



Reti wireless per lo scambio di dati ai fini della sicurezza in agricoltura

Perché serve la localizzazione precisa del rover/trattore in agricoltura?

Efficienza e gestione operativa

- Pianificazione e tracciamento preciso delle lavorazioni
- Eliminazione sovrapposizioni tra passaggi e riduzione sprechi
- Documentazione automatica di ciò che è stato fatto / non fatto
- Ottimizzazione percorsi e consumi (carburante, tempo, input agronomici)
- Migliore integrazione con sistemi di agricoltura di precisione





Perché serve la localizzazione precisa del rover/trattore in agricoltura?

Sicurezza degli operatori

- Prevenzione di collisioni e investimenti di lavoratori a terra
- Supporto nelle zone con **angoli ciechi** o visibilità ridotta (polvere, vegetazione, attrezzi montati)
- Gestione **zone di esclusione / geofence** attorno a persone e ostacoli
- Allerta automatica se un operatore entra in area pericolosa
- Riduzione errori umani in contesti dinamici e rumorosi
- Tracciamento affidabile anche senza visibilità diretta (occhiali di sicurezza, notte, cabina chiusa)

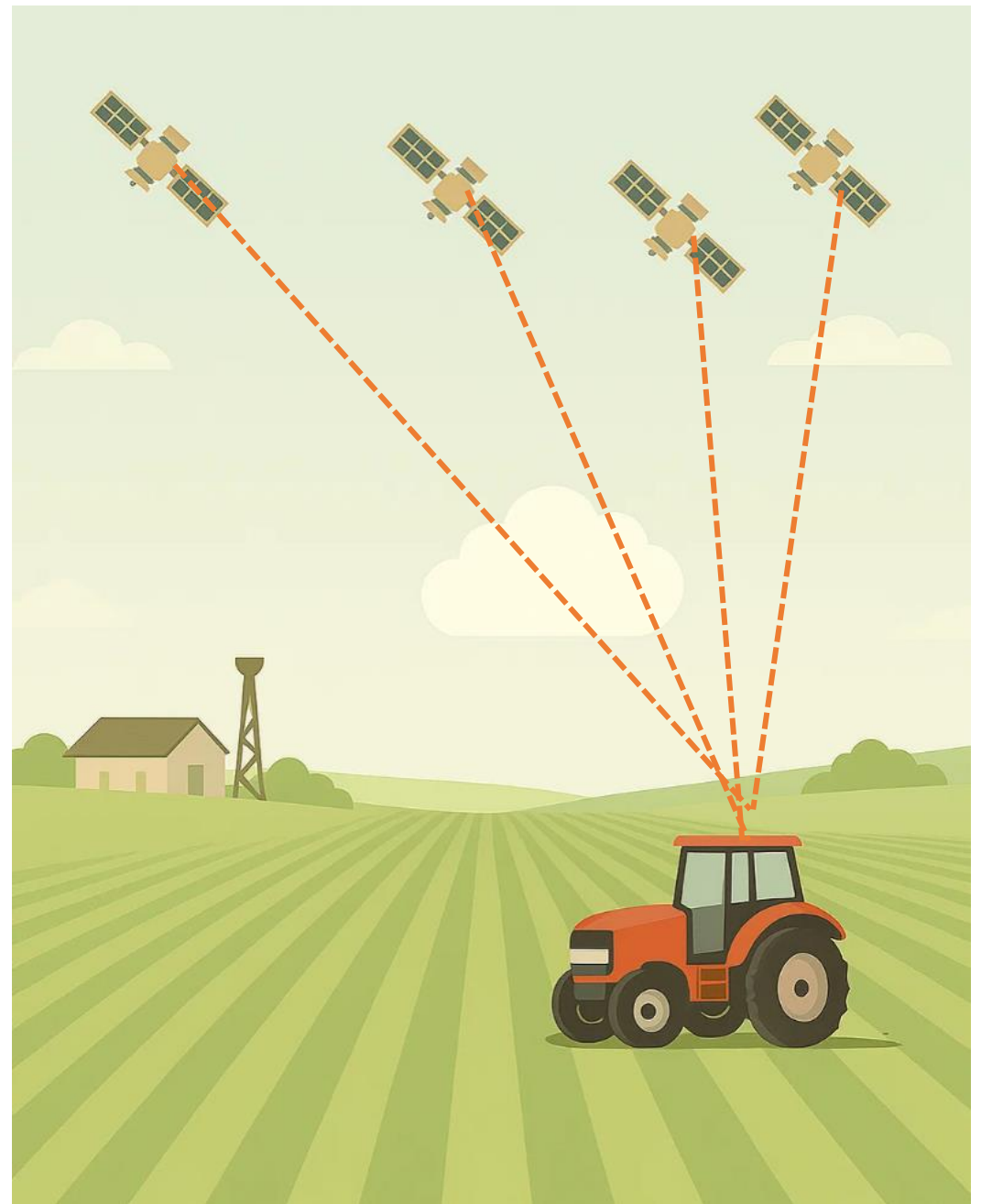
Perché serve la localizzazione precisa del rover/trattore in agricoltura?

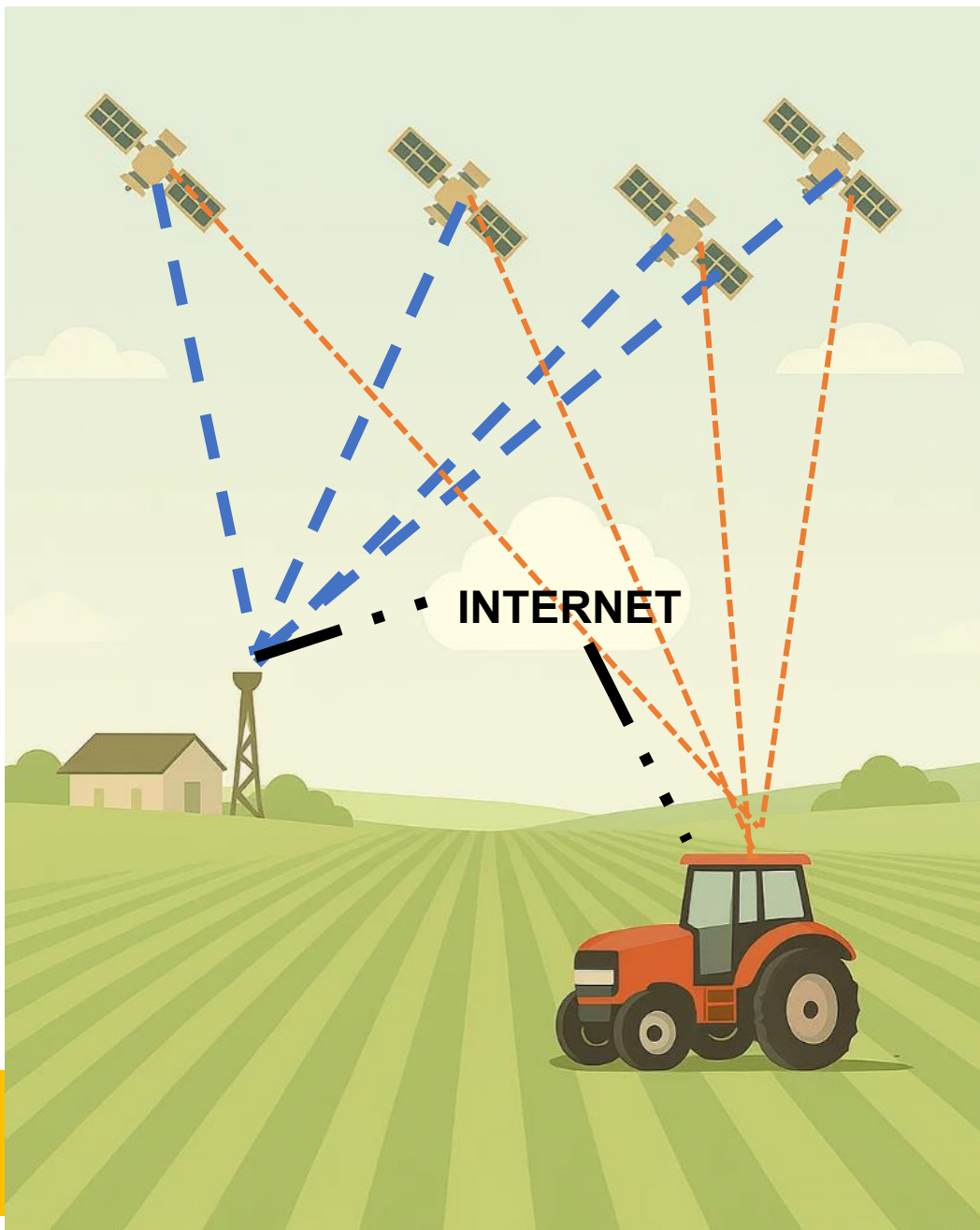
Ma come localizziamo un mezzo agricolo? Basta un GPS?

