
Corso di

Macchine e strumenti per l'agricoltura di precisione

Rilevamento delle proprietà dei terreni e delle

colture tramite radiazioni elettromagnetiche

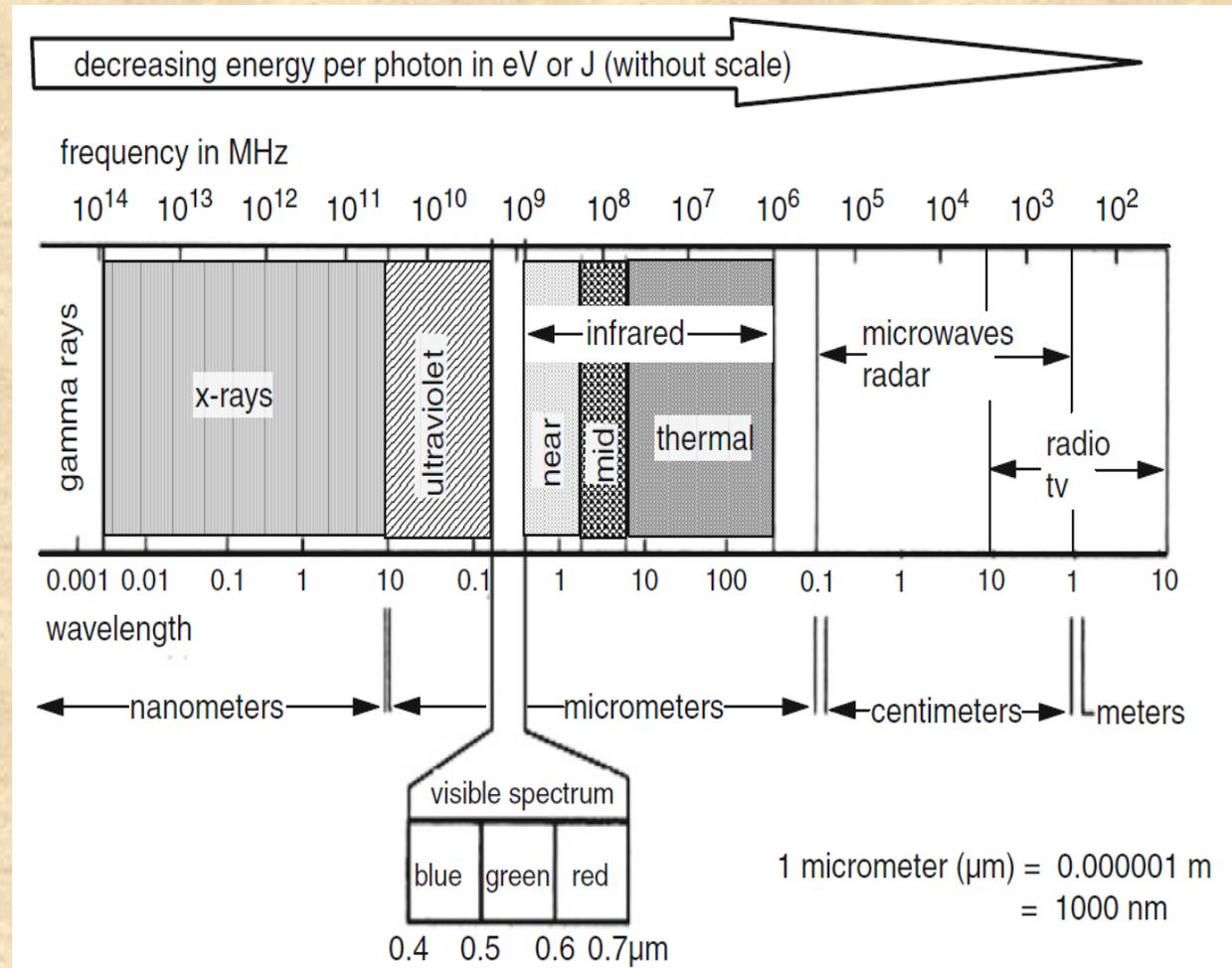
Prof. Ing. Francesco Santoro

Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti (Di.S.S.P.A.)

Università di Bari Aldo Moro

Nozioni di base sul rilevamento con radiazioni elettromagnetiche

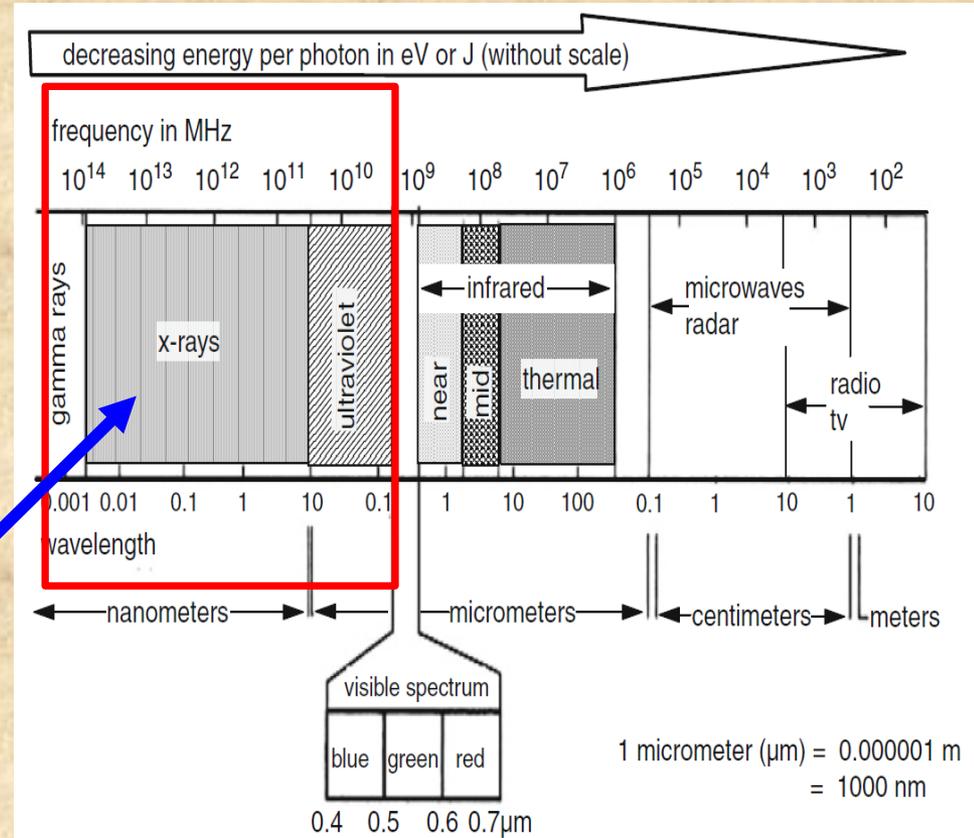
- Il rilevamento elettromagnetico si basa sulla radiazione dei fotoni.
- La radiazione trasporta energia attraverso lo spazio lungo onde armoniche periodiche.
- Moltiplicando la lunghezza d'onda per la frequenza si ottiene la velocità di propagazione della radiazione.



- Nel vuoto e nell'aria, questa velocità è 300.000 km/s.
- Pertanto, più brevi sono le lunghezze d'onda, maggiori sono le frequenze e viceversa.

Energia per fotone

- Un altro elemento importante è l'energia per fotone.
- Questa energia è proporzionale alla frequenza e, di conseguenza, inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda.
- Minore è la lunghezza d'onda, maggiore è l'energia per fotone.
- L'energia associata a lunghezze d'onda molto corte - radiazioni ultraviolette e più corte - può essere pericolosa per la salute umana.

