

**WORKSHOP DI GEOFISICA**  
**Rovereto, 02 Dicembre 2022**

---

***INDAGINI CON GROUND PENETRATING RADAR  
ED APPLICAZIONI IN SITI OGGETTO DI BONIFICA  
E/O DISMESSI***

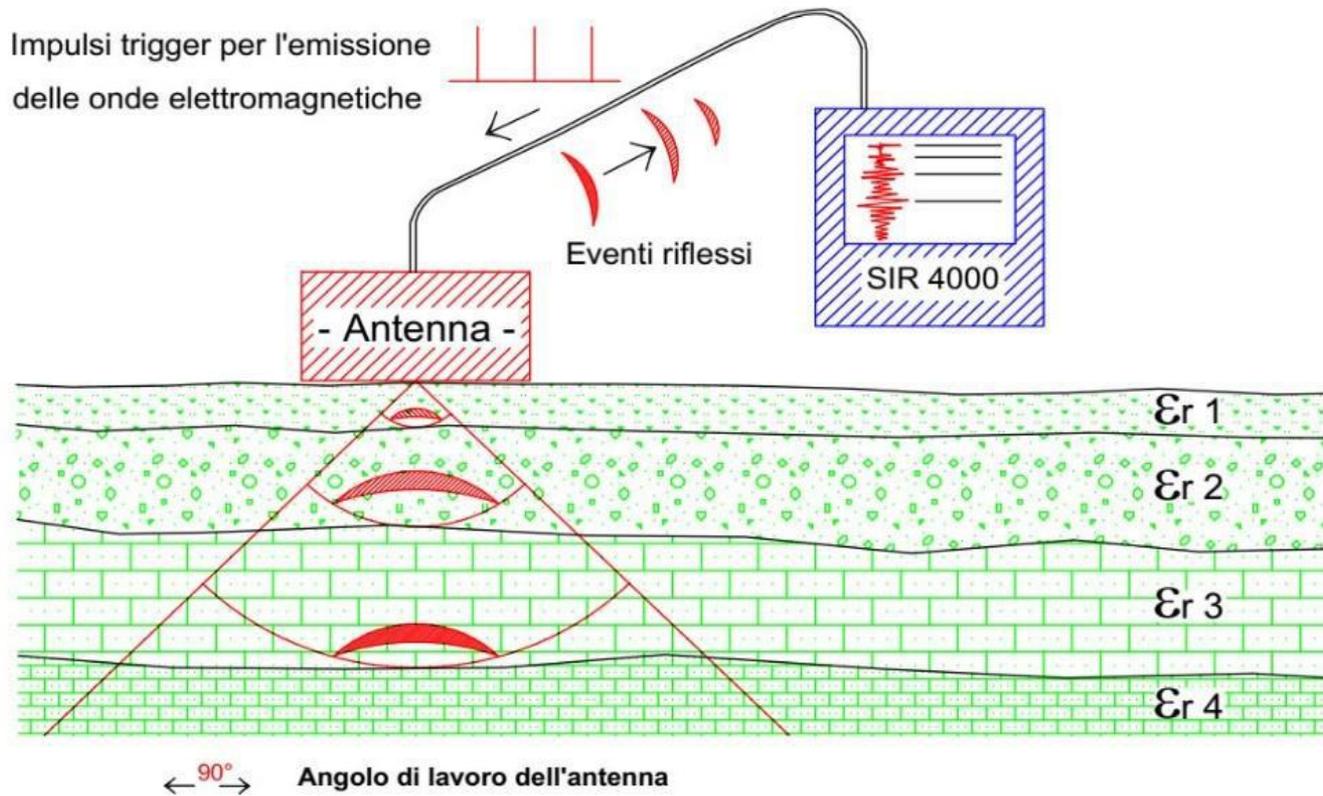
---

**Dott. Antonio Edoardo Bracci**  
**Prospezioni Geofisiche dal 1970**  
**Via Costiera, 3/A – 47122 Forlì**

# Principio di funzionamento dell'attrezzatura

Il metodo georadar, ***introdotta in Italia nel 1983 da Antonio Edoardo Bracci***, è basato sul principio della propagazione di impulsi elettromagnetici nei materiali