- Riduzione errori umani in contesti dinamici e rumorosi
- Tracciamento affidabile anche senza visibilità diretta (occhiali di sicurezza, notte, cabina chiusa)

Come localizziamo un trattore oggi? Il GPS da solo basta?

- Riceve segnali da più satelliti e calcola la posizione tramite **tempo di propagazione**
- La precisione tipica è **1–3 metri**, e dipende da quanti satelliti ricevo, da come sono distribuiti nel cielo, dalla qualità del segnale e dalle condizioni ambientali.
- Suscettibile a errori dovuti a **riflessioni**, ostacoli, atmosfera, rumore
- Ottimo per “capire la zona”... ma 3m sono troppi in ambito sicurezza





Dal GPS all'RTK: come si ottiene precisione centimetrica

Solo GPS

- Il trattore riceve i segnali GNSS come un normale GPS
- Precisione tipica: **qualche metro**
- In agricoltura e sicurezza... può non bastare

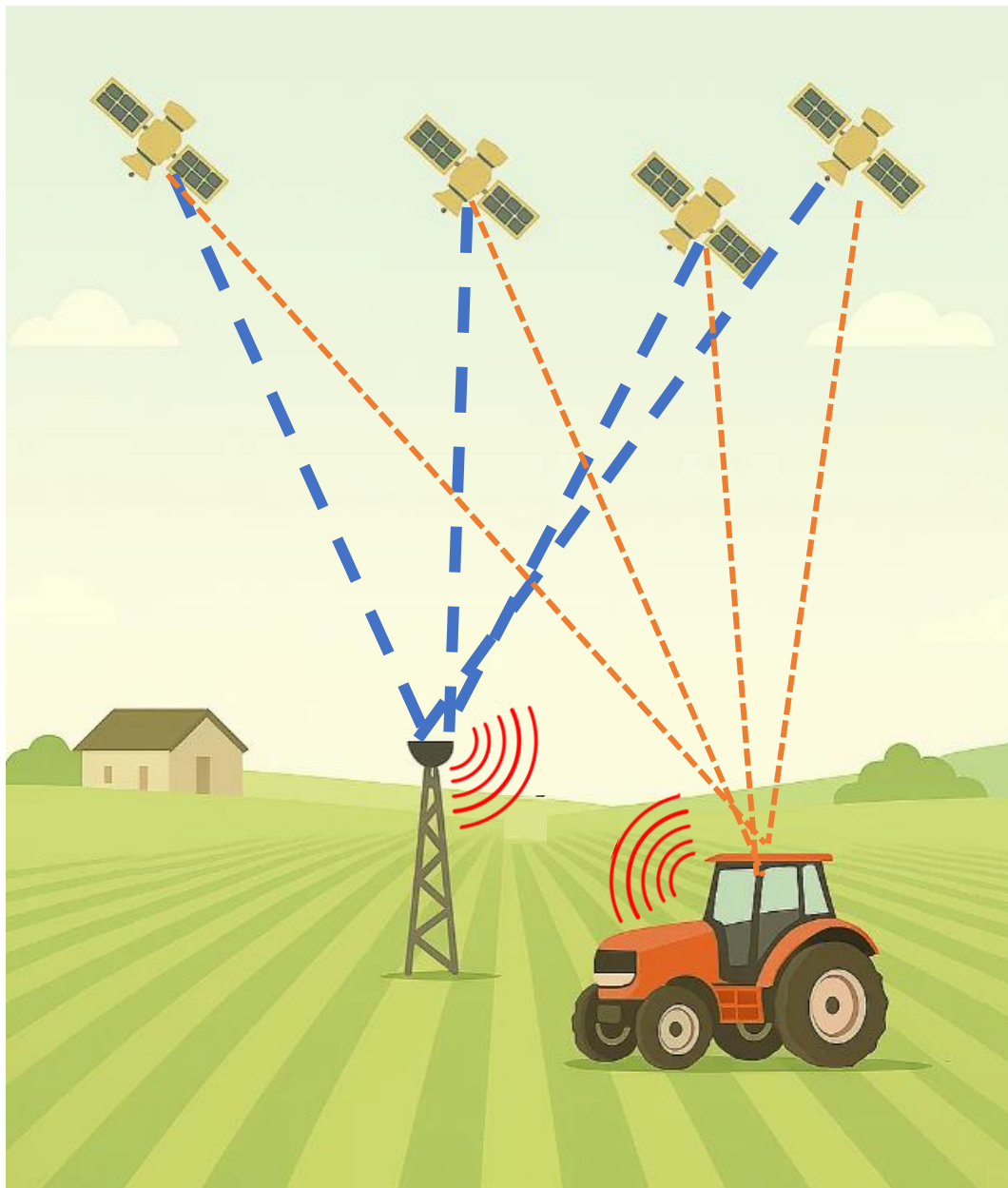
Aggiunta della base RTK anche a diversi km

- Una stazione fissa conosce la sua posizione esatta
- Riceve gli stessi segnali del trattore
- Calcola l'**errore istantaneo** del GNSS

Correzioni via Internet

- Le correzioni vengono inviate al trattore via Internet
- Trattore applica le correzioni in tempo reale
- Precisione: **centimetrica**

GPS → metri | RTK → centimetri | Internet → indispensabile



Come localizziamo un trattore oggi? Il GPS da solo basta?

Problema

- In molte aree agricole **Internet è debole o assente**
- L'RTK tradizionale **non funziona senza rete**

Soluzione SirTrack

- Stazione RTK installata **direttamente in azienda**
- Calcolo locale delle correzioni GNSS
- **Nessun bisogno di Internet**

Collegamento radio dedicato

- Le correzioni sono inviate via **link radio affidabile**
- Precisione **centimetrica anche senza rete cellulare**

Risultato

- RTK sempre disponibile, **anche in zone rurali**
- Maggiore **efficienza operativa**
- Maggiore **sicurezza per gli operatori**

RTK tradizionale (via rete NTRIP)

- Il rover (trattore) riceve correzioni RTK tramite rete Internet
- Le correzioni arrivano da server NTRIP remoti
- Serve una connessione Internet **stabile e veloce**
- Servono SIM/dati e servizi NTRIP **a pagamento**
- La precisione degrada con la distanza dalla base
(~1 cm ogni 10 km)

RTK locale (soluzione SirTrack)

- Il rover riceve le correzioni da una **base installata in azienda**
- Nessuna connessione Internet necessaria
- Trasmissione delle correzioni via **link radio dedicato**
(radio / LoRa / altri protocolli short-range)
- Nessun costo di servizi esterni o SIM
- Precisione centimetrica in campo
(errore ~1 cm)



Dal concetto al prototipo: l'unità RTK

Core RTK hardware

- Ricevitore GNSS **u-blox ZED-F9P**
- Supporto multi-costellazione GNSS e dual-band L1/L2
- Antenna GNSS professionale
- Interfaccia **UART** per stream dati di correzione
- Raspberry Pi per gestione, logging e post-processing

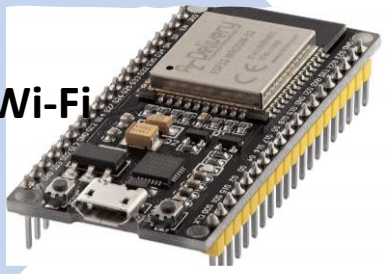
Motivazioni della scelta

- Precisione **centimetrica**
- Tempi di fix stabili
- Ottimo **rapporto prestazioni/costo**
- Facile integrazione embedded

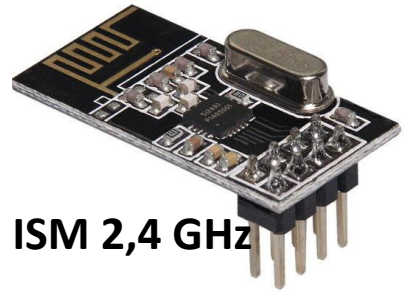
Nota

- Il modulo genera le correzioni RTK da trasmettere wireless
- La **tecnologia radio** è stata selezionata tramite scouting dedicato