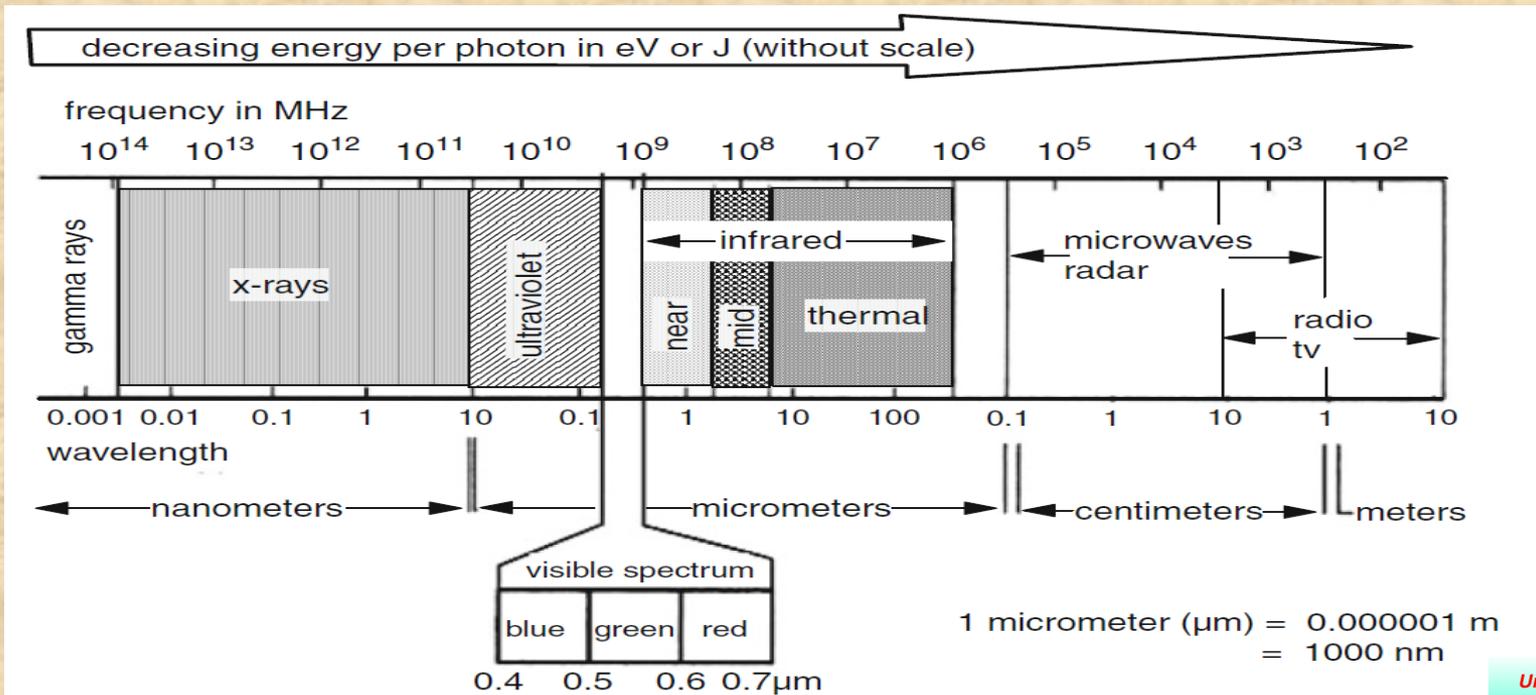


Energia per fotone e rilevamento

- Le differenze di energia per fotone hanno implicazioni per il rilevamento.
- Per i fotoni di lunghezze d'onda maggiori, sono necessari dispositivi di rilevamento molto sensibili oppure è necessaria un'area più ampia per ottenere una quantità sufficiente di energia.
- In linea di principio, sarebbe vantaggioso utilizzare radiazioni nell'intervallo di lunghezze d'onda corte se si mira a una risoluzione spaziale elevata.
- Tuttavia, la risoluzione spaziale non è l'unico criterio quando vengono selezionate le lunghezze d'onda per il rilevamento.

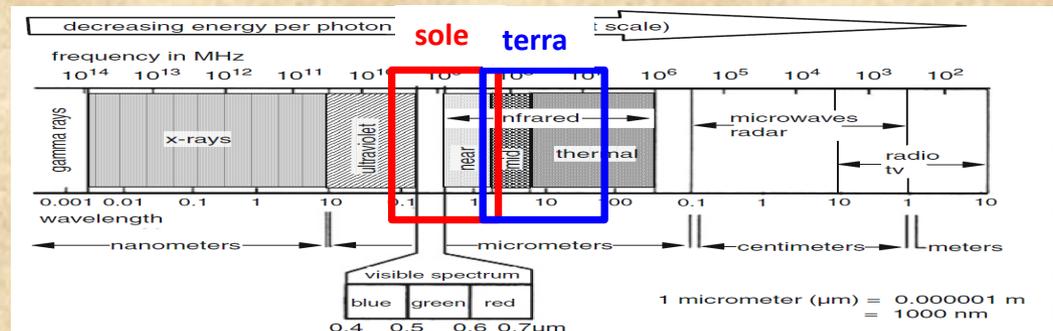
Radiazioni solari e terrestri

- Le radiazioni possono provenire da una fonte naturale o possono essere indotte artificialmente.
- **Le fonti naturali più importanti sono il sole e la terra.**
- Le lunghezze d'onda della radiazione emessa da queste sorgenti dipendono dalla rispettiva temperatura superficiale.



Radiazioni solari e terrestri

- Poiché la temperatura del sole è molto più alta della terra, le lunghezze d'onda solari sono molto più corte di quelle terrestri.
- Praticamente tutto il flusso di energia solare verso la terra è nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 0,15 e 4,0 μm ; quindi, è costituito principalmente da radiazioni ultraviolette, visibili e infrarosse.
- Il massimo flusso energetico della radiazione solare avviene nelle lunghezze d'onda del visibile.
- L'energia che viene emessa dalla superficie terrestre è nella regione da 3 a 100 μm , che è principalmente nell'intervallo dell'infrarosso termico.
- In breve, la terra emette onde lunghe, ma riceve radiazioni a onde corte.

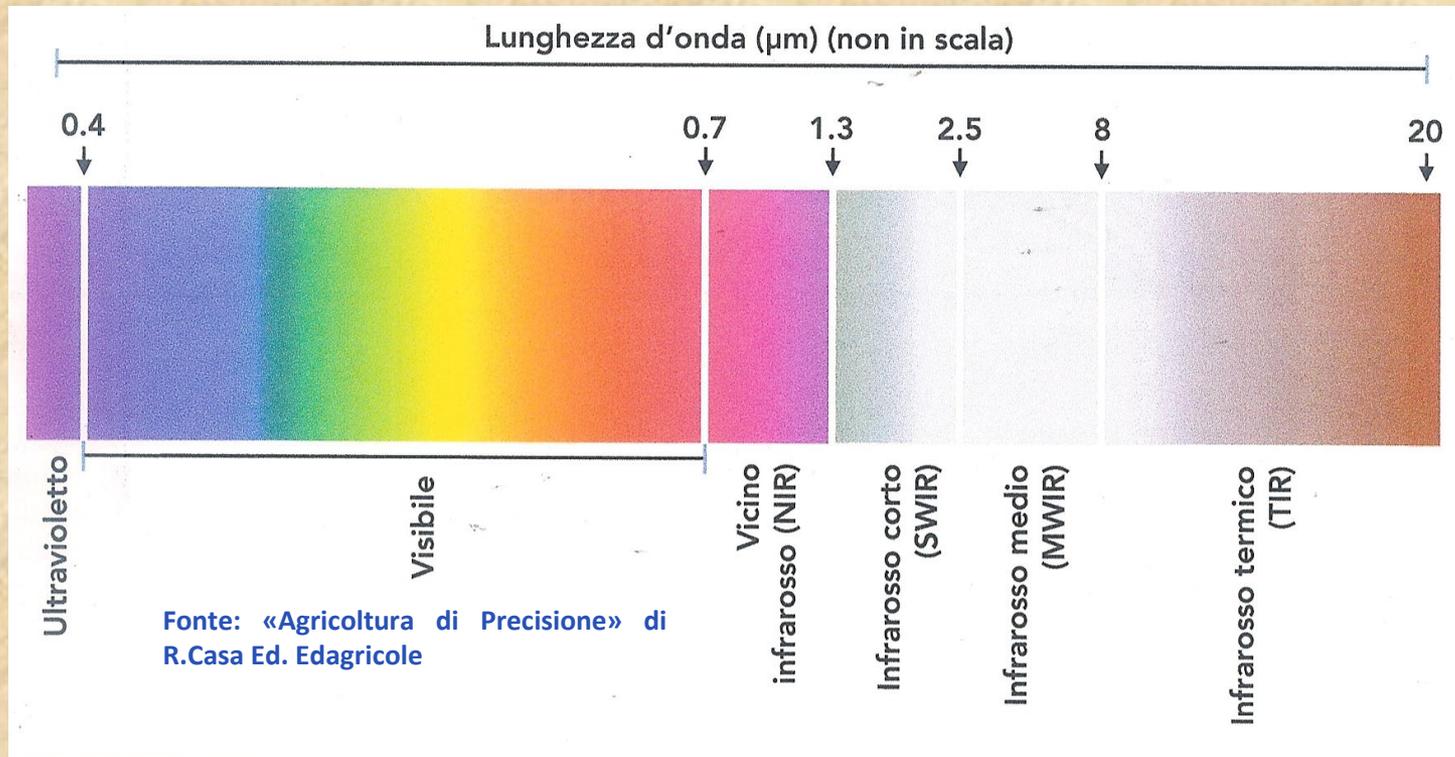


Radiazioni emesse, assorbite, riflesse e trasmesse

- È importante distinguere tra radiazioni emesse, riflesse, assorbite e trasmesse.
- La radiazione emessa lascia la massa superficiale del sole o della terra, poiché ogni corpo a una temperatura superiore a 0 K emette fotoni.
- Più alta è la temperatura, più brevi sono le lunghezze d'onda.
- Fotoni che colpiscono una particella lungo il percorso, rimbalzano e cambiano direzione. Quindi questi fotoni diventano radiazione riflessa.
- Se i fotoni non vengono riflessi, ma forniscono energia per la materia che è stata colpita, ad es. per il riscaldamento o per la fotosintesi – si tratta di radiazione assorbita.
- Infine, c'è la radiazione trasmessa che non è stata né riflessa né assorbita.

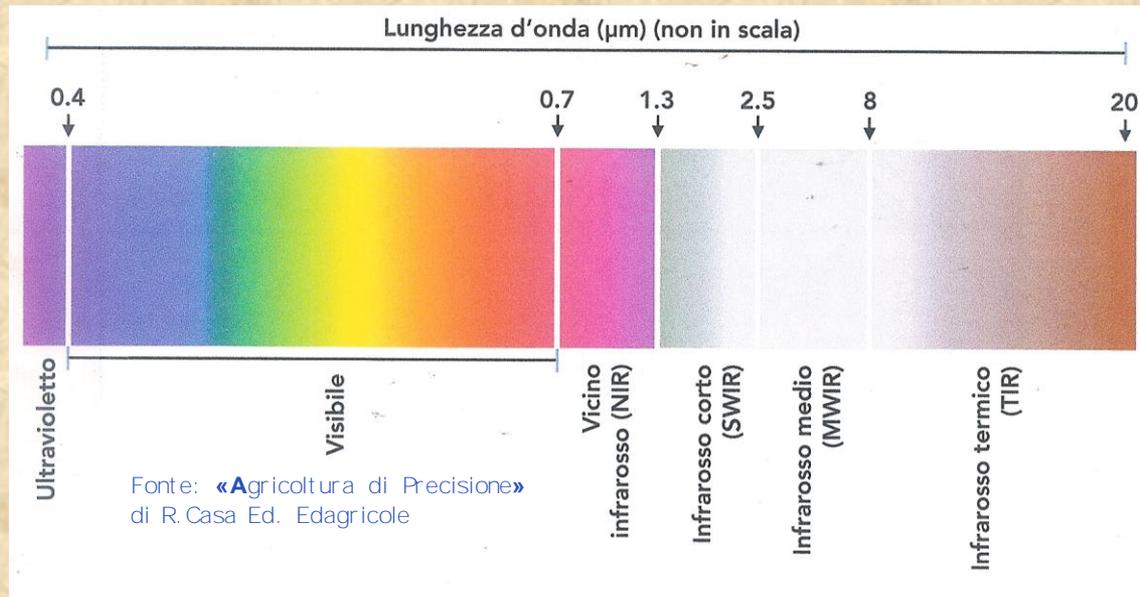
La radiazione elettromagnetica

- La radiazione elettromagnetica incidente ha caratteristiche differenti in funzione delle diverse lunghezze d'onda, dette bande;
- tali proprietà determinano la tipologia d'interazione con le superfici in funzione delle loro caratteristiche chimico-fisiche.



