



# **Tecnologia Radar e Innovazione per l'Ingegneria: Soluzioni Avanzate per la Gestione Strategica del Sottosuolo e il Monitoraggio Intelligente del Territorio e delle Infrastrutture**

---

*Paolo Papeschi*

---

*15 Ottobre 2025*



## Indice:

- La tecnologia radar
- Perché il georadar in Italia
- GPR (Ground Penetrating Radar):
  - Principio di funzionamento
  - Le soluzioni hardware e software disponibili ed il Digital Twin
  - Le applicazioni
- InRa (interferometric Radar):
  - Principi di funzionamento
  - Il monitoraggio con sistemi radar
  - Le tecnologie hardware e software disponibili sul mercato
  - I segmenti applicativi



# Tecnologia Radar

Radar è l'acronimo di:

## **RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging

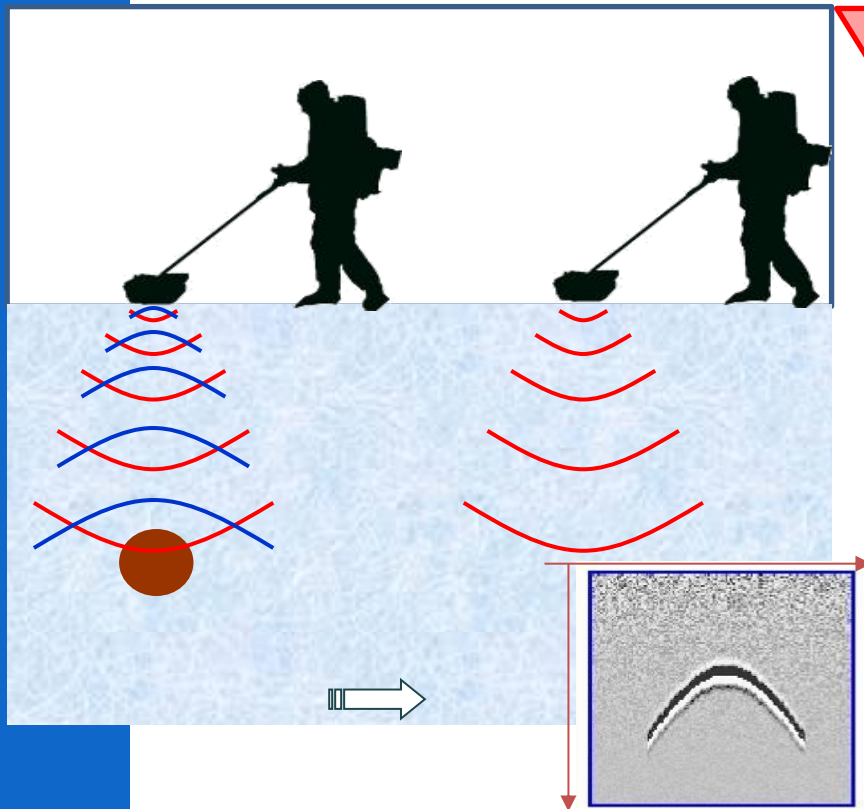
...una tecnologia in grado di rivelare la presenza di oggetti e di misurare la loro distanza dall'antenna.



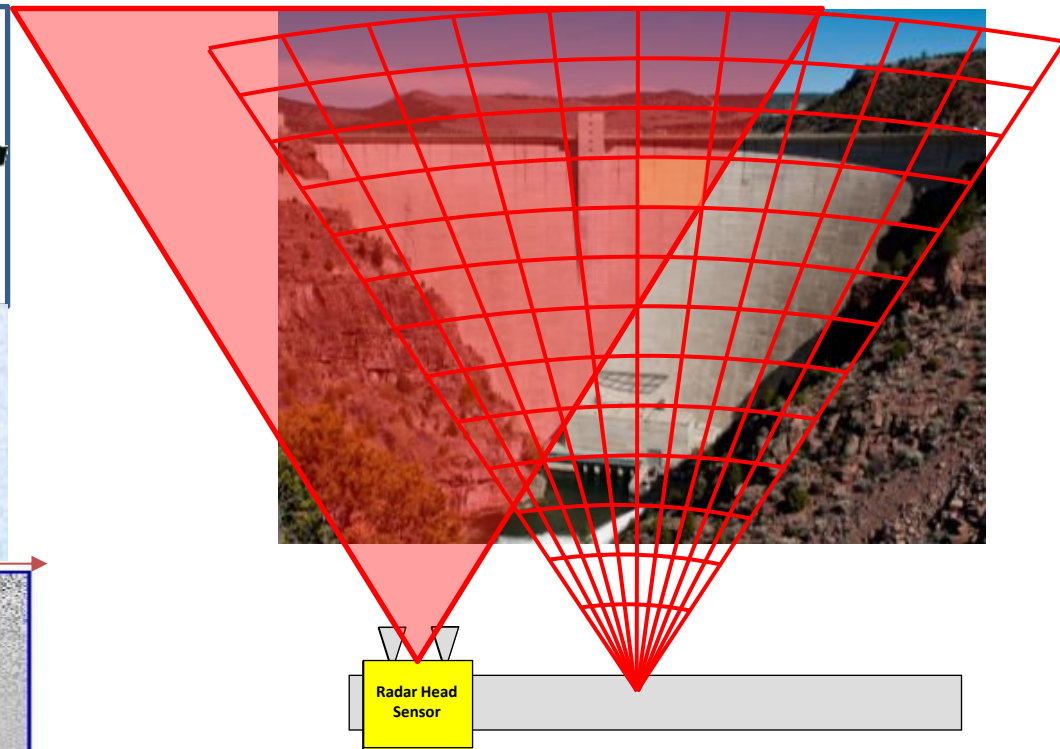


# Tecnologia Radar

## Georadar



## Interferometro





# La tecnologia radar in Italia: perché il georadar italiano nasce a Pisa



1982 - Ing. Franco Bardelli Pres. Galileo with Ing. Pier Francesco Guarguaglini (Selenia President)



**La storia della tecnologia radar italiana ebbe inizio nella terra di Dante e Leonardo, tra le due guerre mondiali.** La nascita del radar italiano è infatti una storia toscana, che si svolse principalmente a Livorno, dove negli anni '30 operarono l'ingegnere Ugo Tiberio (ufficiale della Regia Marina) e l'ingegnere Nello Carrara (considerato il padre delle microonde), e a Pisa e Firenze, dove la loro scuola formò studenti e produsse risultati che ancora oggi occupano un posto di rilievo nel panorama scientifico e tecnologico.



All'inizio degli anni'90, i grandi progetti di cablatura delle reti in fibra ottica posero l'attenzione degli enti gestori sulla carenza di informazioni affidabili relative al sottosuolo. TELECOM Italia incaricò IDS (Ingegneria dei Sistemi S.p.A.), una società con competenze nell'ambito dei radar militari, di progettare e realizzare un sistema GPR integralmente dedicato alla mappatura delle reti di sotto-servizi. In questo quadro il metodo di indagine indiretta GPR (Ground Penetrating Radar) rientra a pieno titolo nelle tecniche suggerite di analisi e indagine preliminare per la mappatura e detezione dei sotto-servizi.



**IDS**  
INGEGNERIA DEI SISTEMI

Founded 1980 in Pisa  
(by Ing. Franco Bardelli)



GPR TECHNOLOGY  
INTRODUCTION



1990

WORLDWIDE  
COMMERCIALIZATION  
OF GPR PRODUCTS



2000s

GROUND-BASED  
INTERFEROMETRIC  
SAR RADARS  
INTRODUCTION



2010s

TECHNOLOGY  
LEADERSHIP FOR SLOPE  
STABILITY AND  
STRUCTURAL  
MONITORING

Innovative Radar Interferometry  
Technology for the Earth Environment

2016

**IDS**  
GeoRadar

First company to introduce the multi-frequency, multi-channel array systems in the GPR market



Paolo Papeschi

Tecnologia Radar e Innovazione per l'Ingegneria



# IDS GeoRadar is Part of Hexagon Since 2016

## Technology Solution Provider

- Solutions that drive productivity and quality

## Global reach

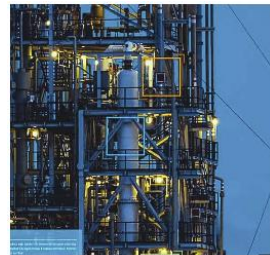
- More than 20,000 employees in 50 countries

## R&D focused

- 10 – 12% of sales invested in R&D
- 3,800+ employees in R&D
- 3,700+ active patents

**Global leader in digital reality solutions**  
 combining sensors, software and autonomous technologies to fuel our commitment toward

empowering an  
 autonomous future



### Asset Lifecycle Intelligence division

Enterprise engineering solutions that empower customers to design, construct, and operate more profitable, safe, and sustainable industrial

[Learn more](#) →



### Autonomous Solutions division

Positioning, vehicle autonomy and site orchestration technologies to enable the full autonomous solution for agriculture, mining, automotive and marine positioning.

[Learn more](#) →



### Geosystems division

A comprehensive portfolio of digital solutions that capture, measure and visualise the physical world and enable data-driven transformation across countless ecosystems.

[Learn more](#) →



### Manufacturing Intelligence division

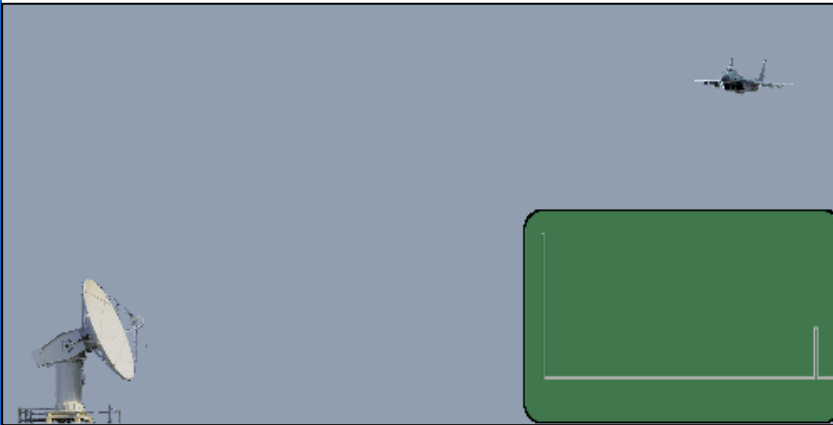
Make it smarter. Today's manufacturers are looking for smarter ways to improve quality and productivity.

[Learn more](#) →



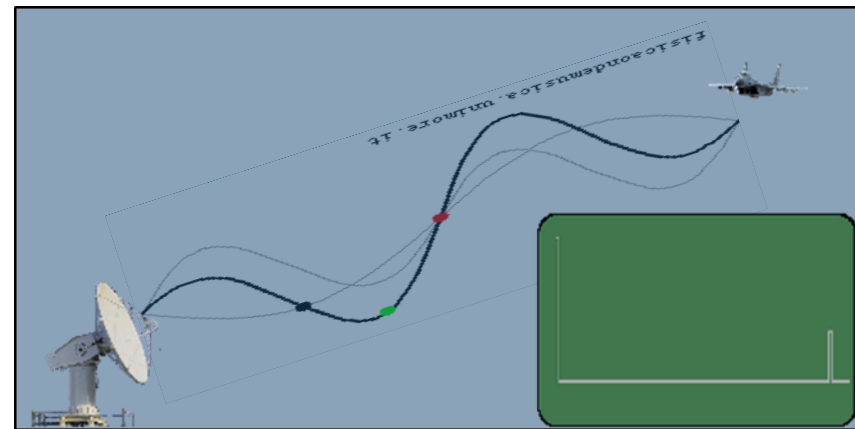
# Georadar: 2 tipi di tecnologie

## Time domain Pulsed Radar



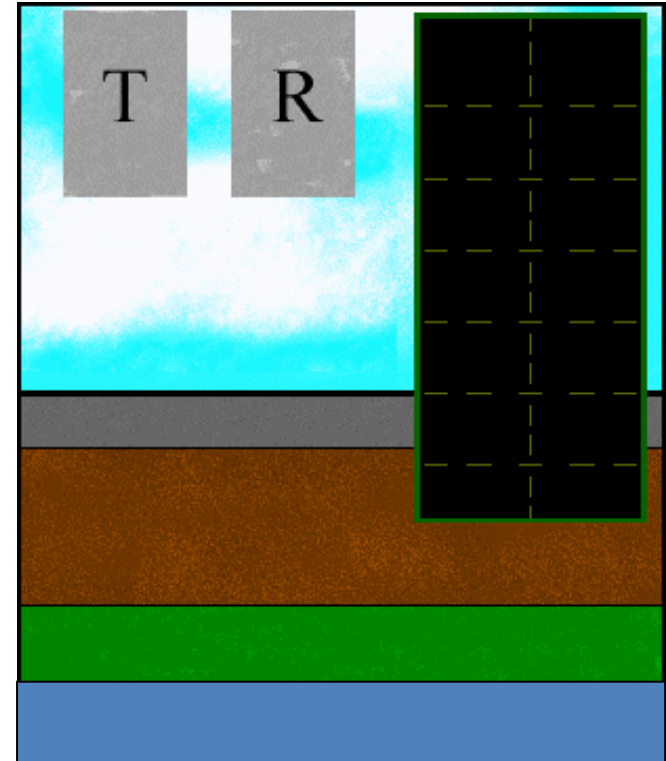
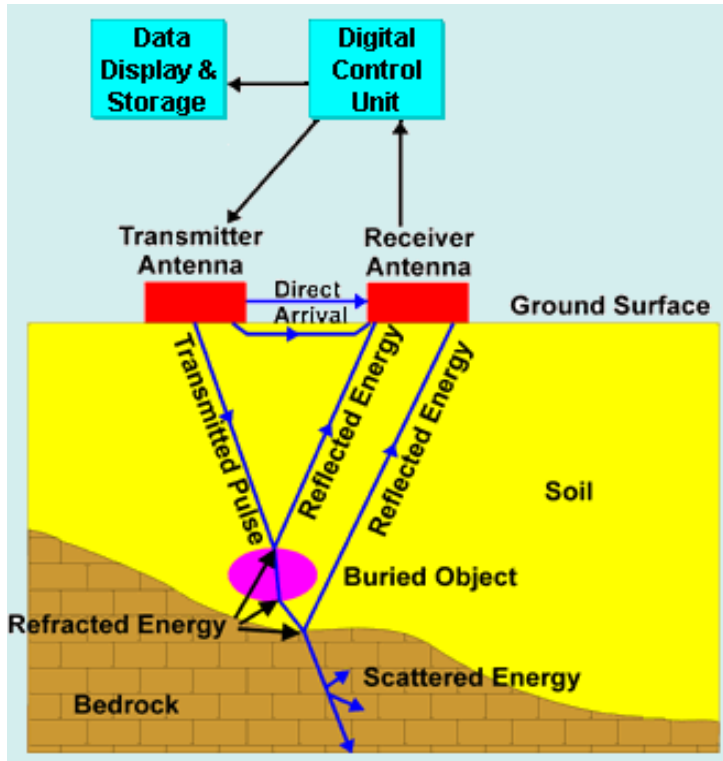
**Pulsed:** tecnologia radar basata sull'emissione di impulsi elettromagnetici

