

## 1) PREMESSA

La parola georadar o G.P.R. (Ground Probing Radar), identifica un apparecchiatura radar dedicata all'indagine del sottosuolo.

In questi ultimi anni l'utilizzo delle tecniche GPR per le prospezioni geofisiche di superficie, hanno assunto una sempre maggiore diffusione. Si è infatti assistito ad un notevole aumento di interesse nei confronti di questa tecnica geofisica dipendente in gran parte dall'economia dei costi e dei tempi di esecuzione, nonché dal carattere non distruttivo della indagine e dalla relativa semplice interpretabilità dei risultati.

Il georadar, nell'applicazione alla introspezione del suolo, è, in generale, una tecnica che consente di rivelare in modo non distruttivo e non invasivo la presenza e la posizione di oggetti sepolti utilizzando il fenomeno della riflessione delle onde elettromagnetiche.

La tecnologia è basata sullo stesso principio dei sistemi radar convenzionali, ma con alcune differenze significative:

- in un radar convenzionale l'onda elettromagnetica irradiata si propaga attraverso l'aria, mentre nel radar per introspezione del suolo si propaga nel suolo od in altri materiali solidi;
- i radar convenzionali possono rivelare bersagli a distanza di molti chilometri, mentre il radar per introspezione del suolo opera generalmente a distanze di pochi metri;
- la risoluzione dei radar convenzionali è dell'ordine delle decine o centinaia di metri, mentre il radar per introspezione del suolo ha risoluzioni dell'ordine delle decine di centimetri.

La strumentazione tecnica utilizzata, come verrà ampiamente descritta in seguito, comprende un Radar IDS HI-MOD in array con 2 antenne da 200 Mhz e da 600 e configurazione a 2 canali.

---



A differenza dei radar commerciali monoantenne e monofrequenze il HI-MOD offre il vantaggio di una configurazione multiantenne con una visualizzazione di 8 canali. La quantità dei dati acquisita risulta così essere ottimale per la restituzione di una soddisfacente indagine.

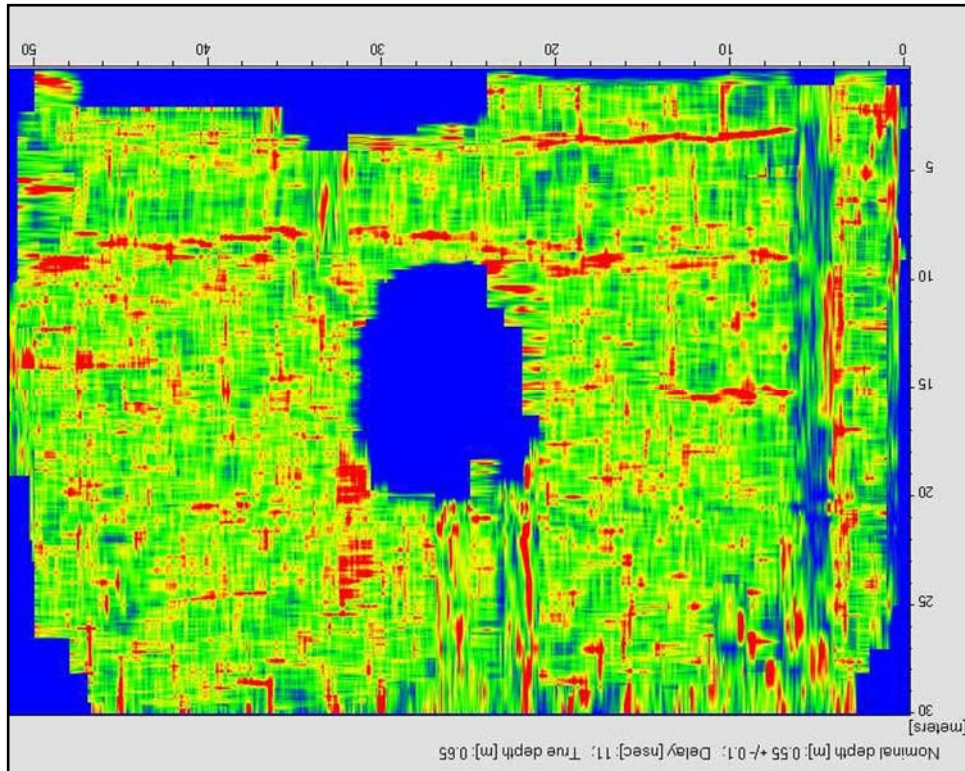
#### **OFFERTA ECONOMICA:**

L'indagine radar per la ricerca dei **sottoservizi** comprende:

- Rilievo a vista di elementi strutturali come tombini, caditoie, illuminazione pubb. e gas e trascrizione di essi su planimetria in formato CAD fornita dal committente.
  - Acquisizione scansioni radar Trasversali la carreggiata con step di 2.5 metri.
  - Acquisizione scansioni Longitudinali la carreggiata con step di 2.5 metri.
  - Elaborazione dati e consegna di una planimetria in scala 1:100 / 1:200 e schematizzazione di sezioni tipo A-A' con i servizi intercettati in scala 1:100, 1:200
  - L'impresa committente dovrà fornire i permessi di occupazione del suolo pubblico, affissione eventuali divieti di sosta nelle aree interessate e ove necessario fornire assistenza di personale adibito alla viabilità.
-

L'indagine radar per la ricerca Archeologica comprende:

- Acquisizione scansioni radar Trasversali la carreggiata con step di 1.0 metri.
- Acquisizione scansioni Longitudinali la carreggiata con step di 1.0 metri.
- Elaborazione dati e consegna di una schematizzazione Tomografica dell'area (visualizzazione a falsi colori)



## 2) LA TECNICA GEORADAR

### 2.1 Principio di funzionamento

Un radar convenzionale è una strumentazione che consente di operare il rilievo della posizione di un oggetto in aria mediante l'invio di onde elettromagnetiche; l'apparato misura il ritardo tra l'istante in cui il segnale elettromagnetico è stato trasmesso e quello necessario alle onde riflesse da bersaglio, per tornare alla antenna ricevente.

Il funzionamento del georadar è concettualmente analogo e, in breve, si basa sulla capacità dello strumento di emettere segnali a radiofrequenza (compresi tipicamente nel range 100 MHz – 1 Ghz) e di registrare quindi le eco reirradiate dagli oggetti presenti nel sottosuolo, caratterizzati da dimensioni sufficienti e da proprietà elettromagnetiche diverse rispetto a quelle di ciò che li circonda.

La generazione e la ricezione degli segnali a radiofrequenza è operata da una o più antenne che vengono fatte scorrere sul materiale che si desidera indagare; i dati raccolti, opportunamente elaborati, sono memorizzati e rappresentati su una unità di controllo che, inoltre, genera gli impulsi necessari al funzionamento delle antenne. Eventuali oggetti presenti nel sottosuolo generano nelle immagini radar (o radargrammi) caratteristiche forme iperboliche, come illustrato in Fig. 2-1.

---

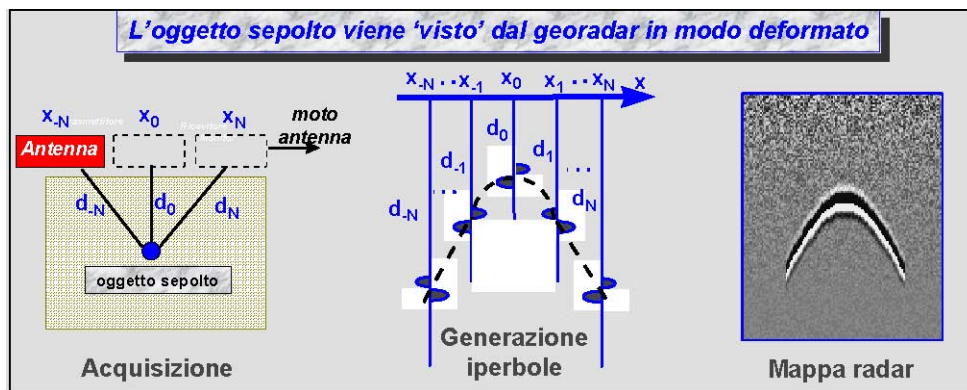


Fig. 2-1 - Principio di funzionamento del georadar

Tutti i mezzi reali assorbono le onde elettromagnetiche in misura dipendente dalle loro caratteristiche elettriche.