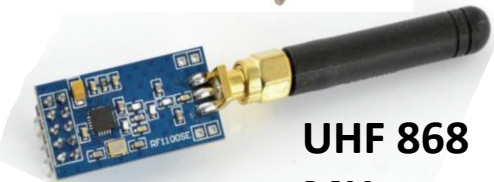
Wi-Fi



ISM 2,4 GHz



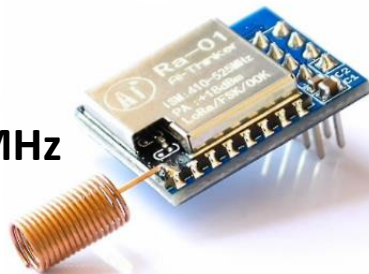
UHF 868 MHz



UHF 433 MHz

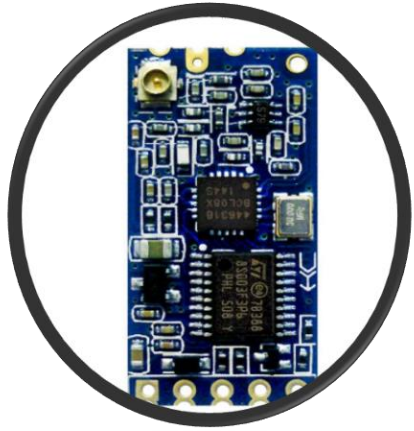


LoRa 868 MHz

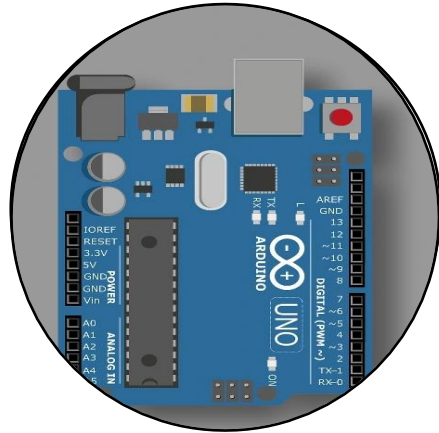


Tecnologia	Pro	Limiti in campo agricolo
Wi-Fi (2.4 GHz)	Semplice, economica	Portata limitata, alta attenuazione, jitter
BLE	Basso consumo	Portata insufficiente, non adatto a stream continuo
LoRa (868/915 MHz)	Ottima portata, ottima penetrazione	Duty-cycle normativo dell'1%: non adatto a correzioni RTK continue
ISM 2.4 GHz moduli	Ampia disponibilità	Stessi problemi di attenuazione del Wi-Fi
UHF 868 MHz FSK	Buon compromesso	Portata ok, ma meno robusto rispetto a 433 MHz in vegetazione
UHF 433 MHz (HC-12)	Miglior compromesso: portata, stabilità, continuità, semplicità	Banda a bassa potenza → ottimizzazione antenne

Trasmittitore-microcontrollore e diverse antenne selezionate



UHF HCF 12



Arduino uno



Yagi Uda Antenna



Vecy Omni directional Antenna

Per ogni tecnologia ed ogni antenna..... Con Potenza impostata al limite di legge (8,7 dBm – 7,4 mW a 433 MHz)

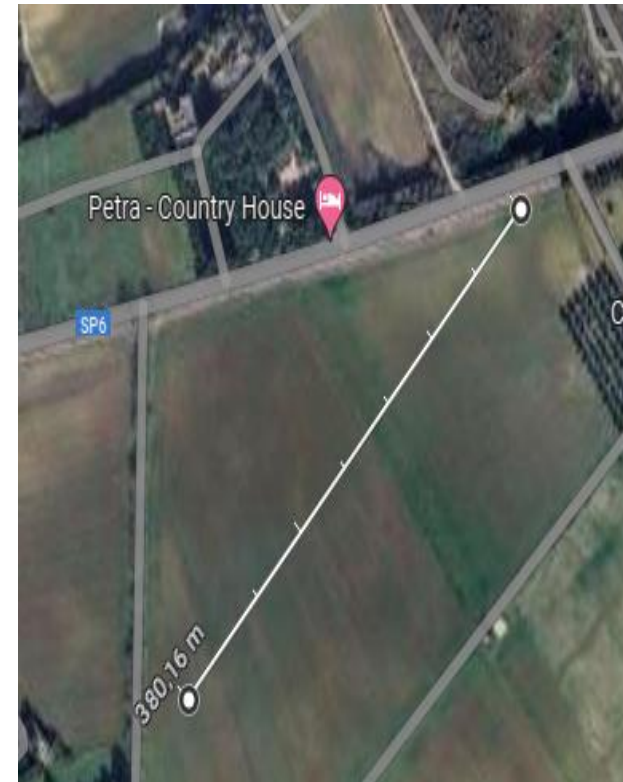
Trasmettitore



Ricevitore

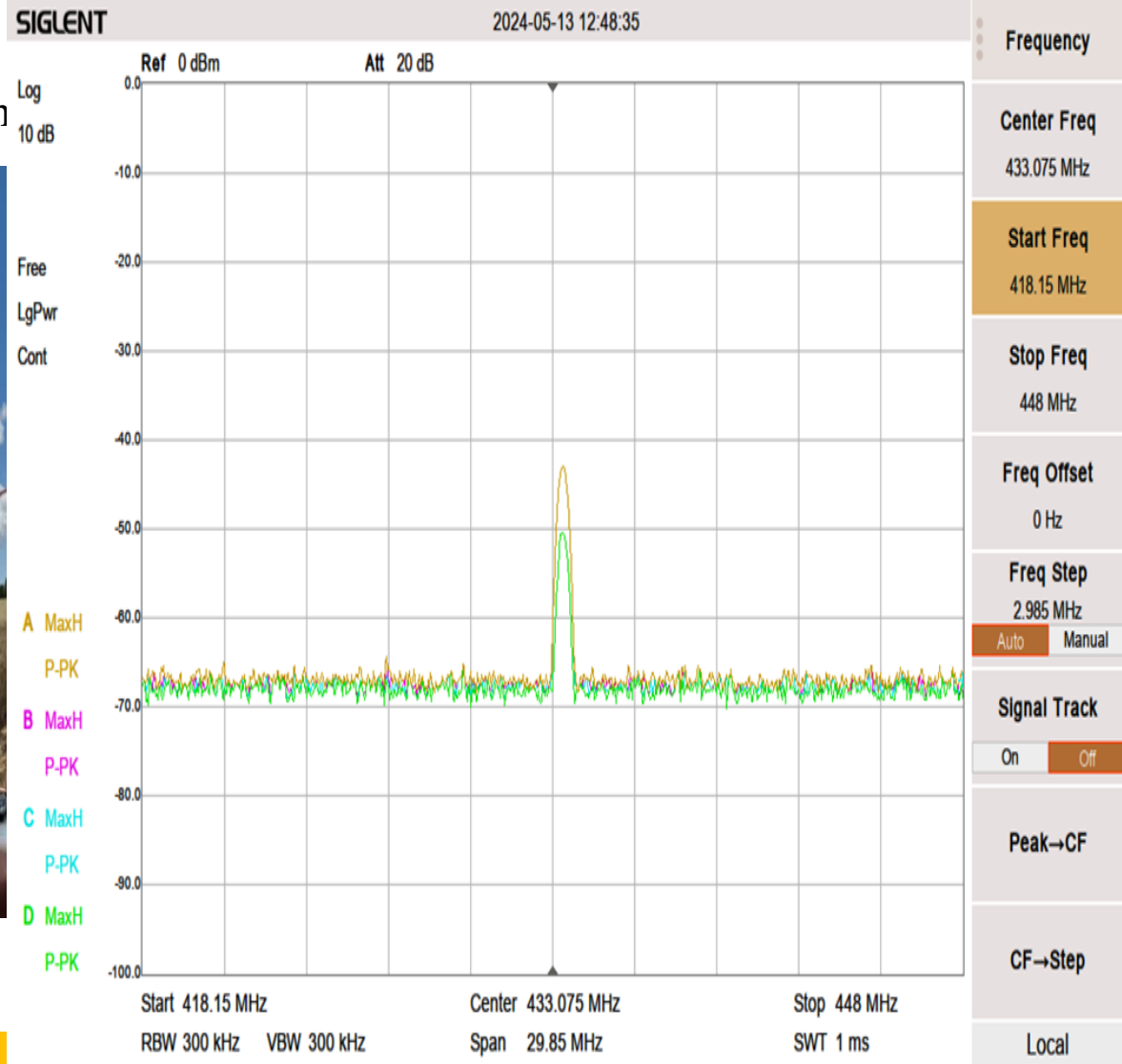
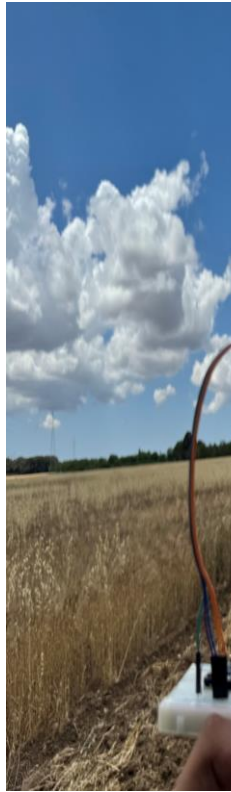