## Frequency domain (SFCW/FMCW)



**Continuous wave:** tecnologia radar basata sull'emissione di segnali multifrequenza

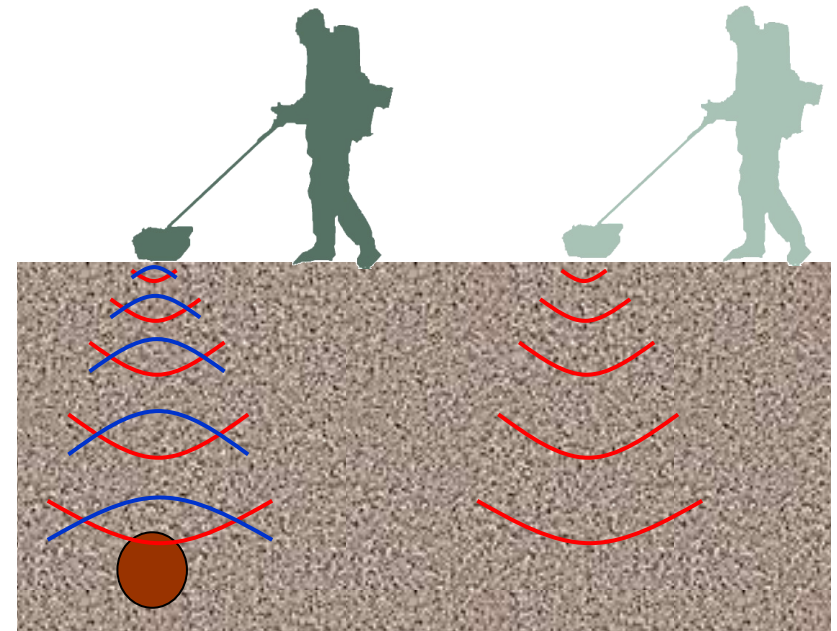
# Principio di funzionamento





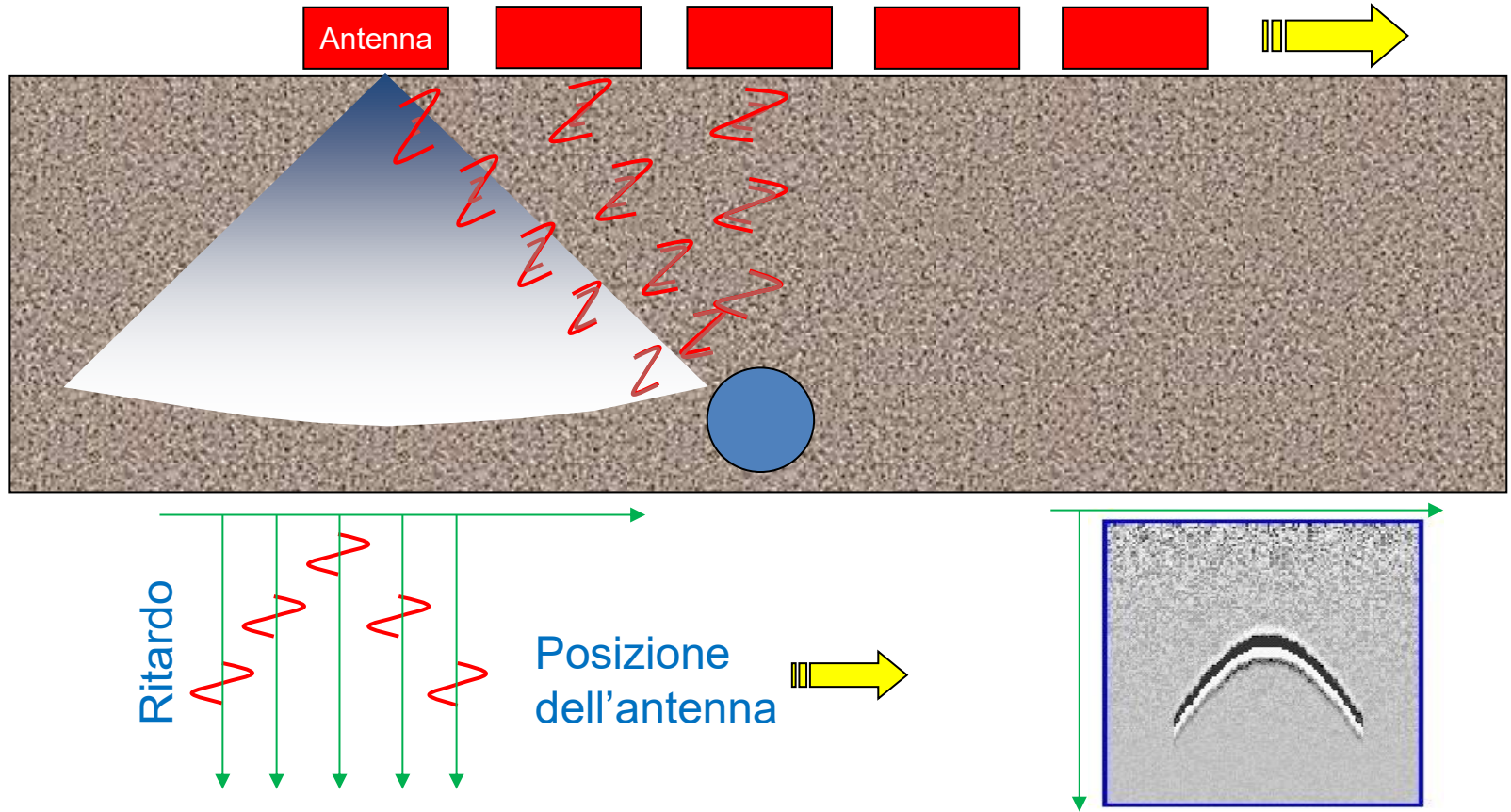
# Principio di funzionamento

- Il sistema trasmette tramite l'antenna un impulso elettromagnetico
- L'energia riflessa da una discontinuità viene ricevuta dall'antenna.
- Profondità e risoluzione sono relative alla frequenza dell'antenna, alla potenza trasmessa ed alle proprietà e.m. del bersaglio.