Il principio di funzionamento delle strumentazioni georadar da noi utilizzate (SIR-3000 e SIR-4000 prodotte dalla GSSI, USA) può essere sinteticamente descritto nel modo seguente: l'acquisizione dei dati avviene facendo scorrere un'antenna ricetrasmittente lentamente sulla superficie del terreno da investigare; nell'unità centrale sono generati dei segnali ad intervalli regolari che servono a sollecitare i circuiti elettronici dell'antenna trasmittente, da questa sono irradiati degli impulsi elettromagnetici che, propagandosi attraverso i materiali, vengono riflessi in corrispondenza delle interfacce di entità dielettriche diverse.

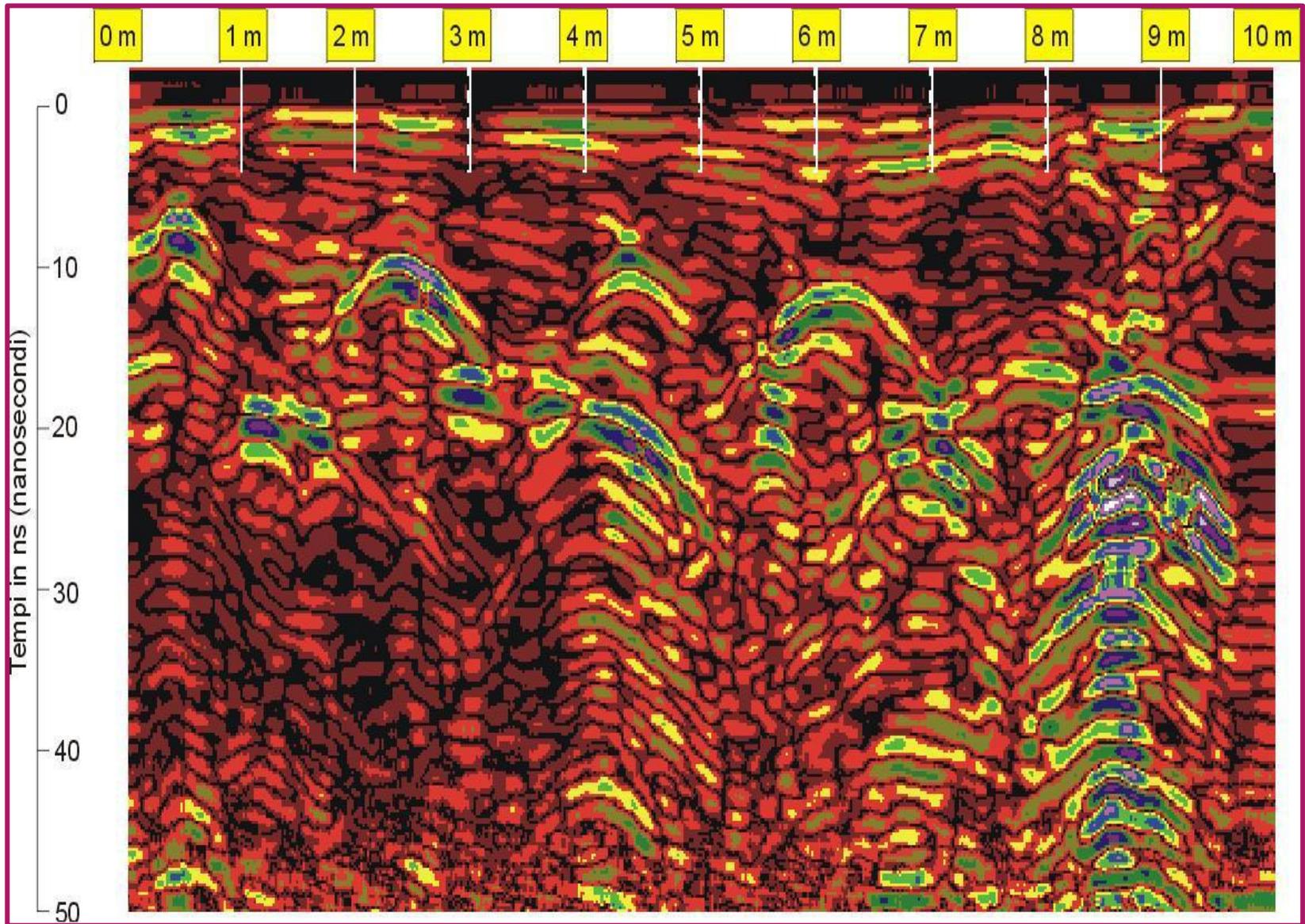


$\epsilon_r$  = costante dielettrica relativa di materiali caratterizzati da conducibilit  e/o litologia diversa

## Principio di funzionamento

L'apparecchiatura consente di visualizzare su display a colori il radargramma registrato in tempo reale e simultaneamente memorizza i dati su disco rigido per la successiva elaborazione al computer con opportuno software. Lo scopo fondamentale del trattamento digitale dei dati al computer è quello di migliorarne l'aspetto tramite operazioni di filtraggio, normalizzazione, amplificazione, ecc. al fine di semplificare la lettura e quindi l'interpretazione delle eventuali anomalie.

Sull'asse orizzontale dei radargrammi sono visualizzate le progressive metriche della linea registrata mentre su quello verticale si trovano i tempi di percorso in andata e ritorno dei tragitti riflessi.



La risoluzione verticale è direttamente proporzionale alla frequenza centrale degli impulsi emessi.

L'intensità degli eventi riflessi è tanto più forte quanto il contrasto fra le variazioni dielettriche è maggiore.

La profondità d'indagine non può essere stabilita a priori del rilievo ma dipende dall'assorbimento dell'energia elettromagnetica da parte dei materiali in cui essa si propaga e quindi dalla natura dei mezzi attraversati, dallo stato fisico degli elementi che li compongono e da fattori ambientali e/o locali quali la temperatura, l'umidità, la presenza di cavità, ecc.

