



**Indagini georadar GPR eseguite nel Comune di  
Belforte del Chienti (MC)**

---

**Oggetto:** Indagine georadar.

**Committente:** Comune di Belforte del Chienti

**Commessa:** 455-22

---

Falconara M.ma, li 29 Aprile 2022

Il Responsabile GECO srl  
Dott. Marco Gaggiotti

 328-2040857  


## I N D I C E

1	PREMESSA .....	3
2	GEORADAR .....	3
2.1	Cenni teorico metodologici .....	3
2.2	Descrizione della strumentazione .....	6
2.3	Pre processing .....	6
2.4	Processing .....	7
3	CONCLUSIONI .....	7

### **TAVOLE**

**TAV. 1** Ubicazione Profili GPR

**TAV. 2** Profili GPR e Principali anomalie evidenziate

### **ALLEGATI**

**ALL.1** Esempi di radargrammi

## 1 PREMESSA

Su incarico del Comune di Belforte del Chienti è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche con metodologia GPR, finalizzata alla ricerca di cavità nel Comune di Belforte del Chienti (MC).

I risultati dello studio sono esposti nella Tavole allegate al presente rapporto tecnico.

## 2 GEORADAR

### 2.1 Cenni teorico metodologici

La prospezione tramite Georadar si basa sull'utilizzo di onde elettromagnetiche per discriminare interfacce tra livelli dotati di differente comportamento (resistività, costante dielettrica, ecc) ed individuare variazioni di tali proprietà, utilizzabili tramite interpretazione dei risultati, per definire parametri sia geometrici che fisici dello spazio indagato.

I principi alla base della metodologia prevedono che un impulso elettromagnetico della durata di pochi nano-secondi venga inviato nel mezzo tramite un'antenna trasmittente. Tale segnale, durante il suo tragitto all'interno del mezzo, viene in parte riflesso dalle interfacce tra livelli con caratteristiche elettromagnetiche differenti ed in parte trasmesso nei livelli sottostanti. I segnali oggetto di riflessione vengono captati in superficie tramite un'antenna ricevente; la quale può essere la stessa utilizzata per la trasmissione (configurazione monostatica) o separata da questa di una certa distanza (configurazione bistatica) Fig. 1.

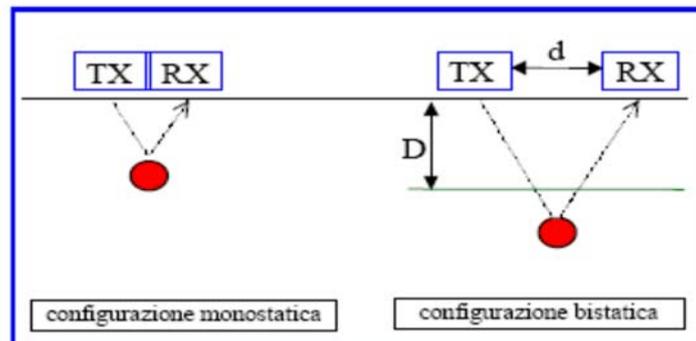


Fig. 1: Configurazione delle antenne.

La scelta tra le configurazioni possibili, influenzando la profondità d'indagine ed il livello di definizione spaziale, viene fatta in virtù degli obiettivi da indagare. Di notevole importanza è inoltre la scelta della frequenza dell'antenna, infatti, ad una bassa frequenza corrisponde una maggiore penetrazione del segnale in profondità ma con uno scarso dettaglio delle anomalie riscontrabili (risoluzione bassa), diversamente a frequenze maggiori corrisponde una risoluzione più alta ma una minore penetrazione del segnale in profondità.

Nei sistemi Georadar più comuni, e nello strumento utilizzato per la presente prospezione, i segnali a radiofrequenza vengono generati da un'unità centrale, e la loro trasmissione

attraverso il mezzo da indagare è operata da una o più antenne che vengono movimentate lungo la superficie dello stesso.

I dati raccolti, opportunamente elaborati, sono memorizzati e rappresentati sull'unità di controllo. Eventuali discontinuità, o oggetti isolati presenti al di sotto delle superfici indagate generano immagini radar ("o radargrammi") con caratteristiche peculiari, di cui sono un esempio le forme iperboliche illustrate in Fig. 2.