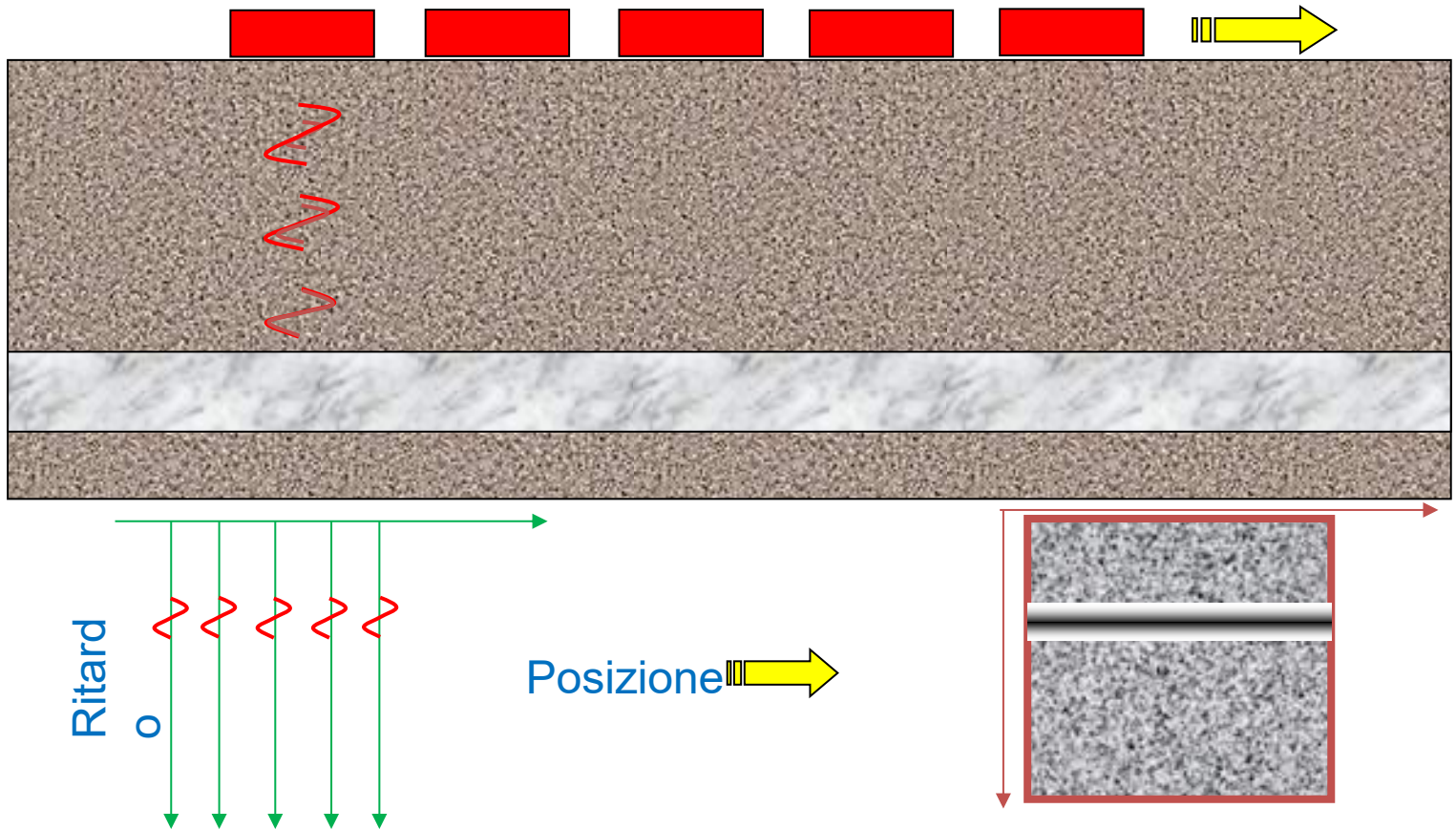


# Principio di funzionamento



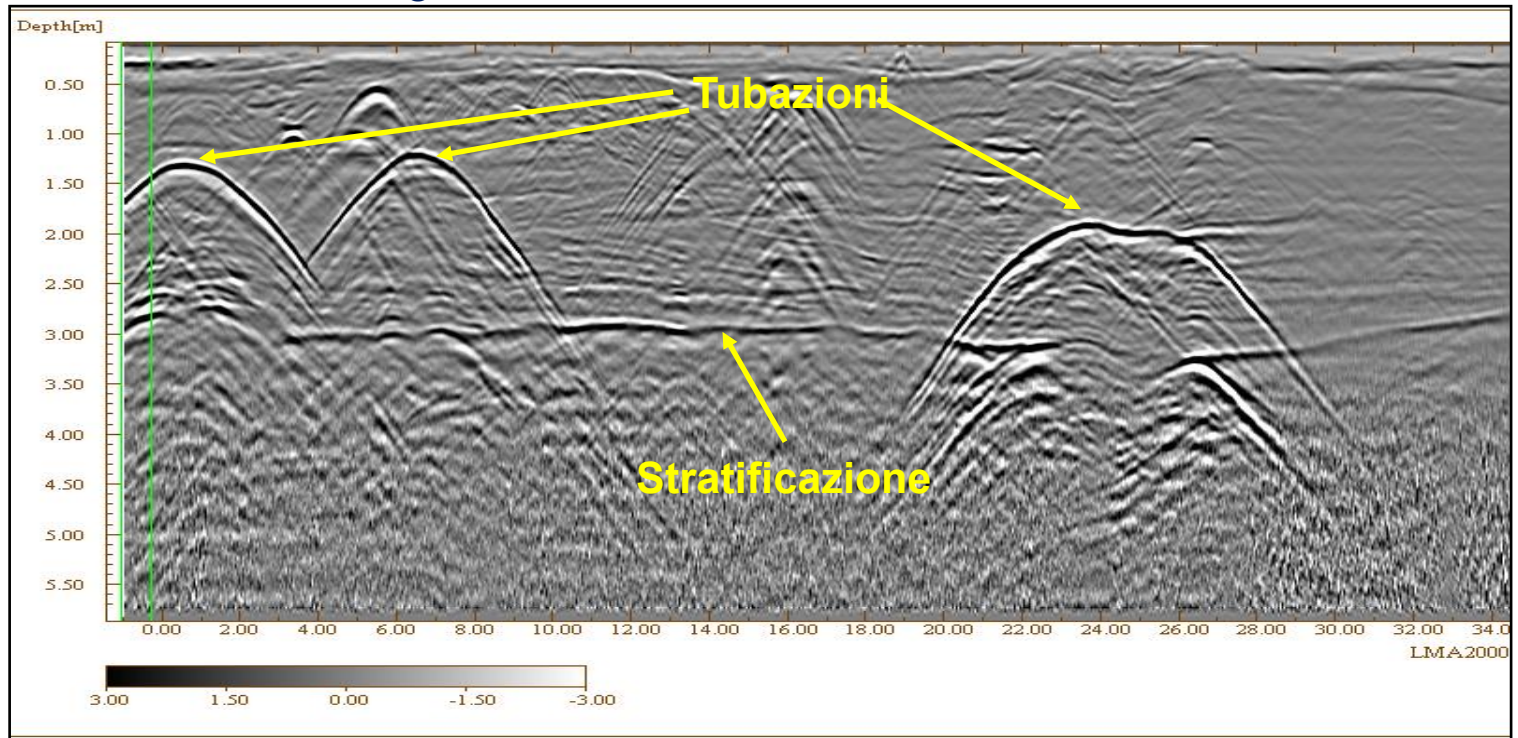


# Principio di funzionamento



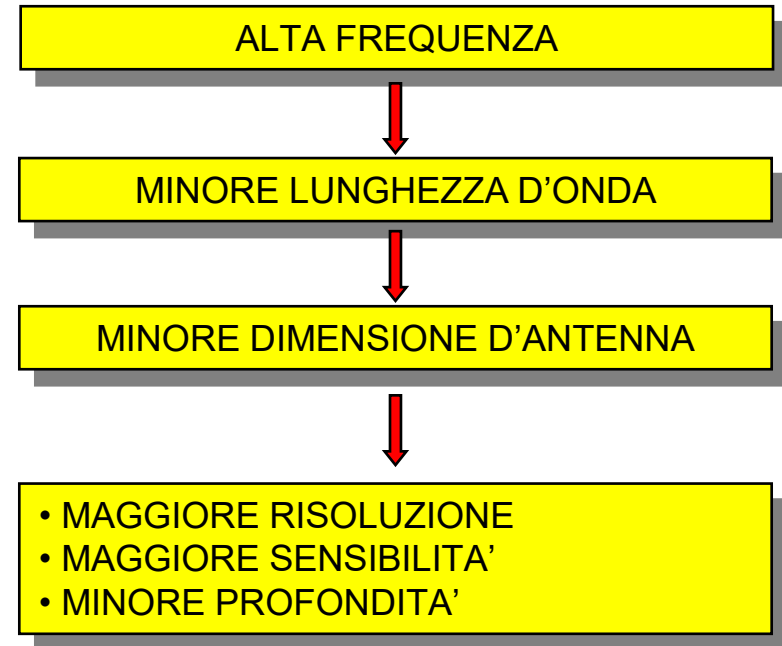
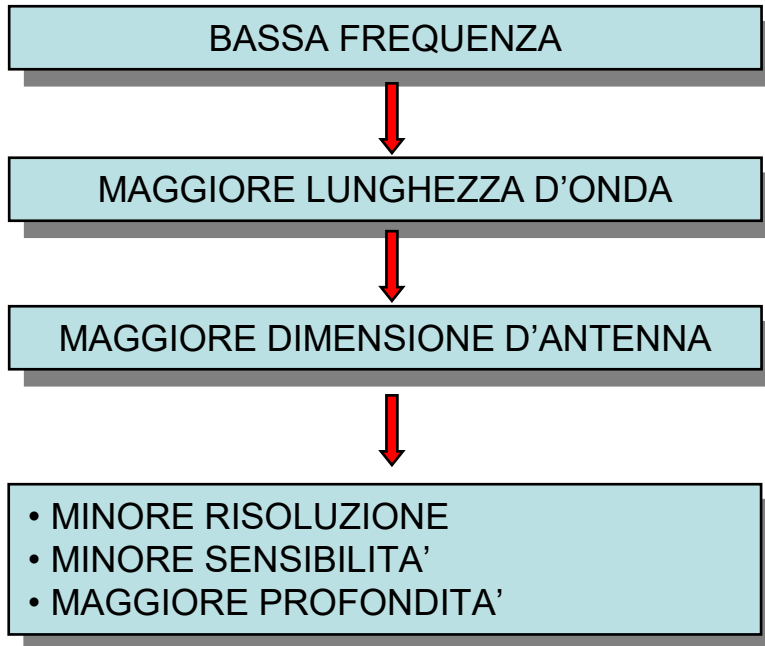


# Principio di funzionamento Radargramma 2D Ecografia bidimensionale del sottosuolo





# Principio di funzionamento





## Principio di funzionamento del georadar

### LE FREQUENZE DELLE ANTENNE DA USARE IN BASE ALLA PROFONDITA'

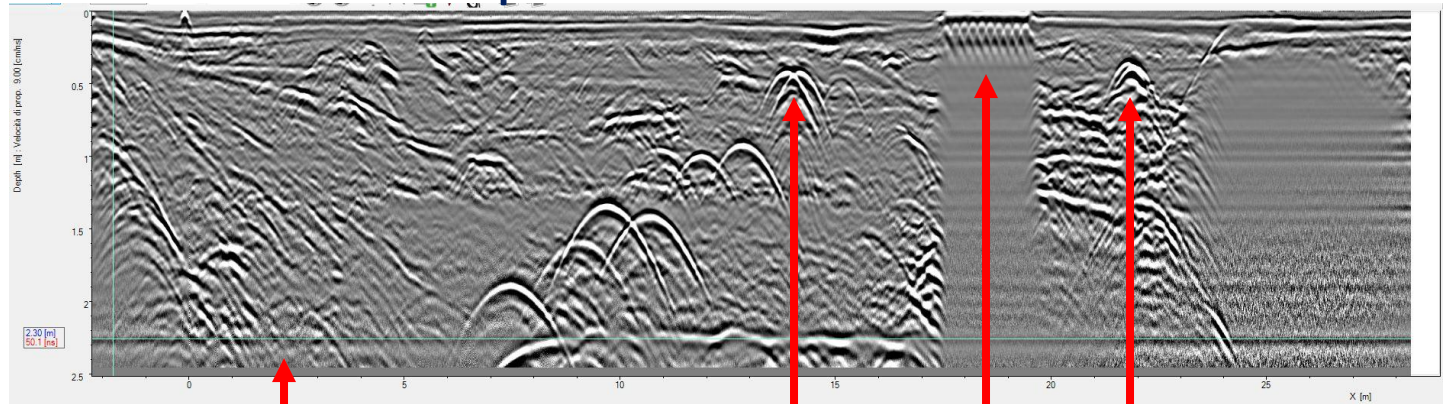
Profondità (metri)	Frequenza da utilizzare	Risoluzione teorica (metri)
$\geq 2,0$ (*)	$\leq 200$ MHz	0,5
1,0 - 2,0	Tra 200 e 600 MHz	0,1
0 - 1 metro	$\geq 600$ MHz	0,05

(\*) Per profondità di indagine maggiori di 4 metri, in base alla tipologia di terreno da indagare, dovrà essere valutata l'opportunità di utilizzare antenne a frequenze inferiori. Questa tipologia di antenne non è tuttavia adatta per la rilevazione dei sottoservizi, ma tipicamente per realizzare indagini geologiche.

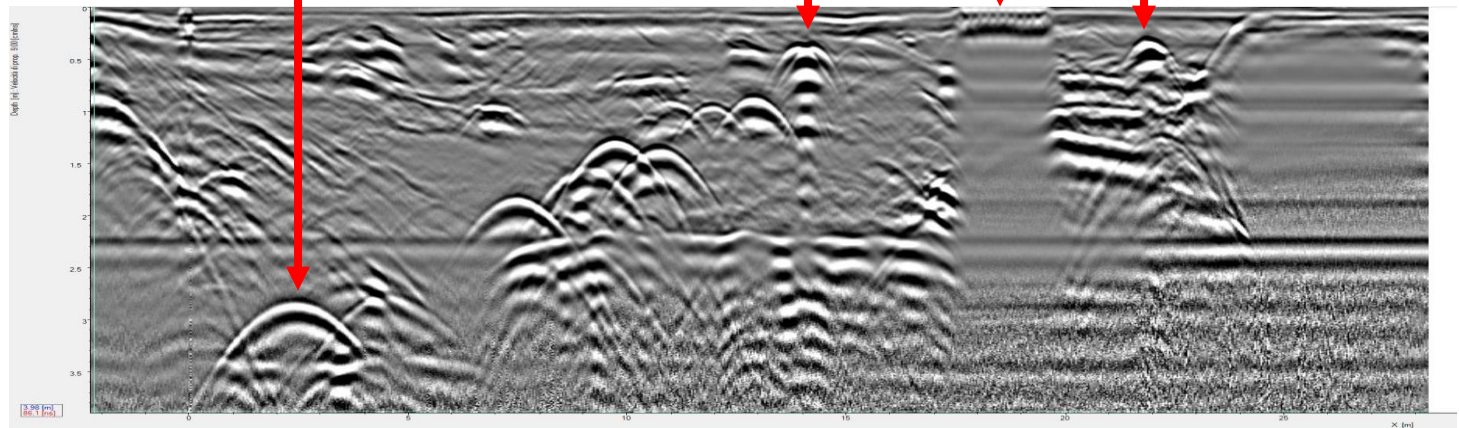


# Principio di funzionamento

Antenna  
600 MHz

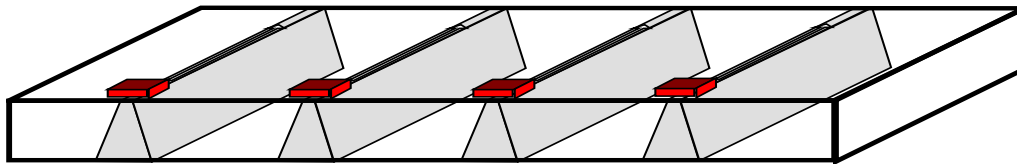


Antenna  
200 MHz





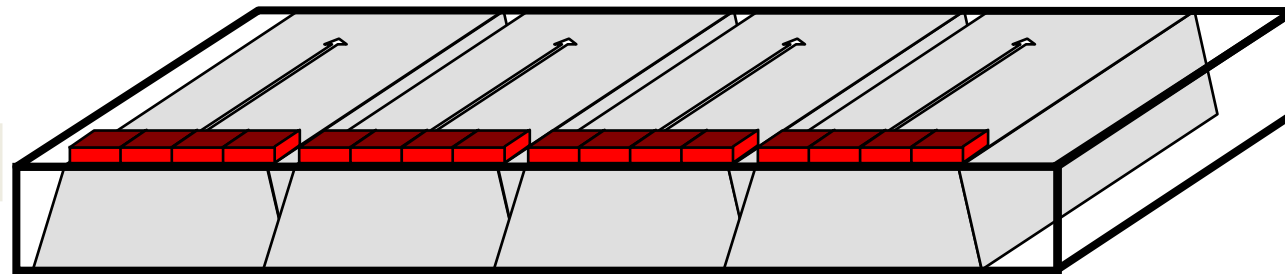
## La copertura di volume



*Apparati tradizionali*

Acquisizione bidimensionale su linea singola

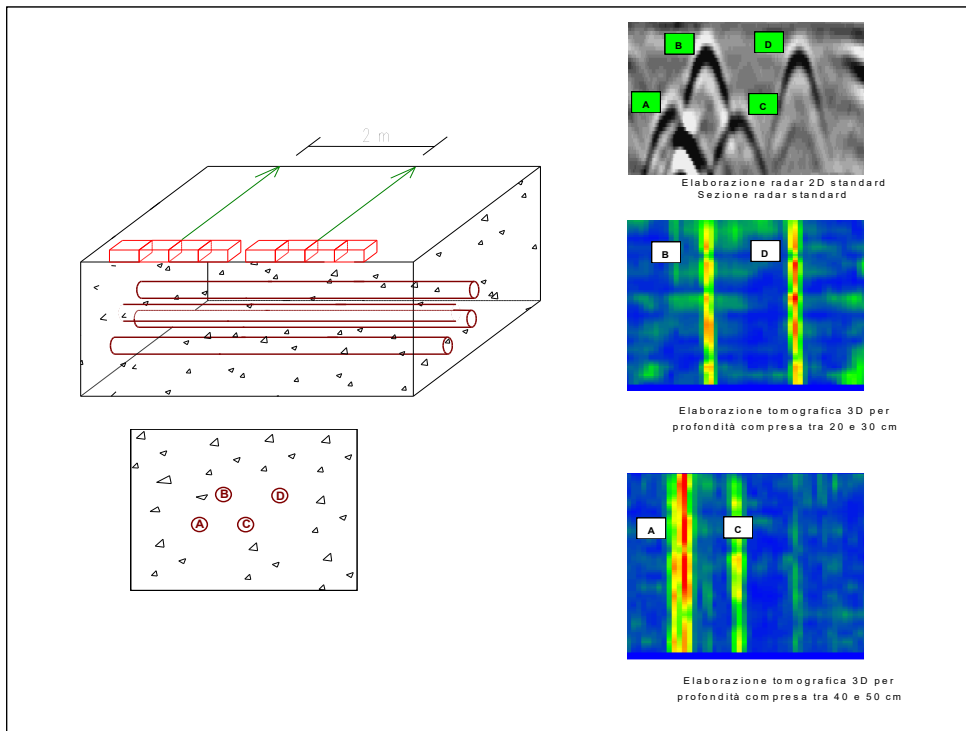
*Sistemi ad array*



Array di antenne: copertura volumetrica (acquisizione tridimensionale)



# Ricostruzione 3D per mezzo di tomografie



sezione radar

tomografia  
80-100 cm

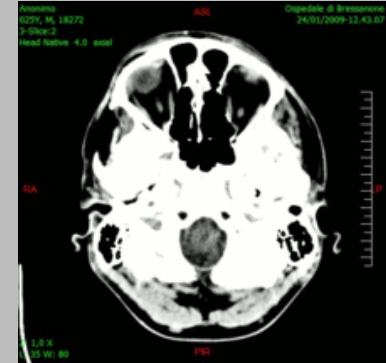
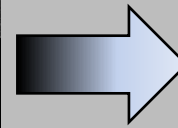
tomografia  
100-120 cm



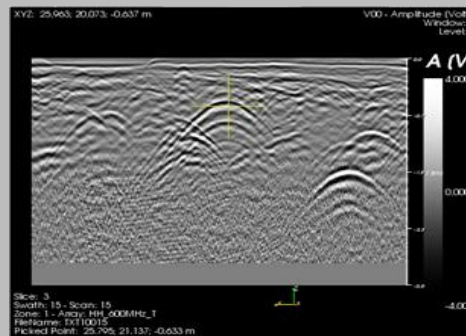
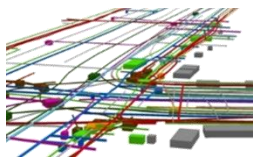
# Dal 2D al 3D



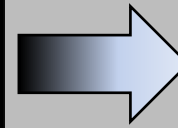
Radiografia



CAT (Tomografia)



B-Scan



C-Scan (Tomography)

# I Sistemi Georadar

Attualmente sono disponibili **diverse tipologie** di georadar che differiscono per:

- numero di antenne
- frequenza centrale delle antenne utilizzate
- posizione delle antenne nel caso di sistemi pluri-antenna
- polarizzazione delle antenne rispetto alla direzione di scorrimento dell'array

La diversa composizione di queste caratteristiche porta alla definizione di 3 gruppi di sistemi georadar:

mono-frequenza,  
mono-antenna



Mono-multifrequenza,  
singola polarizzazione



pluri-antenna a doppia polarizzazione, sia  
in configurazione mono che  
multifrequenza



array massivi

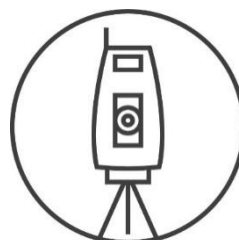
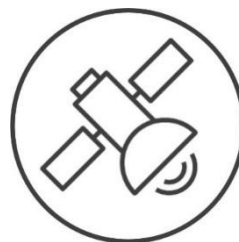