Inoltre, l'obiettivo della prospezione e la profondità di penetrazione sono vincolati alla lunghezza d'onda degli impulsi: infatti se una struttura sepolta ha dimensioni molto piccole, essa viene rilevata soltanto con segnali di brevissima durata la cui elevata attenuazione a livello energetico ne limita però la penetrazione.

In sintesi: antenne con frequenze alte consentono una buona risoluzione fino a modeste profondità mentre antenne con frequenze basse offrono un dettaglio relativamente inferiore, ma permettono una maggior estensione di misura dal piano campagna.

Le antenne maggiormente utilizzate per indagini georadar sono elencate

Frequenza delle Antenne (MHz)	Penetrazione in un suolo medio (V = 0,09 m/ns)	Risoluzione Verticale (metri)	Campi d'impiego
1500	30 cm	0,01	Rilievi su strutture in cls, murature, manti stradali
900	1 metro	0,05	Come sopra
400-500	3 metri	0,1	Ricerca archeologica e di sottoservizi, indagini su strade e rivestimenti di gallerie
200-300	5 metri	0,2	Ricerca archeologica e di cavità su terreni e manufatti
100	8 metri	0,5	Ricerca archeologica, di grossi bersagli profondi e di cavità, indagini stratigrafiche

La ricostruzione della sezione radarstratigrafica (conversione tempi-profondità) viene effettuata applicando, ai tempi di riflessione, i valori delle velocità di propagazione relativi alle costanti dielettriche, dei materiali investigati, con l'eventuale supporto di tarature dirette.

La presenza di acqua o umidità nei materiali in esame, comporta un aumento della costante dielettrica relativa (vedi incremento della conduttività) e quindi una diminuzione della velocità degli impulsi elettromagnetici.

La conoscenza della *costante* dielettrica relativa è utile per determinare il tipo di materiale investigato e del suo grado di saturazione (vedi tabella alla pagina seguente).

Si fa presente che i radargrammi rendono evidenti i livelli riflettenti ed eventuali anomalie elettromagnetiche, dandone indicazioni quantitative e non qualitative.

