L'operazione più importante che deve compiere un ricevitore GNSS è la misura della sua distanza rispetto ai satelliti, ossia il calcolo del **satellite ranging**

Calcolato sulla base del tempo di volo che un segnale radio emesso dal satellite e che viaggia alla velocità della luce impiega a raggiungere un ricevitore posto a terra

<http://www.antoniovargiu.it/antonio/gps-strumentodilavoro/>

- Conoscere la posizione dei satelliti è un pre-requisito fondamentale perciò i satelliti operano in stretto contatto con le stazioni di controllo che provvedono ad inserire nel segnale inviato dai satelliti le informazioni relative alla loro posizione



# Come avviene il calcolo del satellite ranging?

- La determinazione della distanza tra satellite e ricevitore può richiedere:

Misura di fase

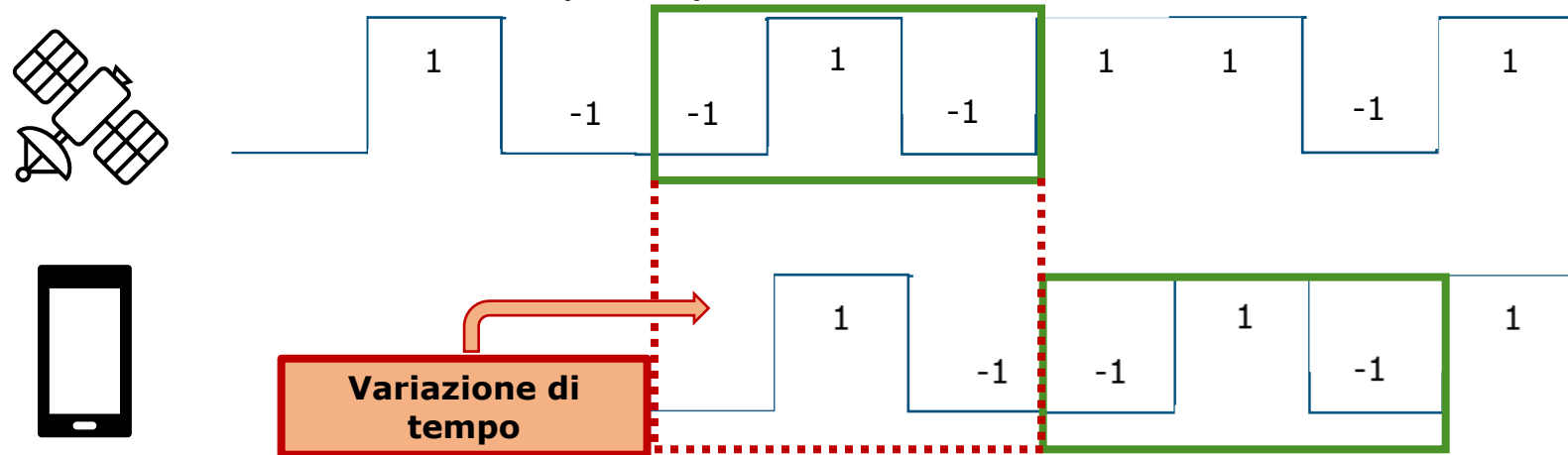
Misura di pseudorange

Determina una distanza quantificando il numero di onde costituenti il segnale dal momento in cui parte fino alla sua ricezione a terra

Determina una distanza quantificando il tempo di volo del segnale radio trasmesso dal satellite per raggiungere il ricevitore a terra

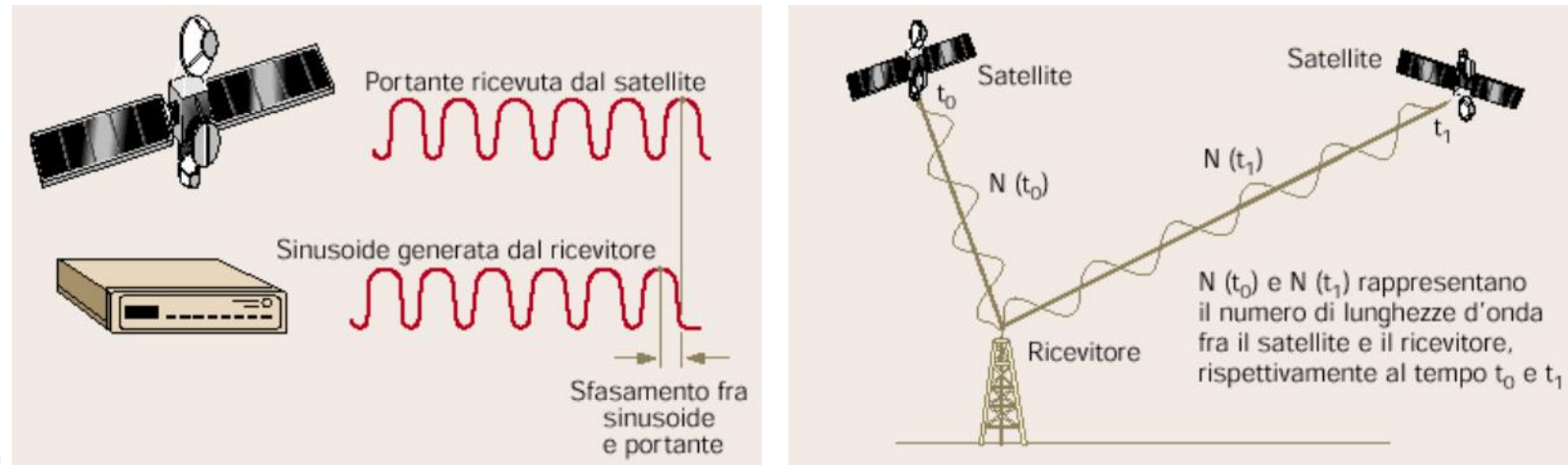
# Misura di pseudorange

- La misura di pseudorange è ottenuta dalla ricezione del codice di coarse acquisition (C/A) da parte del ricevitore e fornisce un'istantanea dell'orologio atomico satellitare al tempo di trasmissione
- Il segnale del codice C/A che arriva dal satellite viene confrontato con una copia dello stesso codice generato nel ricevitore
- Viene determinato lo sfasamento temporale fra i due codici
- La differenza nel tempo di ricezione viene moltiplicata per la velocità di propagazione del segnale nello spazio (la velocità della luce)
- Pseudorange poiché viene calcolata a partire da un tempo misurato con orologi aventi precisioni molto diverse, per questo motivo la misura risulta forzatamente poco precisa



# Misura di fase

- La misura di fase si basa sulla determinazione della distanza tra ricevitore e satellite a partire dal conteggio del numero di onde costituenti il segnale dalle due portanti L1 e L2
- La fase dell'onda portante che arriva dal satellite viene confrontata con la fase di un'onda di riferimento generata all'interno del ricevitore stesso, all'istante della ricezione
- Poter contare il numero preciso di onde che sono state generate dal momento in cui il segnale è partito dal satellite sino alla captazione dal ricevitore permette di risalire alla distanza tra satellite e ricevitore sommando l'entità dello sfasamento
- Calcoli più complessi, ma maggiore precisione del segnale rilevato



<http://www.tataclub.net/downloads/gps.pdf>



# Determinazione della distanza tra satellite e ricevitore



<https://www.youtube.com/watch?v=6tLGoV6HIW4>

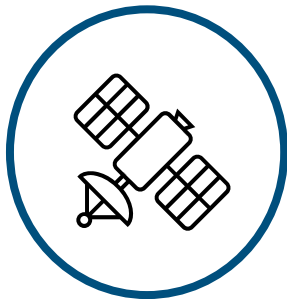
# Trilaterazione per il calcolo della posizione di un ricevitore

Come posso conoscere una posizione sulla superficie terrestre??