# Sistema di posizionamento

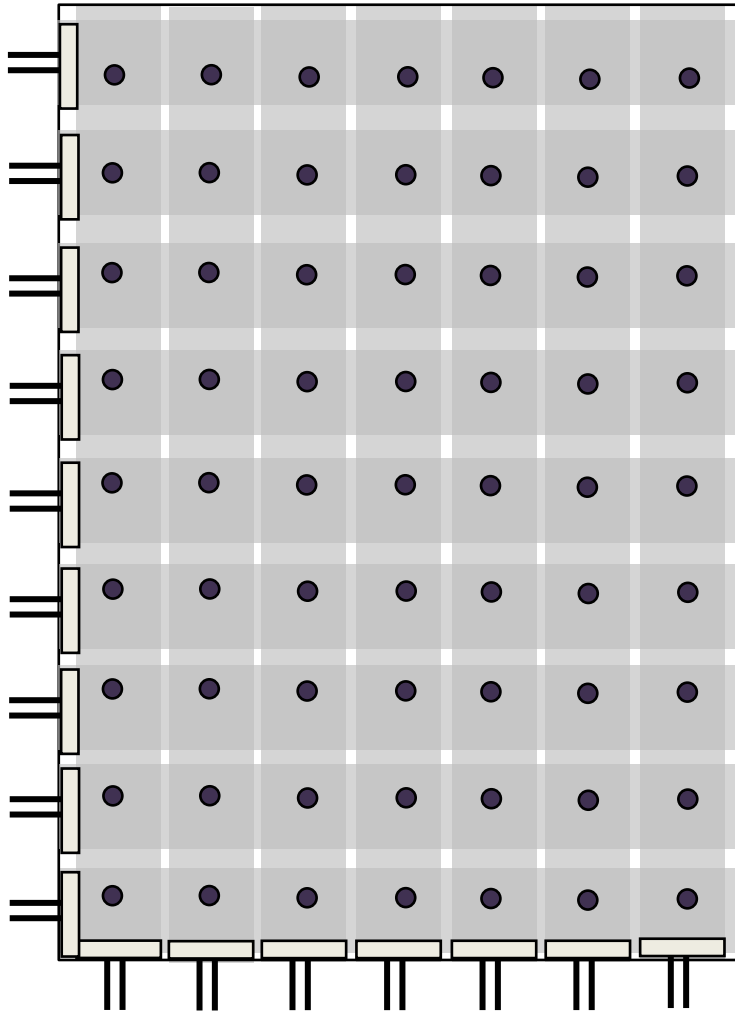
I sistemi Georadar sono interfacciati con sistemi di posizionamento

- GPS
- Sistemi inerziali (IMU)
- Stazioni Totali robotizzate



# Modalità operative sistemi tradizionali

Area da indagare



Traditional Mapping: Sistemi a Singola polarizzazione

- Acquisizioni Longitudinali;
- Acquisizioni trasversali;
- Spaziatura tra antenne : ~50 cm.



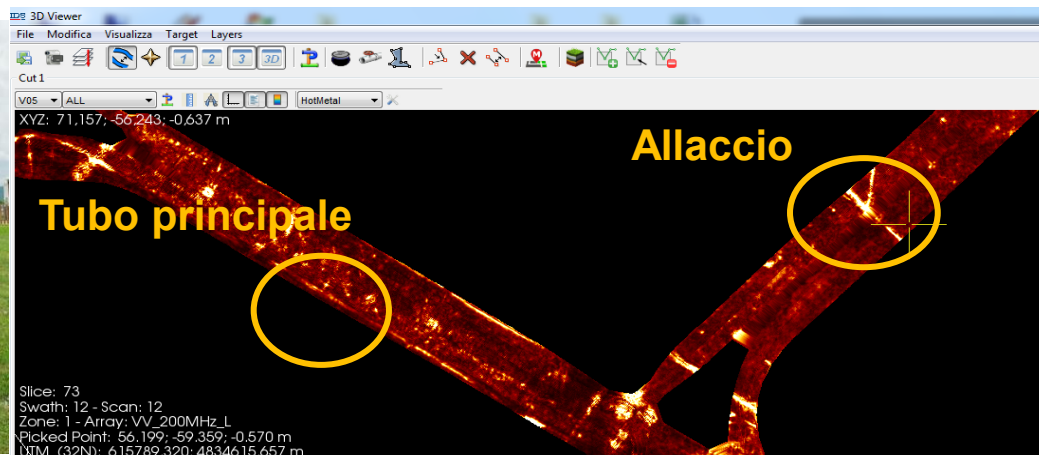
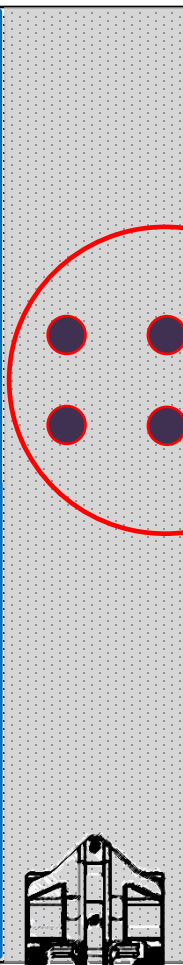
# Sistema ad array massivo a doppia polarizzazione

## Modalità operative innovative e semplificate

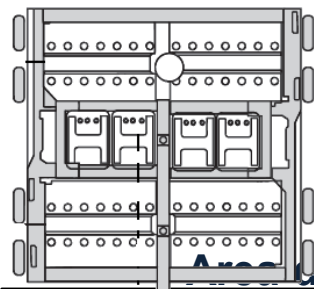
Scansioni solo Longitudinali si abbattano i tempi di acquisizione

Area da rilevare (marciapiede)

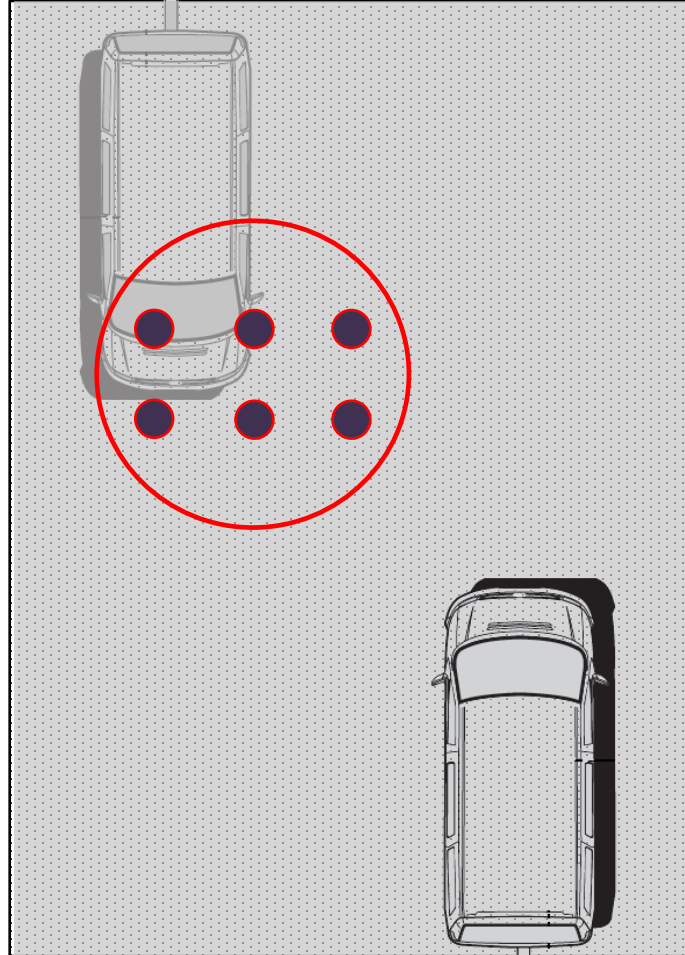
Spaziatura tra le antenne: 4.4 cm dati Georadar molto densi



Mappa ad altissima risoluzione



da rilevare



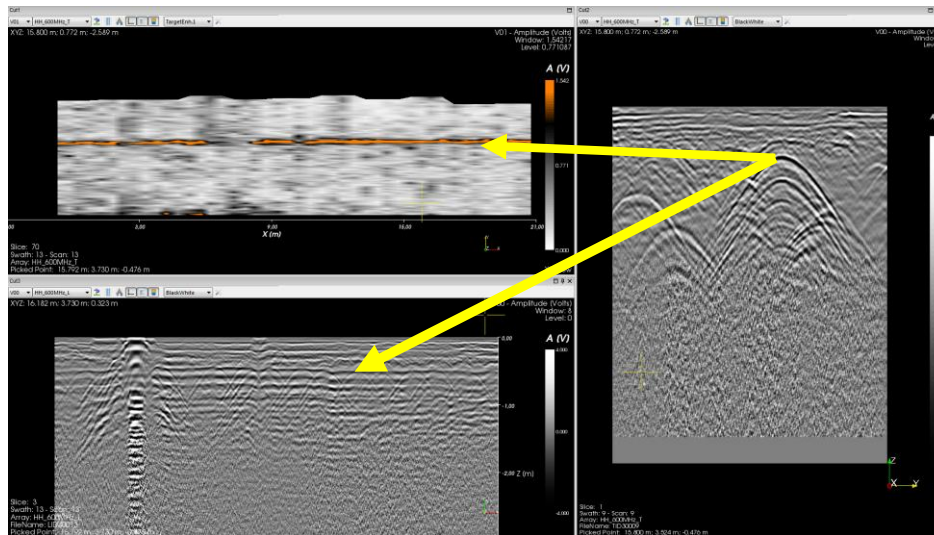
## Mappatura estensiva :

- Solo scansioni longitudinali;
- Distanza tra le antenne 6 cm;
- Mappe di alta qualità .