Le diverse bande nel dominio ottico ed infrarosso della radiazione elettromagnetica

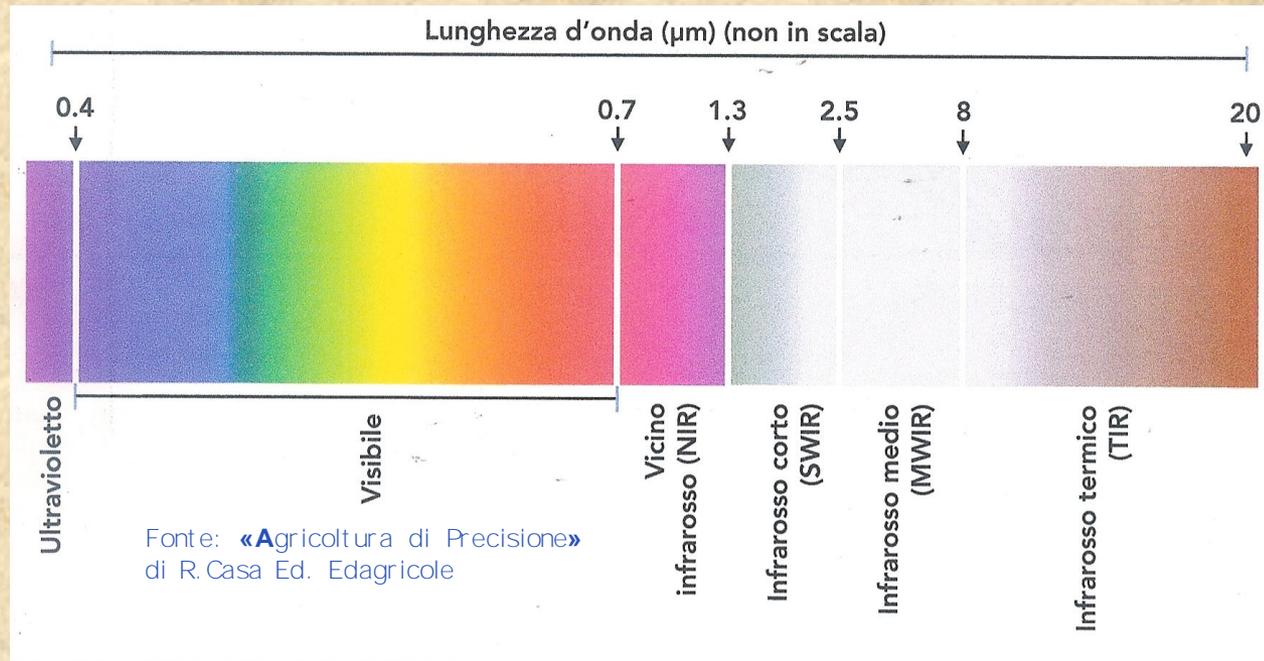
La radiazione elettromagnetica



Le diverse bande nel dominio ottico ed infrarosso della radiazione elettromagnetica

- Il **dominio ottico** comprende quella parte dello spettro che include la luce percepita dai nostri occhi ed utilizzata dalle piante per la fotosintesi.
- Tale porzione dello spettro, con lunghezze d'onda comprese tra 0,4 e 0,7 µm, viene detta visibile (**VIS**) od anche radiazione foto sinteticamente attiva (**Photosynthetically Active Radiation PAR**).

La radiazione elettromagnetica

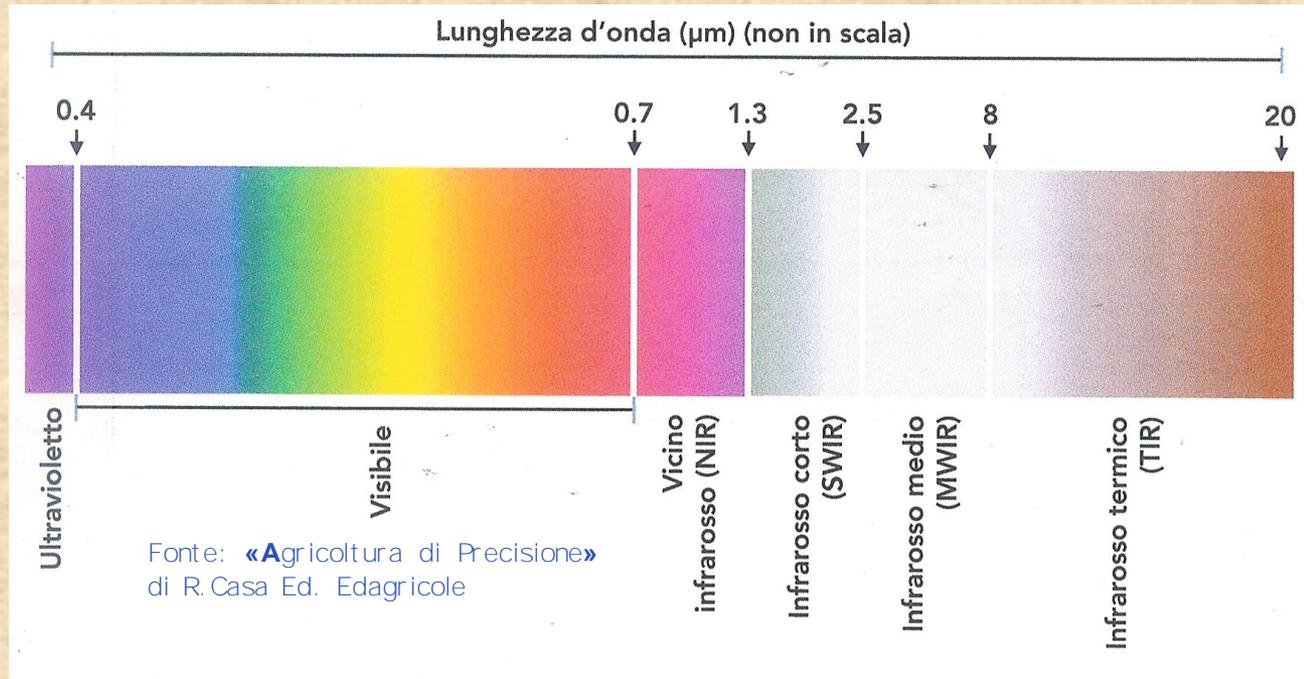


Le diverse bande nel dominio ottico ed infrarosso della radiazione elettromagnetica

La **banda dell'infrarosso (IR)** è oltre 0,7 μm, ed è suddiviso in:

- **vicino infrarosso** o **NIR (Near Infra Red, 0,7-1,3 μm)**,
- **infrarosso corto** o **SWIR (Short Wave Infra Red, 1,3-2,5 μm)**,
- **infrarosso medio** o **MWIR (Middle Wave Infra Red, 3-8 μm)**
- **infrarosso termico** o **TIR (Thermal Infra Red, 7-20 μm)**.

La radiazione elettromagnetica



Le diverse bande nel dominio ottico ed infrarosso della radiazione elettromagnetica

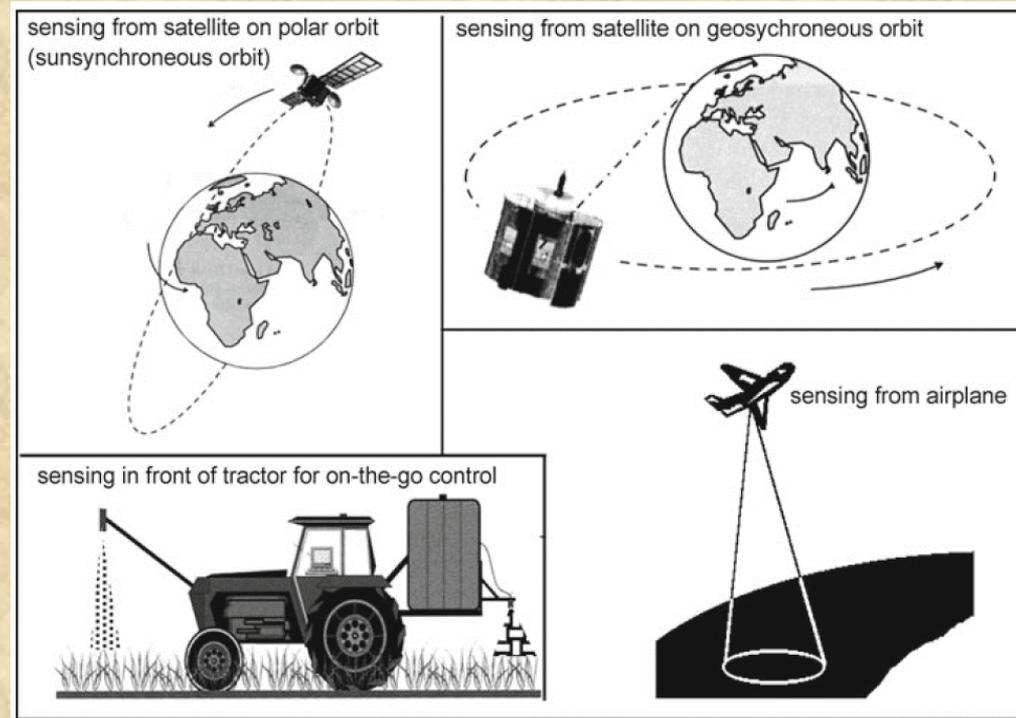
La luce che arriva dal sole è, per la maggior parte, compresa nel VIS e NIR od anche in lunghezze d'onda inferiori al VIS ($0,4 \mu\text{m}$), nella banda chiamata dell'ultravioletto (UV).