In generale, un mezzo omogeneo è definito da un punto di vista elettrico, da una coppia di valori:

- costante dielettrica relativa ( $\epsilon_r$ )
- conduttività ( $\sigma$ )

Da questi valori è possibile risalire al comportamento del mezzo nei confronti della propagazione delle onde elettromagnetiche.

Un trasmettitore (TX) genera un segnale di tipo impulsivo con una determinata frequenza di ripetizione. La successione di questi impulsi genera un segnale di durata dell'ordine dei nanosecondi che viene irradiato nel mezzo da un'antenna a larga banda.

La forma dell'impulso trasmesso è opportunamente calibrata in modo da ottenere una distribuzione spettrale di tipo gaussiano con il valore centrale che rappresenta la frequenza caratteristica, o frequenza centrale dell'antenna, la quale corrisponde alla frequenza dominante dell'impulso.

La frequenza centrale dell'antenna determina le caratteristiche di risoluzione e di massima profondità di esplorazione.

Il segnale elettromagnetico ricavato è caratterizzato da una serie di picchi. La loro ampiezza dipende principalmente da tre fattori:

- natura del riflettore;
- natura del mezzo tra riflettore ed antenna;
- curva di amplificazione applicata.

## 2.2 La propagazione delle onde elettromagnetiche

Nella propagazione delle onde elettromagnetiche nel suolo si evidenziano i seguenti aspetti:

- la riflessione
- la attenuazione
- la portata
- la velocità di propagazione

### 1.1.1. Riflessione delle onde elettromagnetiche

Una riflessione dell'onda elettromagnetica si verifica ogni volta che il mezzo di propagazione mostra una variazione (o disomogeneità) delle caratteristiche elettromagnetiche, come accade in corrispondenza di un cambiamento del mezzo o di presenza di un bersaglio; la capacità di riflessione di un bersaglio è espressa dal parametro S.E.R. (Superficie Equivalente Radar), la cui valutazione è assai complessa, essendo funzione di una molteplicità di parametri:

- la forma del bersaglio
- la sua dimensione

- il materiale del bersaglio
- il materiale ad esso circostante
- la frequenza e la polarizzazione della onda e.m. incidente
- la distanza dall'antenna

### 1.1.2. Attenuazione dell'onda elettromagnetica

La attenuazione dell'onda elettromagnetica, la cui energia diminuisce progressivamente all'aumentare della profondità, è la causa principale di limitazione della profondità di indagine; essa, usualmente espressa in decibel/metro, è originata da vari effetti, tra i quali i principali sono:

- la conducibilità del mezzo (nell'attraversare mezzi conduttivi l'onda elettromagnetica origina correnti che le sottraggono energia),
- fenomeni di risonanza delle molecole d'acqua, o di altre molecole presenti nel sottosuolo,
- l'attenuazione geometrica, causata dal fatto che, durante la propagazione, l'energia e.m. si distribuisce su di un fronte d'onda la cui superficie aumenta man mano che ci si allontana dall'antenna, diminuendo di fatto l'energia globale che incide sui singoli bersagli.

### 1.1.3. Penetrazione dell'onda elettromagnetica

La penetrazione dell'onda elettromagnetica (o portata) è un fattore strettamente legata alla attenuazione; in pratica essa è fortemente dipendente della natura del suolo, o meglio dalla sua conducibilità; esistono terreni caratterizzati da bassa conducibilità e buona omogeneità, in cui la penetrazione può essere molto elevata (fino alle decine di metri): ad esempio roccia compatta, ghiaccio, sabbia asciutta, ecc. Nei terreni comuni, invece, (di natura argillosa, sabbiosa e ghiaie) la presenza di acqua e dei sali in essa disciolti, limita la penetrazione a pochi metri; in particolare la penetrazione può risultare assai ridotta per terreni saturi di acqua.

### 1.1.4. Velocità di propagazione

La stima della velocità di propagazione è essenziale per misurare correttamente la profondità dei bersagli; essa è funzione della costante dielettrica del mezzo, e può variare di quasi 10 volte in funzione della natura del suolo; la velocità di propagazione è espressa, nel sistema MKS, in m/sec; la velocità di propagazione nel vuoto (e nell'aria) è pari a  $3 \cdot 10^8$  m/sec (300.000 Km/sec). Per semplicità di notazione in campo radar la velocità di propagazione è spesso espressa in cm/nsec:

- velocità nel vuoto (ed in aria): 30 cm/nsec
- velocità nel marmo: 11 cm/nsec
- velocità in suoli tipici urbani: 7-12 cm/nsec
- velocità nell'acqua: 3.3 cm/nsec

## 2.3 Le Antenne

La scelta dell'antenna è la fase fondamentale di un indagine georadar e si effettua considerando gli elementi fondamentali del rilievo:

- portata
- risoluzione

Questi parametri in generale dipendono da:

- frequenza centrale dell'antenna utilizzata
- caratteristiche elettriche del mezzo da indagare.

L'antenna emette gli impulsi con un angolo molto ampio (variabile in funzione della frequenza centro banda dell'antenna). Questo determina una grande sensibilità periferica. Tipicamente la riflessione di un bersaglio puntiforme rispetto alla direzione di trascinamento è rappresentata da un ramo di iperbole, la cui ampiezza dipende dalla velocità di trascinamento dell'antenna e dalla velocità di propagazione delle onde nel mezzo.

Caratteristica fondamentale di un'antenna è la frequenza centrale dell'impulso trasmesso. Questo valore caratterizza la risoluzione e la portata delle indagini. Tale impulso è caratterizzato, infatti, da un insieme di frequenze che consentono di determinare una distribuzione spettrale di forma gaussiana il cui valore centrale rappresenta la componente dominante delle frequenze trasmesse.

---

Le antenne possono operare in tre modi principali:

- disposizione monostatica;
- disposizione bistatica;
- disposizione cross-polare.

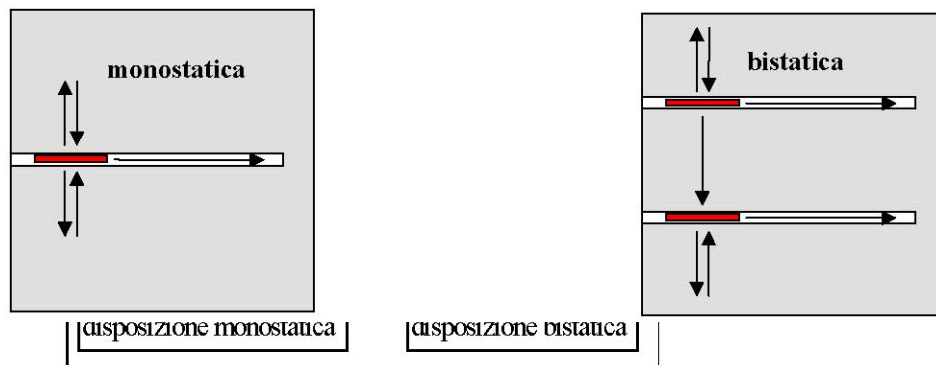


Fig. 2-2 – La configurazione di antenne

- 1 Anche se non essendo la frequenza centrale costante, è preferibile dire che la frequenza centrale di un'antenna è "intorno a" e non "esattamente di"

Con la disposizione monostatica, trasmettitore (TX) e ricevitore (RX) sono assemblati in un'unica struttura, permettendo di ottenere informazioni in tutta l'area indagata e di determinare la profondità di bersagli. Tale disposizione è consigliata per ottenere informazioni superficiali quali servizi e reperti archeologici con antenne a frequenza medio-alta (500-1000 MHz).

Con la disposizione bistatica, trasmettitore (TX) e ricevitore (RX) sono separati e messi ad una certa distanza l'uno dall'altro. Il vantaggio consiste in una risposta più dettagliata nelle zone più profonde, mentre lo svantaggio consiste nell'assenza di risposta in una porzione di terreno d funzione della distanza reciproca dei due componenti. Tale disposizione è consigliata per ottenere informazioni da zone profonde ed è generalmente impiegata con antenne a frequenza medio-bassa (80-300 MHz) e finalità geologiche.