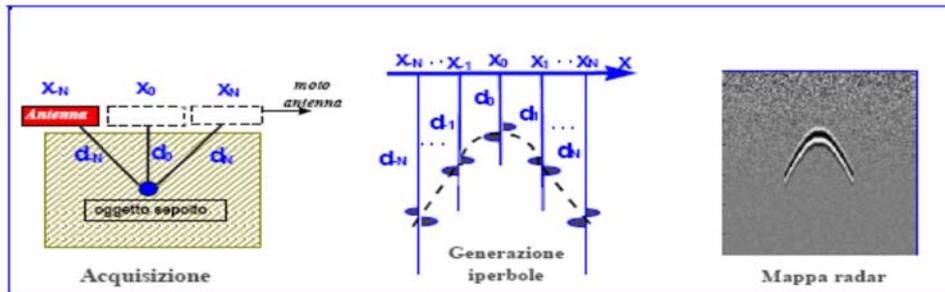


Fig. 2: Generazione di una mappa radar.

I profili vengono in genere acquisiti lungo reticoli con direzioni ortogonali e distanze variabili, consentendo la ricostruzione spaziale dell'andamento dei livelli e degli oggetti dotati di differenti caratteristiche elettromagnetiche, tramite sezioni verticali radar-stratigrafiche Fig. 3.

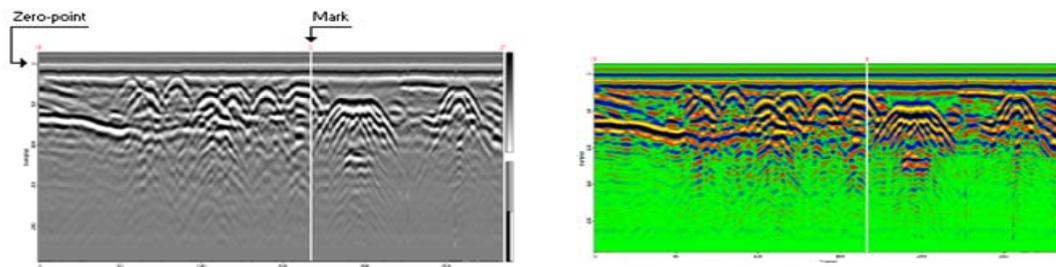


Fig. 3: Sezione radar.

Un'altra caratteristica fondamentale della propagazione delle onde elettromagnetiche all'interno dei mezzi, è l'assorbimento delle stesse, il quale avviene in misura dipendente dalle caratteristiche elettriche. In generale un mezzo omogeneo è definibile in linea di massima, da un punto di vista elettrico, dalla seguente coppia di valori:

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

Da questi valori è possibile prevedere alcune caratteristiche della propagazione delle onde elettromagnetiche all'interno del mezzo.

Analizzando in dettaglio il processo di generazione del radargramma, si ha che: il 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 nano-secondi 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, dove il valore centrale rappresenta la frequenza caratteristica o frequenza centrale dell'antenna, che corrisponde alla frequenza dominante

dell'impulso. (La frequenza centrale dell'antenna determina le caratteristiche di risoluzione e di massima profondità d'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 guadagno applicata.

Nella pratica delle prospezioni, il principale fattore che limita la trasmissione del segnale, e quindi la possibilità di acquisire bersagli sub superficiali, è l'assorbimento.

L'onda elettromagnetica passando in un qualsiasi materiale perde energia. Questo fenomeno si manifesta con l'attenuazione del segnale. Nei suoli, l'attenuazione per frequenze al di sopra dei 100MHz aumenta notevolmente con l'avvicinamento alla frequenza di rilassamento dell'acqua (oltre i 10 Ghz). Da ciò, all'aumentare della frequenza utilizzata aumenta l'attenuazione. La suddetta attenuazione si misura in decibel per metro (dB/m), dall'osservazione della seguente tabella Davis & Annan ('89) si può vedere come l'acqua marina assorba moltissimo. Un altro materiale "assorbente" è l'argilla. Empiricamente si osserva che  $\alpha$  (assorbimento) è direttamente proporzionale alla conducibilità ed inversamente proporzionale alla radice della permittività. Fattore fondamentale nei suoli è la presenza dell'acqua, che ridisciogliendo i sali presenti, alza la conducibilità ed il conseguente assorbimento.