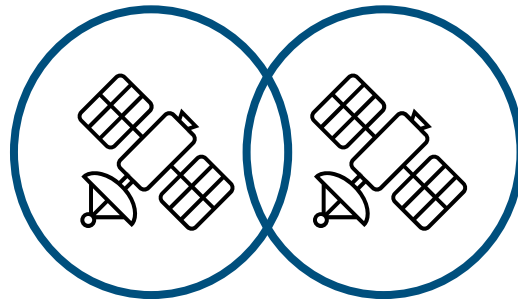


Come posso determinare latitudine, longitudine e altitudine di un ricevitore

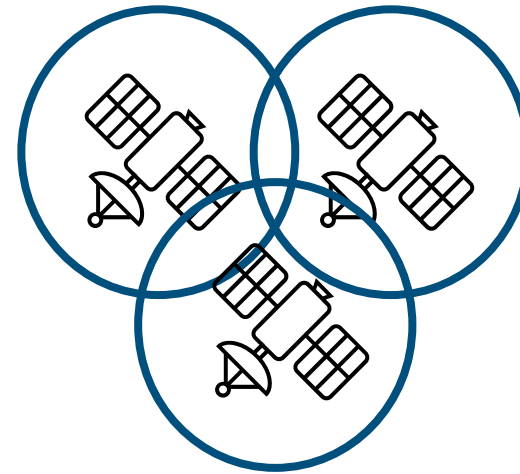
- Tutti i satelliti inviano simultaneamente a terra un segnale che contiene dei parametri di navigazione, a partire dai quali è possibile determinare la loro posizione nello spazio
- Queste posizioni corrispondono al centro di sfere, mentre i raggi rappresentano la distanza da satellite al ricevitore



1 satellite



2 satelliti



3 satelliti

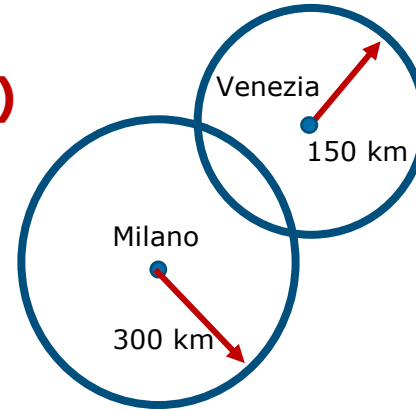
# Esempio per capire trilaterazione



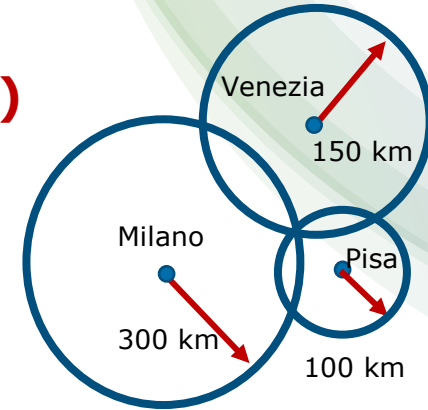
1)



2)



3)



- Nella realtà, il calcolo viene fatto nello spazio tridimensionale per cui invece dei cerchi dobbiamo immaginare delle sfere che si intersecano tra loro fino ad identificare un unico punto
- La Terra stessa può fungere da quarta sfera, infatti solo uno dei due possibili punti potrà trovarsi sulla superficie del pianeta, in modo tale che sarà possibile eliminare quello nello spazio.



# Lezione Giovinazzo: Argomento n. 3

- 1) Sistemi di posizionamento globale
- 2) Modalità di funzionamento del GNSS
- 3) RTK e network
- 4) ...

# Fonti di errore e disturbi del segnale



# Errori degli orologi

- Gli errori degli orologi sono dovuti a differenze di qualità dei due sistemi per la misurazione del tempo presenti sui satelliti e sui ricevitori, il che si traduce in notevoli errori nel calcolo della posizione del punto a terra
- Ogni satellite è equipaggiato con orologi atomici ad elevata precisione, mentre i ricevitori con orologi al quarzo più economici
- Il ricevitore cerca il segnale di 4 o più satelliti e stima la sua inesattezza: il valore corretto del tempo, corrispondente al tempo segnato da tutti gli orologi atomici di tutti i satelliti permetterà al ricevitore di auto-correggersi

# Selective availability

- La selective availability è un errore introdotto artificialmente per motivazioni militari dal Dipartimento di Difesa degli Stati Uniti e implementato per motivi di sicurezza nazionale, definitivamente rimosso il 2 maggio del 2000
- Prima di tale data il segnale GPS veniva artificialmente disturbato facendone variare in modo casuale la frequenza fondamentale e causando errori di posizionamento dell'ordine delle centinaia di metri





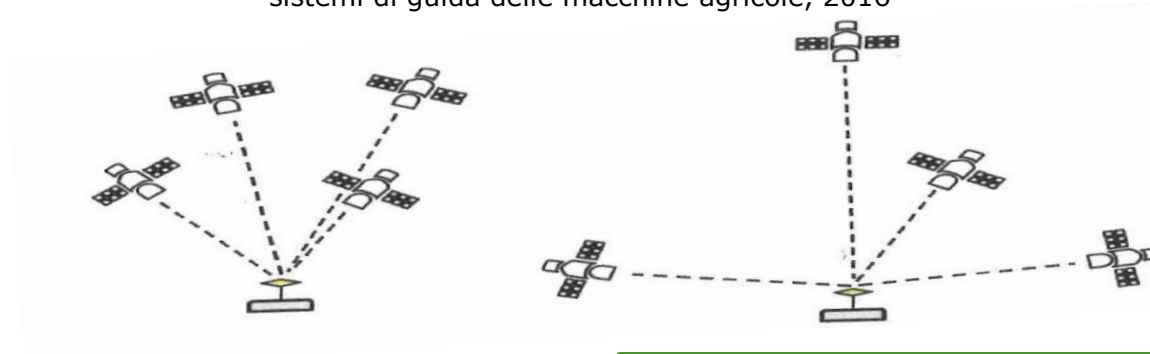
# Non ottimale disposizione dei satelliti

- Un'altra fonte di errore è la non ottimale disposizione dei satelliti sulla volta celeste rispetto al ricevitore
- Si definisce favorevole una dislocazione geometrica in cui i satelliti si trovano a distanze, rispetto al ricevitore, simili tra loro e con un angolo azimutale di  $120^\circ$ . Sfavorevole è la situazione in cui i satelliti sono molto ravvicinati tra di loro o magari concentrati in una posizione limitata della volta celeste
- Non esiste alcun rimedio per questo problema, tuttavia è possibile prenderne atto mediante l'indice adimensionale Geometric Dilution of Precision (GDOP)



# Valore di GDOP

Calcante A., Sistemi di posizionamento globale e sistemi di guida delle macchine agricole, 2016



Geometria scadente:  
satelliti molto ravvicinati

Geometria ottimale:  
satelliti distanziati da  
angoli di azimut di 120°

**GDOP**

tra 1 e 3

**Geometria satellitare ottimale**

tra 3 e 6

**Geometria satellitare sufficiente**

maggiore di 6

**Geometria satellitare scadente**

# Atmosfera terrestre

- La velocità di propagazione del segnale dei satelliti subisce un rallentamento più o meno marcato a seguito dell'attraversamento della ionosfera e della troposfera terrestre
- Ciò causa un apparente ritardo nel transito del segnale dal satellite al ricevitore
- Tale errore può essere quantificato confrontando i diversi rallentamenti di velocità che subiscono segnali aventi frequenze differenti. Pertanto, ricevitori in grado di ricevere e utilizzare i messaggi trasmessi su ambedue le frequenze portanti L1 e L2 ne risultano meno influenzati

Atmosfera  
terrestre



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018  
\*Avviso pubblico per la presentazione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto  
**HORT@**  
From research to field

**CAIONE**  
La Quercia Soc. Coop. Agricoli

**CON.CER**  
ORGANIZZAZIONE DI PRODUTTORI



# Errori di osservazione

## Cycle-slip

- Slittamenti di aggancio della fase dell'onda portante da parte del ricevitore

## Multipath

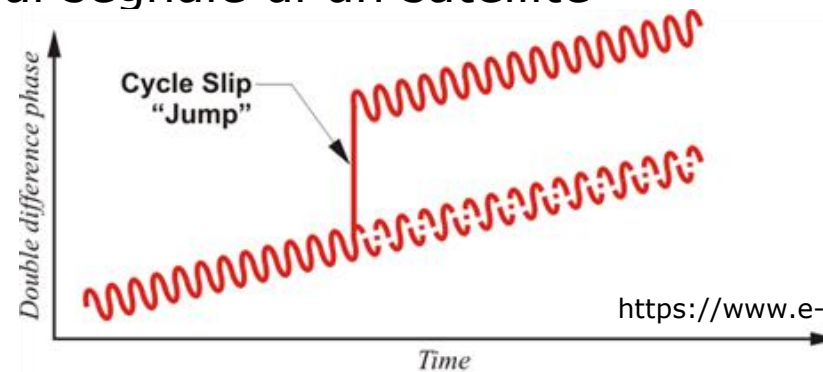
- Riflessione dei segnali satellitari causata da ostacoli