Con la disposizione cross-polare, trasmettitore e ricevitore sono ortogonali tra loro. Tale disposizione risulta particolarmente utile nel riconoscimento di bersagli inclinati obliqui rispetto alla direzione di trascinamento delle antenne ed inoltre per particolari applicazioni scientifiche in genere.

Esistono poi trasduttori dedicati alle indagini in fori di perforazione. Tali sensori sono alloggiati all'interno di una struttura cilindrica, in grado di essere introdotti all'interno di fori di sondaggio. Tali antenne, omnidirezionali, sono caratterizzate tipicamente da basse frequenze.

In generale le antenne a bassa frequenza (40-300 MHz) sono indicate per indagini profonde, poiché possiedono una alta capacità di penetrazione ed una bassa risoluzione, In particolare queste antenne vengono impiegate per la ricerca di:

- orizzonti stratigrafici;
- falde;
- cavità;
- zone di fratturazione.

Antenne a media frequenza (300-500 MHz) per ricerche superficiali:

- resti archeologici;
- sottoservizi.

Antenne ad alta frequenze (900-1000 MHz) per indagini di elevato dettaglio, quali:

- stato dei manufatti;
- resti archeologici.

## 2.4 La strumentazione utilizzata

- monostatica
- bistatica

I radar per introspezione del sottosuolo presenti sul mercato differiscono notevolmente in quanto a composizione e caratteristiche, ma sono quasi sempre composti da due "Apparati":

- a) "Apparato" di Acquisizione Campale,
- b) "Apparato" di Elaborazione

"L'Apparato" di Acquisizione Campale risulta in genere costituito da:

- Unità Antenna

In genere comprende:

- una o più antenne, ognuna dei quali integra un trasmettitore, un dipolo trasmettente e ricevente, ed un ricevitore; i sistemi dotati di più antenne possono essere dotati di un dispositivo di distribuzione dei segnali alle varie antenne, il quale può essere, in alcuni casi, "intelligente"
- una ruota metrica per la misura di posizione ed il controllo della acquisizione dati
- un telecomando per il pilotaggio remoto delle funzioni del radar
- una meccanica più o meno complessa per la movimentazione dell'Unità

- Unità di Controllo

In genere è basata su di un PC con le seguenti funzioni:

- Controllo delle funzioni del radar
- Visualizzazione dei dati radar su monitor a colori
- Elaborazione dei dati radar
- Registrazione dei dati radar su supporto magnetico

- Unità di Alimentazione

Tipicamente una batteria con autonomia di circa un giorno di lavoro

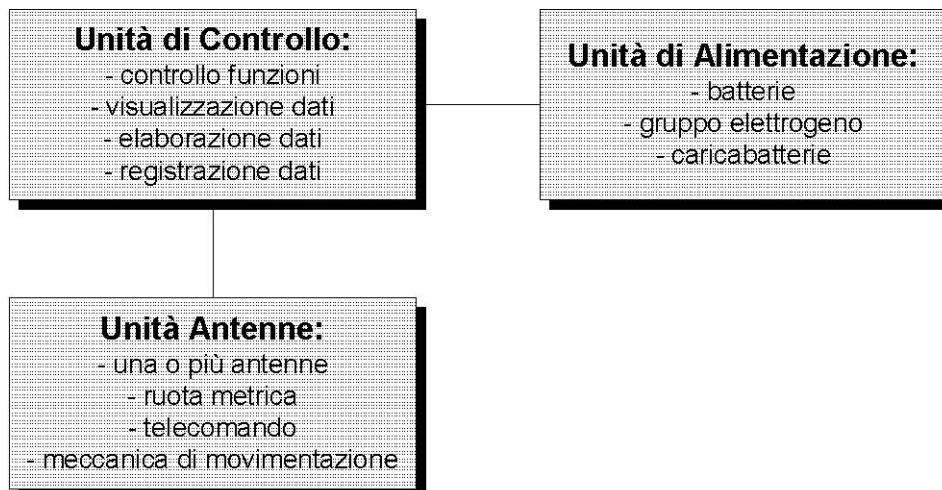


Fig. 2-4 - Composizione della Stazione di acquisizione campale di un radar

"L'Apparato" di Elaborazione risulta in genere costituito da:

- Unità di Elaborazione Dati

---

E' in genere costituita da un Personal Computer con le seguenti funzioni:

- elaborazione dei dati radar
- visualizzazione, in vari formati, dei dati radar
- archiviazione dei dati radar
- applicativo CAD con le seguenti funzioni: realizzazione o digitalizzazione della cartografia del sito,
- inserimento in cartografia delle informazioni relative al sottosuolo, generazione dei prodotti finali.

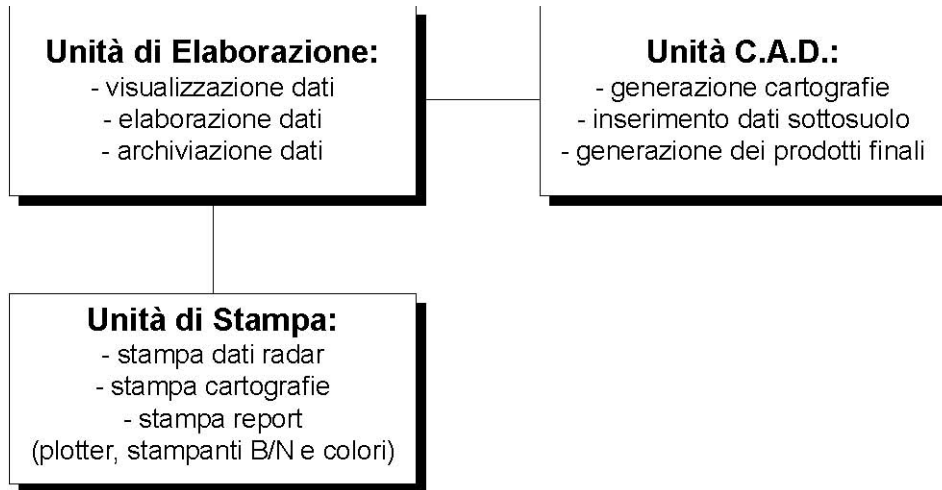


Fig. 2-5 - Composizione della parte di elaborazione di un radar

## 2.5 La gestione dei dati radar e le tecniche di elaborazione

I radargrammi rappresentano i risultati delle indagini georadar. Essi rappresentano una variazione delle caratteristiche dielettrica del mezzo ad alta risoluzione.

L'asse orizzontale riproduce la direzione di avanzamento dell'antenna, mentre l'asse verticale rappresenta la direzione di penetrazione degli impulsi. Tale distanza è espressa sotto forma di ritardo tra l'impulso emesso e quello riflesso ed è quindi pari a due volte la distanza antenna-bersaglio. Il valore del ritardo viene convertito in valore metrico tramite la conoscenza della velocità di propagazione del segnale nel mezzo.

Passo essenziale per la corretta lettura dei dati è quindi la determinazione della velocità di propagazione del segnale nel mezzo da indagare.

La taratura diretta non è sempre applicabile perché necessita della conoscenza della profondità del bersaglio. Tale conoscenza deve per forza scaturire da un accertamento preventivo (ad es. ispezione dei tombini nella ricerca servizi) o dalla applicazione di particolari algoritmi che consentono stime a posteriori dei valori di velocità del mezzo..