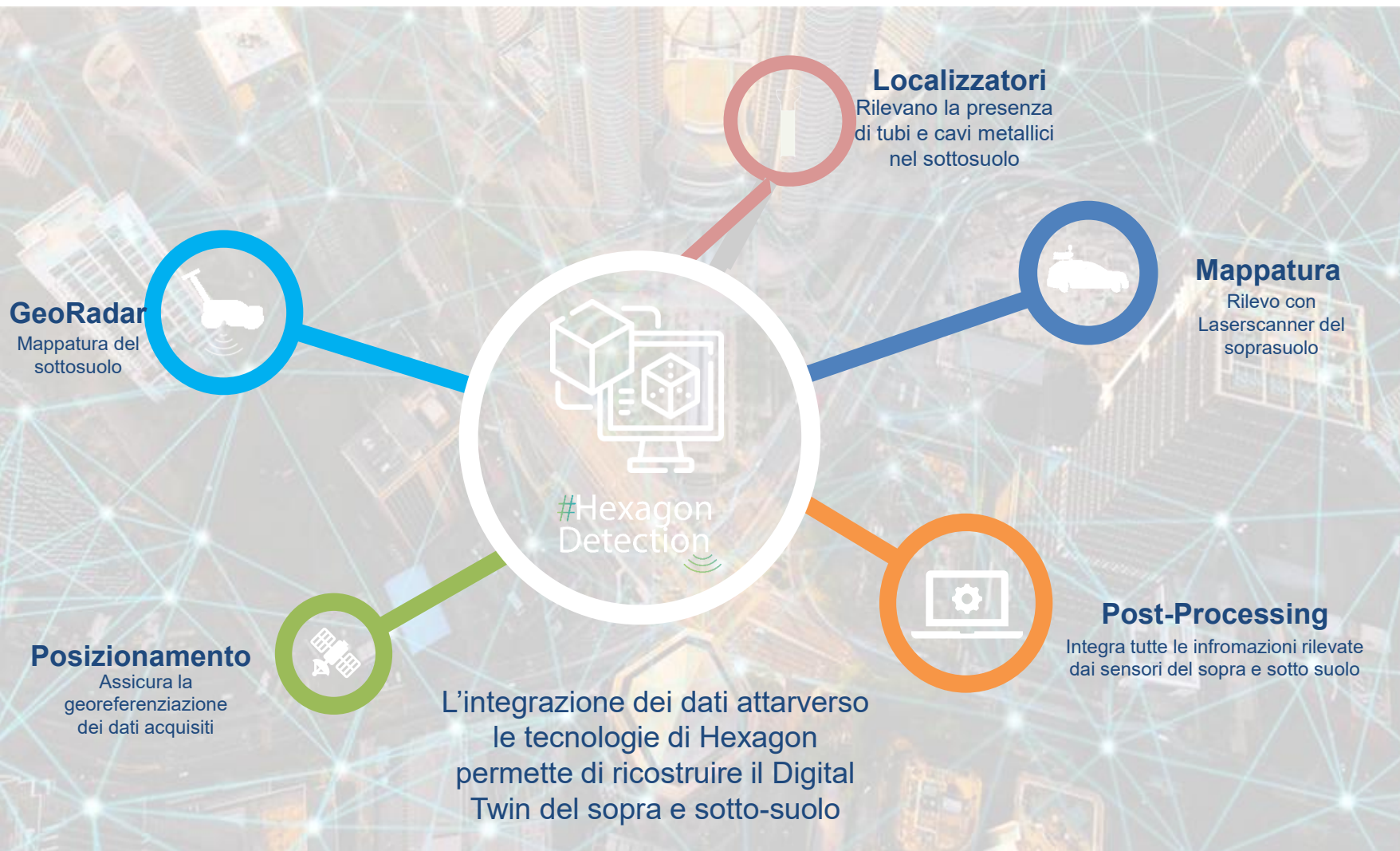
# Visualizzazione 3D dei dati





# MAKING VISIBLE THE INVISIBLE

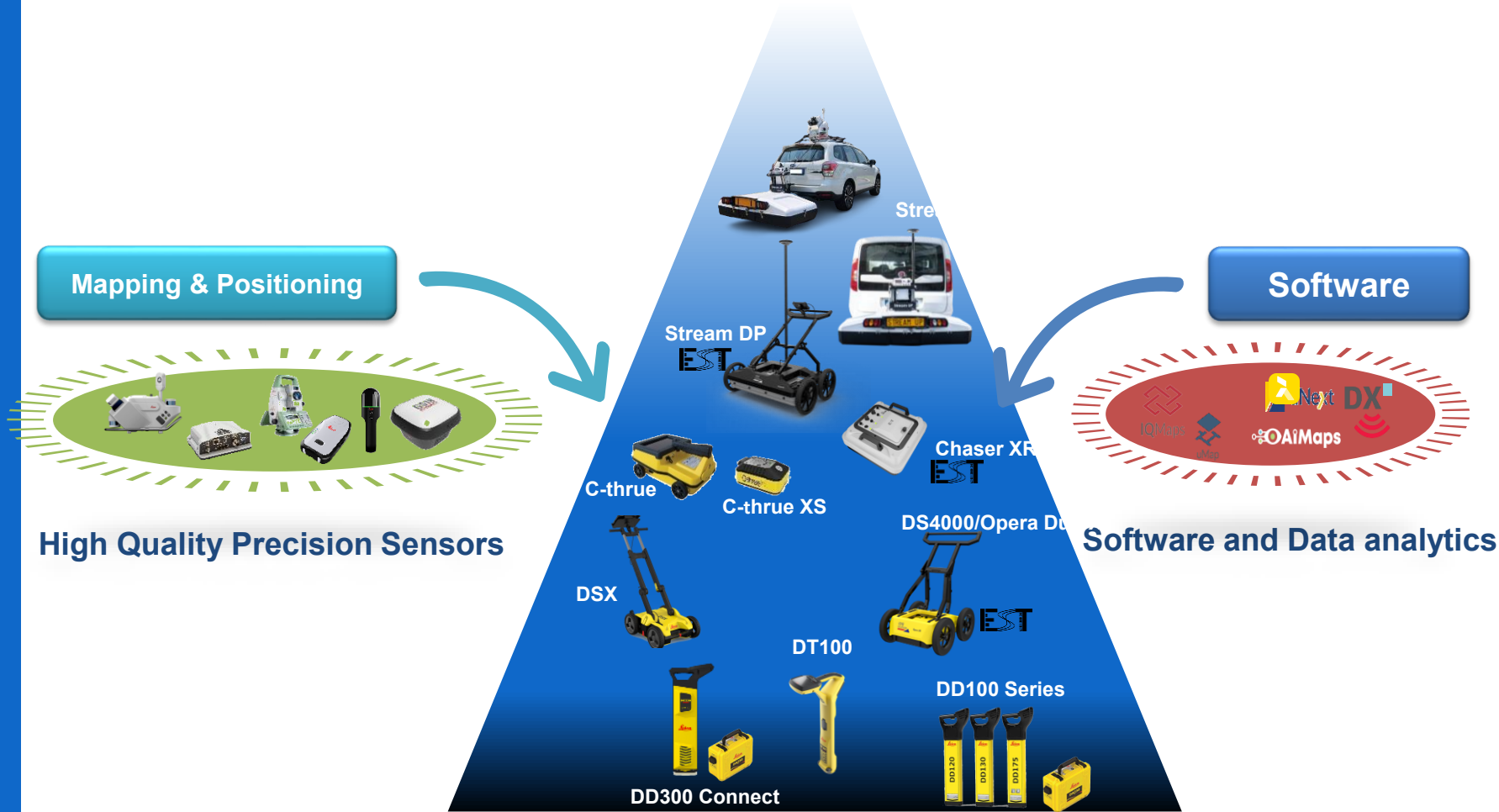
# Ambienti integrati



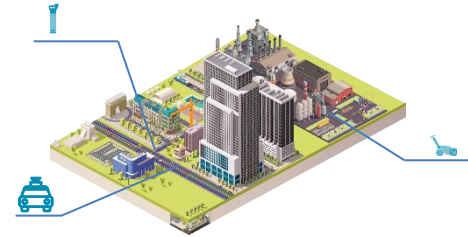
# Principali applicazioni



# Le soluzioni disponibili



# Georadar per mappatura reti



# Software 3D di analisi per interpretazione dati





# AI: l'Intelligenza Artificiale a supporto del georadar



Paolo Papeschi

Tecnologia Radar e Innovazione per l'Ingegneria

# Integrazione georadar e laser scanner: mappatura del sopra e sotto il suolo



# Integrazione georadar e laser scanner: mappatura del sopra e sotto il suolo

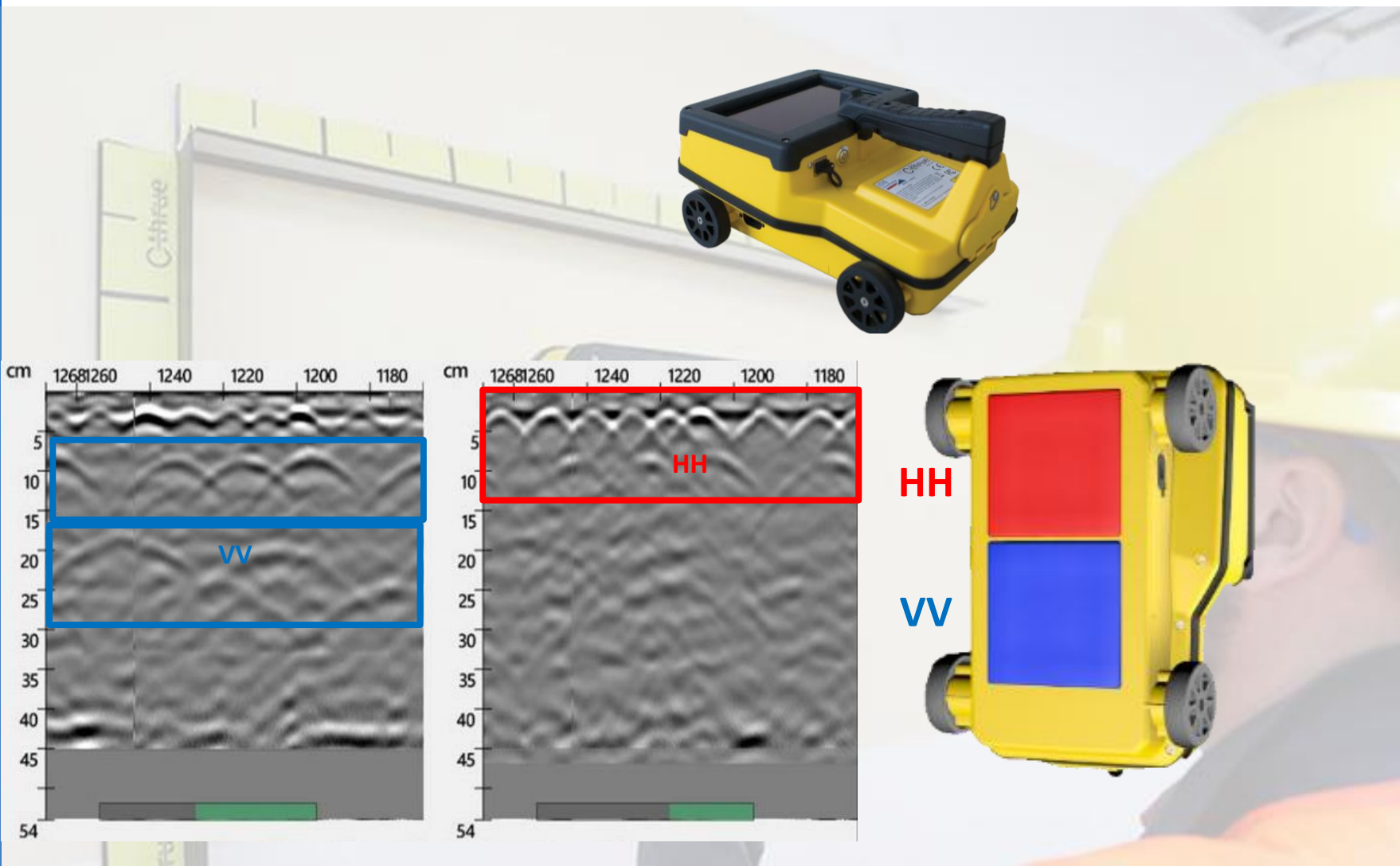


# Indagini strutturali

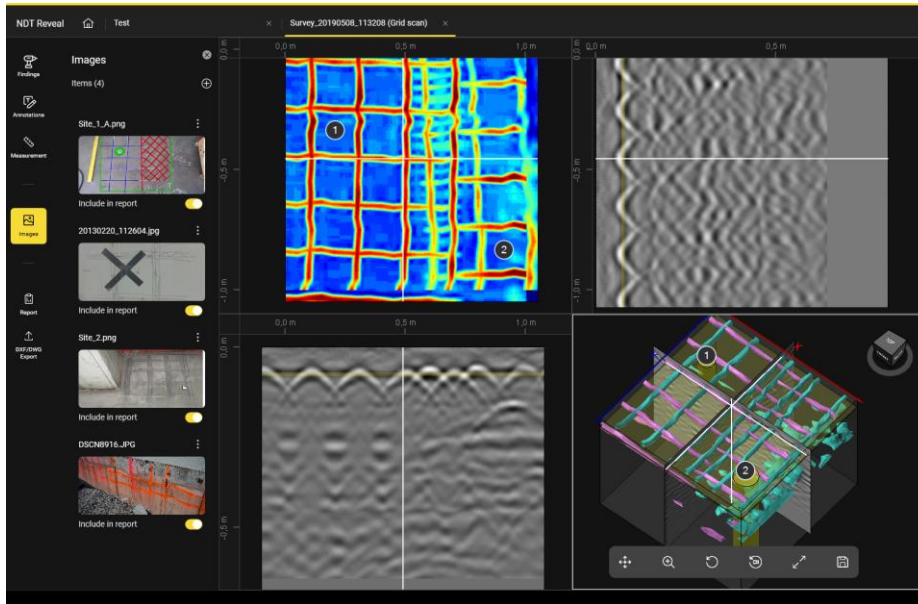


# Georadar ad alta risoluzione

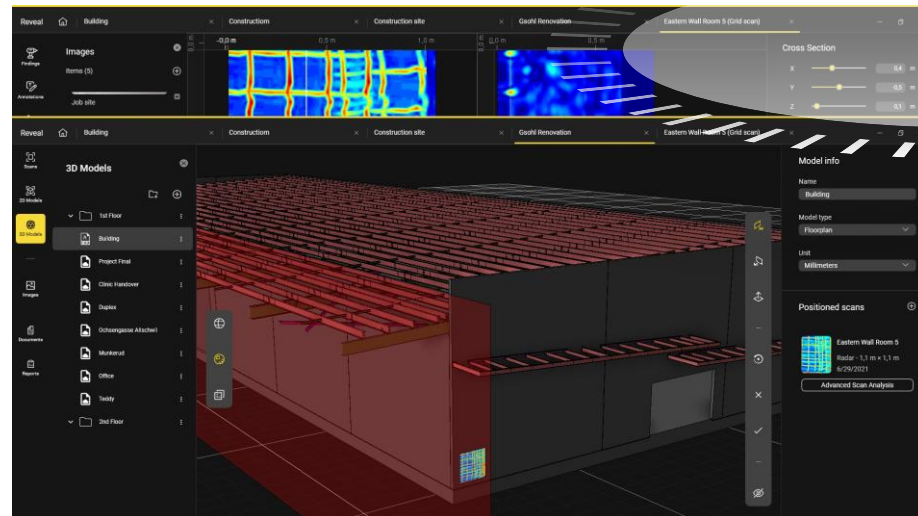
Concrete Scanner



# NDT: il georadar



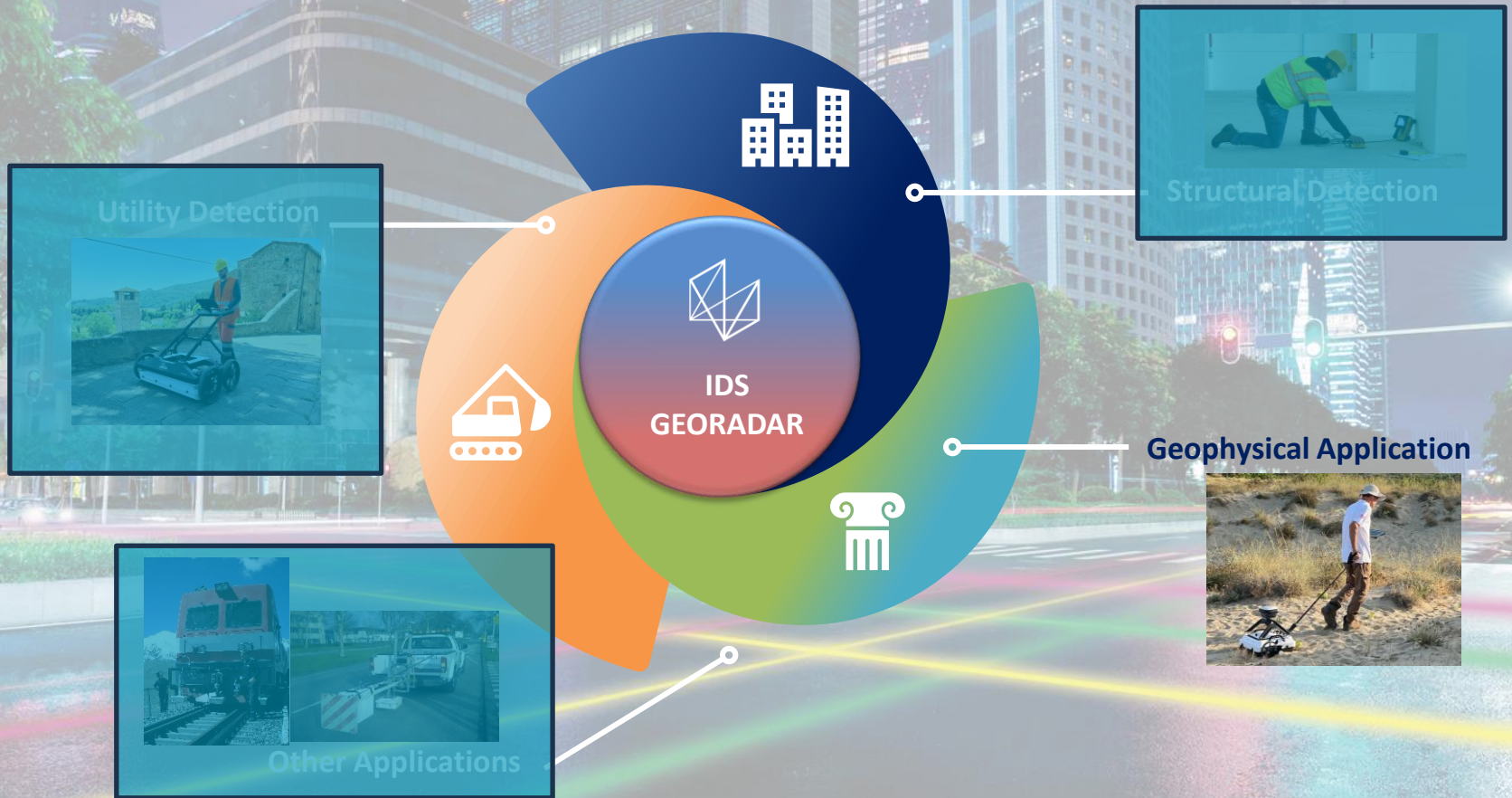
Concrete scanner



- GPR data analysis for building inspection
- Digital 3D representations of data targets: rebars, tension cables, conduits etc.
- Locate safe drill areas for concrete avoidance application
- 2D and 3D CAD representation
- Data reposts and CAD export