Materiale	$\alpha$ (dB/m)	Materiale	$\alpha$ (dB/m)
Air	0	Shales	1 - 100
Distilled water	$2 \times 10^{-3}$	Silts	1 - 100
Fresh water	0.1	Clays	1 - 300
Sea water	$10^3$	Granite	0.01 - 1
Dry sand	0.01	Dry salt	0.01 - 1
Saturated sand	0.03 - 0.3	Ice	0.01
Limestone	0.4 - 1.0	-	-

*Tab. 1: Assorbimento.*

## 2.2 Descrizione della strumentazione

L'indagine è stata eseguita utilizzando un'unità centrale di acquisizione VIY5-37 e prodotta dalla Transient Technologies LLC, controllata tramite un pc portatile ed operante secondo il seguente diagramma semplificato:

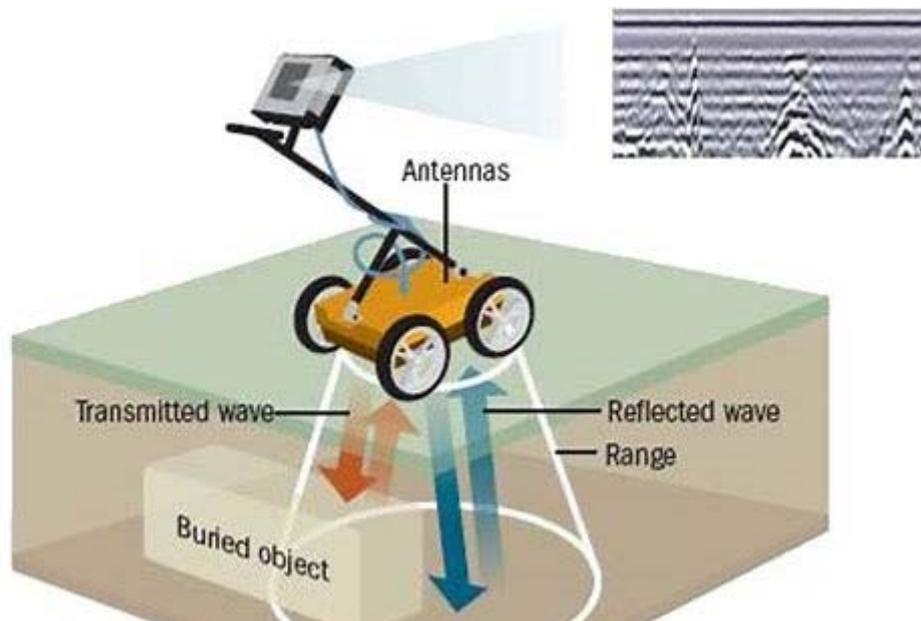


Fig. 4.: Schema strutturale semplificato Georadar.

- Caratteristiche tecniche:
  - Conversione A/D 18 bits
  - N° canali 4
  - Time Range 16...40 nsec / 66...166 nsec (con passo 1 nsec)
  - Scan rate 120/s
  - Campioni per scansione 1000
  - Trasferimento dati tramite porta USB
  - Software di acquisizione/elaborazione Planner, Synchro3 (OS Win/XP)
  - Antenne; 300 MHz, 700 MHz.

## 2.3 Pre processing

Durante la fase di acquisizione in campagna, si è preferito applicare ai dati i soli filtri passa alto necessari alla rimozione dei disturbi principali, preferendo rimandare alla successiva fase di elaborazione la determinazione dei parametri ottimali.

Allo scopo di migliorare il rapporto segnale rumore, si è utilizzata una procedura di somma di campioni spinta fino a 4 campioni per ogni impulso acquisito; anche le finestre temporali sono state adeguate alla presenza di segnali utili in profondità ed alla penetrazione del segnale fino a circa 50 nS con antenna centrata alla frequenza di 300 Mhz e 700 Mhz.

## 2.4 Processing

La strategia di processing è stata adeguata ai singoli profili ed ha visto l'utilizzo di alcune fasi comuni, di seguito elencate:

- Rimozione rumore di fondo
- Analisi caratteristiche di attenuazione
- Applicazione guadagno
- Dove ritenuto necessario sono stati utilizzati filtraggi in frequenza, passa banda e passa alto/basso.

## 3 CONCLUSIONI

I profili acquisiti mediante una doppia antenna a frequenza centrale di 300 MHz e 700 MHz sono stati opportunamente processati al fine di ottenere sezioni che potessero essere oggetto di interpretazione.