In generale, il segnale radar ricevuto dall'antenna risulta sempre caratterizzato dalla presenza di rumore ("noise") che deve essere rimosso al fine di enfatizzare il più possibile la visibilità dei bersagli ricercati. A tale scopo i dati acquisiti sul campo sono generalmente sottoposti ad un processo di elaborazione che ha lo scopo di eliminare tutto ciò che è relativo al rumore

Numerosi sono i processi di elaborazione a cui il segnale viene sottoposto prima dell'interpretazione dei dati. Di seguito sono indicati alcuni dei principali processi utilizzati:

**Filtraggio in frequenza:** Ogni singola traccia radar contiene un insieme di picchi che presentano un determinato periodo. Lo scopo del filtraggio nel dominio del tempo (filtraggio verticale) è quello di rimuovere tutte le frequenze spurie, cioè non connesse a bersagli presenti nel mezzo. Analogamente, l'insieme delle tracce connesse con una determinata struttura ne definisce una frequenza orizzontale e l'obiettivo del filtraggio orizzontale (dominio spaziale) è quello di rimuovere le basse frequenze (bande parallele) che non sono connesse ad alcuna struttura, ma che si generano nella zona tra antenna e superficie.

**Analisi di Fourier:** L'analisi dello spettro di Fourier serve per definire le frequenze di taglio del filtraggio e

per definire le caratteristiche filtranti del terreno.

Migrazione: Questa operazione è particolarmente adatta alla ricerca servizi. Infatti a causa della spiccata sensibilità periferica delle antenne radar, i sottoservizi generano riflessioni ad andamento iperbolico ed il processo di migrazione consente di rimuovere le code di queste iperboli conservando solo il punto di vertice che corrisponde alla posizione del bersaglio. In questo modo è possibile la detezione di servizi anche molto vicini, che altrimenti fornirebbero una riflessione molto confusa a causa delle riflessioni multiple.

Si riportano i significati delle principali definizioni in uso nella tecnica georadar.

## 2.6 Aspetti operativi

Dal punto di vista operativo l'acquisizione dati è effettuata spostando su di una linea retta una o più antenne (adagiate sul terreno) realizzando quella che prende il nome di "scansione".

Durante la scansione vengono collezionate una serie di riflessioni da punti adiacenti (tipicamente uno ogni 2 o 3 cm), le quali costituiscono l'immagine della sezione radar; in presenza di un oggetto sepolto (p.e. un tubo) si ottiene una immagine radar con una caratteristica forma iperbolica (vedi Fig. 2-6).

Per riconoscere il tipo di bersaglio, ovvero per verificare se esso è un bersaglio:

- concentrato (p.e. un trovante)
- lineare (p.e. un servizio)
- distribuito (p.e. uno strato)

si ricorre a più scansioni parallele.

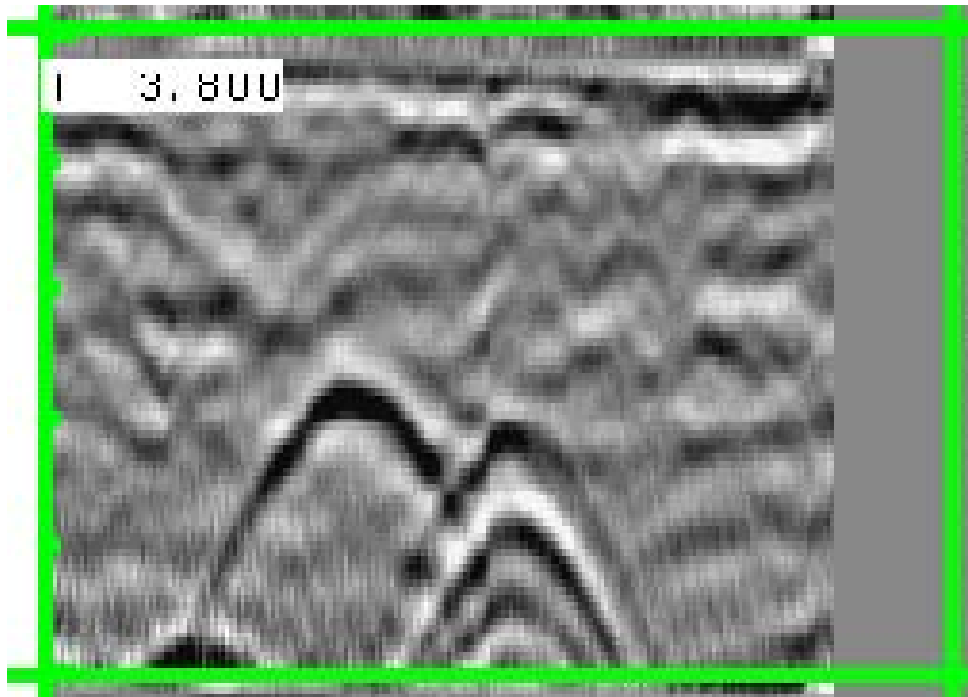


Fig. 2-6 Esempio di sezione radar

Esistono infine sistemi radar, dotati di array di antenne, che consentono di effettuare, con una unica scansione, l'acquisizione di più sezioni. Un esempio di array di 4 antenne è illustrato in Fig. 2-7; con una unica scansione sono in genere acquisite fino a 8 sezioni radar:

- 4 monostatiche (trasmette e riceve la stessa antenna)
  - 2 bistatiche (trasmette una antenna e riceve quella adiacente)
  - 2 cross-polari (trasmette una antenna copolare e riceve quella disposta in posizione ortogonale)
-

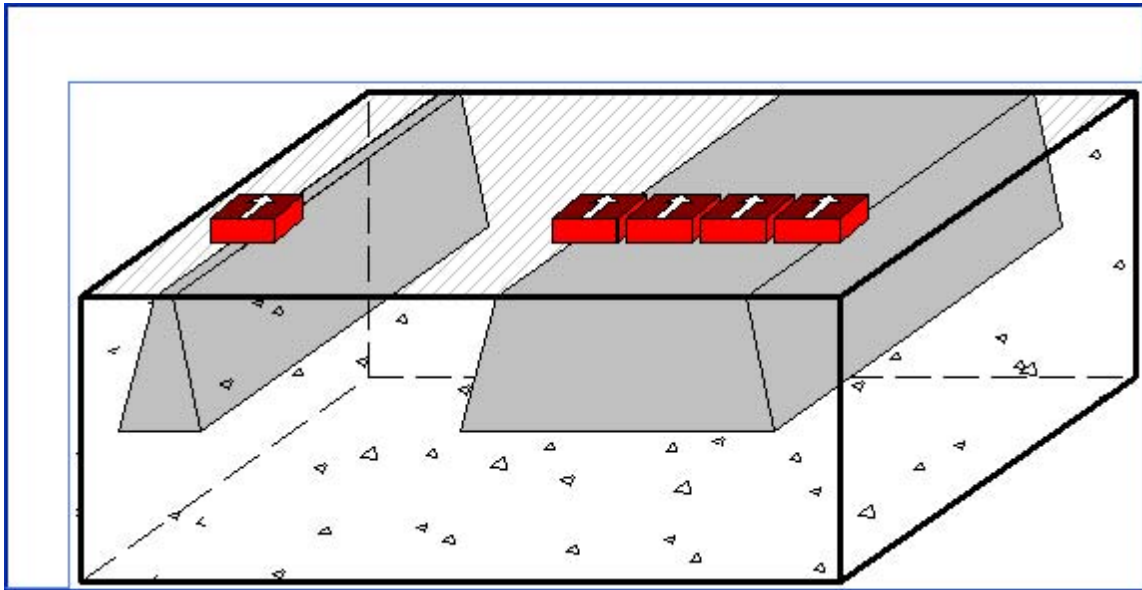


Fig. 2-7 - Esempio di array di antenne a confronto con antenna singola

In Fig. 2-8 è mostrato l'esempio di una acquisizione simultanea di più sezioni con un array di antenne.