# Applicazioni Geofisiche

IDS  
GeoRadar



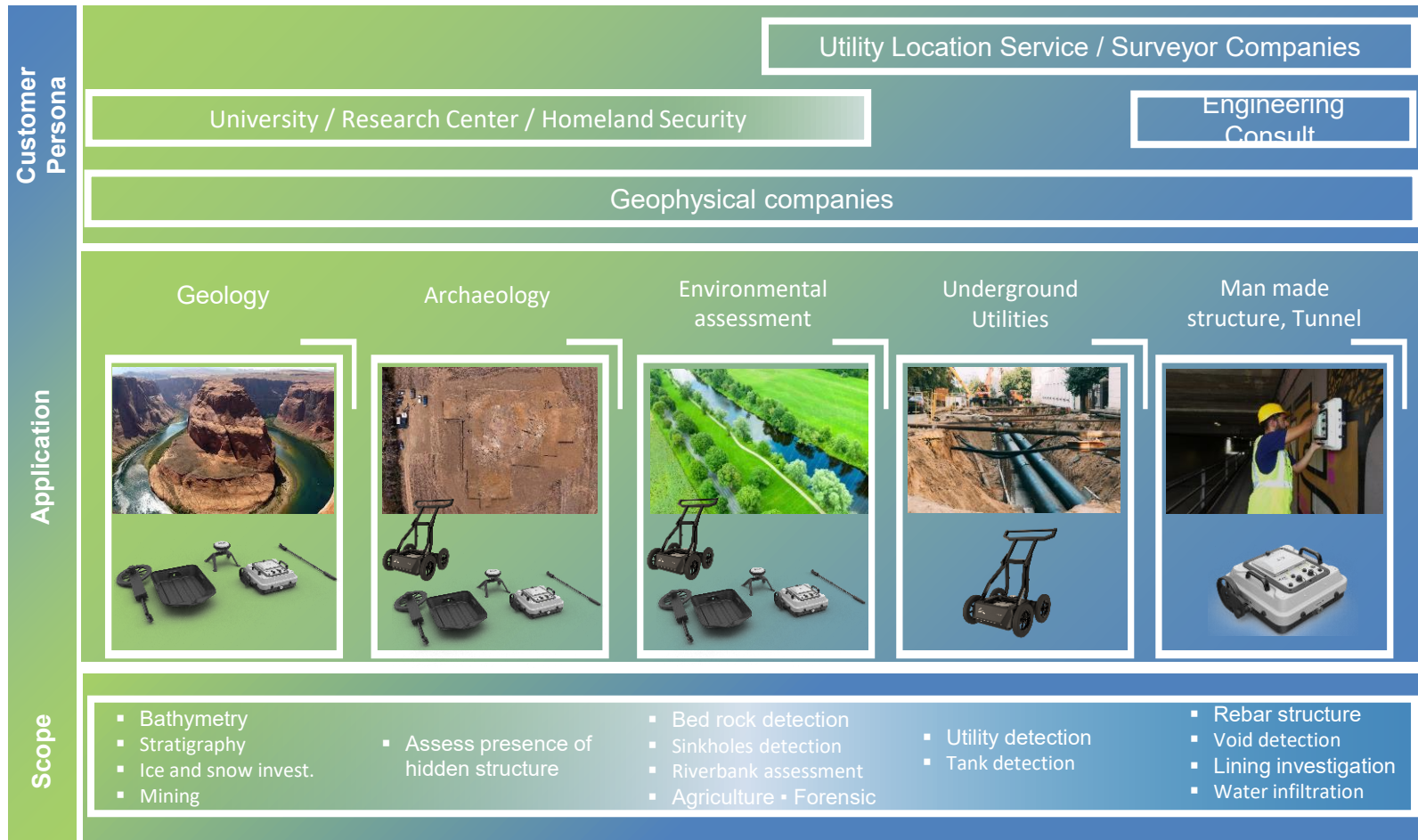
# Georadar a medio-bassa frequenza

All-in-One and One-for-All

Chaser XR is the new powerful GPR solution setting a new standard in **subsurface investigation**. Expanding the power of **EsT technology** to geophysical surveying, Chaser XR is the **all-in-one** and **one-for-all** GPR antenna featuring the most **extended inspection range** on the market (**80 MHz - 1500 MHz**)

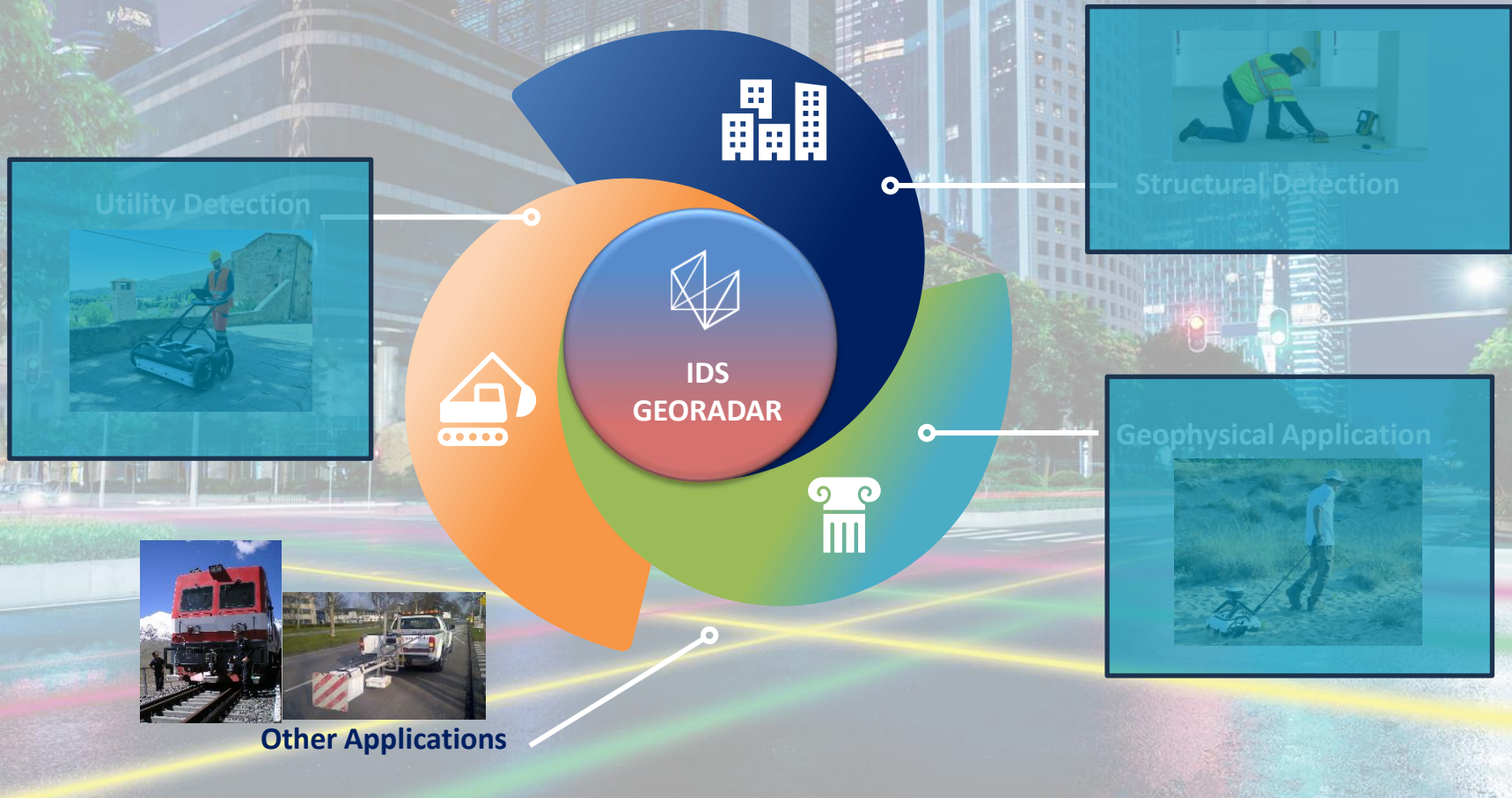


# Georadar a medio-bassa frequenza



# Altre applicazioni

IDS  
GeoRadar



# Altre applicazioni

## Tunnel



- Contactless GPR system for tunnel inspection
- Large area coverage with antenna footprint up to 100cm
- High acquisition speed for an increased productivity

## Railway



- GPR solution for inspection of railway ballast
- Continuous mapping of thickness, fouling and drainage issues
- High speed scanning, more than 100km/h

## Road



- GPR for high-speed road assessment surveys
- Flexible solution able to combine up to eight antennas
- Complete assessment of road conditions: pavement thickness, cavities, etc.

# Altre applicazioni

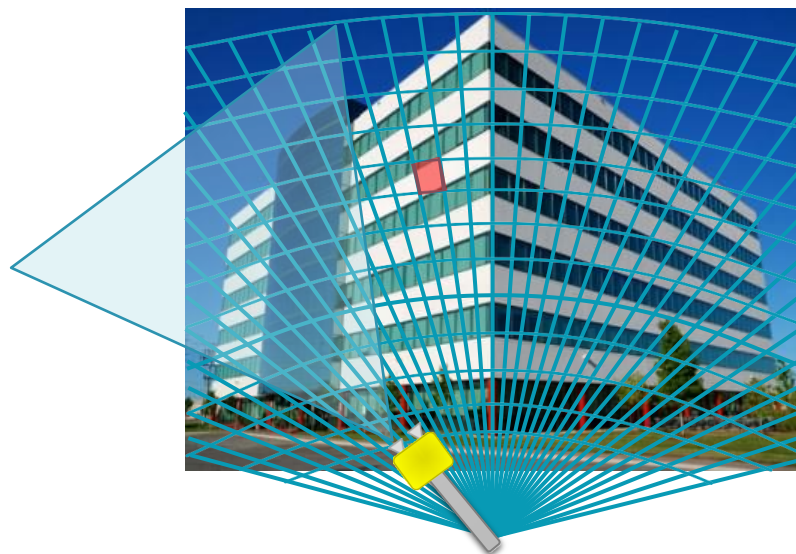
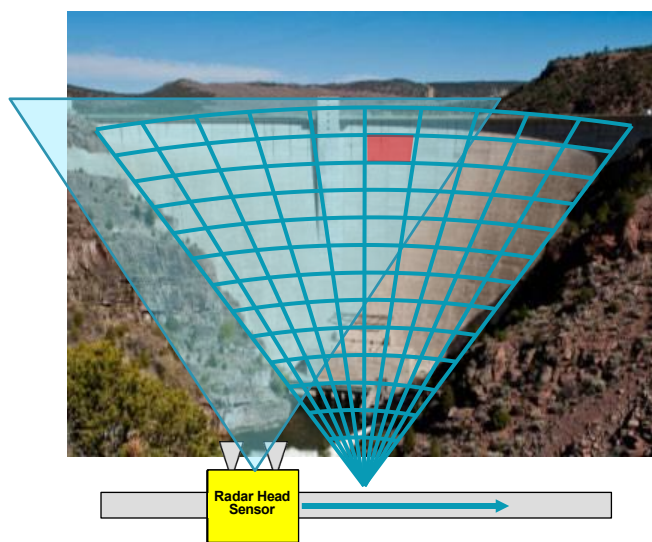


# InRa: Tecnologia Radar Interferometrica

## Synthetic Aperture Radar (SAR) and Arc-SAR systems

Per superare le limitazioni della risoluzione monodimensionale (1D), efficace solo per strutture lineari come torri, ponti e turbine eoliche, la tecnologia SAR consente di aggiungere un grado di libertà al sistema lungo un altro asse, in modo da suddividere ulteriormente l'area di scansione e generare anche la **risoluzione in cross-range** (2D).

- **SAR**: movimento del sensore lungo una traiettoria lineare (es. **IBIS-FM Evo**)
- **Arc-SAR**: rotazione del sistema attorno al proprio punto centrale (es. **Hydra**)