Errori di osservazione



# Cycle-slip

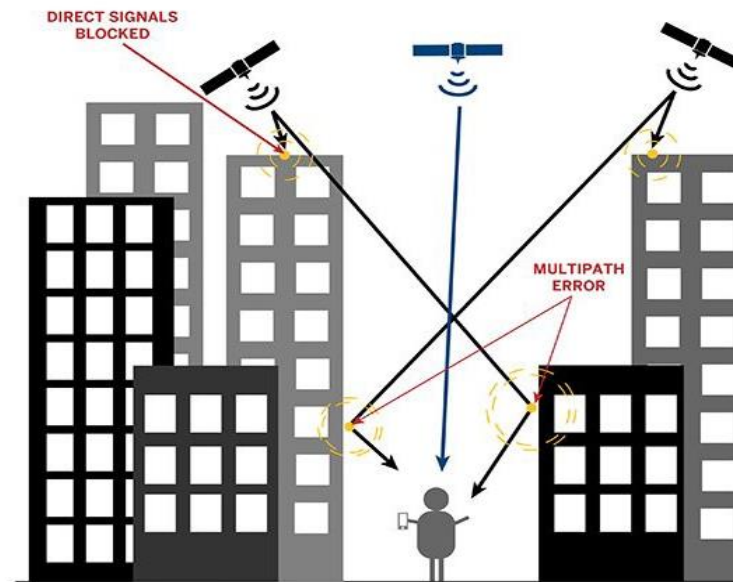
- In determinate circostanze il ricevitore fatica a calcolare l'esatto ciclo d'onda a cui agganciarsi
- Uno slittamento del ciclo è una discontinuità nel blocco di fase di un ricevitore sul segnale di un satellite



- Le cause possono essere numerose:
  - Perdita di potenza
  - Rapporto segnale-rumore basso
  - Guasto del software del ricevitore
  - Gravi condizioni ionosferiche
  - Presenza di ostacoli

# Multipath

- In caso di riflessione di un segnale satellitare il segnale GPS rimbalza sugli ostacoli prima di giungere al ricevitore
- Problemi nel calcolo della distanza e del tempo di percorrenza
- Questi segnali riflessi possono interferire con il segnale che raggiunge il ricevitore direttamente dal satellite



© 2019 Trimble Inc. All rights reserved. Trimble, the Trimble & Tr logo and trademarks of Trimble Inc., registered in the United States and in other countries. All other trademarks are the property of their respective owners.

**Trimble**

<https://medium.com/predict/multipath-errors-in-gps-signals-de3a20440cf9>



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018  
"Avviso pubblico per la presentazione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione"



Partner di progetto  
**HORT@**  
From research to field

**CAIONE CON.CER**  
La Quercia Soc. Coop. Agricoli ORGANIZZAZIONE DI PRODUTTORI



# Cos'è il multipath?



<https://www.youtube.com/watch?v=IUTM76GLzMI>



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018  
\*Avviso pubblico per la presentazione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto  
**HORT@**  
— From research to field —

**CAIONE CON.CER**  
La Quercia Soc. Coop. Agricoli ORGANIZZAZIONE DI PRODUTTORI

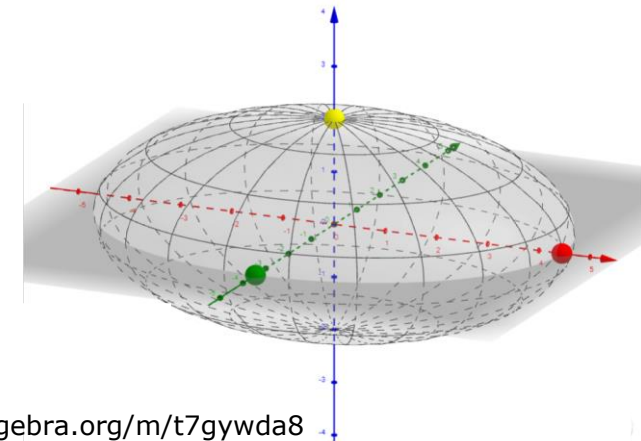


# Sistema di riferimento geografico globale

- Un ricevitore satellitare ha lo scopo di calcolare una posizione in termini di latitudine, longitudine e quota, espresse in un sistema di riferimento geografico globale

WGS84

- La forma fisica della terra viene definita geoide
- Per i calcoli geografici, è però necessaria una forma regolare, descrivibile attraverso opportune equazioni matematiche: approssimabile ad un ellissoide di rotazione



<https://www.geogebra.org/m/t7gywda8>



# Datum WGS84

- Definito l'ellissoide di rotazione, se ne stabilisce l'origine, realizzando in questo modo un **DATUM**, ossia un modello matematico della terra usato per calcolare le coordinate geografiche
- WGS84 (World Geodetic System) è un sistema di coordinate geografiche geodetico, mondiale, basato su un ellissoide di riferimento elaborato nel 1984 ed è di gran lunga il Datum più utilizzato su scala mondiale
- WGS84 è un datum geocentrico, con un punto di origine al centro della terra e con orientamento degli assi su Equatore per quanto riguarda l'asse orizzontale e Polo Nord per l'asse verticale

# Sistemi di riferimento utilizzati in Italia

- Per molti anni in Italia sono coesistiti almeno altri due sistemi di riferimento, ossia Roma40 ed ED50, ma ora si usa principalmente il Datum WGS84

Datum	Roma40	ED50	WGS84
Ellissoide	Hayford	Hayford	WGS84
Orientamento	Monte Mario	Medio Europeo	Geocentrico
Meridiano di riferimento longitudine	Monte Mario	Greenwich	Greenwich
Riferimento latitudine	Equatore	Equatore	Equatore
Coordinate cartografiche	Gauss- Boaga	UTM- ED50	UTM- WGS84
Fusi, meridiani centrali, false origini, fattore di contrazione	Ovest ed Est 9° e 15° E Greenwich 1500 e 2520 Km. K=0.9996	32, 33 e parte nel 34 9°, 15° e 21° E Greenwich Sempre 500 Km. K=0.9996	32, 33 e parte nel 34 9°, 15° e 21° E Greenwich Sempre 500 Km. K=0.9996

# Affidabilità e ripetibilità delle misure di posizione

## Accuratezza

### Correttezza

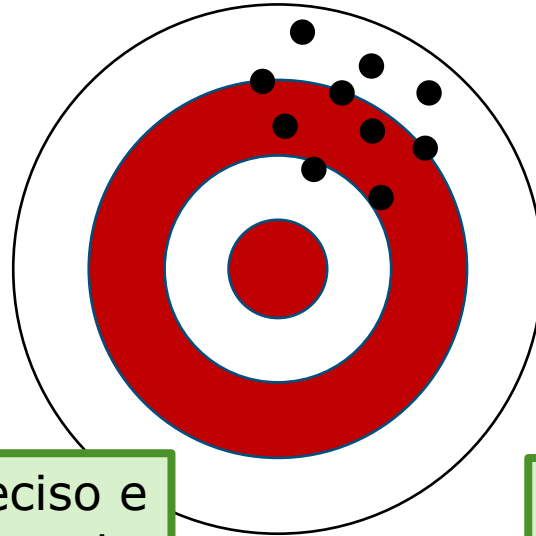
- Lo scarto tra la posizione media calcolata dal GNSS e la posizione vera del punto indagato

## Precisione

### Ripetibilità

- Variabilità, in termini di deviazione standard, della distribuzione dei punti rilevati rispetto alla posizione media calcolata

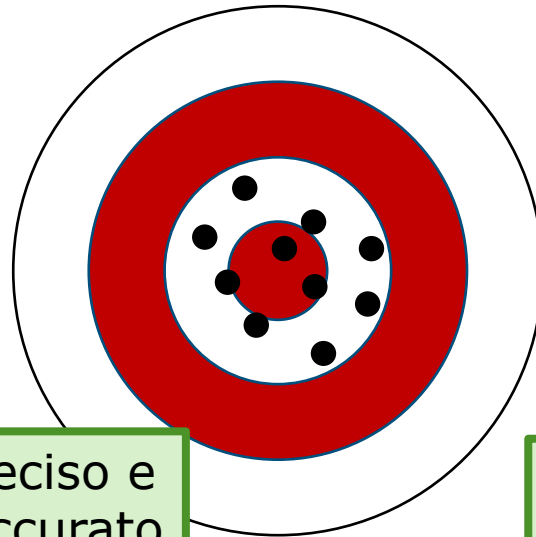
# Accuratezza e precisione dei sistemi satellitari