La definizione di tali anomalie viene fornita nella fase d'interpretazione dei dati, in base alla tipologia (es. forma dell'oggetto che ha provocato la riflessione) e alla continuità planimetrica di echi identici o assimilabili.

## TABELLA COMPARATIVA DI VALORI INDICATIVI DELLE CARATTERISTICHE DI ALCUNI MEZZI DA INVESTIGARE

Materiale	Costante dielettrica	Conducibilità mS/m	Attenuaz. db/m	Velocità m/nsec.	Slowness nsec./m
Aria	1	0	0	0.30	3.33
Acqua dolce	81	0.5	0.1	0.03	33.33
Acqua di mare	81	3000	1000	0.01	100.00
Asfalto	2-4	n.d.	2-15	0.17	5.88
Calcestruzzo	4-10	10-100	2-12	0.11	9.09
Calcare	4-8	0.5-2	0.4-1	0.12	8.33
Granito	4-6	0.01-1	0.01-1	0.13	7.69
Sabbia asciutta	3-5	0.01	0.01	0.15	6.67
Sabbia satura	20-30	0.1-1	0.03-0.3	0.06	16.67
Limo-sabbioso asciutto	6-8	0.5-4	0.5-3	0.11	9.09
Limo-sabbioso umido	10-15	1-10	1-6	0.08	12.50

# **ESEMPI DI RADARGRAMMI ED APPLICAZIONI VARIE**

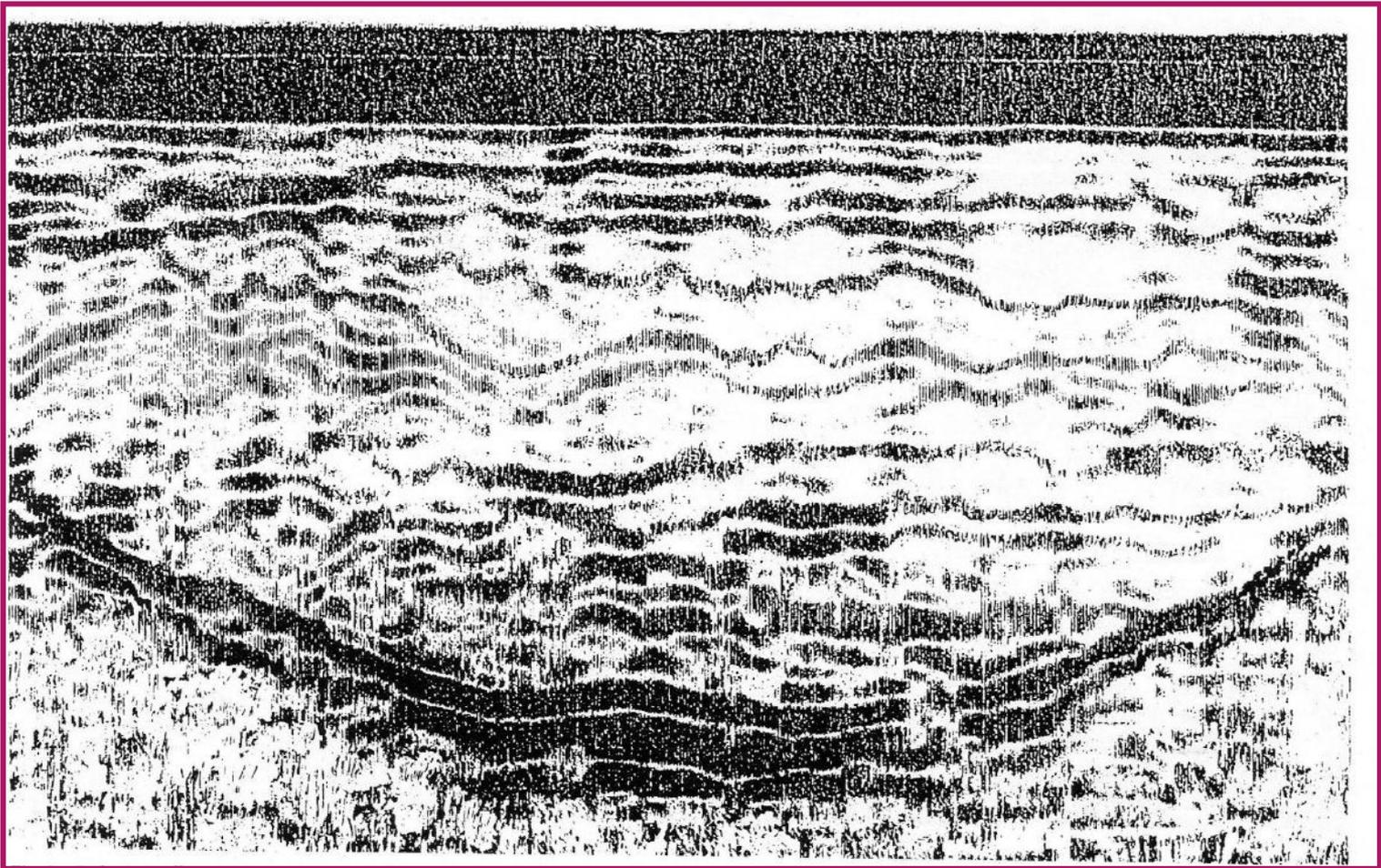
## INDAGINI SU RIVESTIMENTI DI GALLERIE E PAVIMENTAZIONI STRADALI