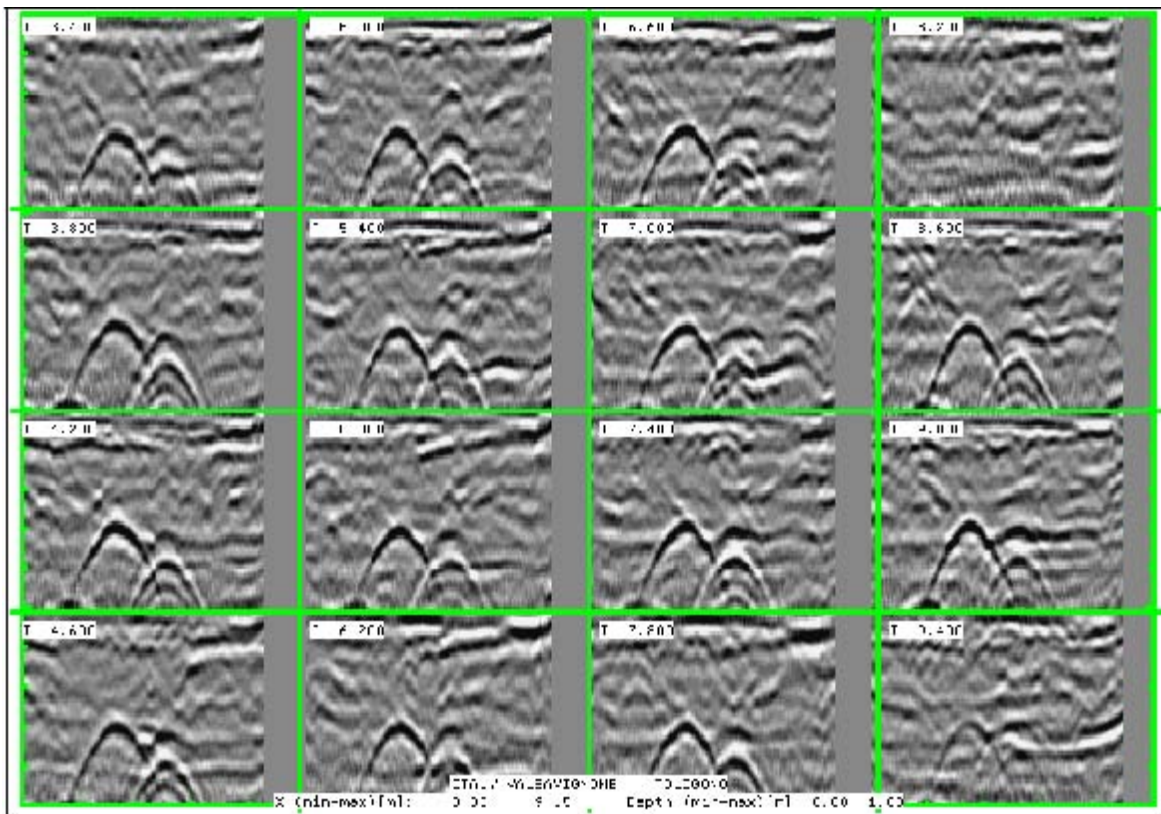


Fig. 2-8 Esempio di sezione radar multipla

I radar con array di antenne, fornendo una visione tridimensionale del sottosuolo, consentono una rappresentazione tomografica (tomografia) dei dati radar. Questa è una visione planimetrica del sottosuolo per fasce di profondità; la Fig. 2-9 illustra un esempio di tomografia per due fasce di profondità.

La qualità delle immagini ottenute può essere migliorata mediante opportune elaborazioni sia analogiche che digitali; il livello minimo di elaborazione necessario per la visualizzazione ed interpretazione dei dati radar è costituito da:

- filtri verticali (almeno passa alto)
- filtri orizzontali (almeno passa alto)
- guadagno variabile in funzione della profondità

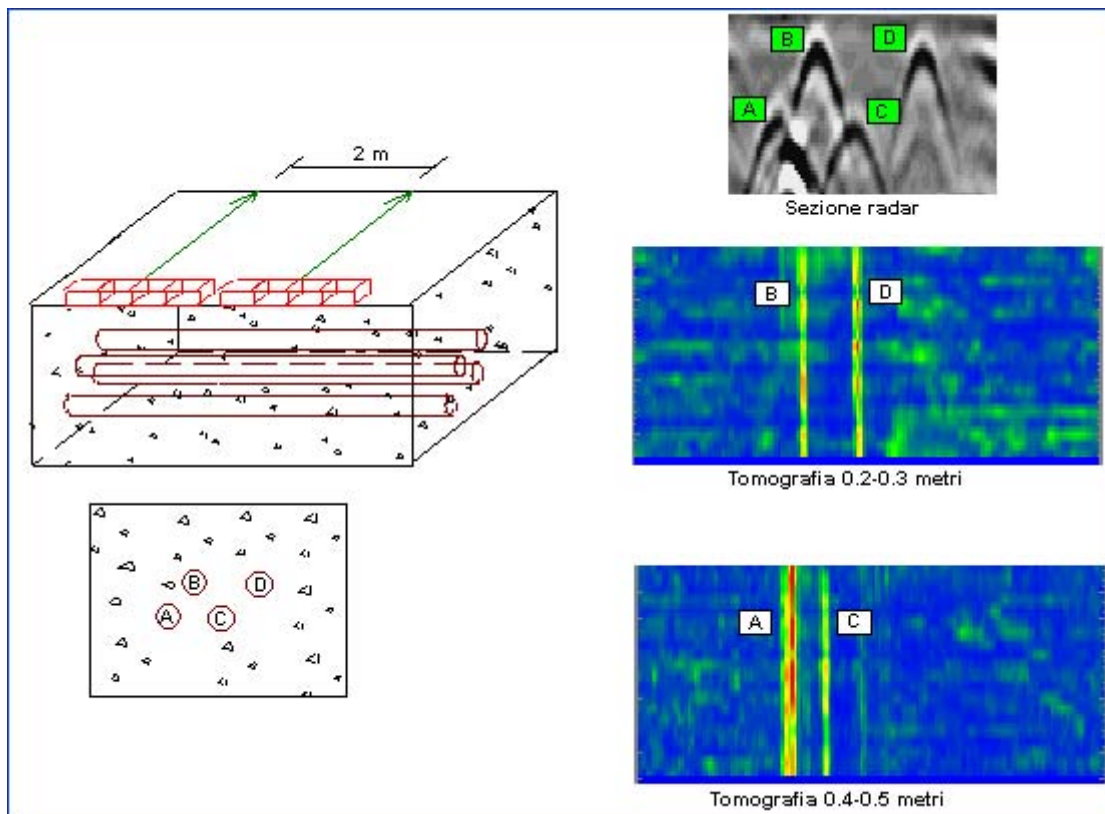


Fig. 2-9 - Esempio di tomografia

### 2.7 Selezione della frequenza radar (antenne utilizzate)

Uno degli aspetti determinanti nell'utilizzo del radar è la selezione della frequenza di trasmissione; tale scelta è in genere condizionata dal "trade-off" tra penetrazione, risoluzione ed ingombro del sistema.

Come illustrato in Tab. 2-1, in letteratura sono riportate, interpretando semplicisticamente la dipendenza della portata dalla frequenza, i legami tra la penetrazione, la risoluzione e le dimensioni delle antenne e la frequenza del radar.

Frequenza centrale (MHz)	Penetrazione (m)	Risoluzione verticale (m)	Dimensioni (m)
31	16	1.6	4.8
63	8	0.8	2.4
125	4	0.4	1.2
250	2	0.2	0.6
500	1	0.1	0.3
1000	0.5	0.05	0.15
2000	0.25	0.03	0.075

dati tratti da "Surface-penetrating Radar, D. J. Daniels, Electronics & Communication Engineering Journal, August 1996

Tab. 2-1 Dipendenza dalla frequenza dei parametri di un sensore radar

In pratica, essendo desiderabile una alta penetrazione si dovrebbero scegliere frequenze basse; ciò va però a scapito della risoluzione, e può determinare limiti operativi nella dimensione della antenna. Perciò la scelta della frequenza è frutto di un compromesso tra le seguenti esigenze:

- basse frequenze sono desiderabili per una maggiore penetrazione

- alte frequenze sono desiderabili perché consentono di ottenere una migliore risoluzione, e quindi una migliore qualità dell'immagine radar; inoltre ad alte frequenze corrispondono antenne più piccole, e quindi più leggere e maneggevoli.