La totalità delle sezioni mostra segnale radar utile fino a 45/50 ns, corrispondenti in base alle stime fatte a circa 2.00/2.20 m di profondità dal piano campagna.

Nell'area di indagine il target principale è la ricerca di cavità.

I profili sono stati acquisiti secondo una geometria compatibile con le aree di indagine creando una maglia attraverso l'esecuzione di profili ortogonali tra loro a spaziatura variabile da 1 a 2 m.

Dall'interpretazione dei radargrammi si evidenzia quanto segue:

- Presenza di un'anomalia planare nell'intera area di indagine ascrivibile alla presenza di una rete elettrosaldata di maglia 200x200 in un range di profondità 0.40-0.50 m dal piano campagna;
- Presenza di anomalie riconducibile a probabili cavità e/o presenza di vuoti nel sottosuolo in un range di profondità 0.85-2.00 m dal piano campagna, evidenziate in planimetria con colorazione magenta.

Si precisa che il disturbo dato dalla presenza di una rete elettrosaldata metallica in tutta l'area di indagine ha attenuato notevolmente il potere risolutivo dell'antenna non consentendo un maggior grado di penetrazione nel terreno.

In conclusione, preme ricordare che le interpretazioni derivano dalla lettura soggettiva di indagini indirette, che per le caratteristiche intrinseche della metodologia, sono soggette a:

- approssimazioni conseguenza di interpolazioni soggettive di profili aventi spaziatura metrica o decametrica, potenzialmente riducibili con acquisizioni effettuati con spaziature più ridotte o griglie più dense (dati GPR 2.5D - 3D);
- possibilità di falsi positivi e falsi negativi, in particolare ove non sono chiaramente visibili nette isorientazioni dei riflettori individuati (strutture complesse) e quando i materiali indagati non mostrano forti contrasti di permittività;
- approssimazione nella definizione delle profondità dei bersagli, sia per variazioni in profondità e laterali della velocità dei mezzi indagati (che sono funzione delle differenti proprietà dielettriche), che per la mancanza di analisi di velocità più accurate che risulterebbero onerose in termini di tempo e costi.

A tal proposito si ritiene opportuno suggerire che per dare una corretta e certa attribuzione alle anomalie geofisiche (metodo indiretto) sopra descritte è sempre necessaria ed opportuna una taratura con indagini dirette come video-ispezioni, saggi e carotaggi.

Falconara M.ma, 29 Aprile 2022

GECO srl  
Il Responsabile  
Dott. Geol. Marco Gaggiotti



**GECO** s.r.l.  
Via Osoppo, 38 - Tel/Fax 071 9156126  
60015 FALCONARA MARITTIMA (AN)  
C.F. e P.IVA 0254187422

**Geco Srl Servizi Geologici & Indagini Sismiche**  
Via Osoppo, 38 / 60015 Falconara Marittima (AN)  
P. IVA 02541280422 tel e fax 071 9156126

 [www.gecogeologia.com](http://www.gecogeologia.com)  [info@gecogeologia.com](mailto:info@gecogeologia.com)  328.02.82.743 / 328.20.40.857



TAV.1

Committente: Comune di Belforte Del Chienti    Commessa :455-2022

Oggetto: Indagini georadar (GPR) eseguite per ricerca di cavità presso il comune di Belforte Del Chienti (MC).