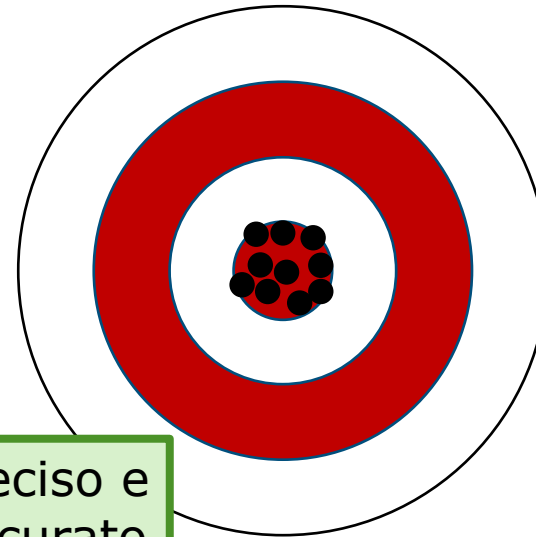
Poco preciso e poco accurato



Molto preciso e poco accurato



Poco preciso e molto accurato



Molto preciso e molto accurato



# Correzione del sistema di posizionamento satellitare

- Nessun ricevitore è in grado di determinare la sua posizione con estrema accuratezza e precisione
- Anche utilizzando ricevitori più evoluti dotati dei migliori orologi e di raffinati modelli di calcolo la determinazione della posizione di un punto sulla terra risulta affetta da un errore assoluto di qualche metro

**Tecniche di  
correzione  
differenziale**

**1**

**Tecniche di  
correzione non  
differenziale**

**2**

- **Smoothing**
- **Filtri di Kalman**

# Tecniche di correzione non differenziale del segnale

- Lo smoothing è una tecnica in grado di ridurre notevolmente gli effetti multipath sfruttando il fatto che gli errori sul segnale di fase sono minori rispetto a quelli di pseudorange
- Si basano sull'impiego di ricevitori in grado o di integrare le misure di pseudorange con quelle di fase

- Il filtro Kalman è un algoritmo che consente di stimare lo stato di un sistema a partire dai dati misurati, un metodo statistico per la correzione del segnale
- Implementato solo in particolari ricevitori GPS destinati soprattutto ad applicazioni veicolari che non richiedono elevate prestazioni in termini di accuratezza e precisione

# Tecniche di correzione differenziale del segnale

- L'impiego di tecniche di correzione differenziale del segnale sia per l'effettuazione di rilievi statici topografici sia per le attività svolte dai mezzi in movimento nel contesto dell'agricoltura di precisione
- I dati vengono acquisiti contemporaneamente da almeno due ricevitori, il **ROVER**, ed un altro operante in postazione fissa e a coordinate note che prende il nome di **MASTER**
- I due ricevitori non devono essere troppo distanti, in modo da poter vedere gli stessi satelliti e ricevere gli stessi segnali: per avere un rilievo centimetrico, la distanza tra i due ricevitori non  $> 2$  km

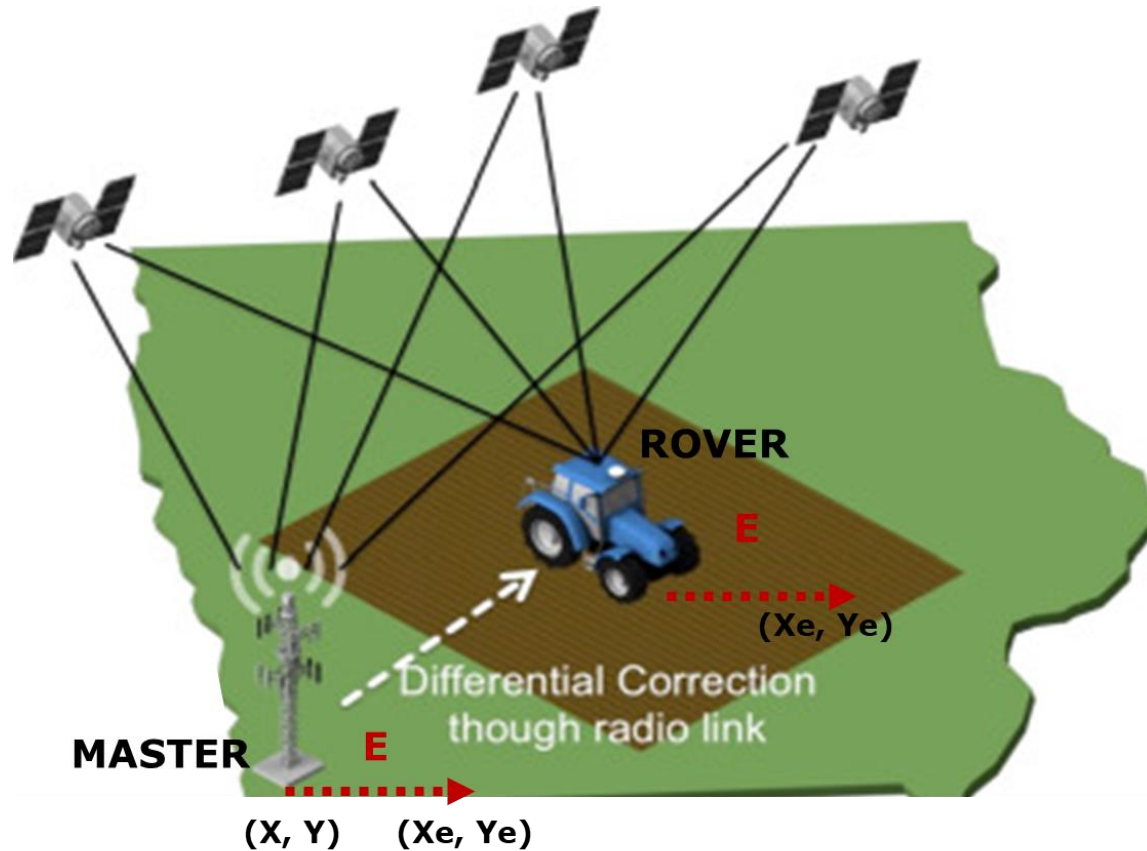
# MASTER e ROVER

- Sia il **MASTER** che il **ROVER** effettuano i consueti calcoli sulla base dei segnali ricevuti e determinano perciò la propria posizione
- Tale posizione sarà tuttavia afflitta da un errore
- La posizione del GPS MASTER è pari alle sue coordinate reali X e Y più l'errore  $X_e$   $Y_e$ , uguale a quello del GPS ROVER
- Essendo X e Y note, è possibile ricavare per differenza l'entità di errore
- MASTER comunica errore al ROVER che deve sottrarre lo stesso valore di errore dalla propria lettura per poter ricavare la sua posizione esatta