Rilevamento da satelliti, piattaforme aeree e macchine da campo

- Il rilevamento elettromagnetico delle proprietà del suolo o delle colture può essere ottenuto con sensori passivi o attivi.
- I sensori passivi si basano su onde elettromagnetiche naturali fornite dall'energia solare o dalla radiazione emessa dalla terra.
- **Il rilevamento passivo della luce visibile è limitato alle ore diurne.**
- I sensori attivi hanno sorgenti di radiazioni artificiali proprie.
- **I sensori attivi possono quindi funzionare anche nelle ore notturne, anche se è necessaria una sorgente di radiazione visibile per il processo di rilevamento.**
- Se si utilizza una radiazione al di fuori dell'intervallo del visibile, il funzionamento notturno potrebbe essere possibile con entrambi i sistemi di rilevamento.
- L'effetto dell'atmosfera terrestre sulla radiazione si ha sia con il rilevamento attivo che con quello passivo.

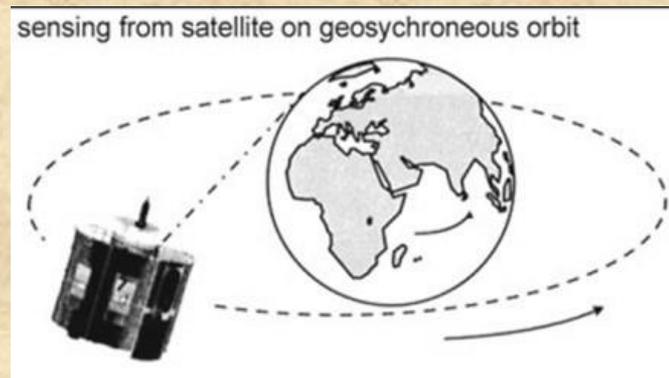
Rilevamento da satelliti, piattaforme aeree e macchine da campo

- La riflettanza del terreno o della coltura **deve essere trasmessa al sensore.**
- Quindi occorre analizzare la distanza tra il sensore e il terreno o la coltura.
- **Se il sensore funziona su un trattore o un'altra macchina agricola, la distanza è inferiore a 3 m.**
- Con questa piccola distanza, l'attenuazione della radiazione atmosferica difficilmente si verifica.
- L'attenuazione della radiazione, a causa delle distanze molto maggiori, si verifica con i satelliti e con le piattaforme aeree.



Rilevamento da satelliti con orbita geosincronica

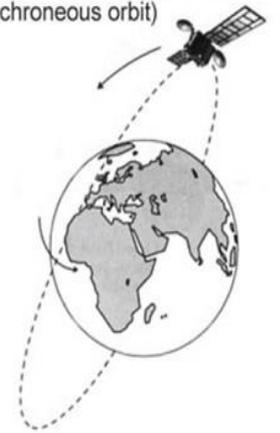
- I satelliti operano a differenti distanze dalla superficie terrestre, a seconda che si muovano su **un'orbita geosincronica** o su un'**orbita polare**.
- In un percorso geosincronico, i satelliti sono sempre nella stessa posizione rispetto alla terra in rotazione.
- Poiché questi satelliti orbitano alla stessa velocità angolare e nella stessa direzione della Terra, appaiono stazionari rispetto al globo.
- Quindi, spesso, la denotazione è “**satellite geostazionario**”.
- Orbitano su un piano equatoriale a un'altitudine di circa 36.000 km e forniscono quindi una visione ampia e costante dell'intero emisfero in un'unica immagine. Questi tipi di satellite vengono utilizzati per le previsioni meteorologiche e la teletrasmissione.



Rilevamento da satelliti con **orbita polare**

- Di particolare utilità per l'agricoltura di precisione sono i satelliti che si muovono su un'**orbita polare** o quelli per il sistema di posizionamento globale (GPS).
- I satelliti su un'orbita polare circondano la terra da un polo all'altro.
- Non ruotano con la terra, come fanno i satelliti su orbite geosincrone.
- Invece molti di questi satelliti operano su un percorso sincrono del sole, il che significa che passano sopra il globo essenzialmente alla stessa ora solare durante tutto l'anno mentre la terra ruota al di sotto di essi.
- Quindi, in teoria, è possibile ottenere istantanee per luoghi specifici del pianeta nello stesso momento solare, il che facilita i confronti multitemporali.
- L'elevazione è compresa tra 200 e 900 km, quindi molto inferiore rispetto ai satelliti orbitanti geosincroni.

sensing from satellite on polar orbit
(sunsynchronous orbit)



Rilevamento da piattaforme aeree

- Per il rilevamento da piattaforme aeree è possibile utilizzare un aereo, un elicottero o un quadricottero senza pilota (drone).
- Il drone funziona come un elicottero, ma ha quattro rotori e può operare in modo autonomo.
- La distanza verticale può essere di diversi km se si utilizzano aerei, mentre può scendere a 70 m o anche meno con elicotteri e soprattutto con droni.
- A queste distanze (≤ 70 m) può essere molto inferiore a quella dei satelliti l'attenuazione della radiazione riflessa dal terreno o dalle colture.



Risoluzione spaziale e temporale con rilevamento da piattaforme aeree

- E' importante la risoluzione spaziale e temporale che può essere ottenuta.
- Dalla teoria, ci si deve aspettare che la risoluzione spaziale diminuisca nell'ordine passando dalle macchine agricole, alle piattaforme aeree, ai satelliti.
- Fino a pochi anni fa la risoluzione spaziale ottenuta dai satelliti spesso non soddisfaceva le esigenze dell'agricoltura sito-specifica.
- I progressi nella sensibilità degli strumenti ottici hanno migliorato le risoluzioni spaziali.
- Oggi, con cielo limpido e senza nuvole, i satelliti su orbite polari forniscono risoluzioni spaziali compatibili con una dimensione delle cellule terrestri di 1 m^2 e anche meno.
- Comunque in generale è più facile ottenere un'elevata risoluzione spaziale se il rilevamento avviene a distanze minori dal terreno o dalle colture.

Risoluzione spaziale e temporale con rilevamento da piattaforme aeree

- Con le tecniche moderne e un cielo limpido e senza nuvole, il rilevamento da ogni piattaforma può fornire la risoluzione spaziale necessaria.
- La risoluzione può essere molto più alta di quanto sia necessario con i sensori ottici che funzionano da una macchina agricola.
- Per quanto riguarda la risoluzione temporale, il rilevamento da satelliti su orbite polari teoricamente fornisce i migliori prerequisiti poiché i dati dallo stesso campo possono essere ottenuti ogni giorno, a condizione che la radiazione non sia impedita da una stretta finestra atmosferica o da nuvole.
- Non è praticamente possibile rilevare da macchine agricole o da piattaforme aeree con una tale frequenza temporale; questo vale finché le macchine agricole e le piattaforme aeree necessitano di conducenti o piloti.

Risoluzione temporale e precisione temporale con rilevamento da macchine agricole durante un'operazione sul campo

- **La risoluzione temporale sembra essere estremamente bassa per molte operazioni sul campo che si svolgono solo una o due volte all'anno.**
- **Ma è importante un rilevamento che avvenga avvenire esattamente nel momento in cui sono necessarie le informazioni, mediante un controllo prossimale continuo e in movimento durante lo svolgimento delle operazioni agricole.**
- **Se c'è una variazione temporale delle proprietà del terreno o delle colture durante la stagione di crescita - e in molti casi questa è la situazione - può essere importante rilevare con precisione nel momento in cui ha luogo l'attività agricola.**
- **Quindi per queste proprietà del terreno e delle colture è necessaria la precisione temporale piuttosto che la risoluzione temporale.**
- **Una risoluzione temporale elevata potrebbe in questi casi portare a un'enorme quantità di dati inutili.**

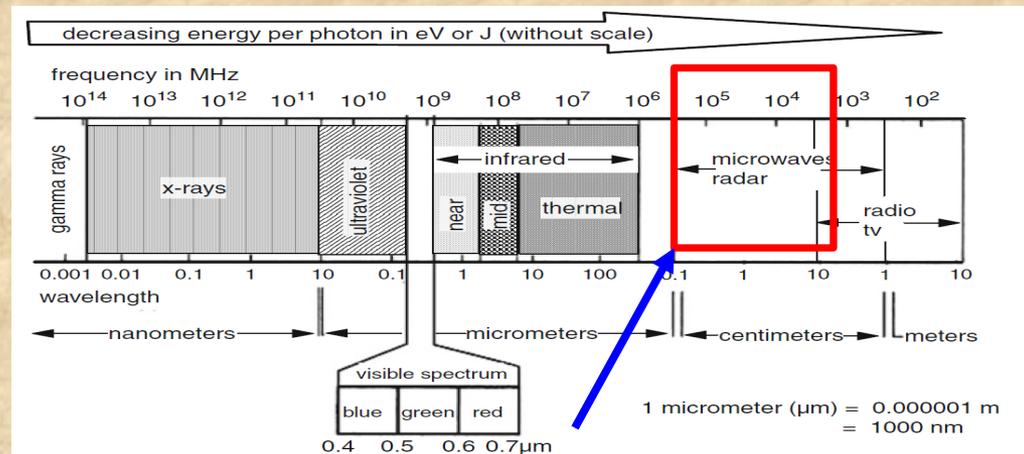
Risoluzione temporale e precisione temporale con rilevamento da macchine agricole durante un'operazione sul campo

- **Ci sono situazioni agricole che richiedono un'elevata risoluzione temporale o frequenza temporale**, ad es. quando si osserva una coltura per infezioni da parassiti.
- **Ci sono situazioni in cui la precisione temporale è il criterio più importante**, ad es. quando avviene la concimazione stagionale dell'azoto.
- Questa distinzione tra **risoluzione temporale** da un lato e **precisione temporale** dall'altro è utile, sebbene potrebbero essere necessarie entrambe.