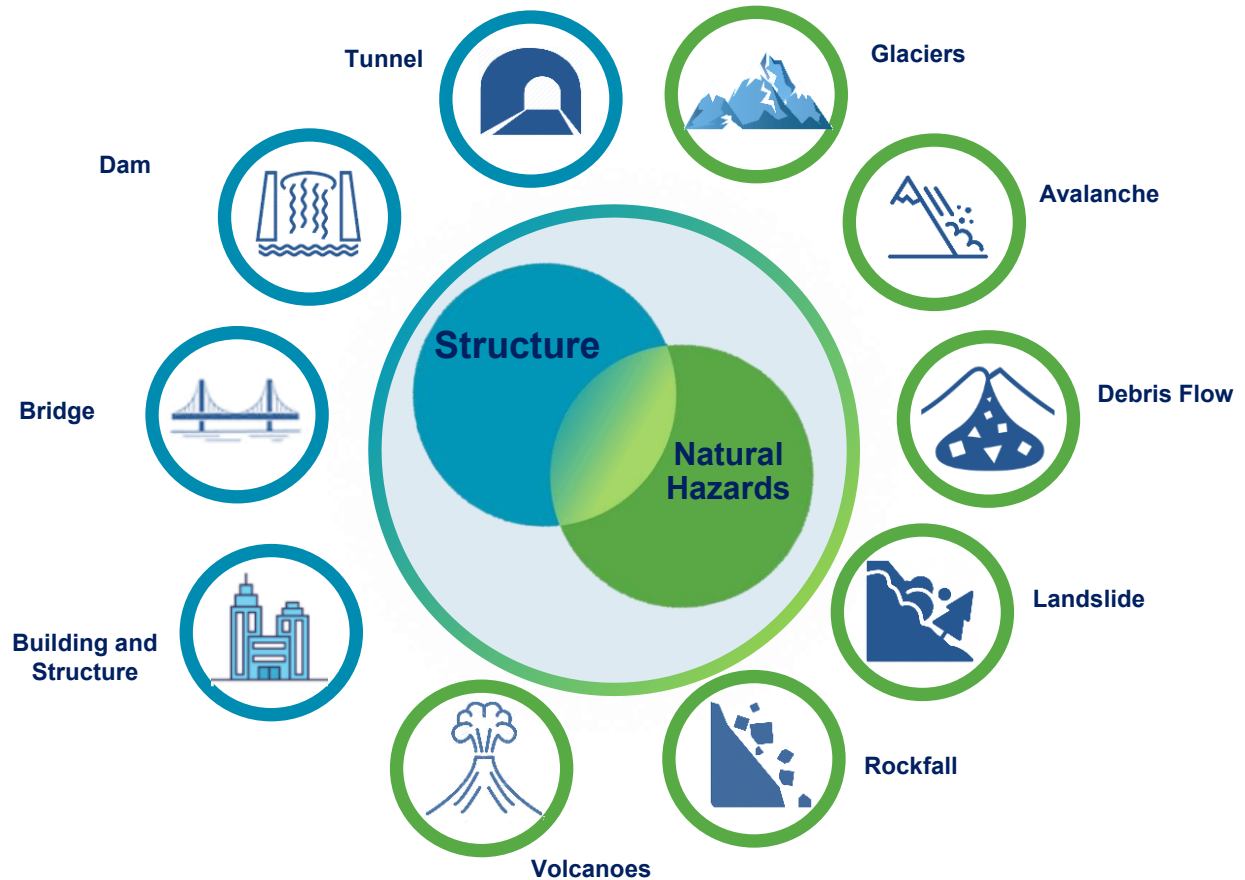




# Tecnologie per il monitoraggio ... quali scegliere?



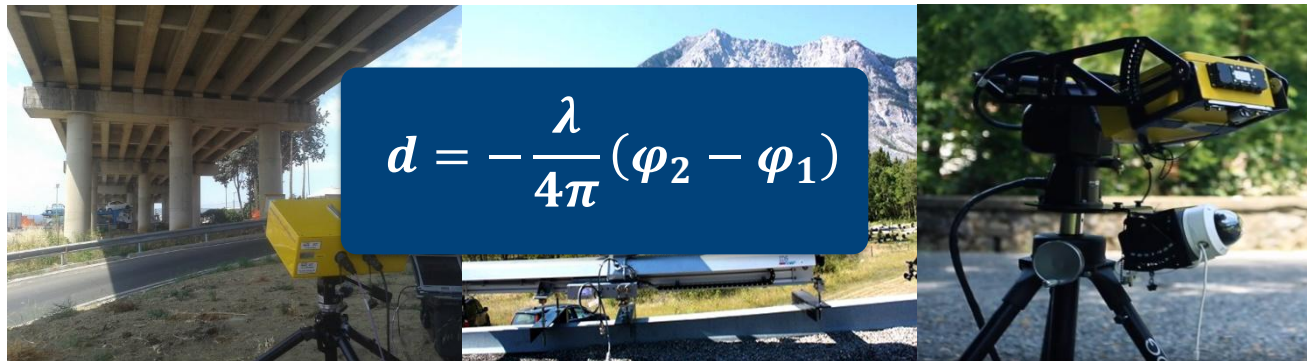
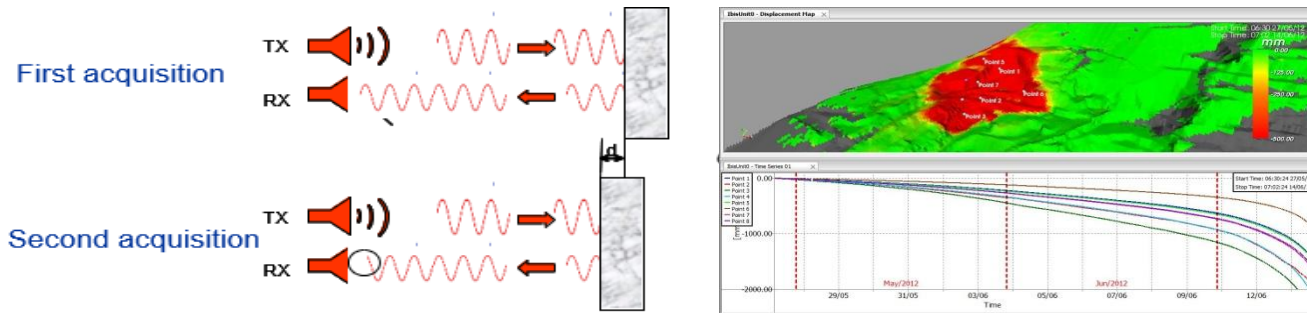
# Tecnologia Radar Interferometrica: applicazioni





# Tecnologia Radar Interferometrica

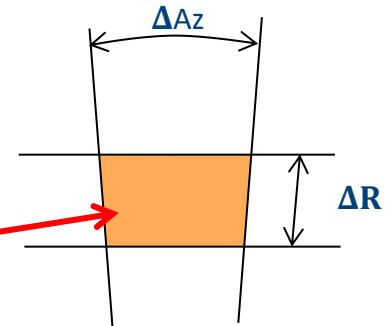
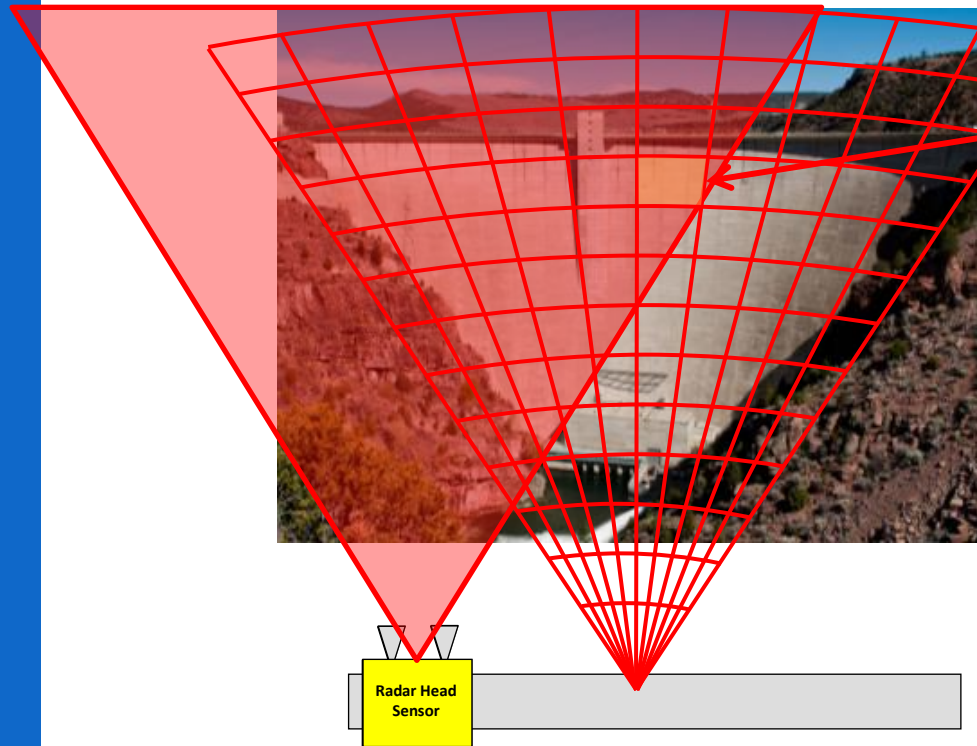
La tecnica interferometrica calcola lo spostamento di ciascun pixel confrontando le informazioni di fase del segnale radar raccolte in tempi diversi.





# Tecnologia Radar Interferometrica

La tecnica SAR per le risoluzioni azimutali



$$\Delta R = 0,5\text{m}$$
$$\Delta Az = \frac{\lambda}{2L} = 4,3\text{mrad}$$

@1km



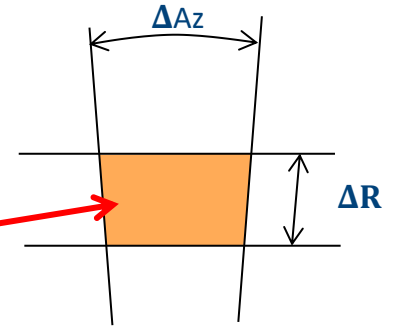
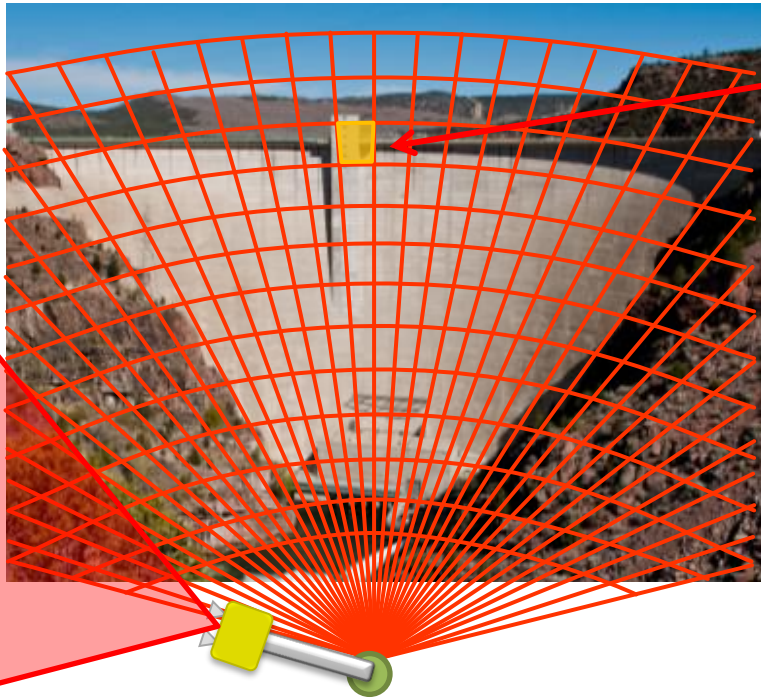
La testa del radar viene spostata su una traiettoria lineare: simulando un'antenna con diametro maggiore.



# Tecnologia Radar Interferometrica

## Synthetic Aperture Radar (SAR)

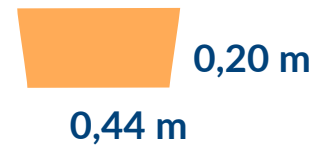
Arc SAR Risoluzione spaziale



$$\Delta Az = \frac{\lambda}{4A \cdot \sin\left(\frac{\theta_B}{2}\right)}$$

La risoluzione azimutale (cross-range) dipende dal raggio dell'arco  $A$ , dalla larghezza del fascio dell'antenna  $\theta_B$  e dalla lunghezza d'onda  $\lambda$  del segnale trasmesso.

@100m



La rotazione dell'antenna «sintetizza» la dimensione di un'antenna di grosso diametro

# IBIS-FM

## Monitoraggio di frane in aree di grandi dimensioni



### Elevata risoluzione spaziale

0.5 m x 4.4 m resolution cell @1 km, resulting in the detection of smaller failure areas



### Range operativo

From 10 m and up to 4500 m



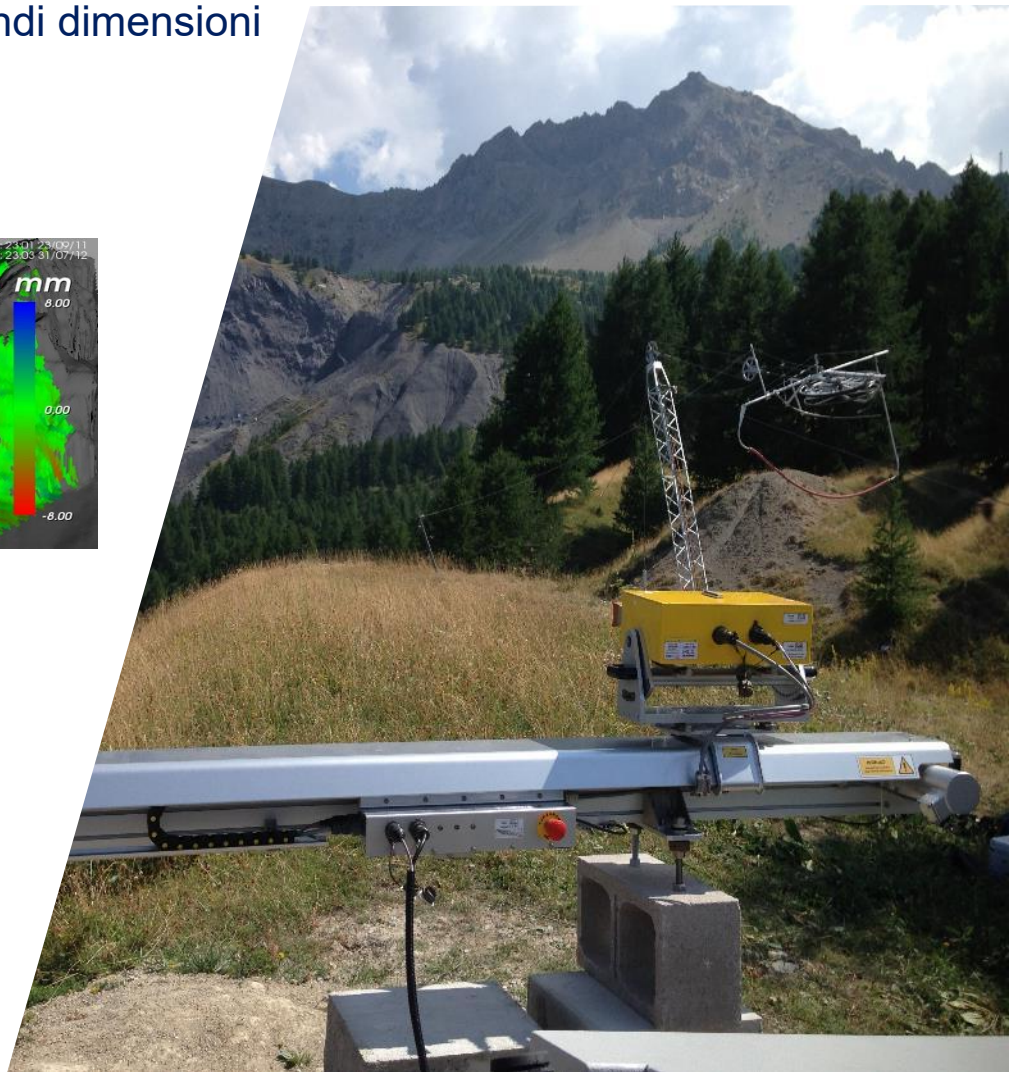
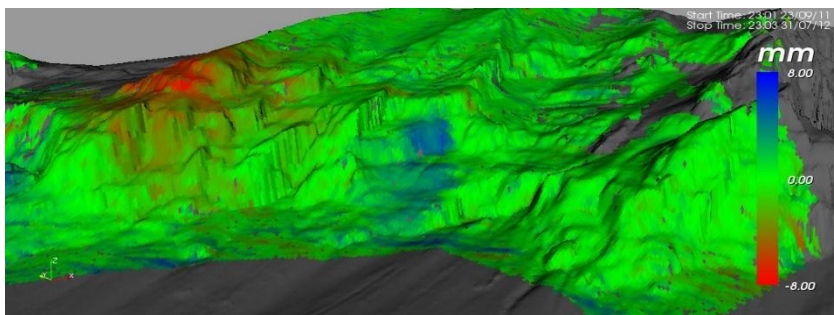
### Copertura molto ampia

Can cover an area of approximately 5 km<sup>2</sup> @ 2 km



# IBIS-FM

## Monitoraggio di frane in aree di grandi dimensioni



Non è richiesto l'accesso all'area di interesse.  
I tecnici e lo strumento restano nella zona sicura

# IBIS-FM

## Monitoraggio di frane in aree di grandi dimensioni

### Caratteristiche principali:

- longer operating range (up to 5km)
- reduced scanning time (fast bidirectional)
- improved data quality (free running)
- automatic geocoding (optional)
- reduced power consumption
- reduced weight
- improved diagnostic
- easier maintenance



# Hydra-G

## Monitoraggio frane



Monitoraggio in tempo reale dello spostamento



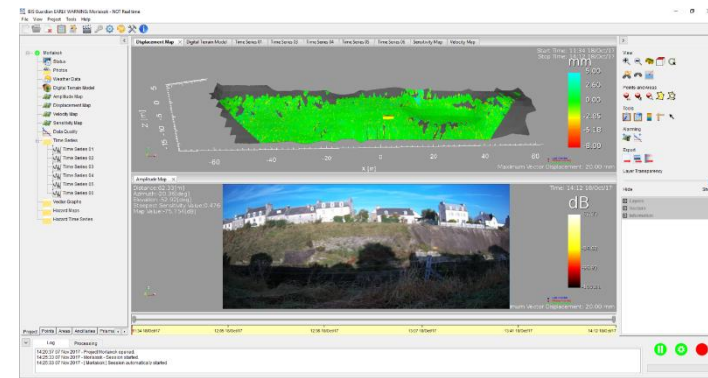
Aumento della sicurezza per gli operatori



Precisione di misura sub-millimetrica:  
1/10 mm in condizioni normali e fino a  
1/100 mm in condizioni particolari



Operatività continua in qualsiasi condizione  
atmosferica:  
funziona in tutte le situazioni — giorno,  
notte, nebbia e pioggia!