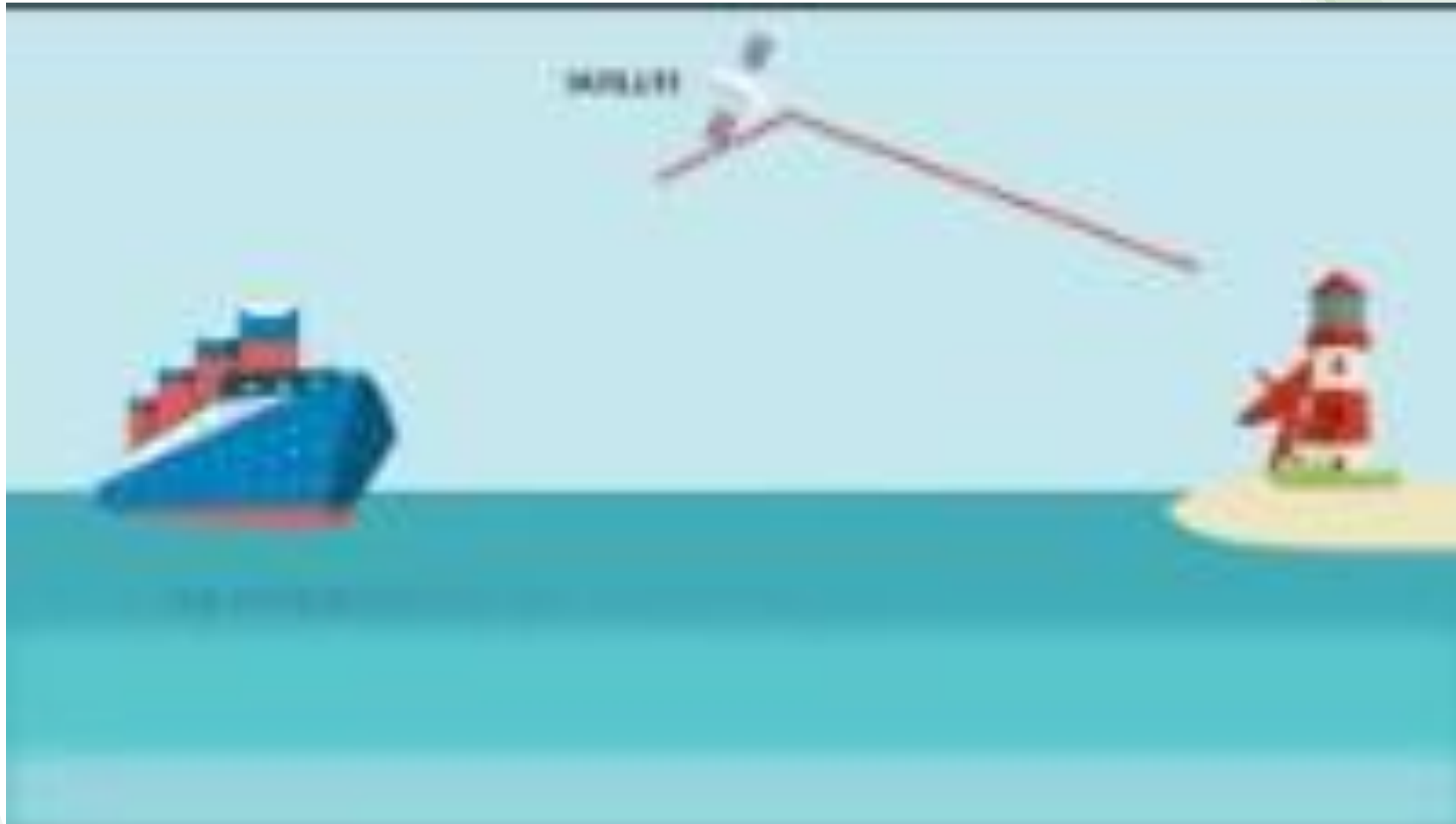


# MASTER e ROVER: esempio grafico

- Correzione differenziale in tempo reale dove il ricevitore master è in grado di calcolare istante per istante l'errore tra la propria posizione reale e quella calcolata a seguito della trilaterazione. Lo stesso errore viene applicato allo stesso istante di tempo al ricevitore rover



# Il GPS differenziale



<https://www.youtube.com/watch?v=Xj3LBNBecmM&t=1s>



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018  
"Avviso pubblico per la presentazione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione"



Partner di progetto  
**HORT@**  
From research to field

**CAIONE CON.CER**  
La Quercia Soc. Coop. Agricoli ORGANIZZAZIONE DI PRODUTTORI



# La correzione differenziale del segnale

- L'errore calcolato non è costante nel tempo, ma cambia in funzione della frequenza di acquisizione del segnale
- Si parla di correzione differenziale del segnale (DGPS), la migliore soluzione in grado di garantire precisioni centimetriche
- Tali correzioni possono essere apportate in tempo reale, contestualmente al rilievo svolto

**Satellite-based  
Augmentation  
Systems (SBAS)**

**Real-time Kinematic  
positioning (RTK)**

# Satellite-based Augmentation Systems (SBAS)

- Soluzioni più economiche a discapito dell'accuratezza e precisione del segnale ricevuto (+/- 40cm) ricevono in tempo reale segnali di correzione trasmessi via satellite da servizi pubblici o privati
- Tra i servizi pubblici si menzionano WAAS in Nord America, o EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System) in Europa dove è sufficiente l'acquisto di ricevitori appositamente abilitati a tale ricezione
- EGNOS formato da 3 satelliti geostazionari con l'intento di integrare i sistemi GPS in termini di precisione e accuratezza
- Satelliti geostazionari autonomi rispetto alla rete GPS, il cui compito è quello di veicolare le informazioni di correzione elaborate da una rete di stazioni MASTER a terra, sulle stesse frequenze dei satelliti GPS
- Costellazione GLONASS con sistema SDCM che invia correzioni differenziali da satelliti geostazionari



# Il sistema EGNOS



[https://www.youtube.com/watch?v=WpQ6er\\_VjQY](https://www.youtube.com/watch?v=WpQ6er_VjQY)



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018  
\*Avviso pubblico per la presentazione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



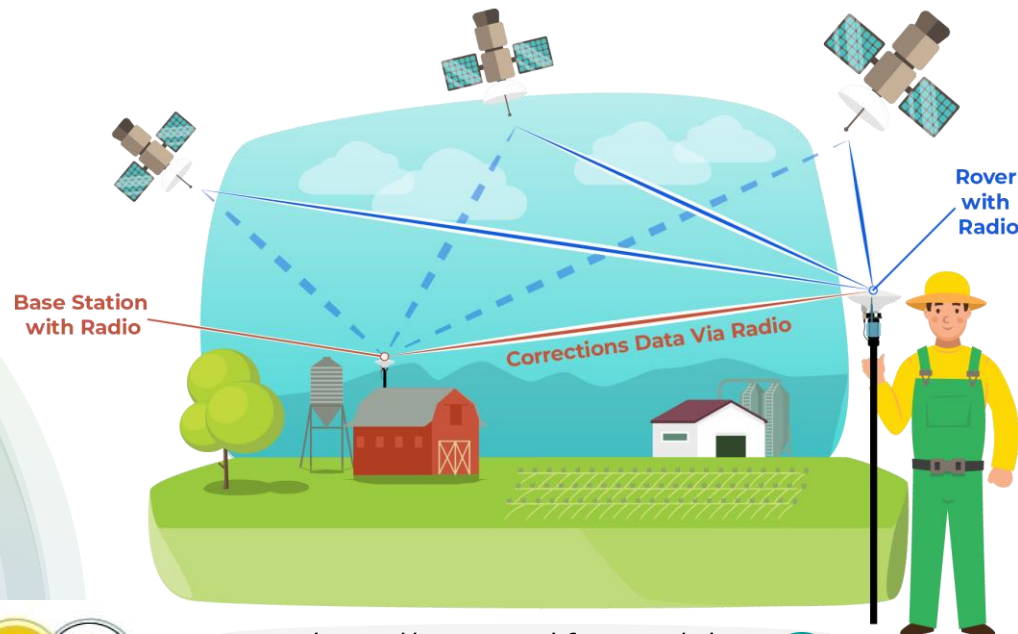
Partner di progetto  
**HORT@**  
— From research to field —

**CAIONE CON.CER**  
La Quercia Soc. Coop. Agricoli ORGANIZZAZIONE DI PRODUTTORI



# Real-time Kinematic positioning (RTK)

- La correzione differenziale cinematica in tempo reale usa un segnale radio inviato al ricevitore da una stazione MASTER a breve distanza
- Permette una precisione nei ricevitori a singola frequenza inferiore ai 20cm, nei ricevitori a doppia frequenza al centimetro
- Migliori prestazioni offerte, ma costoso per l'impiego dei ricevitori MASTER e ROVER in doppia frequenza, e dei sistemi di trasmissione dati per mantenere i due in comunicazione tra loro (radio modem)
- ROVER stima le proprie coordinate in posizionamento assoluto, corrette poi da una correzione differenziale calcolata da una stazione MASTER



<https://www.sparkfun.com/rtk>

## Svantaggi

- 1 Requisito di distanza tra Master e Rover che ne limita l'uso per aziende agricole grandi o sparse
- 2 Elevati costi di capitale

# Network RTK

- L'utente necessita di un solo rover che riceve la correzione RTK da una rete di stazioni permanenti GNSS mediante un telefono o un modem
- Il modem si connette al sito web della rete e acquisisce la correzione
- Il rover invia alla rete la propria posizione e la rete risponde inviando all'utente una correzione personalizzata e ottimizzata per la sua posizione
- Un servizio di posizionamento GNSS è costituito da 3 segmenti:

Reti di stazioni GNSS permanenti (CORS)

• Installazione fissa installata sul territorio dotata di un ricevitore GNSS e un'antenna che acquisisce con continuità i segnali emessi dai satelliti

Centro di controllo

• Ricezione, elaborazione e memorizzazione dei dati provenienti dalle stazioni permanenti rendendoli accessibili all'utenza

Utenza

• Ottiene le correzioni differenziali

I dati sono elaborati in tempo reale per ottenere una "mappatura" degli errori presenti nelle misure GNSS sull'intero territorio coperto dalla rete

# ...e in Italia?

➤ Nel nostro paese sono presenti un buon numero di reti RTK gestite sia da enti pubblici che da soggetti privati:

- SpinGNSS realizzata da Regione Lombardia e Piemonte
- FredNet presente in Friuli Venezia Giulia
- Emilia Romagna o Liguria hanno messo in essere collaborazioni con soggetti privati a cui è stata demandata la gestione delle reti

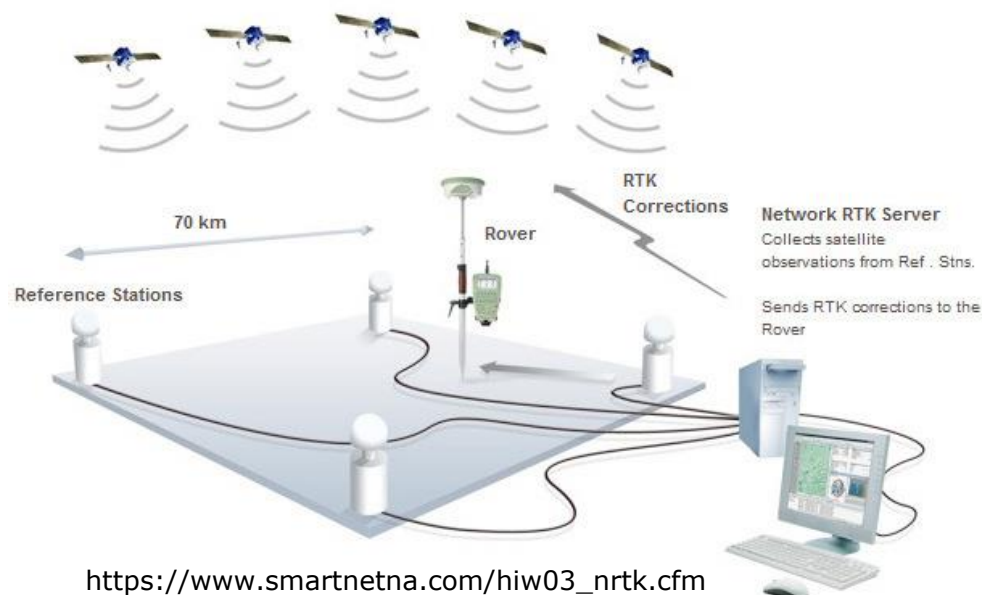
• ...

## Svantaggi

- 1 Elevati costi di capitale, inferiori però per un ricevitore in meno

## Vantaggi

- 1 Maggiore affidabilità e precisione
- 2 Non è necessario configurare Master, cade il requisito della distanza

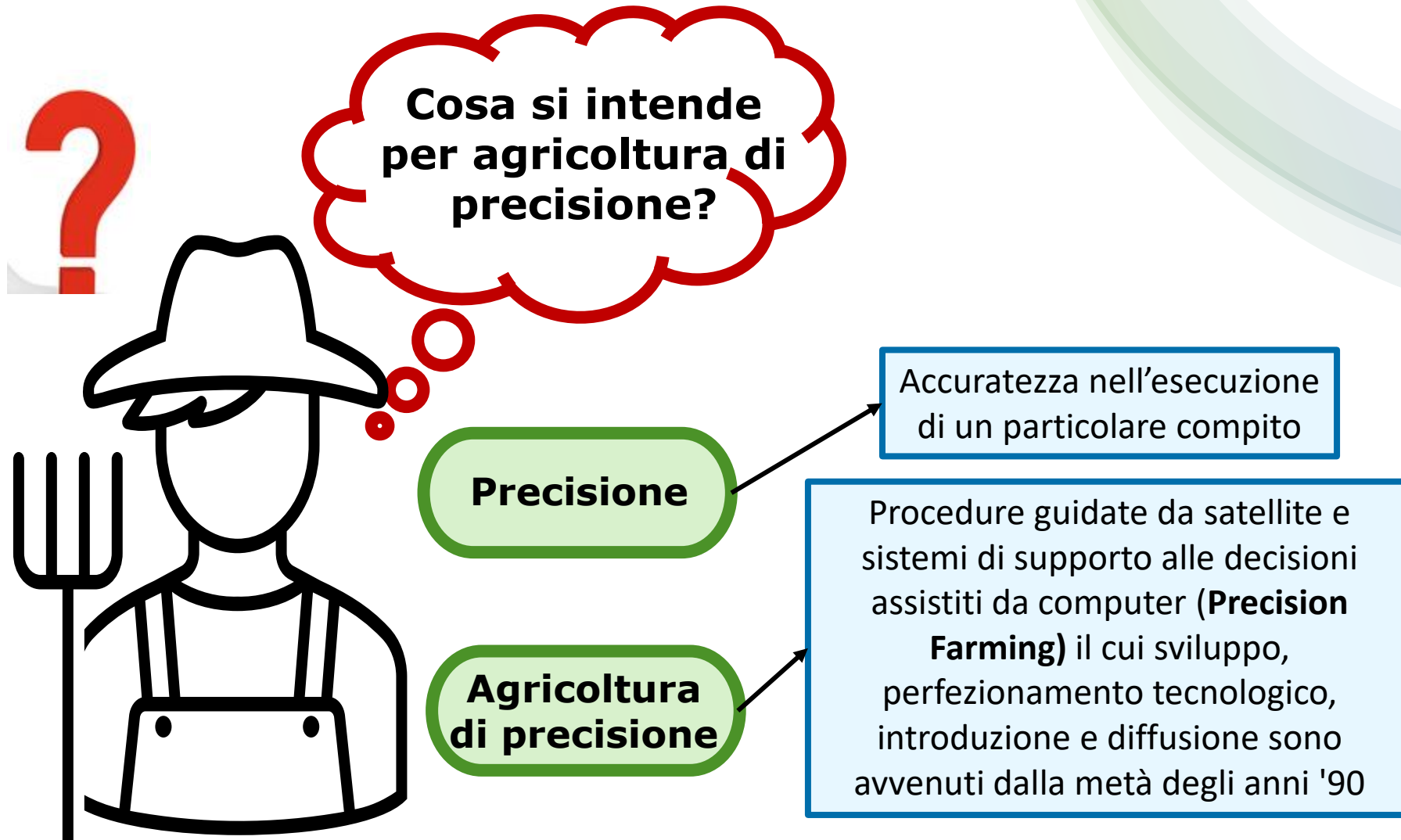




# Lezione Giovinazzo: Argomento n. 4

- 1) Sistemi di posizionamento globale
- 2) Modalità di funzionamento del GNSS
- 3) RTK e network
- 4) Il GPS in agricoltura

# Agricoltura di precisione



# Principi ed obiettivi dell'agricoltura di precisione



L'Agricoltura di Precisione si pone perciò come obiettivo la comprensione di questa variabilità spaziale e temporale e la modulazione degli interventi, in funzione della variabilità, per ottimizzare i risultati del processo produttivo in termini economici e/o ambientali

# Sconvolgimenti del comparto agricolo

Il comparto agricolo sta subendo oggi grossi sconvolgimenti dal momento che ha come obiettivo quello di produrre di più utilizzando però un minor input di risorse e questo per contrastare alcune importanti problematiche che stanno affliggendo la nostra società



**Cambiamenti  
demografici**



**Cambiamenti  
climatici**



**Cambiamenti  
tecnologici**

- Se fossimo capaci di sviluppare innovazioni in grado di ottenere la produzione agricola necessaria nel 2050 con le stesse risorse utilizzate oggi avremmo ottenuto un risultato tranquillizzante almeno nel medio periodo. Ma se fossimo in grado di sviluppare un'innovazione in grado di ottenere le produzioni necessarie con meno risorse avremmo ottenuto un cambiamento strutturale di enorme portata