Microonde o radar

- Tutte le limitazioni di rilevamento che derivano dalle barriere atmosferiche, comprese le nuvole, vengono rimosse quando si utilizzano le microonde.
- Il nome "microonde" può essere fuorviante, poiché la loro regione spettrale ha le onde più lunghe utilizzate nel telerilevamento.
- Quindi le microonde hanno anche la più bassa energia per fotone.
- Le limitazioni che ne derivano per il rilevamento da satelliti vengono superate utilizzando sensori attivi con antenne speciali che garantiscono un'elevata sensibilità.
- I sensori attivi emettono energia a microonde e ne rilevano il ritorno dal suolo.
- Sono noti come sensori radar. Radar sta per "radio detection and ranging".

I moderni sensori radar spaziali funzionano nell'intervallo di lunghezze d'onda di 0,1-100 cm.



Riflessioni e proprietà dei terreni e delle colture

- Qualunque sia il risultato ottenuto rilevando con onde visibili, infrarosse o radar, si dovrebbe sempre tenere presente che i segnali indicano solo fenomeni che sono di interesse a causa della loro relazione nota con le proprietà del terreno o delle colture.
- I segnali non spiegano mai direttamente le ragioni dei fenomeni rilevati.
- Quindi è ancora necessaria una mente intelligente per l'analisi delle cause.
- Tuttavia, anche un agricoltore deve effettuare questa analisi quando ispeziona visivamente i suoi campi. La differenza sta nella quantità e nel tipo di dati disponibili.
- E il successo ottenuto con l'ampio gruppo di segnali spesso dipende molto da un'elaborazione intelligente di questi.

Utilizzo di mappe o di rilievi On-The-Go in tempo reale

- A parte i limiti di rilevamento, ci sono differenze nette nei domini di applicazione delle proprietà registrate dai satelliti o dalle macchine agricole.
- I satelliti polari possono fornire mappe che mostrano la situazione per una vasta area a un'ora definita di un giorno. I sensori basati sulla macchina non possono mai farlo.
- Sono necessarie mappe che forniscono un resoconto delle condizioni del terreno e delle colture in un determinato momento all'interno di un'azienda agricola, una provincia, una regione o dell'intero Paese.
- Per altro verso possono essere utili panoramiche relative per es. all'approvvigionamento idrico del suolo, ai campi incolti o coltivati, alle specie coltivate utilizzate, allo sviluppo delle colture, ai danni alle colture di vario genere (grandine, siccità, inondazioni, malattie, infestazioni di insetti ecc.).

Utilizzo di mappe o di rilievi On-The-Go in tempo reale

- Le informazioni rilevabili mediante rilevamento da utili sono diverse.
- I dipartimenti governativi, le agenzie agricole e le istituzioni agroalimentari hanno bisogno di mappe che forniscano informazioni su vaste aree, che includono molte aziende agricole.
- Gli agricoltori richiedono principalmente mappe che si riferiscano solo all'intera azienda agraria o relative a un singolo campo.
- E' ragionevole distinguere tra
 - mappe ad ampio raggio
 - mappe aziendali
 - mappe di campo

Mappe ad ampio raggio

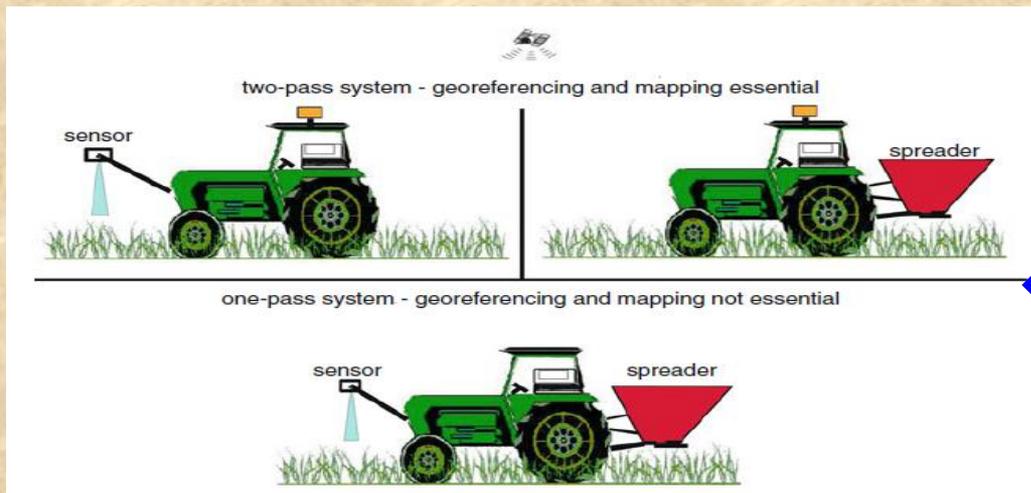
- Le mappe di un'ampia area e le mappe aziendali vengono utilizzate principalmente per le valutazioni strategiche.
- Durante il periodo di crescita, queste valutazioni strategiche possono essere utili in intervalli di tempo che vanno da diversi giorni a diverse settimane, ad es. per vedere come si sviluppano le colture.
- Le mappe di un'ampia area e le mappe aziendali possono essere fornite facilmente e ad un costo ragionevole via Internet dai satelliti polari che orbitano ogni giorno nelle rispettive aree.
- In alcune regioni agricole possono esistere limitazioni per le mappe che si basano sulla radiazione visibile e infrarossa come risultato dell'effetto delle nuvole.
- Tuttavia, per alcune proprietà del terreno e delle colture, il problema delle nuvole può essere superato utilizzando le onde radar invece della radiazione visibile e infrarossa.

Mappe di campo

- Con le mappe di campo, la situazione è diversa.
- **A volte potrebbero essere usate anche per valutazioni strategiche, ma questa non è l'applicazione più importante.**
- L'utilizzo preferenziale delle mappe di campo in agricoltura di precisione è per il controllo delle operazioni sito-specifiche di campo.
- **Alcune proprietà riportate nelle mappe di campo sono temporalmente costanti, altre non sono affatto costanti nel tempo.**
- Le mappe sulla tessitura, il contenuto di materia organica e le curve di livello del suolo possono essere considerate aggiornate per molto tempo e quindi utilizzate per molti anni.
- **In misura leggermente minore, questo vale anche per le mappe sul pH dei terreni.**

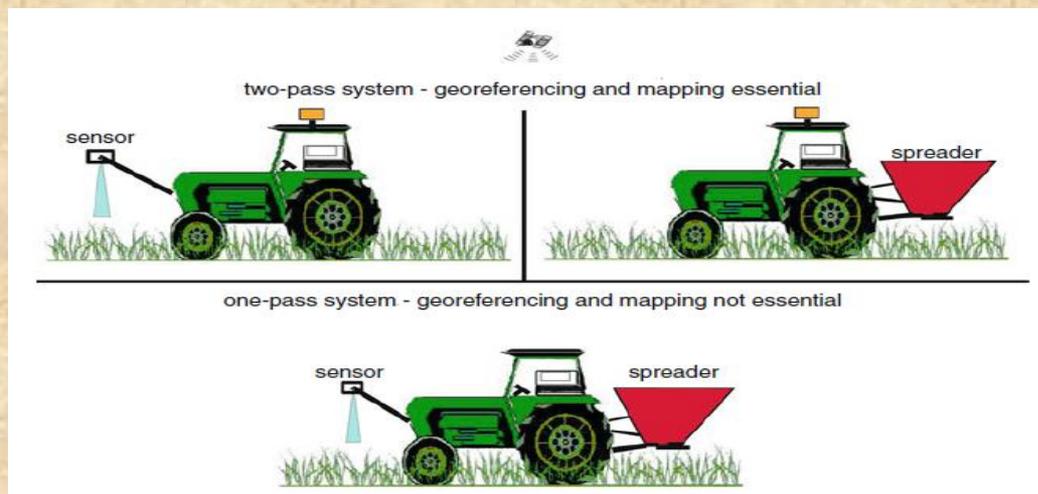
Mappe di campo

- Ma ci sono molte proprietà del terreno e delle colture che non consentono di utilizzare la stessa mappa per diverse operazioni sul campo o per anni consecutivi.
- Il contenuto nel terreno di azoto e acqua disponibile per la pianta può cambiare entro alcuni giorni.
- Lo stesso vale per le fasi di crescita o infestazioni di colture con funghi o insetti.
- La tecnica di controllo ideale per operazioni sito-specifiche quando le proprietà del terreno o delle colture cambiano rapidamente nel tempo è il rilevamento in tempo reale online combinato con la regolazione in movimento della macchina agricola



Controllo basato sul trattore per lo spargimento sito-specifico di fertilizzante con o senza mappatura

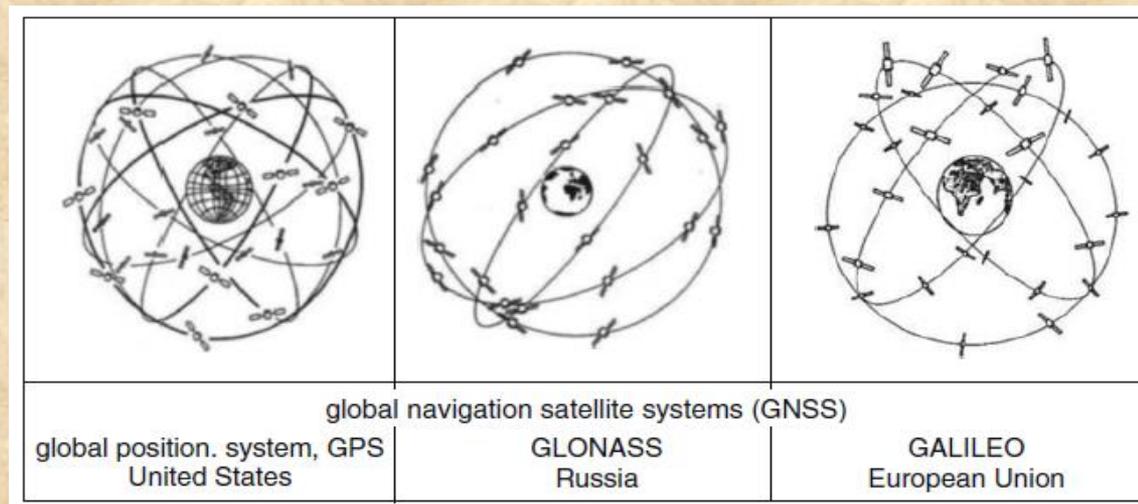
Mappe di campo



- Il rilevamento dalle macchine agricole evita il problema del cloud.
- Questo è importante, poiché la radiazione visibile e infrarossa, necessaria per il controllo sito-specifico delle operazioni sul campo, è fortemente influenzata dalle nuvole.
- Le operazioni sul campo controllate online e in movimento non si basano sulle mappe.
- Tuttavia, le mappe di campo delle rispettive operazioni possono essere create come sottoprodotti per compiere studi a posteriori delle situazioni e rendere possibile anche un uso congiunto nel controllo delle successive operazioni sul campo
- Un prerequisito per la registrazione di queste mappe di campo è la georeferenziazione dei segnali, quindi l'uso simultaneo di un sistema di posizionamento.