Distanza

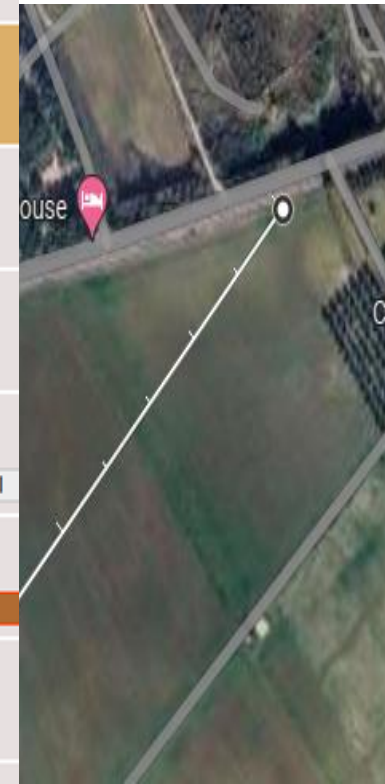


Per ogni tecnologia ed ogni antenna.....

Trasm



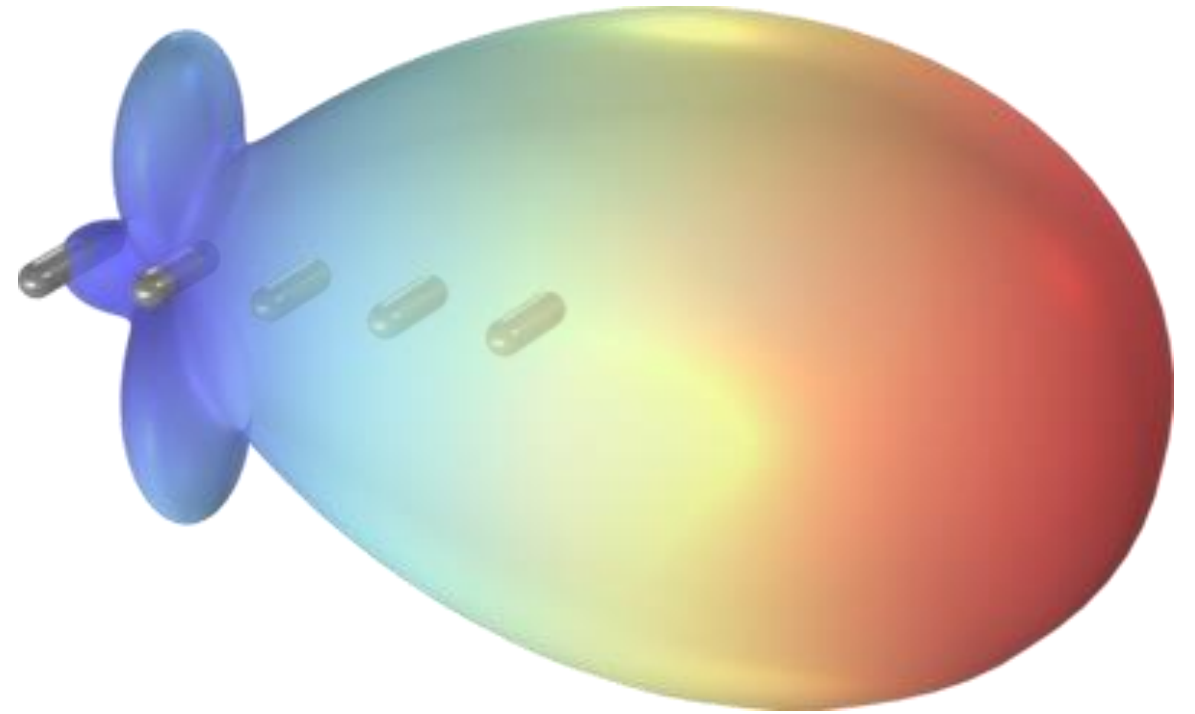
Distanza



Perché antenne diverse?



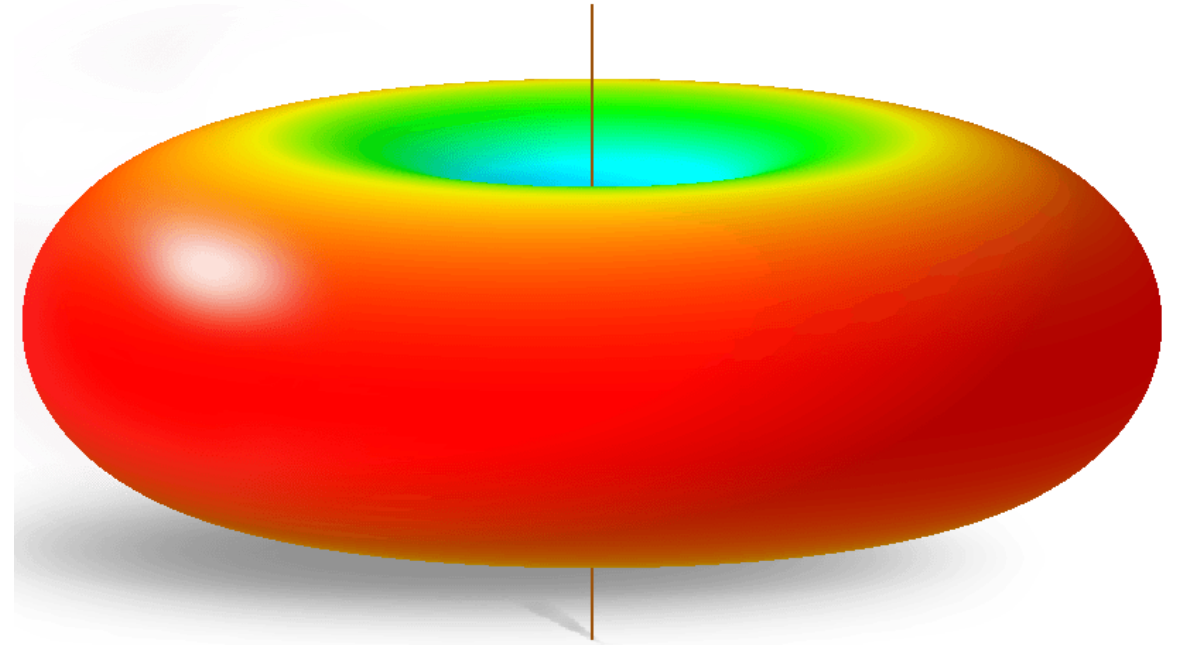
Diagramma di radiazione di una antenna Yagi-Uda



Perché antenne diverse?