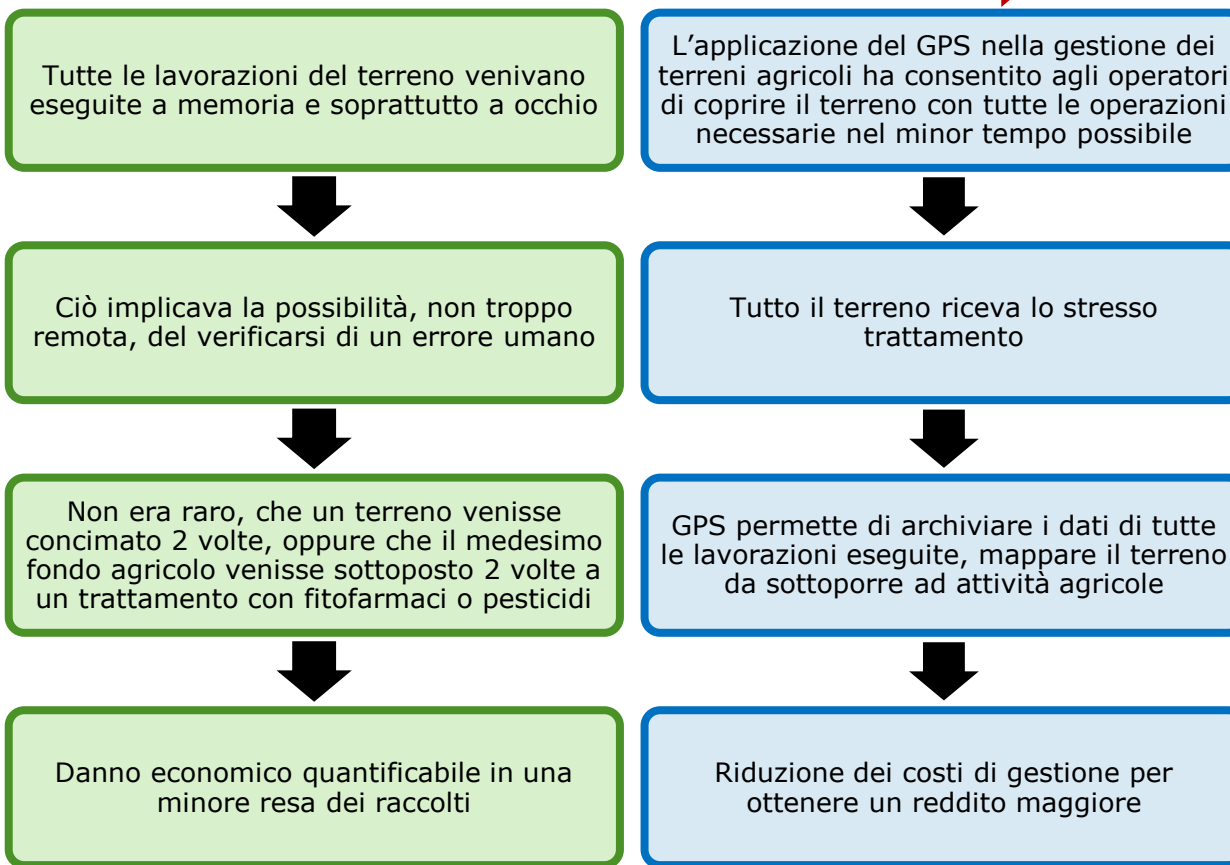
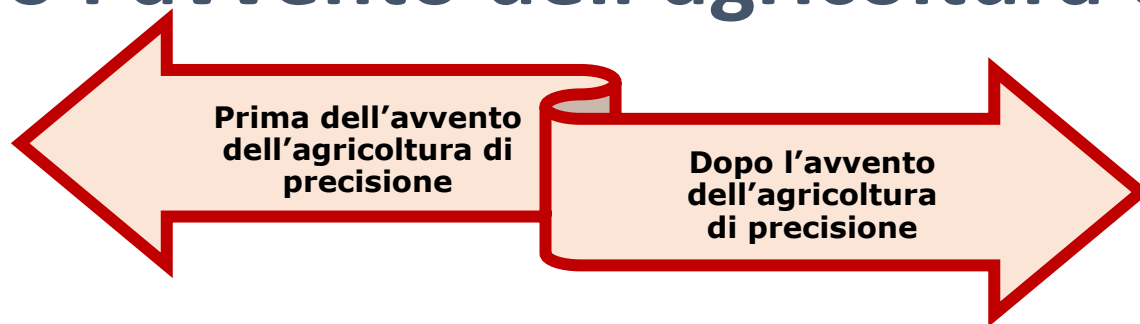
# Dove può intervenire l'agricoltura di precisione

- Agricoltura di precisione utilizza e introduce tecnologie in grado di raccogliere informazioni, analizzarle opportunamente, prendere delle decisioni conseguenti e attuarle efficacemente per mezzo di strumenti tecnologici sempre più performanti

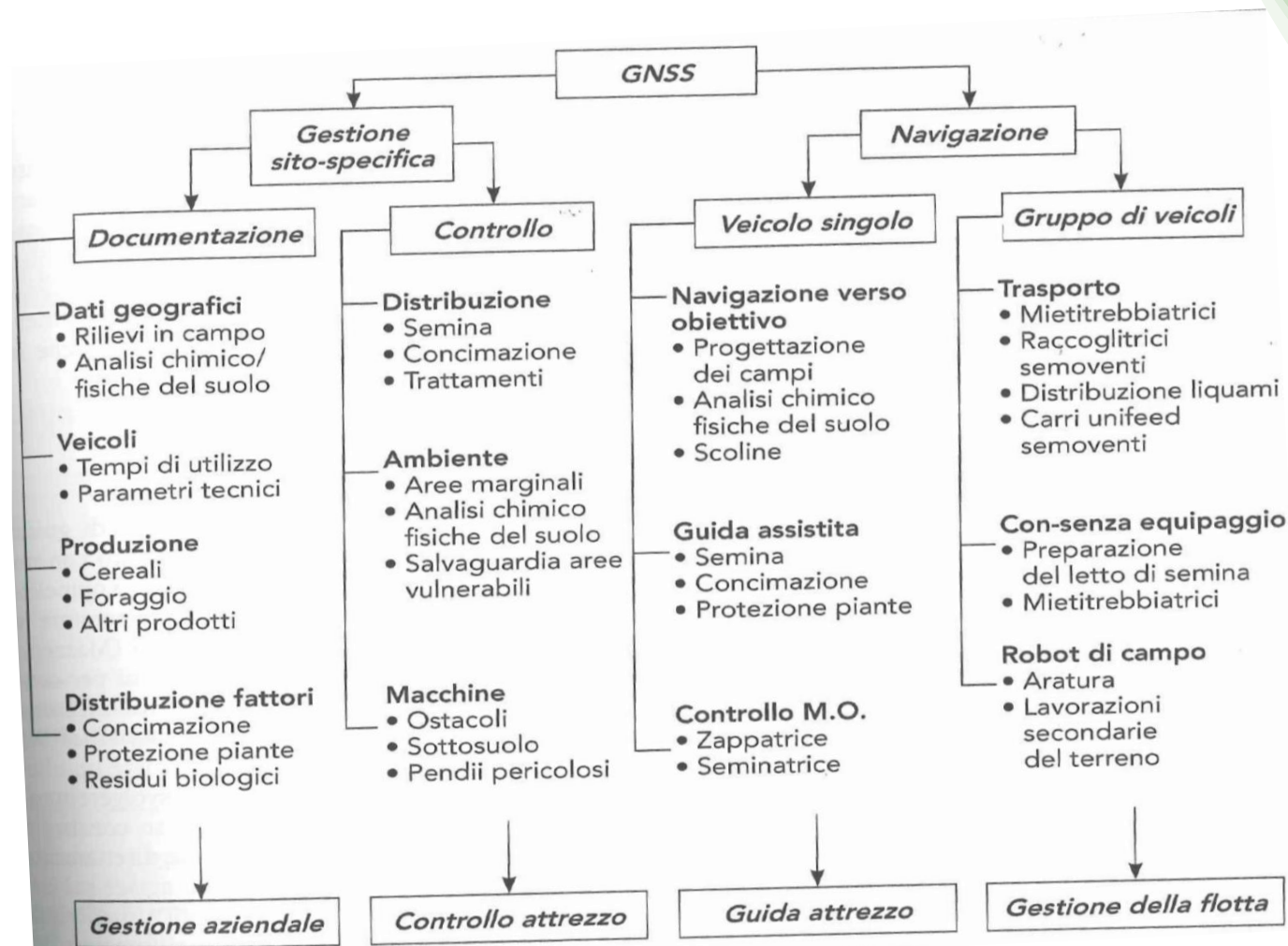
**Uso di sistemi di  
posizionamento geografico  
basato su satelliti**