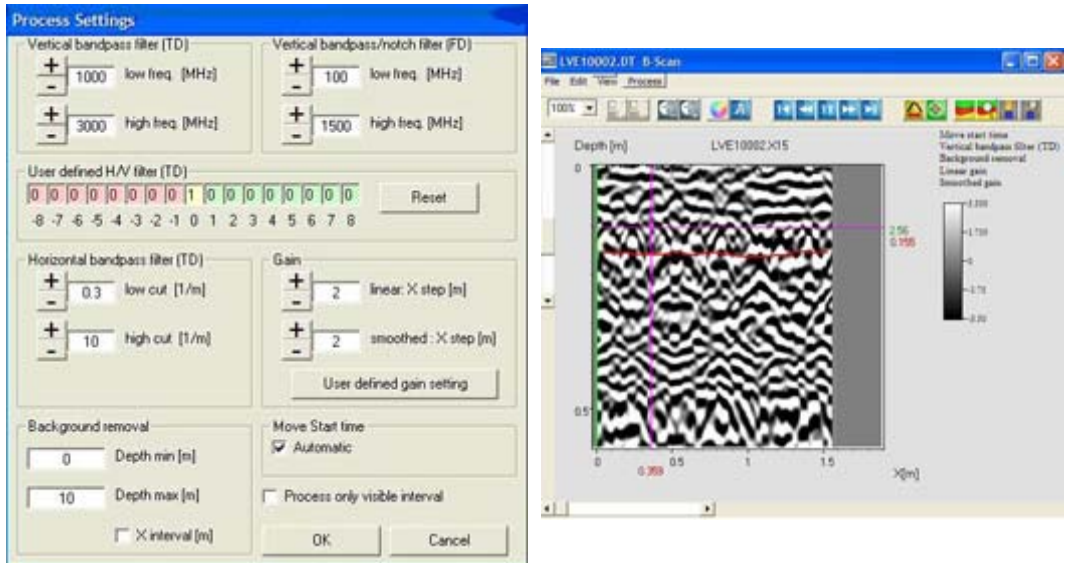
Dal punto di vista applicativo si applicano frequenze attorno ai 400-600 MHz per profondità di indagine dell'ordine dei 150 centimetri, mentre si scende ai 100-300 MHz per profondità dell'ordine dei 300 centimetri.

### 3.) IL SISTEMA HI-MOD (SVILUPPATO E PRODOTTO DA I.D.S. INGEGNERIA DEI SISTEMI – ITALIA, PISA)

TECHNICAL FEATURES	
DATA LOGGER	Panasonic CF19 (or alternatively any Widows PC with Ethernet LAN interface)
RADAR ACQUISITION UNIT	IDS DAD FASTWAVE with RISK2 acquisition software
MAX NUMBER OF CHANNELS	Up to 8
ANTENNA FREQUENCIES	200 and 600 MHz or 400 and 900MHz
POSITIONING	Metric wheel and/or GPS interface
COLLECTION SPEED	16 m/sec
BATTERY OPERATING TIME	> 8h
WEIGHT	29 Kg
SIZE ON GROUND	50 cm x 60 cm
SURVEY PATH WIDTH	2 radar scans on the same line
WIRELESS CONNECTION	available
ENVIRONMENT	IP 65
COMPLIANCE	CE

**RIS MF Hi-Mod #1 BASIC** is offered with the **GREED BASIC** software tool, an easy to use post processing software, wich operates with a single radar map and is designed to be a basic interface for IDS RIS GPR system family product.

---



## SOFTWARE SPECIFICATION: GRED Basic

### PROCESSING SOFTWARE

### GRED BASIC

- B-scan view
- Graphic comment and parameters
- Colors scale/palette
- Propagation velocity estimation
- Wiggled mode view
- Power trace analysis
- Header file view
- GPS markers view
- Layers analysis and view
- Data Processor with all the basic 2D filters
- Gain filters
- Migration time domain filters
- Background removal filter
- Macro for filter functions
- Insert targets and layers function
- Insert core and view

### 3.2 L'unità di elaborazione dei dati radar

La stazione di elaborazione dei dati radar è costituita da un PC opportunamente configurato dotato di doppio monitor. Al suo interno si trovano i codici di elaborazione dei dati radar (GRES) e il modulo CAD (IDSGeomap -Autocad) per il trattamento cartografico dei risultati. L'ambiente di lavoro è studiato per una elevata interattività e per una efficace gestione della notevole mole di dati generati dal radar.

L'operatore durante la fase di elaborazione può visualizzare contemporaneamente i radargrammi relativi all'area desiderata e contemporaneamente le mappe tomografiche corrispondenti. Questo al fine di avere una visione 3D del sottosuolo.

### 3.3 Le tavole di restituzione cartografica

Al termine del processo di estrazione delle informazioni radar tutti i bersagli riconosciuti vengono trasferiti automaticamente nell'ambiente cartografico di riferimento al fine di produrre le tavole finali del lavoro.

In Fig. 3-4 è mostrato un esempio di restituzione cartografica relativa ad un'indagine su strada finalizzata alla ricerca dei sottoservizi.

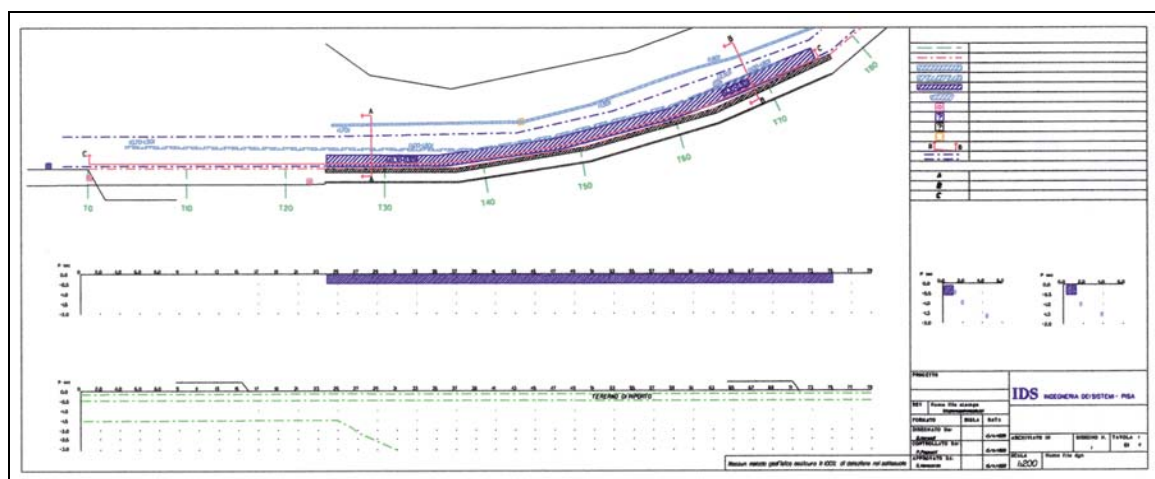


Fig. 3-4 – Le tavole finali del lavoro

Il sistema permette di visualizzare i risultati secondo le seguenti modalità:

- Vista in pianta
- Vista rettificata
- Sezioni schematiche trasversali
- Sezioni schematiche longitudinali

#### 4) PRINCIPALI APPLICAZIONI DEL SISTEMA GEORADAR

Attualmente le applicazioni delle tecniche di indagine con sistemi georadar, identificabili sotto il termine Ground Probing Radar (GPR) sono varie e numerose. I principali settori di applicazione possono essere così schematizzati:

- Detezione, mappatura e catasto del sottosuolo
  - ricerca di sottoservizi
  - ricerca di manufatti
  - analisi dei profili stratigrafici del terreno
  - Identificazione delle caratteristiche litologiche del terreno
  - Supporto alla progettazione di posa con tecniche "directional drilling"

questa attività è sicuramente tra le più conosciute e dove il prodotto radar si è maggiormente specializzato ottenendo buoni risultati di diffusione e con prospettive di ulteriore sviluppo.