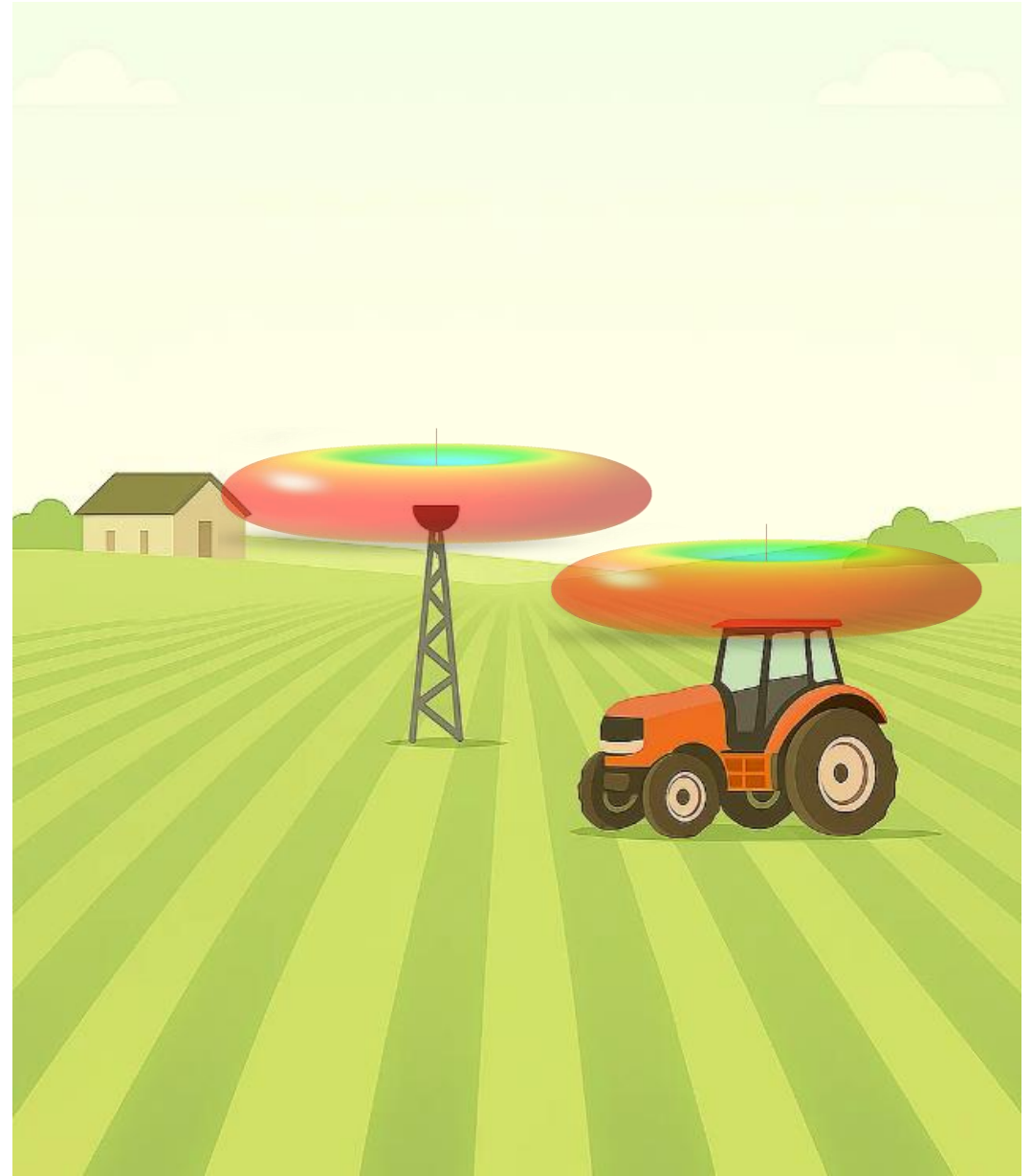


Diagramma di radiazione di una antenna dipolare



Perché antenne diverse?

Antenna fissa al centro del terreno 1 km x 1km – antenne dipolari

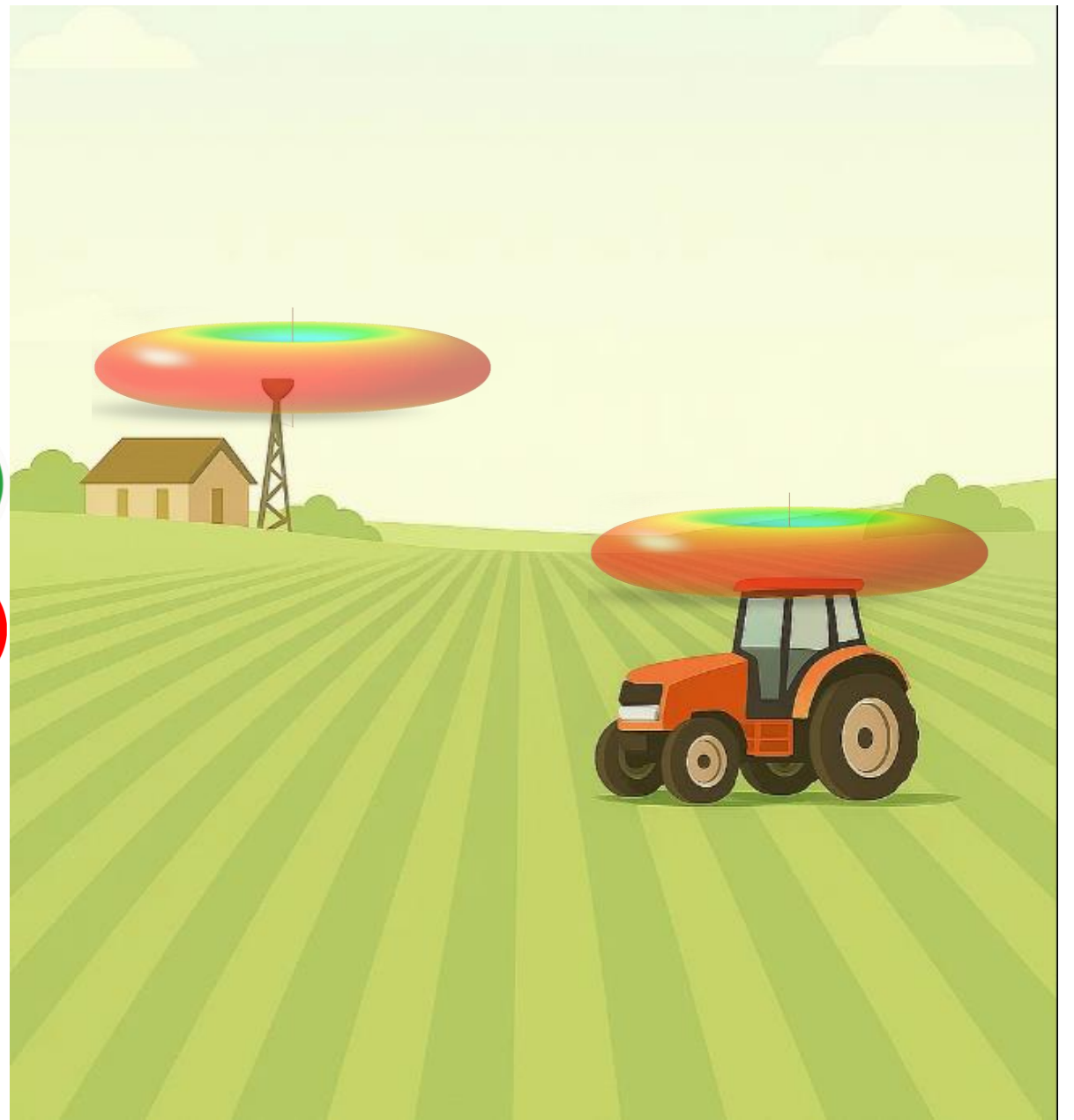


Perché antenne diverse?

Antenna fissa al centro del terreno 1 km x 1km – antenne dipolari



Antenna fissa su uno spigolo del terreno 1 km x 1km – antenne dipolari



Perché antenne diverse?