- Rivoluzione tecnologica fondamentale che ha migliorato la qualità delle lavorazioni, riducendo le tempistiche e migliorando i risultati

# Prima e dopo l'avvento dell'agricoltura di precisione



# Utilizzo dei sistemi GNSS in agricoltura



Calcante A., Sistemi di posizionamento globale e sistemi di guida delle macchine agricole, 2016

# Navigazione delle macchine

- La navigazione satellitare assume aspetti fondamentali nelle aziende dove il parallelismo dei passaggi contigui e l'assenza di sovrapposizioni consente notevoli efficienze operative
- Attuare le migliori strategie di percorso evitando sovrapposizioni, transiti inutili e limitando il compattamento



<https://macchinemotoriagricoli.edagricole.it/tecnica/agricoltura-4-0-cose-e-a-cosa-serve/>

## Macchine agricole intese come flotta

- monitoraggio e coordinamento dell'intero cantiere di lavoro



## Macchine agricole singole

- navigazione verso obiettivo
- guida assistita/automatica

<https://www.dne.co.nz/>

## Vantaggi ottenibili

- 1 Maggior tempestività nell'esecuzione delle lavorazioni
- 2 Maggior qualità lavoro svolto
- 3 Minor affaticamento dell'operatore che deve concentrarsi meno sul mantenimento della traiettoria



# Gestione sito-specifica dei trattamenti

- La gestione sito-specifica dei trattamenti è un'ulteriore applicazione dei sistemi di posizionamento satellitare per trattare in modo specifico le aree di un appezzamento caratterizzate da ampia variabilità
- La macchina riceverà le istruzioni geografiche attraverso una mappa di prescrizione per variare le dosi da distribuire



<https://www.mcelettronica.it/agricoltura-di-precisione-5-considerazioni-sulladozione-di-macchine-a-rateo-variabile/>

## Gestione sito-specifica

- monitoraggio colturale
- monitoraggio operativo
- mappatura produzioni
- controllo operativo delle attività meccanizzate
- distribuzione a rateo variabile



- Diffusione in crescita
- Grandi efficienze nell'utilizzo degli input
- Riduzione consumo fertilizzanti, diserbanti, sementi

# Argomenti della lezione Dott. Lazzari

1

**Sistemi di posizionamento globale in agricoltura**

2

**Sistemi di guida applicati alle macchine agricole**

*Dott. Lazzari*



- Sistemi di guida applicati alle macchine agricole
  - Protocollo ISOBUS
  - Meccanizzazione di precisione
- Controllo delle operatrici basato su GNSS

# Bibliografia e sitografia

- Betts J.D. (2017) Atomic clock, *Encyclopedia Britannica*, <https://www.britannica.com/technology/atomic-clock>
- Calcante A., Lazzari M., Sartori L. Sistemi di posizionamento globale e sistemi di guida delle macchine agricole, *Agricoltura di precisione a cura di Raffaele Casa, Edagricole* (2018)
- Decca Navigator System, [https://en.wikipedia.org/wiki/Decca\\_Navigator\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Decca_Navigator_System)
- Decca Navigator, <http://www.jproc.ca/hyperbolic/decca.html>
- Drummond & Etheridge, <https://www.dne.co.nz/>
- EUSPA - EU Agency for the Space Programme, <https://www.youtube.com/@EUSPA>
- EUSPA EU Agency for the space Programme, [https://www.youtube.com/watch?v=WpQ6er\\_VjQY](https://www.youtube.com/watch?v=WpQ6er_VjQY)
- FAEdU, <https://www.youtube.com/watch?v=RUD2pvKbpfs&t=167s>
- GeoGebra, <https://www.geogebra.org/m/t7gywda8>
- GIS Geography How GPS Receivers Work – Trilateration vs Triangulation, <https://gisgeography.com/trilateration-triangulation-gps/>
- GPS and GNSS for Geospatial Professionals, <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1728>
- GPS for land Surveyors, <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1767>
- GPS Space Segment, <http://www.gps.gov/multimedia/images/constellation.gif> [www.gps.gov](http://www.gps.gov)
- Il sistema GPS, <http://www.tataclub.net/downloads/gps.pdf>



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018  
\*Avviso pubblico per la presentazione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto  
HORT@  
— From research to field —

CAIONE CON.CER  
La Quercia Soc. Coop. Agricoli ORGANIZZAZIONE DI PRODUTTORI



# Bibliografia e sitografia

- Kennao P. (2018) Identification of location co-ordinates of blood in simulated crime scene using DGPS, *Ph.D project*
- Le Scienze Un nuovo orologio atomico per ridefinire il secondo, [https://www.lescienze.it/news/2013/07/12/news/definizione secondo orologio atomico cesio stronzio-1736886/](https://www.lescienze.it/news/2013/07/12/news/definizione_secondo_orologio_atomico_cesio_stronzio-1736886/)
- Lighthouses And Lightships, <https://www.youtube.com/watch?v=Xj3LBNBecnM&t=1s>
- Loran-A, [http://www.jproc.ca/hyperbolic/loran\\_a.html](http://www.jproc.ca/hyperbolic/loran_a.html)
- Los Angeles Air Force Base The Global Positioning Systems Wing: Space Assets as a Force Multiplier in All Facets of Life <https://www.losangeles.spaceforce.mil/News/Article-Display/Article/343994/the-global-positioning-systems-wing-space-assets-as-a-force-multiplier-in-all-f/>
- Macchine e Motori Agricoli Agricoltura 4.0 cos'è e a cosa serve, <https://macchinemotoriagricoli.edagricole.it/tecnica/agricoltura-4-0-cose-e-a-cosa-serve/>
- McElectronics Agricoltura di precisione – considerazioni sull'adozione di macchine a rateo variabile, <https://www.mcelettronica.it/agricoltura-di-precisione-5-considerazioni-sulladozione-di-macchine-a-rateo-variabile/>
- Munin E. (2022) Multipath errors in GPS signals, <https://medium.com/predict/multipath-errors-in-gps-signals-de3a20440cf9>
- Regione Liguria, <https://www.youtube.com/watch?v=6tLGoV6HIW4>
- Ruiz M.P., Martinez-Guanter J., Upadhyaya S.K. High-precision GNSS for agricultural operations, GPS and GNSS Technology in Geosciences <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818617-6.00017-2> (2021)



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018  
\*Avviso pubblico per la presentazione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto



# Bibliografia e sitografia

- SmartNet North America, [https://www.smartnetna.com/hiw03\\_nrtk.cfm](https://www.smartnetna.com/hiw03_nrtk.cfm)
- Smithsonian National Air and Space Museum, <https://airandspace.si.edu/stories/editorial/sputnik-and-space-age>
- Smithsonian National Air and Space Museum, <https://www.youtube.com/watch?v=PDtHuIWGMGg&t=8s>
- The Nature of Geographic Information, [https://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/c5\\_p15.html](https://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/c5_p15.html)
- Thornton W. (2021) What's the Difference Between GNSS and GPS?, <https://www.spirent.com/blogs/what-is-the-difference-between-gnss-and-gps>
- Time and navigation, <https://timeandnavigation.si.edu/multimedia-asset/loran-c-long-range-navigation>
- Umweltanalysen GPS – how the Global Positioning System works, <https://www.umweltanalysen.com/en/gps/>
- World Book Map



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018  
\*Avviso pubblico per la presentazione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto  
HORT@  
— From research to field —

CAIONE  
La Quercia Soc. Coop. Agricoli

CON.CER.  
ORGANIZZAZIONE DI PRODUTTORI





# *Grazie per l'attenzione!*



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018  
\*Avviso pubblico per la presentazione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto  
**HORT@**  
From research to field

**CAIONE**  
La Quercia Soc. Coop. Agricoli

**CON.CER**  
ORGANIZZAZIONE DI PRODUTTORI