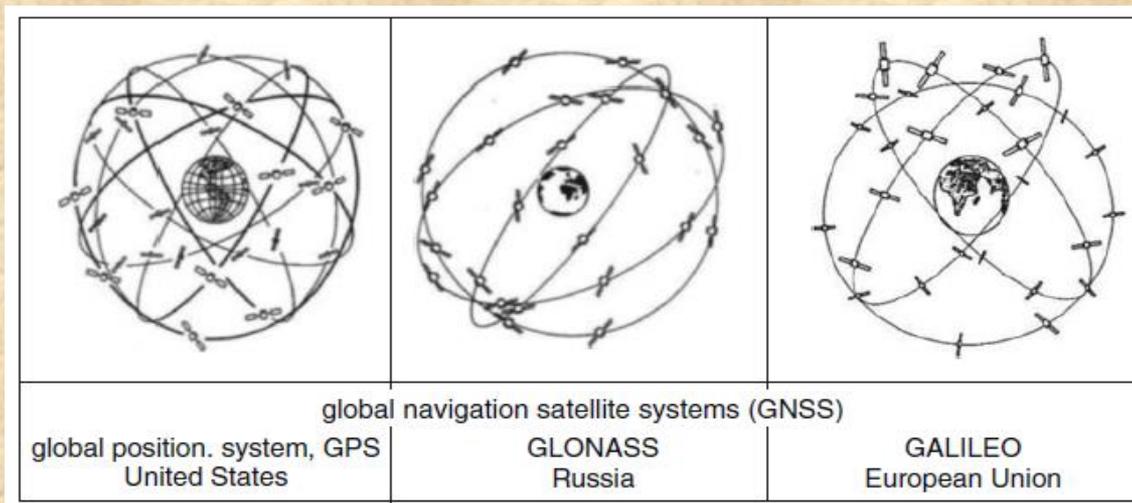
Georeferenziazione mediante sistemi di posizionamento

- La precisione nella mappatura e nella guida delle macchine agricole necessita di georeferenziazione nei campi. I sistemi di navigazione satellitare globali (**GNSS - Global Navigation Satellite System**) forniscono i mezzi per questo.
- Il metodo più utilizzato e universalmente noto è il sistema di posizionamento globale americano (GPS).
- Nel 1995 è stato integrato dal sistema russo GLONASS.
- Il sistema **GALILEO** dell'Unione europea è iniziato nel 2014.



Georeferenziazione mediante sistemi di posizionamento

- I satelliti americani, russi ed europei orbitano intorno alla Terra circa due volte al giorno ad angoli obliqui rispetto all'equatore.
- **Le distanze verticali dalla superficie terrestre sono comprese tra 19.000 e 23.000 km.**
- Quindi i satelliti si muovono più in alto di quelli che si trovano sulle orbite polari, ma più in basso di quelli sulle orbite geosincrone.
- **Tutti i sistemi utilizzano circa 24 satelliti, tuttavia, i satelliti GPS sono su sei diverse orbite, i sistemi GLONASS e GALILEO hanno solo tre orbite.**



Georeferenziazione mediante sistemi di posizionamento

- I segnali vengono trasmessi tramite microonde, che operano all'interno di una finestra atmosferica e penetrano nelle nuvole.
- Quindi le ostruzioni nell'atmosfera non esistono.
- La georeferenziazione è ottenuta dall'intervallo di tempo, entro il quale i segnali radio vanno dai satelliti al ricevitore.
- Quest'ultimo è ad es. su un veicolo o su una macchina agricola che si muove nel campo.
- I satelliti trasportano orologi atomici estremamente precisi.
- I ricevitori a terra si sincronizzano con questi orologi.
- Quindi, in modo semplificato, anche ogni ricevitore è un orologio atomico estremamente preciso.

Georeferenziazione mediante sistemi di posizionamento

- Una volta noto l'intervallo di tempo che un segnale radio impiega dal satellite al ricevitore terrestre, è possibile il calcolo della rispettiva distanza tra il satellite e il target, tenendo conto della velocità della radiazione elettromagnetica.
- Infine, note le distanze tra più satelliti e il ricevitore, la posizione geometrica del bersaglio viene calcolata con metodiche trigonometriche.
- Un prerequisito è la conoscenza della posizione dei satelliti, che è nota.
- In dettaglio, i segnali possono fornire al ricevitore target quattro parametri:
 - il tempo
 - la longitudine geografica
 - la latitudine geografica
 - l'altitudine geografica.
- **Le ultime tre dimensioni insieme definiscono la rispettiva posizione geometrica.**

Georeferenziazione mediante sistemi di posizionamento

- Come primo passo nell'agricoltura di precisione, le posizioni geometriche possono essere utilizzate per ottenere i confini e le aree esatte di tutti i campi.
- Successivamente, la posizione può essere utilizzata come riferimento sito-specifico per tutte le operazioni agricole.
- Questo riferimento consente di collegare le proprietà del terreno e delle colture in modo intelligente.
- A questo proposito, la posizione è un punto di riferimento nell'agricoltura di precisione. L'altitudine sito-specifica può essere utilizzata come fonte per mappare le curve di livello dei campi.
- Le cartografie che contengono queste informazioni possono essere ottenute come sottoprodotto di altre operazioni agricole sito-specifiche

Georeferenziazione mediante sistemi di posizionamento

Criteri importanti nella georeferenziazione sono la disponibilità dei segnali satellitari e la precisione del posizionamento.

Un prerequisito generale di disponibilità è che le onde radio provenienti da quattro satelliti contemporaneamente possano arrivare al ricevitore.

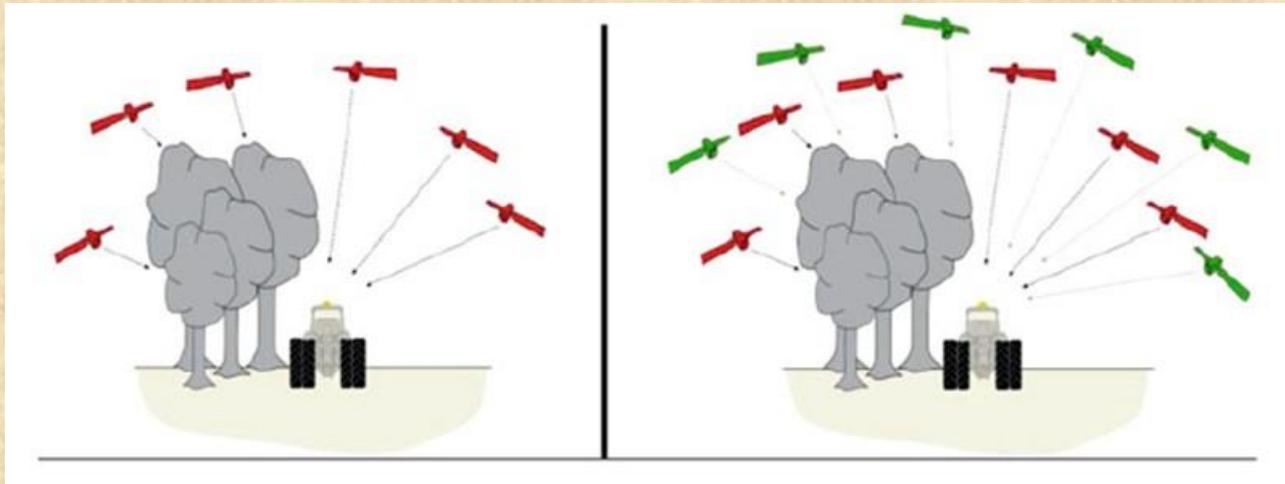
Le nuvole non sono una barriera poiché vengono utilizzate le microonde, ma gli alberi e gli edifici possono riflettere i segnali.

Se questo impedisce la georeferenziazione, può dipendere dal numero di satelliti in funzione.

Questo numero è in costante aumento, non da ultimo perché il sistema di posizionamento globale degli USA è stato ed è tuttora integrato da sistemi simili di altre parti del mondo.