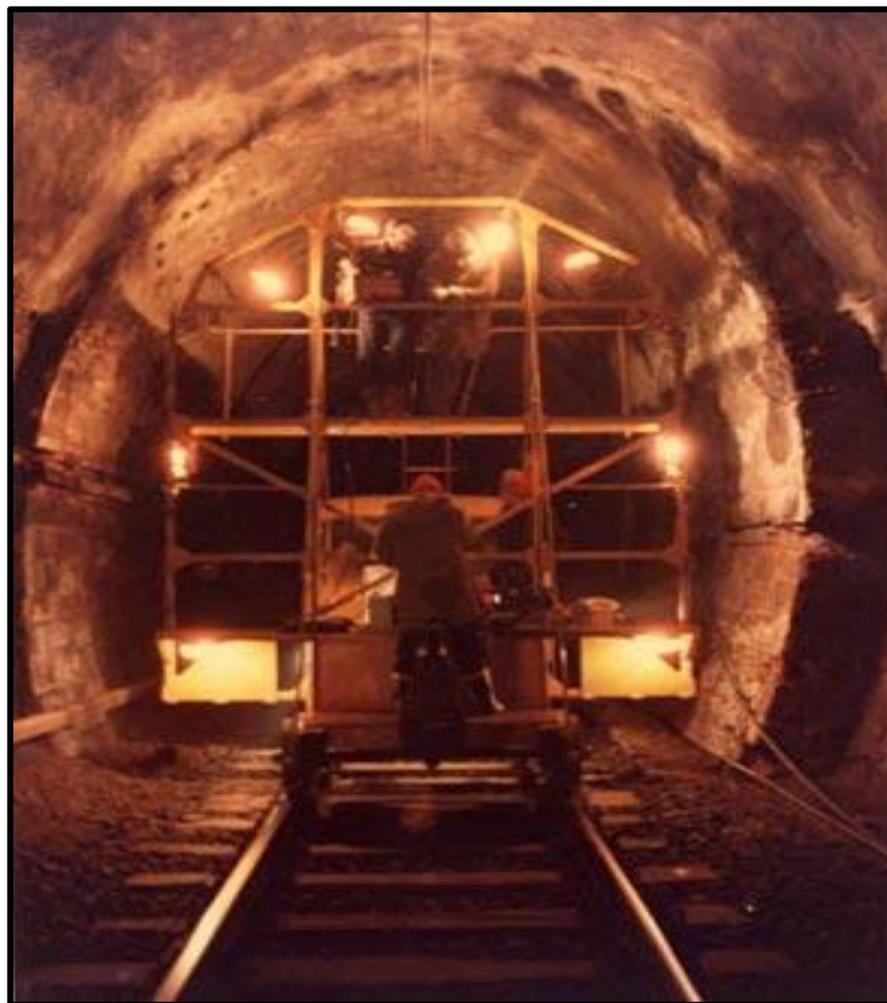
Galleria Pianacce 1983



Rilievo georadar sulla pavimentazione della galleria

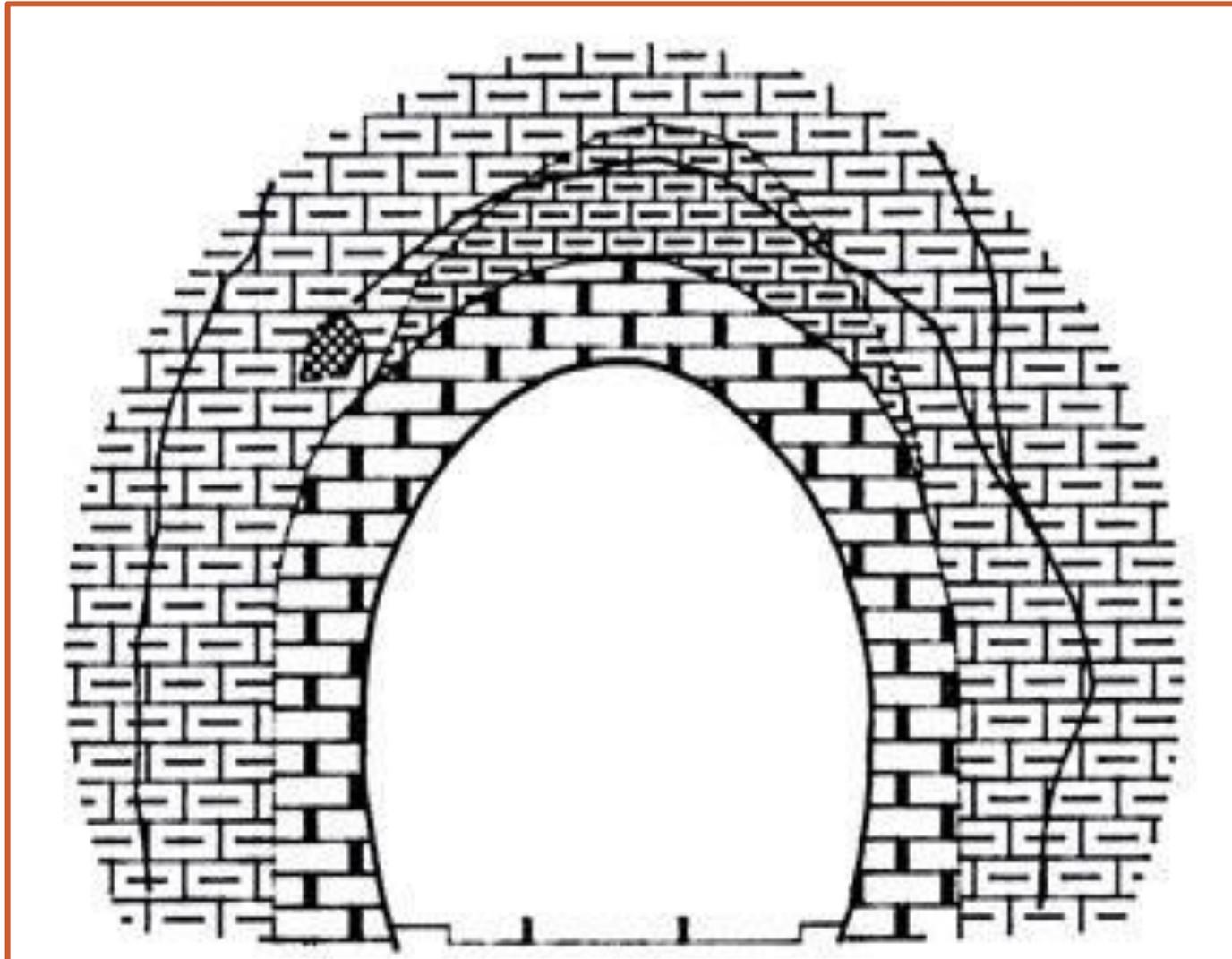


Anomalia georadar associabile all'arco rovescio