# Hydra-G

## Monitoraggio frane



Hydra-G effettua il monitoraggio in tempo reale delle deformazioni dei versanti e attiva allerte precoci in caso di crolli imminenti, per evacuare persone e macchinari a rischio.





# Hydra-G

## Monitoraggio strutture

- ↔ Campo di vista orizzontale **120°**
- ↕ Campo di vista verticale **30°**
- 🔍 Accuratezza di misura **< 0,1 mm**
- 📄 Risoluzione **0,2x0,22 m @ 50 m**  
**0,2x0,44 m @ 100 m**  
**0,2x0,88 m @ 200 m**
- 👁️ Max range **800 m**
- 🕒 Tempo di Acquisizione **30 s (120° FoV)**



# RockSpot

Riduce il divario nel monitoraggio critico



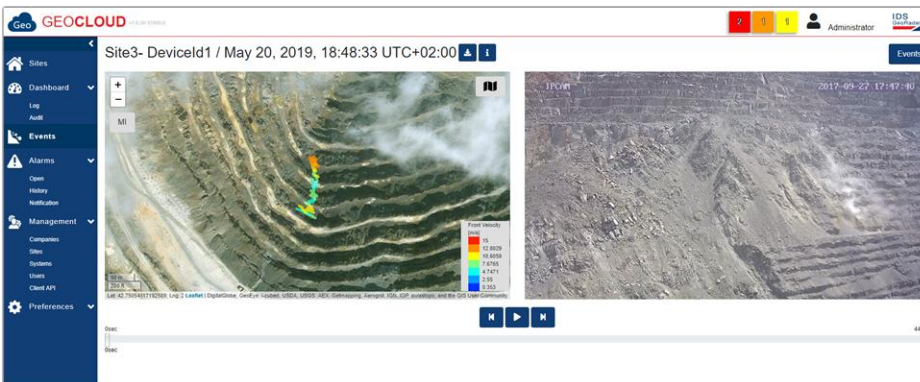
**RockSpot** è un sistema radar innovativo in grado di localizzare, tracciare e allertare in tempo reale su frane, valanghe e flussi di detriti



# RockSpot

## Riduce il divario nel monitoraggio critico

- ↔ RockSpot non dorme mai e fornisce monitoraggio continuo, giorno e notte
- 🌧️ Allarmi per eventi di crollo in tempo reale
- 👤 Allocazione e gestione efficiente delle risorse per ottimizzare le operazioni
- ⚠️ Fornisce informazioni per la valutazione dei pericoli e la mitigazione del rischio
- 📍 Identifica le aree a rischio di cedimenti
- ☁️ La piattaforma software GeoCloud, intuitiva e facile da usare, fornisce tutte le informazioni e opzioni di allarme personalizzabili per ciascun evento.



Paolo Papeschi



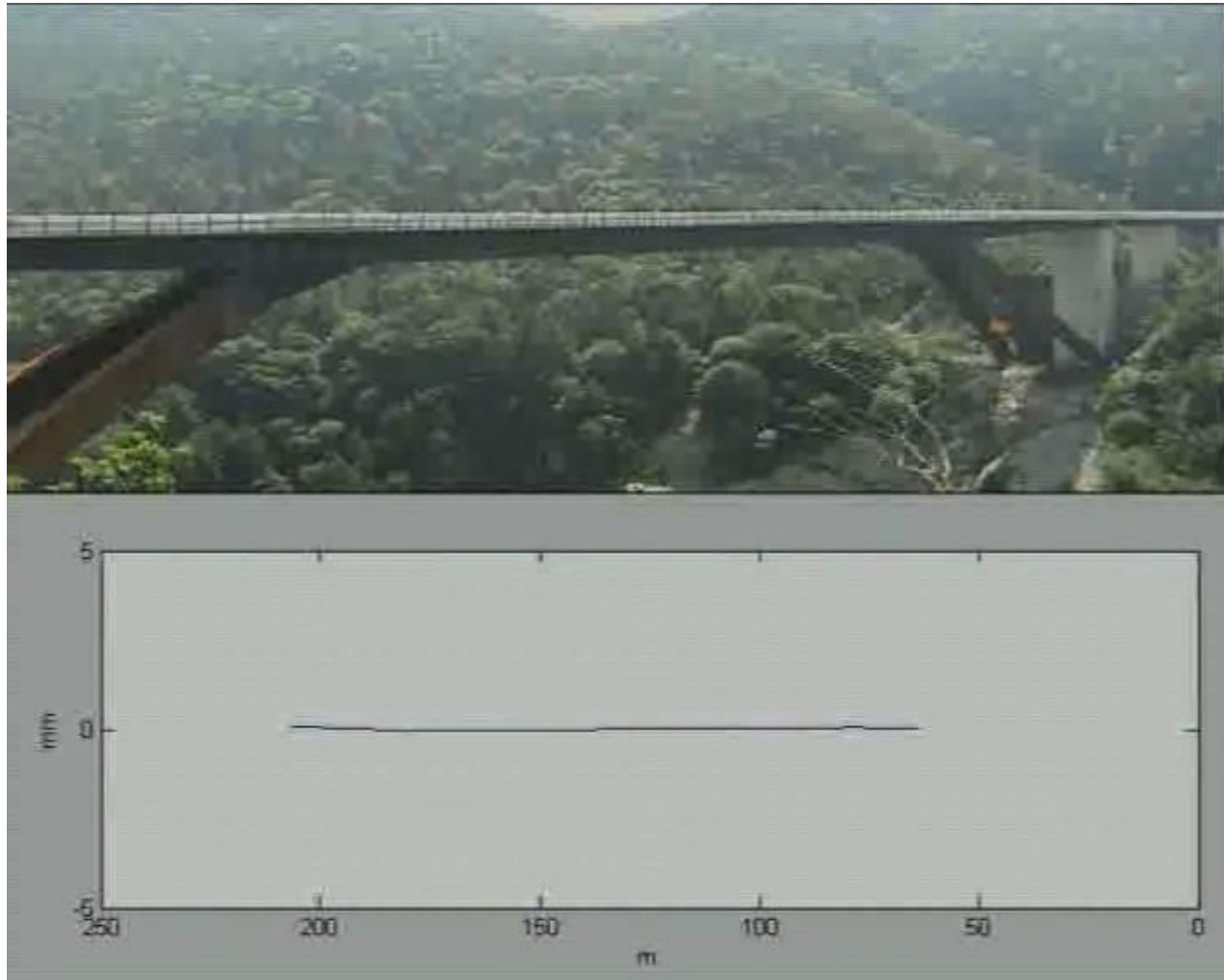
# IBIS-FS

## Monitoraggio statico e dinamico dei Ponti



# Ponti

## Monitoraggio dinamico

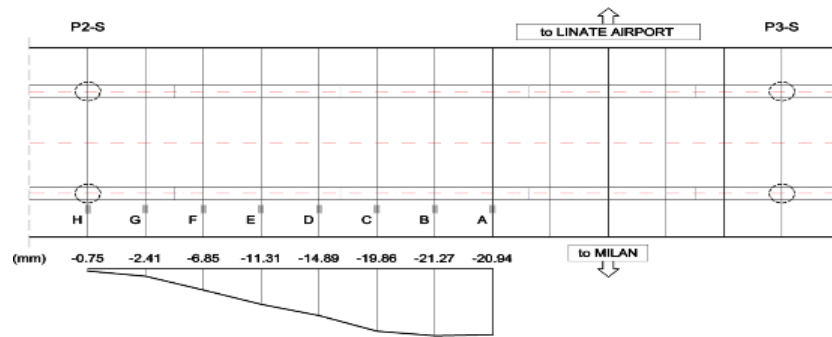
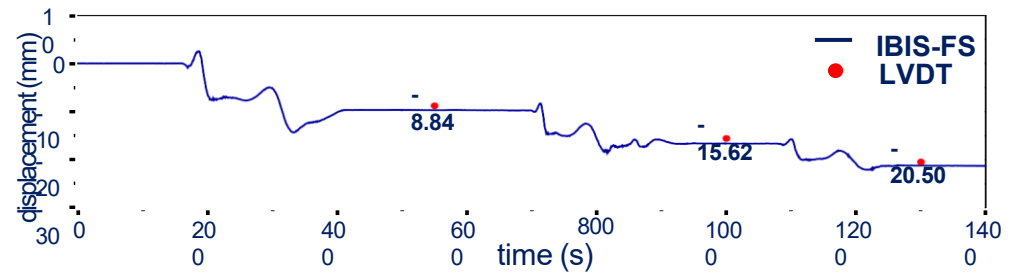
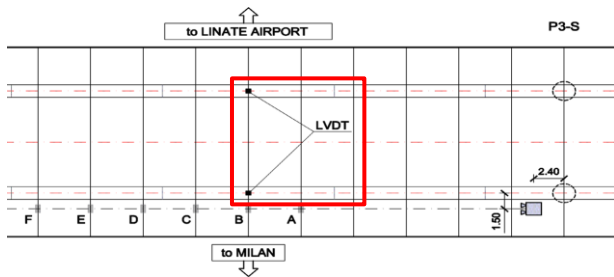




# Ponti

## IBIS-FS : Monitoraggio statico di un viadotto

IBIS-FS ha fornito la stessa accuratezza di misura di LVDT lungo tutti i punti di riferimento





**Grazie per l'attenzione**

**[paolo.papeschi@idsgeoradar.com](mailto:paolo.papeschi@idsgeoradar.com)**



Paolo Papeschi

Tecnologia Radar e Innovazione per l'Ingegneria

*Mod. FOIR 10\_Rev.0*

15 / Ottobre / 2025

slide. 62

# IDS GeoRadar – Interferometric Portfolio

## IBIS Family



## HYDRA Family



## RockSpot



# IDS GeoRadar – IBIS Family

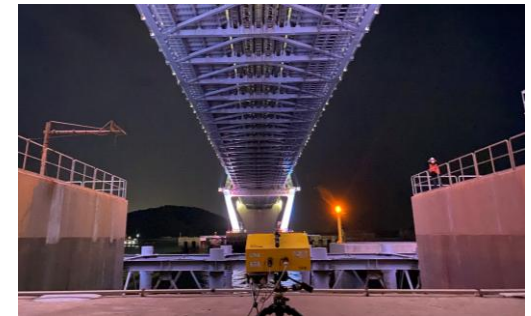
## IBIS Family



### IBIS-FS

- Static and dynamic monitoring
- Accuracy up to 0.01 mm
- Sampling frequency up to 200 Hz

Targets: bridges, towers, linear structures



### IBIS-FM Evo

- Range up to 5,000 m
- 3 linear scanner lengths available
- Industry benchmark for long-range and long-term monitoring

Targets: dams, slopes, glaciers





# IDS GeoRadar – Hydra Family

## HYDRA-G

- Quick & easy deployment
- Different SW available for both building and landslide/slope monitoring
- 77GHz frequency for HD resolution

Targets: buildings, dams, slopes

## HYDRA-T

- Lower power sensor to account for short-range tunnelling operations
- Specific SW to enhance early warning/alerting features

Targets: tunnel faces

## HYDRA Family





# IDS GeoRadar – RockSpot

## RockSpot

- Innovative system based on both interferometry and Radar Doppler technology
- Timely detection of Sudden Falling Events (SFEs)
- Interfaced with external safety systems (traffic lights, bars, etc...) to block access to endangered areas

Targets: rockfalls, avalanches



## RockSpot





# Riduce il divario nel monitoraggio critico

Prima, Durante e Dopo l'evento

## Prima Early warning



GB-SAR provides information before the collapse event



## Durante

Detect track and alarm



Gap in technology



## Dopo Post-analysis activities



Laser scanner provides information on event volume



## Principio di funzionamento del georadar

### GEORADAR MONO ANTENNA

Si tratta di apparati semplici e di facile trasportabilità, composti generalmente da un sistema ad una antenna, un decoder analogico-digitale, un laptop per la registrazione e visualizzazione dei dati.



## Principio di funzionamento del georadar

### GEORADAR MULTIFREQUENZA, PLURI-ANTENNA A SINGOLA POLARIZZAZIONE

Si tratta di sistemi a più di una antenna (pluri-antenna o array di antenne), generalmente modulari. Questi sistemi sono in grado di acquisire simultaneamente un elevato numero di canali, generalmente sino ad 8, aumentando l'efficienza delle attività campali e di elaborazione dati. L'ingombro laterale di questa tipologia di array di antenne può raggiungere i 200 cm.



## Principio di funzionamento del georadar

### GEORADAR PLURI-ANTENNA A DOPPIA POLARIZZAZIONE, SIA IN CONFIGURAZIONE MONO E MULTI FREQUENZA – ARRAY COMPLESSO

Si tratta di sistemi ad array di antenne, in alcuni casi modulari, spesso definiti ad array complesso. Questi sistemi sono in grado di acquisire simultaneamente un elevato numero di canali, aumentando l'efficienza delle attività campali e di elaborazione dati.

L'ingombro laterale di questa tipologia di array di antenne può raggiungere i 200 cm.