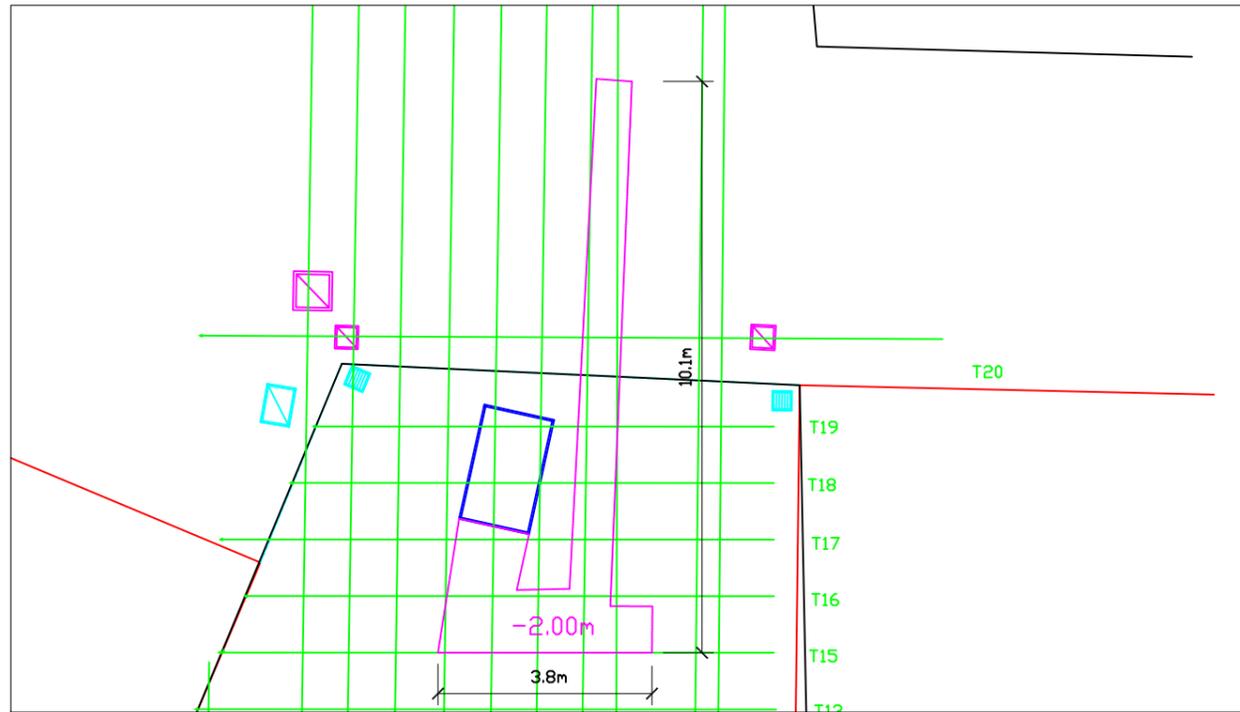
Legenda

 Profili GPR

TAV.2

Committente: Comune di Belforte Del Chienti Comessa :455-2022

Oggetto: Indagini georadar (GPR) eseguite per ricerca di cavità presso il comune di Belforte Del Chienti (MC).



Legenda

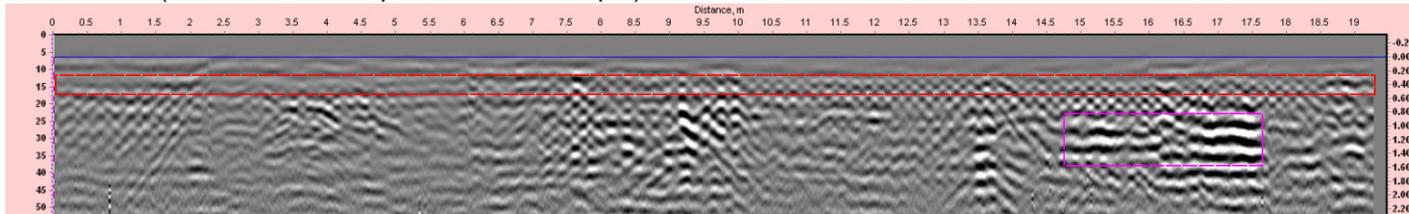
→ Profili GPR

□ Probabile cavità

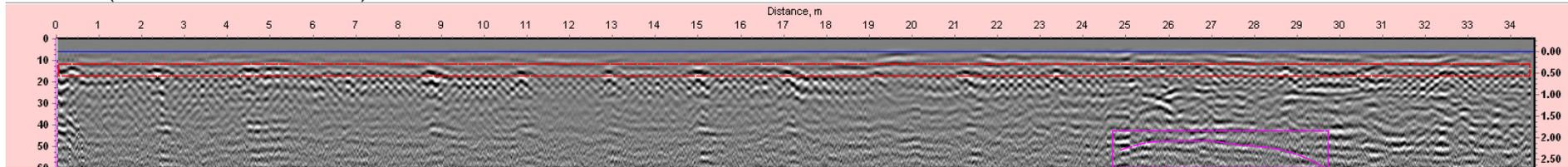


## ESEMPI DI RADARGRAMMI

Profilo Ln16 (Area adiacente al palazzo del Municipio)



Profilo L2 (Area antistante la Chiesa)



Legenda:



Probabile cavità e/o presenza di vuoti



Rete elettrosaldada metallica 200x200