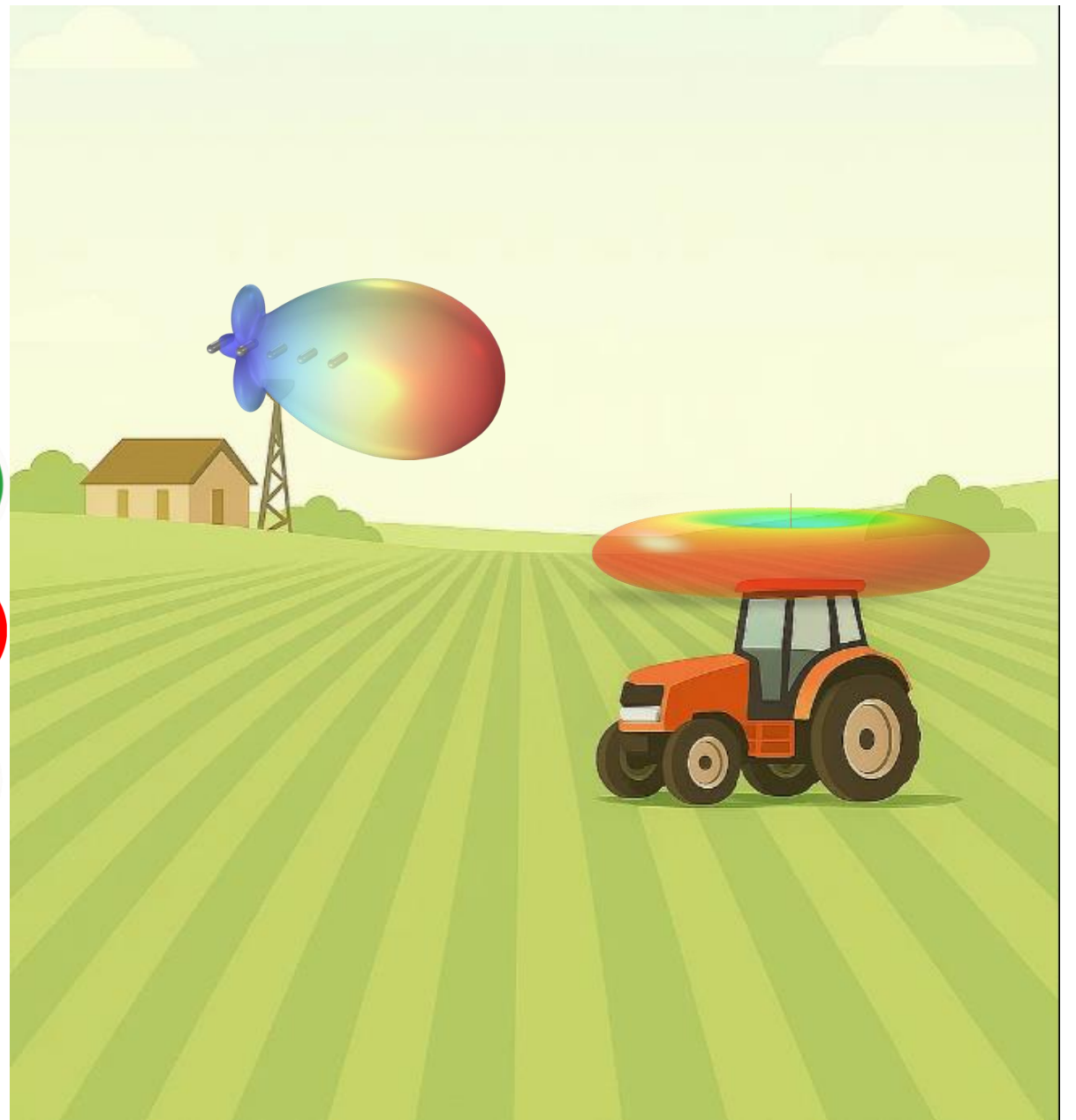
Antenna fissa al centro del terreno 1 km x 1km –
antenne dipolari



Antenna fissa su uno spigolo del terreno 1 km x 1km –
antenne dipolari



Antenna fissa su uno spigolo del terreno 1 km x 1km –
antenna direttiva + antenna dipolare



Perché antenne diverse?

Antenna fissa al centro del terreno 1 km x 1km – antenne dipolari



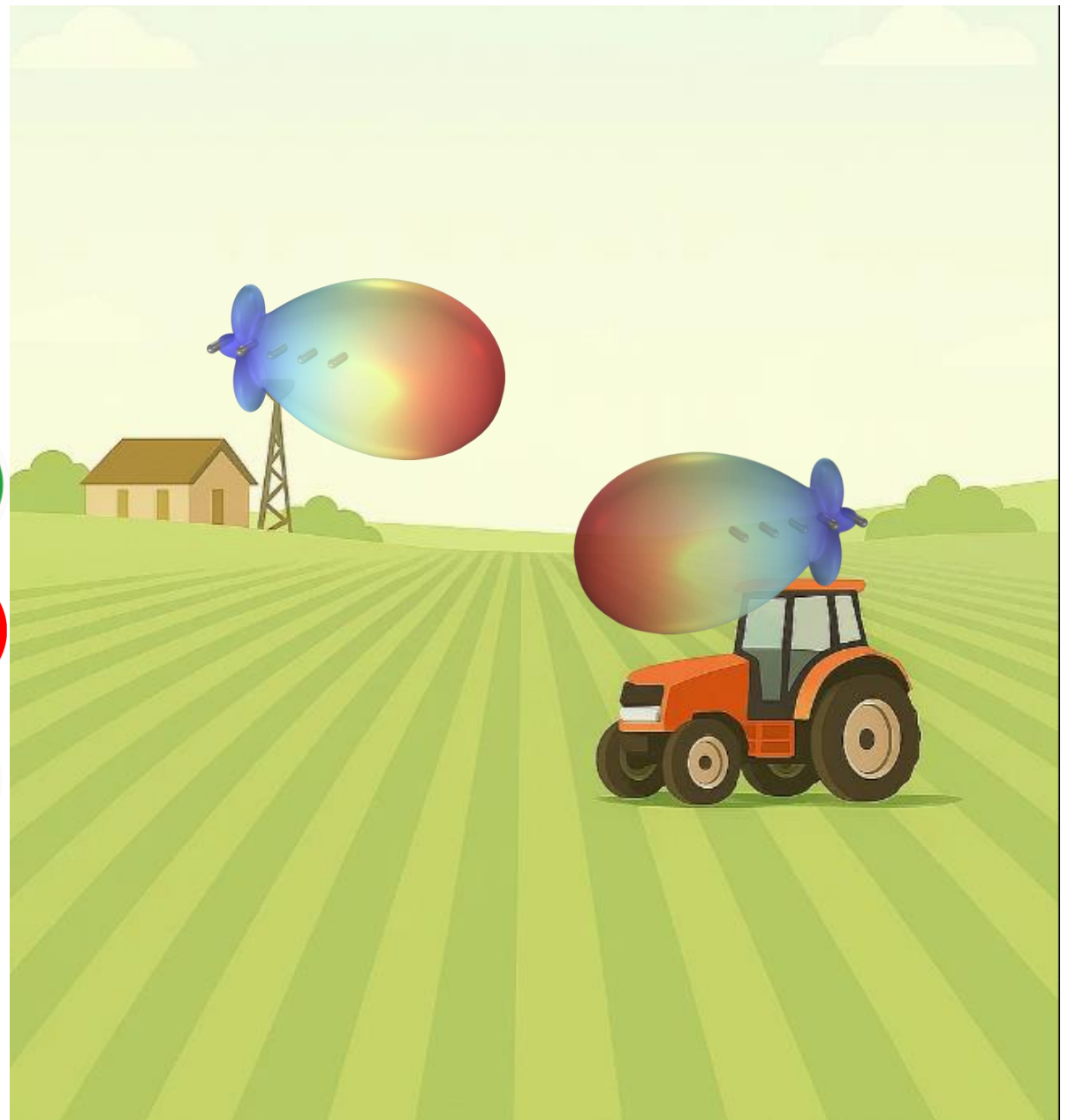
Antenna fissa su uno spigolo del terreno 1 km x 1km – antenne dipolari



Antenna fissa su uno spigolo del terreno 1 km x 1km – antenna direttiva + antenna dipolare



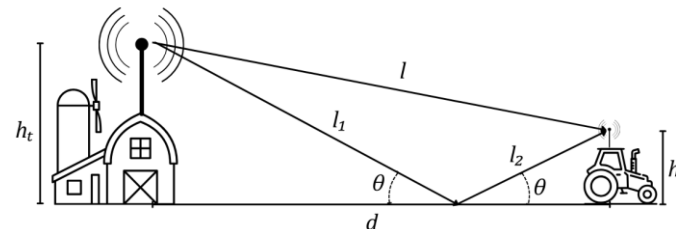
Antenna direttiva sul trattore dipendente dall'orientamento



Sviluppo script Matlab per simulazioni

Si è sviluppato uno script Matlab per fondere i vari modelli radiopropagativi al variare di opportune condizioni al contorno, tra le quali:

- Altezza e tipologie delle antenne
- Frequenza di trasmissione del segnale
- Tipologia di ambiente
- Presenza o meno di impedimenti vegetativi