Georeferenziazione mediante sistemi di posizionamento

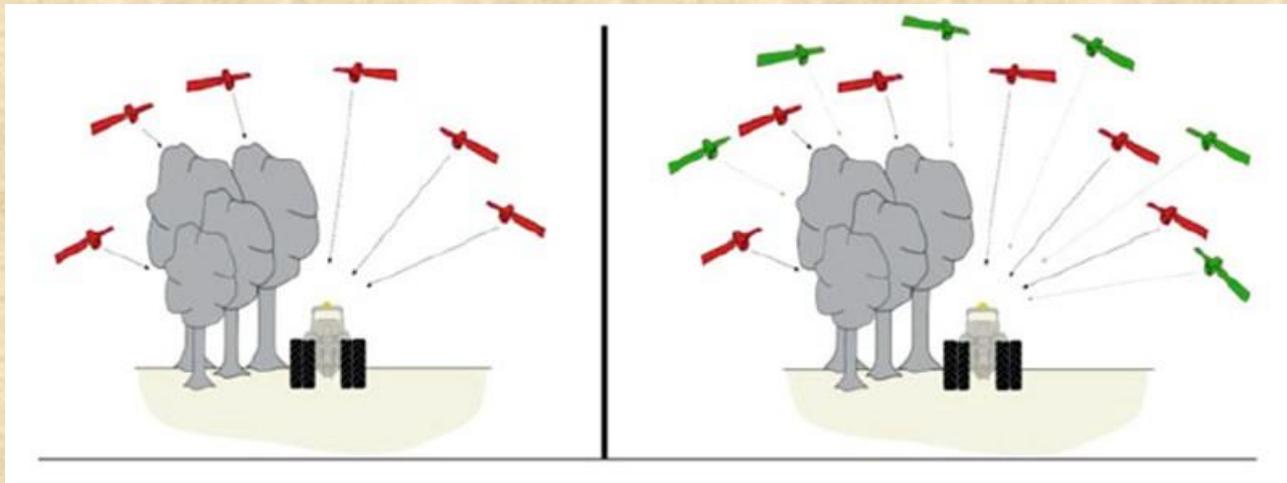
- I disegni in Figura mostrano schematicamente la situazione estrema in cui una macchina agricola si muove lungo alti ostacoli per i segnali di navigazione.
- Ma anche all'interno di un campo normale senza macchie di alberi non si può presumere che tutti i segnali di navigazione abbiano libero accesso al ricevitore.

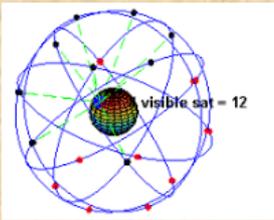


La posizione del ricevitore sul trattore è la stessa in entrambi i disegni. Nel disegno di sinistra, i segnali di soli tre satelliti arrivano al ricevitore, il che nella maggior parte dei casi non è sufficiente per la georeferenziazione. Nel disegno a destra - a causa di più satelliti - è possibile la georeferenziazione (Dai grafici di Poloni 2009)

Georeferenziazione mediante sistemi di posizionamento

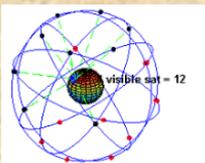
- Esiste sempre un cosiddetto "angolo di maschera" tra la linea orizzontale nel campo e la radiazione obliqua orientata verso il ricevitore.
- La radiazione obliqua diretta al ricevitore con un angolo rispetto alla linea orizzontale inferiore all'angolo della maschera è inefficace.
- A parte la situazione in prossimità di boschi o siepi, è necessario tenere conto di angoli della maschera compresi tra 5° e 10° .





Tipi di correzione del segnale (differenziale – non differenziale)

- **Gli errori analizzati relativi al sistema di posizionamento non consentono a nessun ricevitore, se adoperato «stand-alone», di determinare in maniera precisa ed accurata la propria posizione.**
- **La determinazione della posizione di un punto sulla terra risulta affetta da un errore assoluto di circa 5-10 m, anche utilizzando ricevitori dotati dei migliori orologi e di ottimi modelli di calcolo.**
- **Tecniche di correzione si possono applicare per ridurre l'entità di questi errori.**

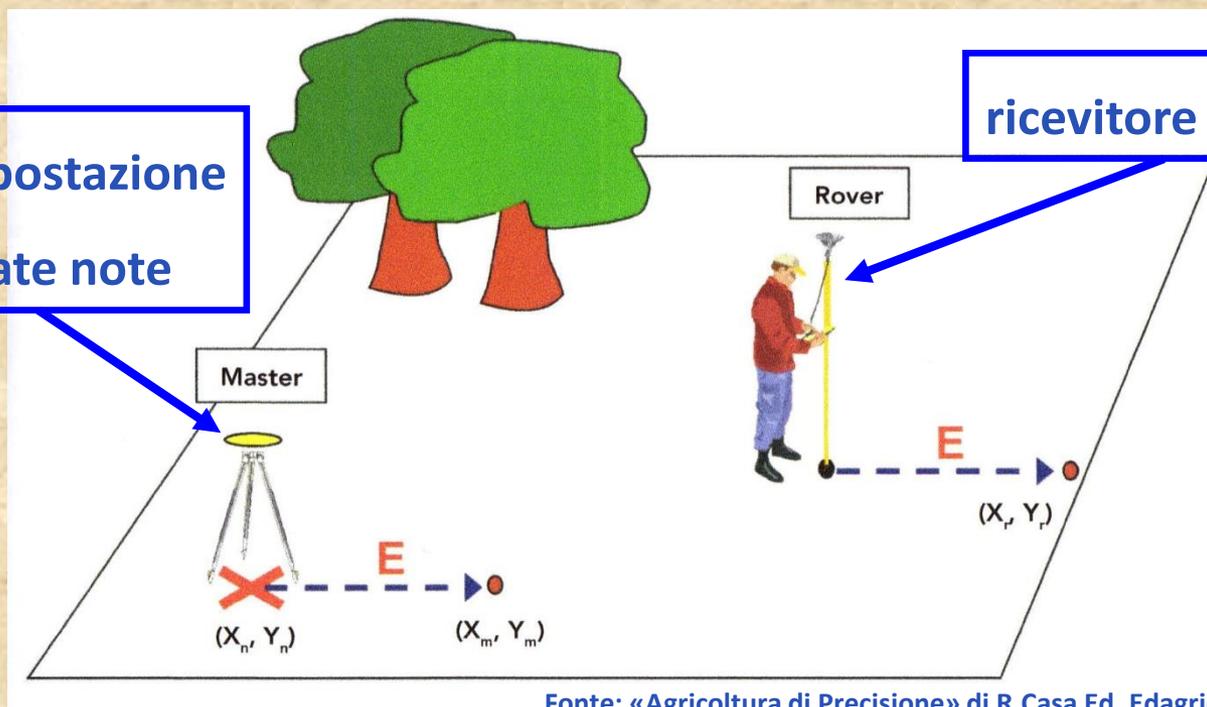


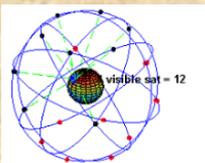
Correzione del segnale **differenziale** DGPS (**Differential GPS**)

Questa tecnica, che aumenta considerevolmente la precisione e l'accuratezza della misura di posizione, prevede l'impiego di dati acquisiti contemporaneamente da almeno due ricevitori: uno detto *rover* ed uno, operante in postazione fissa a coordinate note, detto *master*

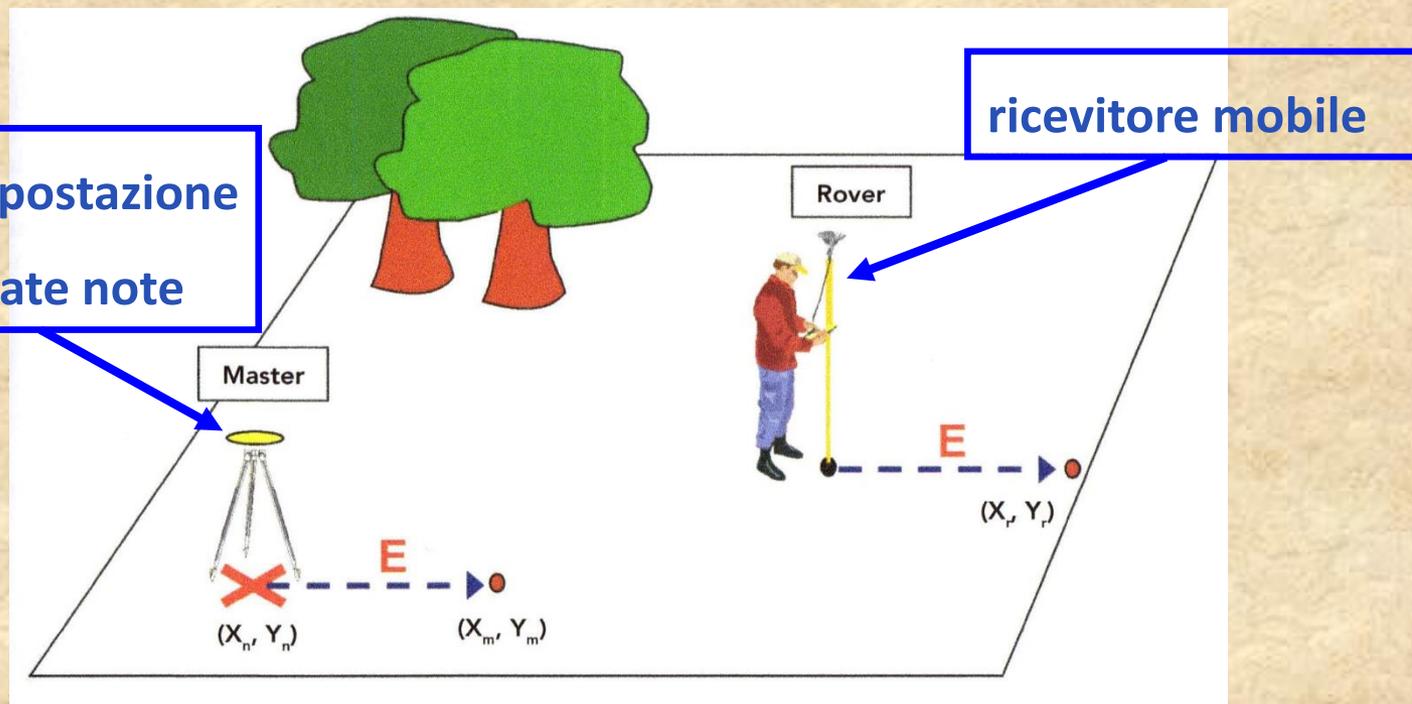
ricevitore in postazione fissa a coordinate note

ricevitore mobile

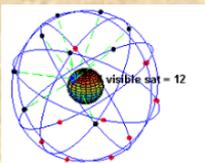




Correzione del segnale differenziale DGPS (Differential GPS)