Questa attività copre:

**a) la necessità delle imprese di scavo per la posa di sottoservizi inerenti agli obblighi derivanti dalla presentazione dei piani di sicurezza sul lavoro, nella redazione dei piani è espressamente richiesta l'individuazione e la localizzazione certa dei sottoservizi;**

**b) la detezone e mappatura è necessaria per tutte le attività di posa di cavi con tecniche NO-DIG, cioè senza scavo; tecniche che si stanno rapidamente diffondendo in tutto il mondo in particolare in ambienti urbani. Le macchine operatrici con tecnologie trenchless in Italia sono attualmente circa 60 e dovrebbero raddoppiare nei prossimi due anni.**

**c) Piani Urbani dei servizi nel sottosuolo (PUGGS) G.U. dell'11/03/99. E' una direttiva volta alla conoscenza della realtà delle reti ed alla definizione delle caratteristiche degli interventi per le nuove opere e per la manutenzione di quelle esistenti in modo da migliorare l'efficienza, la qualità dei servizi e limitare gli impatti sociali ed ambientali. Tra le attività preminenti c'è l'obbligo dei comuni con più di 30.000 abitanti di realizzare il catasto del sottosuolo entro cinque anni; per questa attività specifica l'impiego del radar è fondamentale. Altra attività importante è quella rivolta agli acquedotti verificando la rete, gli allacci clandestini e con l'ausilio di un geofono le perdite di acqua.**

- Ingegneria Civile
  - indagini strutturali su pareti
  - collaudo e verifica delle strutture
  - localizzazione di armature nel cemento armato

Dopo i recenti crolli di abitazioni in varie città italiane l'attività di controllo su strutture e manufatti si sta diffondendo velocemente ed in futuro l'obbligo per ogni fabbricato di disporre di un libretto di controllo sarà in vigore (oggi è in vigore solo a Roma). Il radar inoltre, è sempre di più utilizzato per il controllo dei manufatti in cemento armato sia per controllare lo stato di conservazione (il cemento armato ha superato i 60 anni) per poterne effettuare la manutenzione ordinaria e straordinaria sia per effettuare verifiche e collaudi di strutture nuove. Controllo e verifica di fondazioni sia per verificarne la profondità, le caratteristiche e la geologia. Controllo e verifica di gallerie sia stradali che ferroviarie analizzando sia lo stato della copertura che nell'area immediatamente successiva alla stessa, potendo verificare la presenza di eventuali fratture, lo stato dei ferri dell'armatura, la presenza di cavità o stato della roccia a contatto.

- **Beni Archeologici**
  - indagini per la scoperta di nuovi siti archeologici*
  - identificazione di strutture archeologiche*
  - indagini per la delimitazione delle aree archeologiche*
  - identificazione di manufatti archeologici*

***L'applicazione archeologica fa parte della storia del radar fin dal suo primo uso ed è ormai sempre più spesso utilizzato. In particolare, una volta specializzato e definita una norma applicativa che garantisca la committenza (attività in corso nell'ambito del programma Parnaso) potrà essere applicato per il rilievo archeologico di grandi opere come progetto***

---

**alta velocità, autostrade, nuovi insediamenti abitativi ecc.**

- **Beni Culturali**
  - verifica degli spessori degli intonaci**
  - verifica di distacchi di affreschi**
  - verifica di distacchi di coperture facciate**
  - indagini non distruttive su pareti**
  - indagini su pavimenti**

## 5) ESPERIENZE NEI DIVERSI SETTORI DI IMPIEGO

Di seguito sono descritti alcuni esempi applicativi relativi ai diversi settori di impiego del sistema RIS.

### 5.1 Esempio di applicazione: la ricerca servizi

Nell'ambito della ricerca servizi i sistemi radar attualmente in uso permettono di raggiungere elevate precisioni in termini di capacità di localizzazione delle reti tecnologiche esistenti. Vi sono poi sistemi radar in grado di fornire mappe di riconoscimento relative alle caratteristiche litologiche dei terreni esistenti; questo allo scopo di fornire un valido supporto alle tecniche di perforazione con metodi DIG e NO-DIG.

In Fig. 5-1 è mostrato un esempio di una mappa cartografica relativa ad un'indagine radar finalizzata alla ricerca servizi. In essa sono localizzati su una base cartografica di riferimento, tutti i tubi rilevati dalle mappe radar acquisite e, inoltre, sono mostrate sezioni schematiche trasversali e longitudinali di valido supporto agli operatori di scavo.

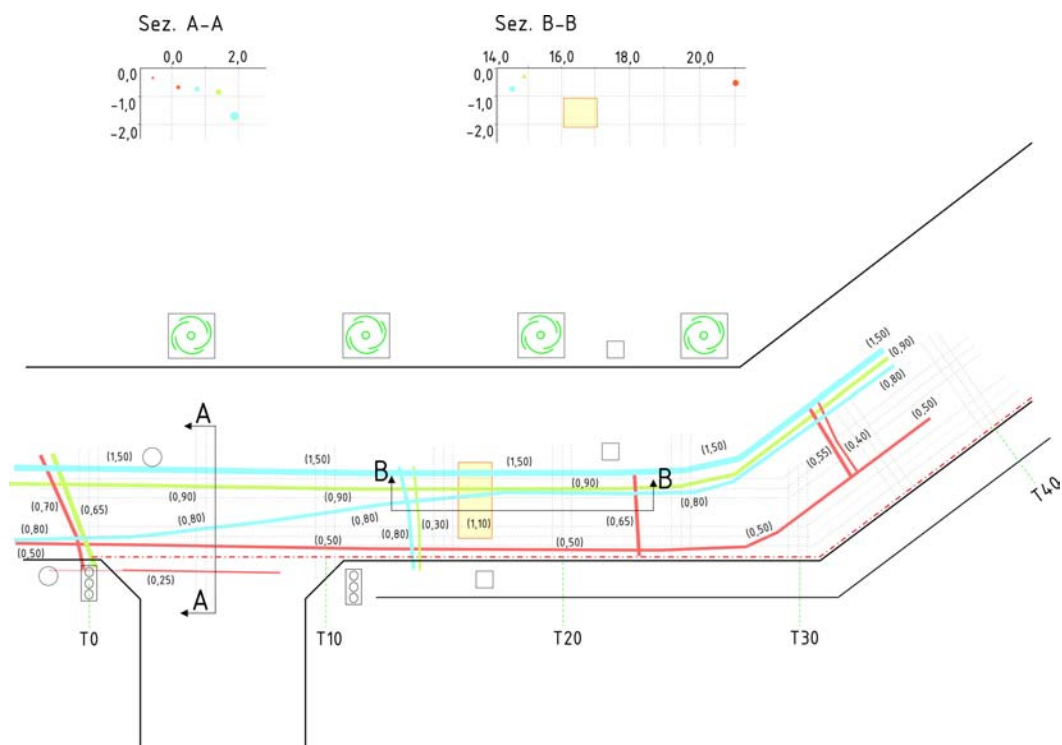


Fig. 5-1 – Esempio di output della mappa cartografica

### 5.2 Esempio applicativo: il rilievo strutturale di una colonna

A titolo di esempio si riportano i risultati di indagine radar condotta su di una colonna portante a base

rettangolare, in cui l'obiettivo era di riconoscere eventuali anomalie strutturali presenti al suo interno.

Esternamente la colonna risultava essere costituita da blocchi di calcare a faccia vista sovrapposti in modo geometrico e coerente.

Per tale indagine è stata utilizzata un'antenna ad alta frequenza mediante la realizzazione di tre scansioni parallele dalla base della colonna fino ad una altezza di circa 3 metri dal pavimento.

L'analisi dei dati radar mostra la presenza di una differenziazione strutturale (in senso verticale), la cui linea di transizione è localizzata all'altezza di 1.5 metri dal pavimento e riconoscibile nelle sezioni illustrate in Fig. 5-21. Tale discontinuità è visibile anche nelle mappe di penetrazione del segnale e.m. (vedi Fig. 5-22), le quali consentono di discriminare aree con diversa proprietà elettromagnetiche della struttura. In Fig. 5-22 si osservano infatti due zone distinte con profili di energia riflessa fortemente diversi. Tale discontinuità è correlabile ad una delle seguenti ipotesi:

- differente metodologia di costruzione; in particolare potrebbe trattarsi di una giustapposizione dei blocchi calcarei fino all'altezza di 1.50 metri da terra, seguita da un riempimento a sacco con materiale dello stesso tipo.
- diversa tipologia di materiali utilizzati.

In ogni caso si evince la sovrapposizione di un materiale disomogeneo ad uno più omogeneo.