SIRTRACK PATH LOSS EVALUATION

```
f=433e6; %Frequenza di trasmissione
d=0:0.5:1e3; %distanza del collegamento NB il primo valore deve essere 0
lambda=physconst('lightspeed')/f
PL = fsp1(d,lambda) %Free Space Path Loss
```

TWO-RAY PATH LOSS

```
ht = 10; % Altezza dell'antenna trasmittente (metri)
hr = 2.5; % Altezza dell'antenna ricevente (metri)
G=1; % GUADAGNO in lineare del sistema Gt+Gr
PL2r=40*log10(d)-10*log10(G*ht^2*hr^2) %2-Ray Path Loss
```

PL PLOT

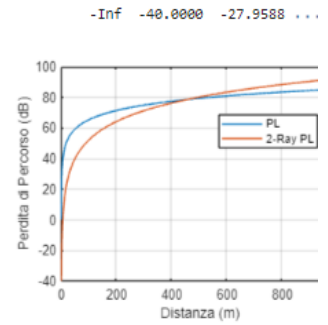
```
plot(d,PL,'DisplayName','PL')
xlabel('Distanza (m)');
ylabel('Perdita di Percorso (dB)');
legend('Location','best');
grid on;
hold on;

plot(d,PL2r,'DisplayName','2-Ray PL')

hold off;
```

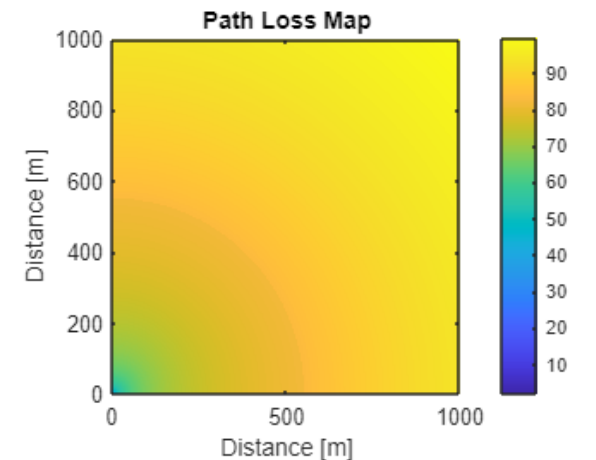
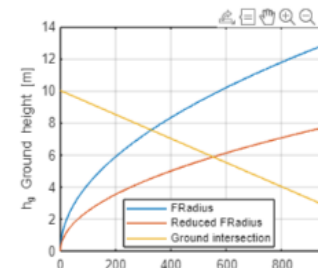
1st Fresnel Zone

```
Fr=17.32/2*sqrt((d/1000)/(f/1e9))
interp=@(var) interp1(d,Fr*0.6,var,'spline')-interp1(d,linspace(ht,hr,length(d)),var);
intersezione = fzero(interp,0) %ricava il valore di intersezione tra Fr ridotto e l'a
```



Fr = 1x2001
0 0.2943 0.4162 ...

intersezione = 551.4763



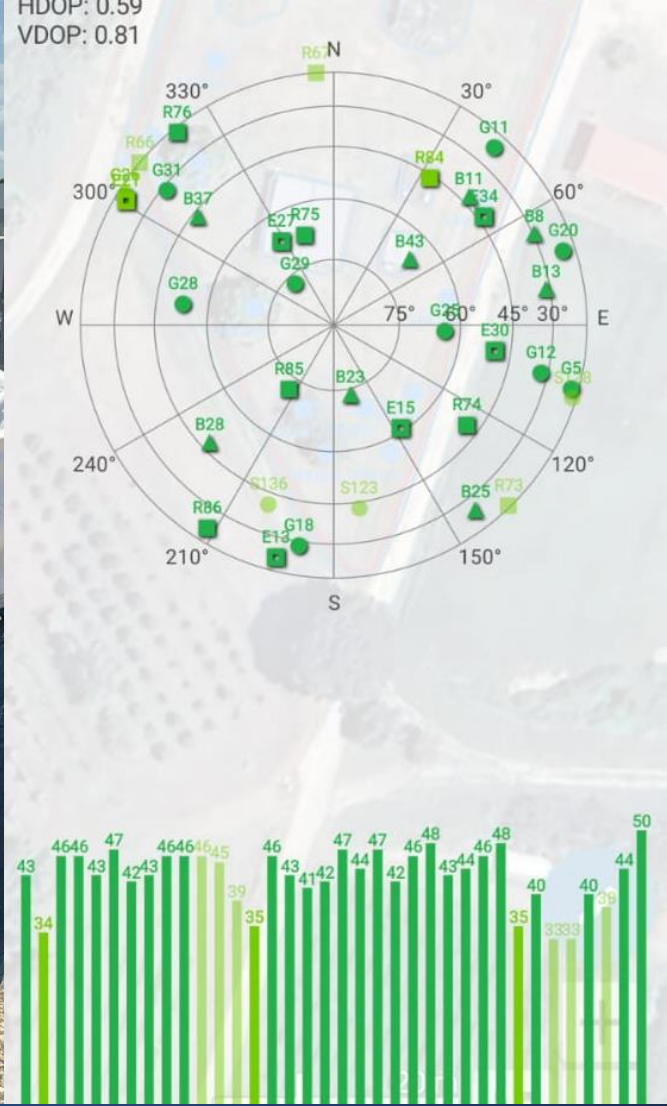
GO FOR

SpliTech 2024 — Split - Bol, June 25–28, 2024

FUTURE!



**I risultati dettagliati sono stati presentati a Splitech
2024 a Bol, Croazia**



Test presso UniSalento

TEST: RTK fissa su tetto edificio – RTK mobile su autovettura – navigazione senza mappa



TEST: RTK fissa su tetto edificio – RTK mobile su autovettura – navigazione senza mappa



TEST: RTK fissa su tetto edificio
– RTK mobile su autovettura –
navigazione senza mappa

–

**Percorso perfettamente
ricostruito**





CNR NANOTEC -
Istituto di Nanotecnologia

Università del Salento
- College ISUFI

Eka S.R.L.

P

Campus
Universitario
Ecotekne

Facoltà di Ingegneria
- Edificio "Angelo..."

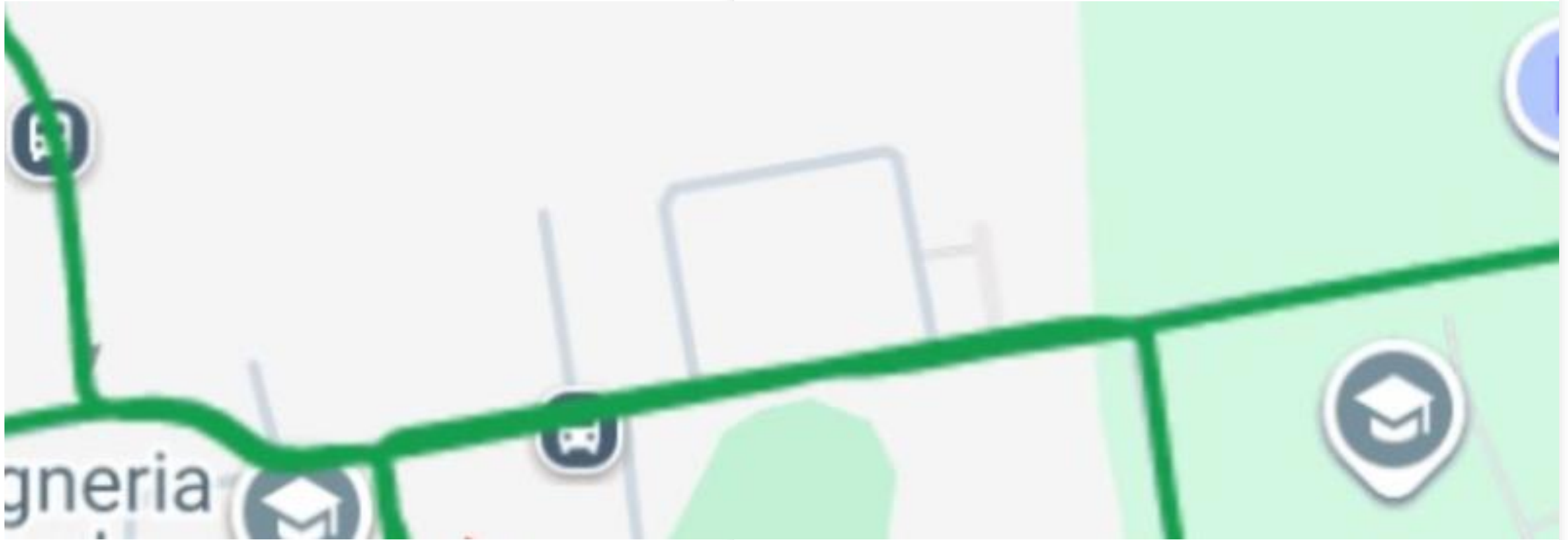
Bar Ingegneria
dell'innovazione

Be Pilot

Provinciale 6

Card Hickey

Tratti percorsi nei due versi di marcia riconoscibili



Mappatura ostacoli fissi



Applicazione ad UNITUS.