**Galleria ferroviaria Bastardo 1984  
Linea Parma-La Spezia**

## Sezione radarstatigrafica di galleria ferroviaria rivestita in mattoni



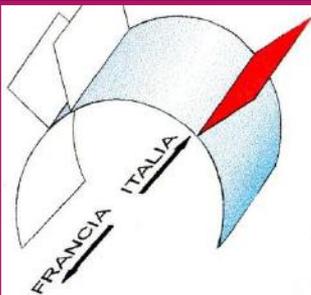


**Tunnel Monte Bianco antenne 900 e 1500 MHz – Incendio 1999**

# TRAFORO DEL MONTE BIANCO – Dicembre 1999

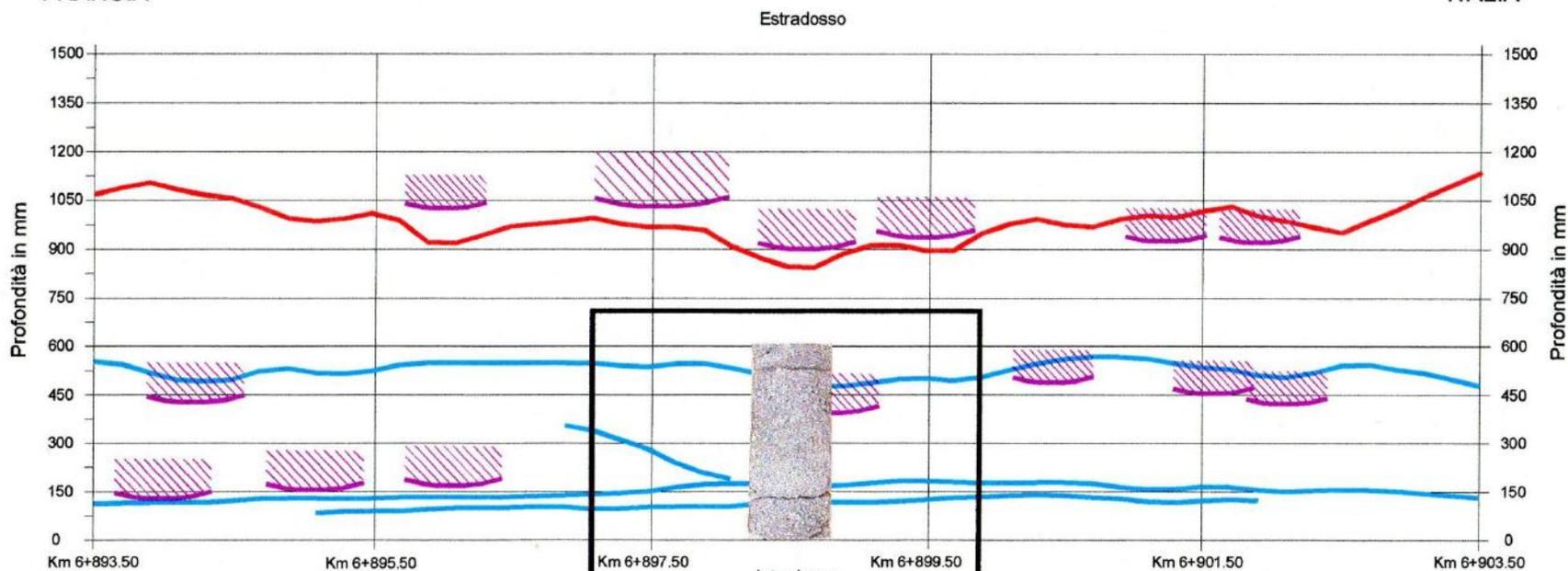
## SEZIONE "F6" - Progr. Km 6+898.50 Sezione Radarstratigrafica dal km 6+893.50 al km 6+903.50