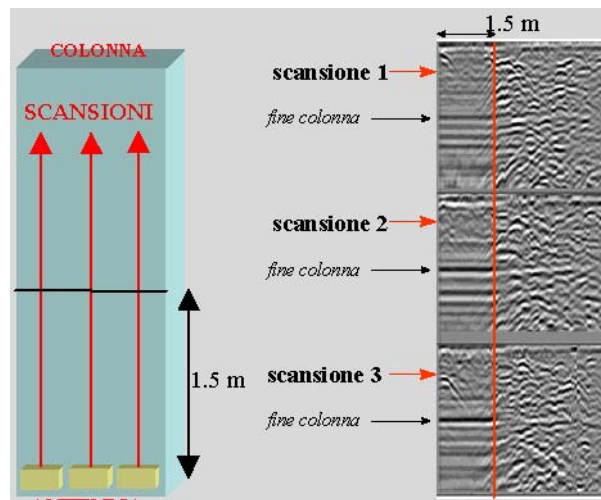


Fig. 5-21 - Schema della colonna e sezione radar associata ad alta frequenza

### 5.3. Esempio applicativo: il rilievo della struttura interna di una parete muraria

In Fig. 5-23 è mostrata la rappresentazione in pianta di una parete muraria relativa ad una chiesa di Assisi (PG), sulla quale è stata effettuata un'indagine radar allo scopo di rilevare la presenza di eventuali anomalie strutturali. Su di essa sono state effettuate scansioni orizzontali con un array di 2 antenne a media frequenza. L'analisi dei dati radar mette in evidenza la notevole capacità del sistema georadar di fornire informazioni in merito alla struttura interna del manufatto. In essa è chiaramente visibile l'andamento della struttura muraria (contrafforte) retrostante la parete, nonché la presenza di una porta di accesso murata e solo visibile dall'interno della parete.

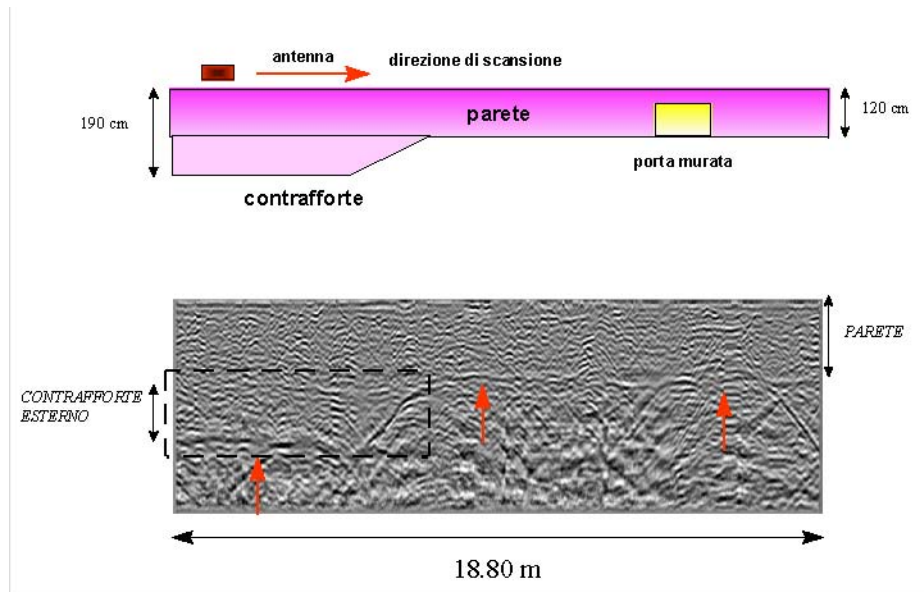


Fig. 5-23 - Schema di una struttura muraria e relativa sezione radar acquisita con antenne a media frequenza

In Fig. 5-24 è stata schematizzata la geometria di acquisizione radar, realizzata su una parete muraria, all'interno del Salone del palazzo comunale di Padova.

La Fig. 5-25 mostra la sezione radar longitudinale realizzata secondo lo schema di Fig. 5-24. Tale prova aveva lo scopo di evidenziare l'interfaccia muro-galleria e quindi rilevare lo spessore della muratura.

Dall'immagine in Fig. 5-25 si osserva un allineamento sub orizzontale posto alla profondità di circa 2 metri chiaramente correlabile alla transizione muro – galleria 1 ovvero alla fine della parete. Tale transizione corrisponde al passaggio muro-aria. Il forte eco inclinato a 45° e visibile in sezione radar è prodotto dalla porta di accesso alla cantina.

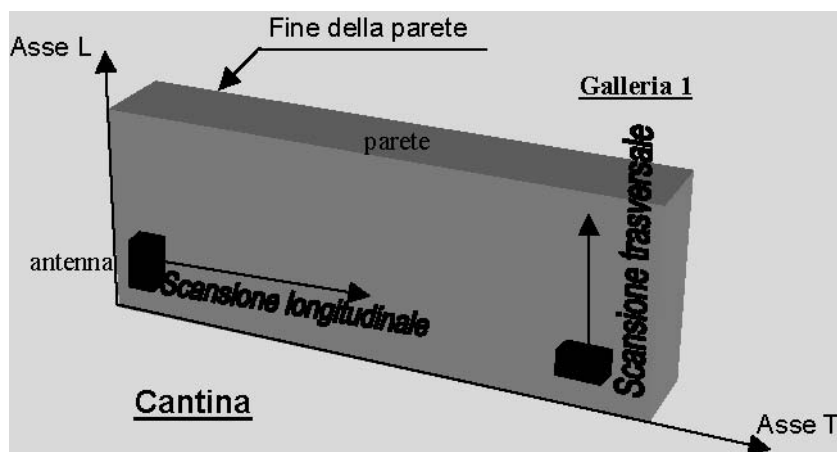


Fig. 5-24 - Schema di acquisizione radar, realizzata sulla parete della Cantina confinante con la Galleria 1

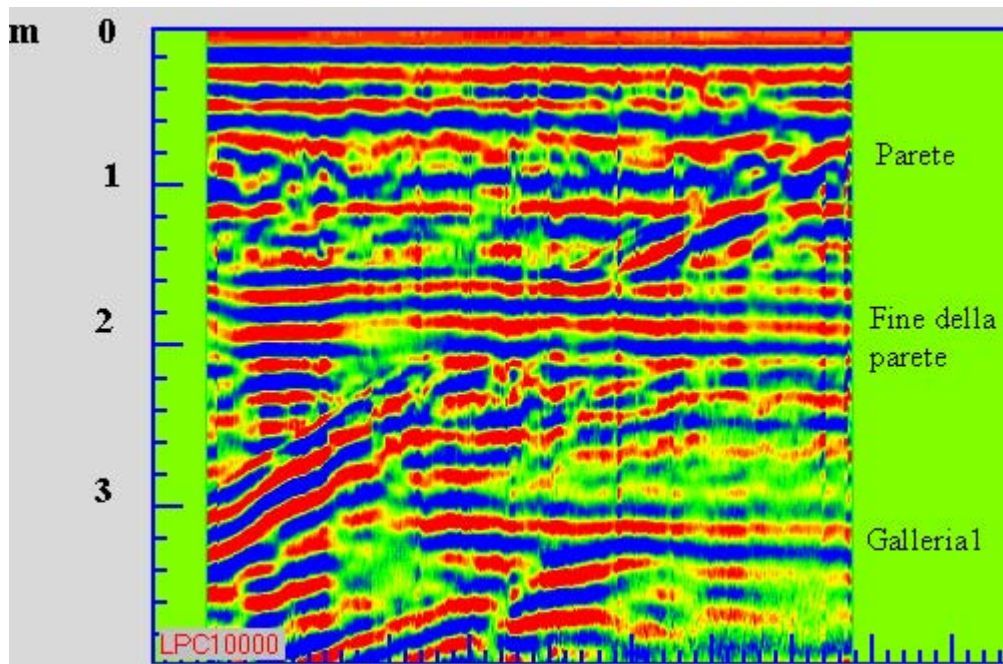


Fig. 5-25 - Sezione radar relativa alla parete muraria