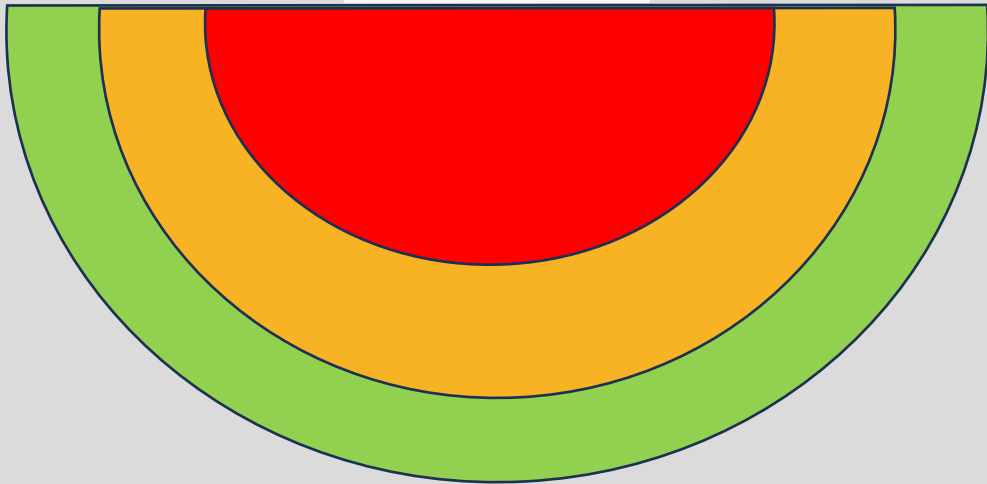
La precisione di localizzazione permette di mappare ostacoli, fossati, e installazioni, e definire le fasce di sicurezza.

I placemark rappresentano:

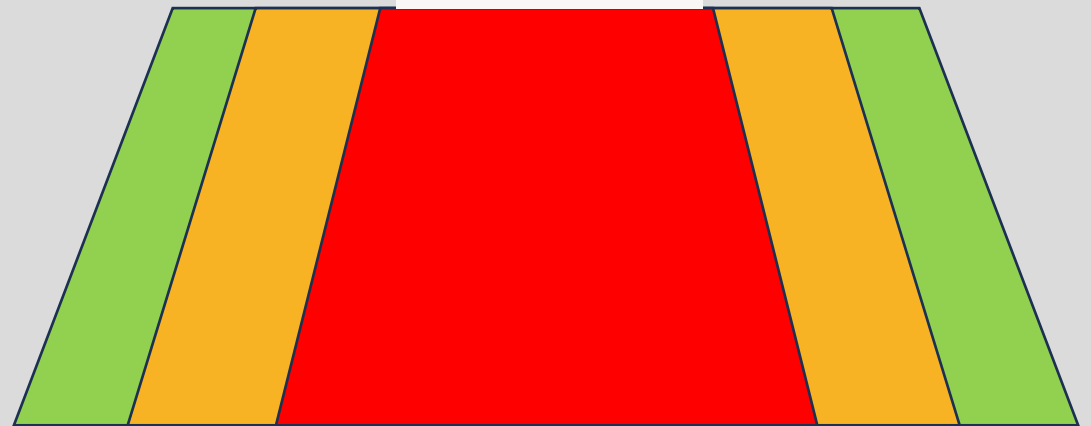
- Aree con installazioni (**rosso**)
- Ostacoli puntiali (punti **blu**)
- Perimetro del campo (**giallo**)
- Perimetro del fossato (**rosso**)

Alcuni ostacoli presenti nelle immagini satellitari non erano presenti al momento della mappatura o erano stati spostati.

On-board risk assessment



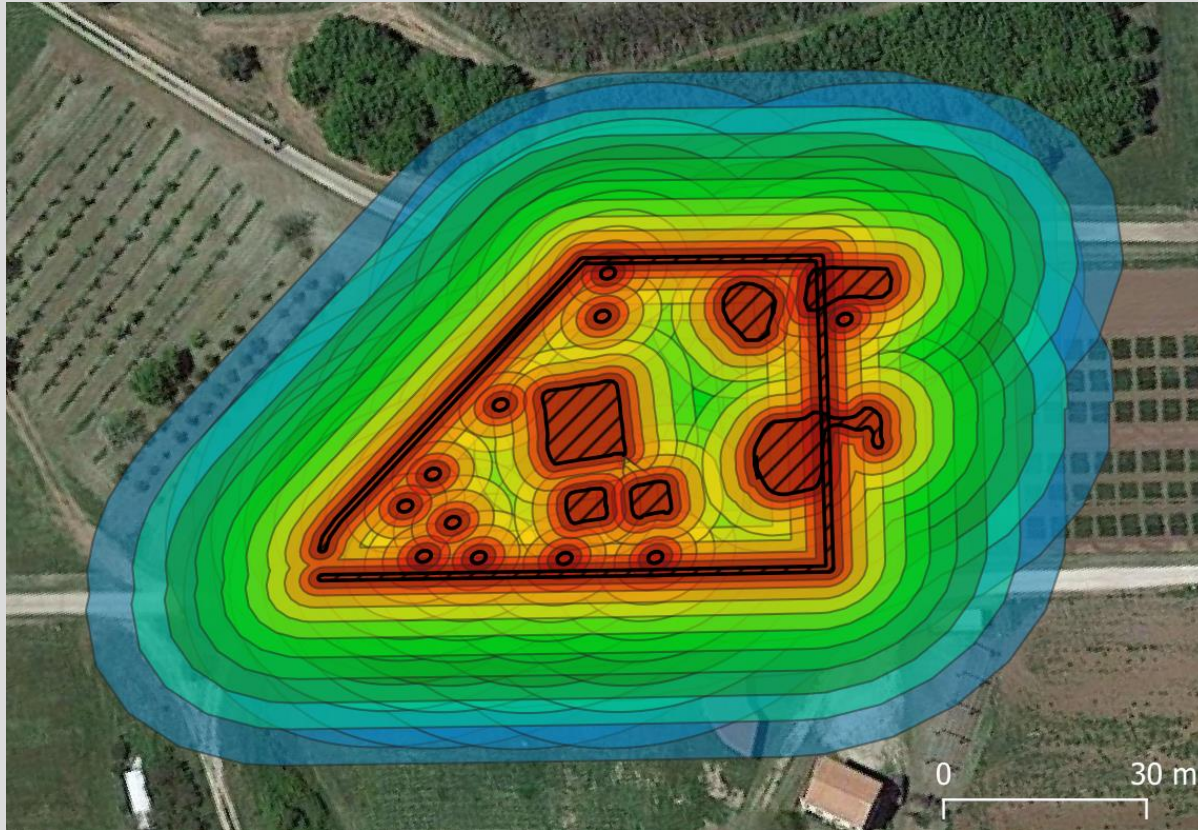
Logica basata sulla distanza mezzo-ostacolo



Logica basata sulla traiettoria del mezzo

Esempio pratico

Nell'immagine un esempio grafico dell'applicazione delle fasce di sicurezza nell'area oggetto di sperimentazione.



Posta la dimensione del mezzo, al variare della velocità e del vettore direzione le zone di buffer in fascia di pericolo e di attenzione si allargano a sfavore delle aree a rischio basso evidenziate in verde, mentre le aree in celeste rappresentano le zone in cui viene avviata la verifica del rischio approssimandosi agli ostacoli.

La verifica avviene in realtà in modo dinamico, quindi l'immagine rappresenta soltanto una istantanea del sistema. La frequenza massima di aggiornamento è di 15 Hz.



Reti wireless per lo scambio di dati ai fini della
sicurezza in agricoltura

Grazie!