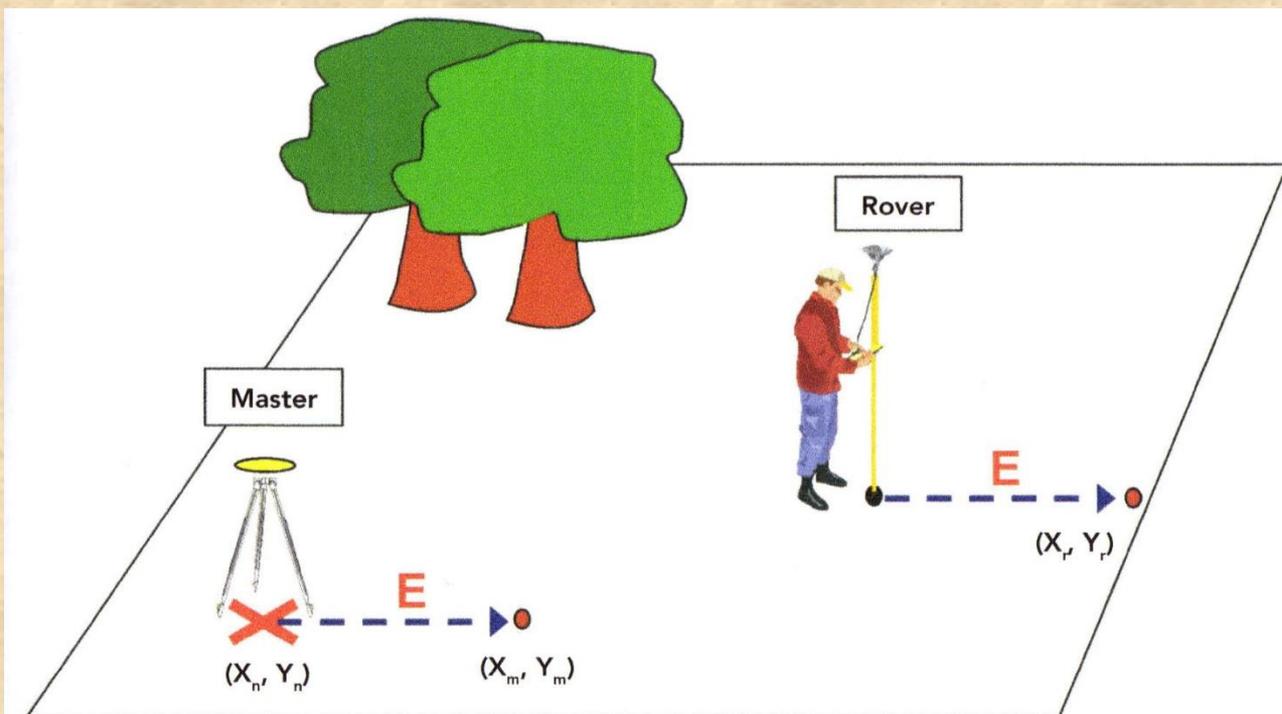
- I due ricevitori non devono essere molto distanti fra loro, in modo da poter «vedere» gli stessi satelliti e ricevere gli stessi segnali.
- Per un rilievo centimetrico, la distanza tra i due ricevitori non dovrebbe essere superiore ai 2 m

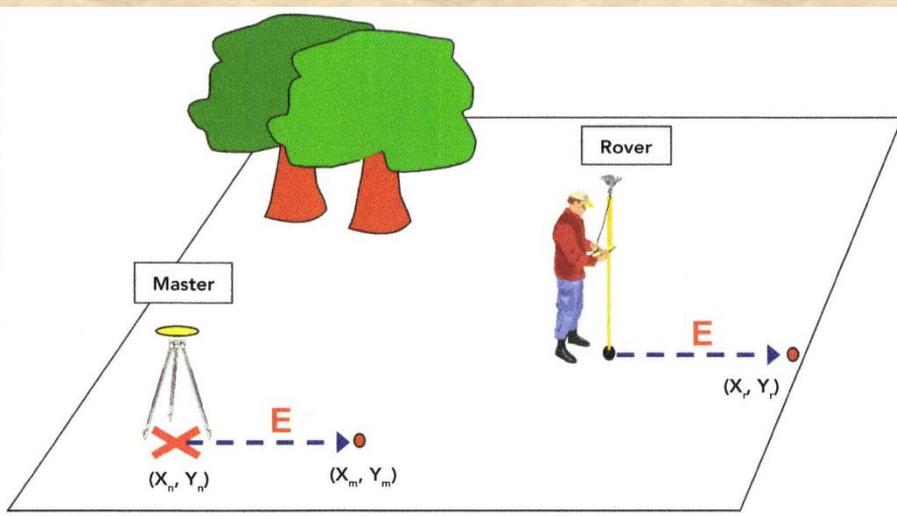


Correzione del segnale differenziale DGPS (Differential GPS)

Il ricevitore *master* è in grado di calcolare istante per istante l'errore **E** tra la propria posizione (**reale**, in quanto è posizionato su un punto a coordinate note) e quella **calcolata** a seguito della triangolazione.

Lo stesso errore **E** viene applicato, allo stesso istante di tempo, al ricevitore *rover*

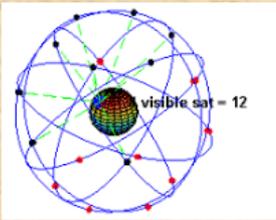




Correzione del segnale differenziale DGPS (Differential GPS)

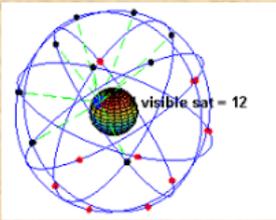
Questa procedura, detta **correzione differenziale DGPS (DGPS)** è attualmente la miglior soluzione, perché assicura precisioni centimetriche. Può essere applicata:

- **In tempo differito (post-processing)** se le correzioni vengono apportate in tempi successivi ai rilievi effettuati;
- **In tempo reale (real time)** se le correzioni sono indispensabili contemporaneamente al rilievo svolto. In questo caso, il sistema DGPS trasmette in tempo reale i dati di correzione tra **master** e **rover**



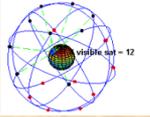
DGPS con correzione via ponte satellitare

- **Enti pubblici (EGNOS European Geostationary Navigation Overlay Service) o privati** trasmettono segnali per la **correzione DGPS**.
- Il servizio è gratuito per i primi, occorre acquistare ricevitori appositamente abilitati a questa ricezione, può essere previsto il pagamento di un canone annuo per i secondi.
- **Il servizio è collegato ad alcuni satelliti geostazionari (autonomi rispetto alla rete GPS) che trasmettono, sulle stesse frequenze dei satelliti GPS, le informazioni di correzione elaborate da una rete di stazioni master a terra.**
- Con questa modalità di correzione differenziale si ottengono **accuratezze sub-metriche (0,5m) per i ricevitori EGNOS e dell'ordine di un paio di decimetri per il servizio offerto dai privati.**



RTK monobase

- La correzione differenziale cinematica in tempo reale, detta **RTK (Real Time Kinematic)**, ha le migliori prestazioni, soprattutto per veicoli in movimento.
- Essa utilizza un segnale inviato via radio al ricevitore da **una stazione di base** posta a breve distanza dal ricevitore (<5 km), che elabora il segnale proveniente dai satelliti.
- Si ottiene una precisione inferiore ai 20 cm per ricevitori a singola frequenza, al centimetro nel caso di ricevitori a doppia frequenza.
- E' una soluzione costosa in quanto richiede:
 - a) due ricevitori (master+rover), meglio se in doppia frequenza;
 - b) il ricorso a sistemi di trasmissione dati per mantenere master e rover in comunicazione tra loro (modem GPRS o GSM).



Correzione **NRTK** (**Network Real Time Kinematic**)

- Questa soluzione consente all'utente di utilizzare solo il **rover**.
- Il **rover** riceve la connessione RTK, acquisendo la correzione, da una rete di **stazioni permanenti GNSS**, generalmente mediante telefono o modem GSM/GPRS/UMTS.
- Il collegamento è **bidirezionale**, ovvero il **rover** invia alla rete la propria posizione e la rete risponde inviando all'utente una correzione personalizzata e ottimizzata per la sua posizione.
- Una stazione permanente, detta anche **CORS** (**Continuously Operating Reference Station**), è un'installazione fissa, che acquisisce con continuità tutti i segnali emessi dai satelliti visibili, 24 ore su 24 per tutti i giorni della settimana e trasmette i dati ad un server centrale che rende i dati accessibili all'utenza.
- Nel nostro paese sono presenti diverse NRTK gestite da Enti pubblici e privati (Leica Geosystem, etc.)

Il GPS in agricoltura e criteri di scelta di un GNSS

Necessità di precisione e accuratezza richieste nelle principali operazioni di campo

Operazione	Precisione/ accuratezza (cm)	Tipo ricevitore	Tipo correzione
Scouting e navigazione	300-500	L_1	-
Applicazione concimi e fertilizzanti in pieno campo	50-100	L_1	Via satellite pubblico/privato
Semina in risaia allagata			
Mappatura delle produzioni			
Rilievo aree appezzamenti			
Trattamento fitosanitario	20-40	L_1	Via satellite privato
Semina convenzionale	10-20	L_1+L_2	
Semina di precisione	3-5	L_1+L_2	RTK con stazione a bordo campo
Trapianto			
Rilievo confini appezzamento	1-2	L_1+L_2	<i>Post processing</i> con stazione di riferimento