Scala orizzontale 1:50  
Scala verticale 1:20



  
FRANCIA

  
ITALIA

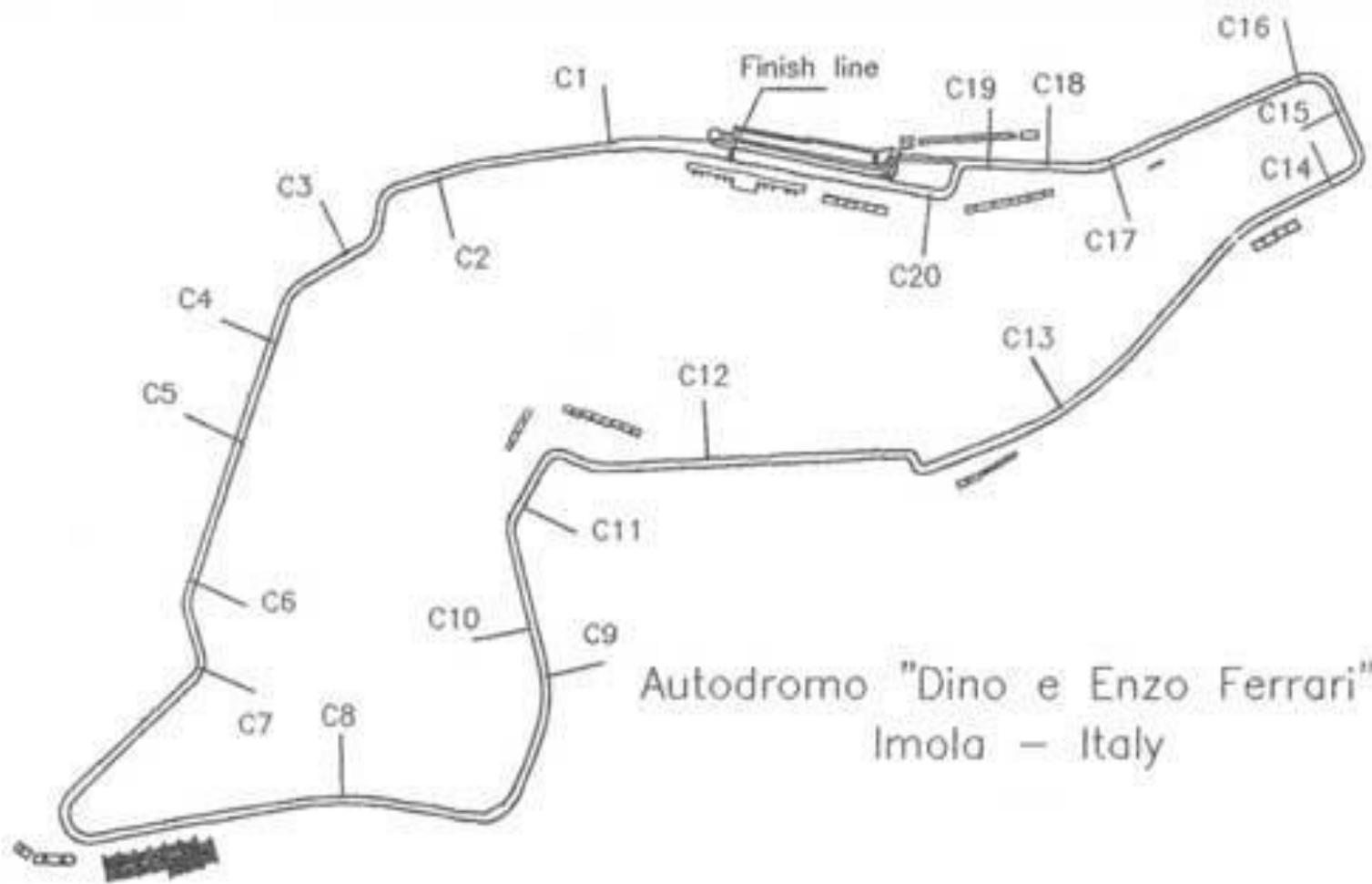


LEGENDA: — Discontinuità dielettrica calcestruzzo/roccia

— Discontinuità dielettrica nel rivestimento

 Vuoto

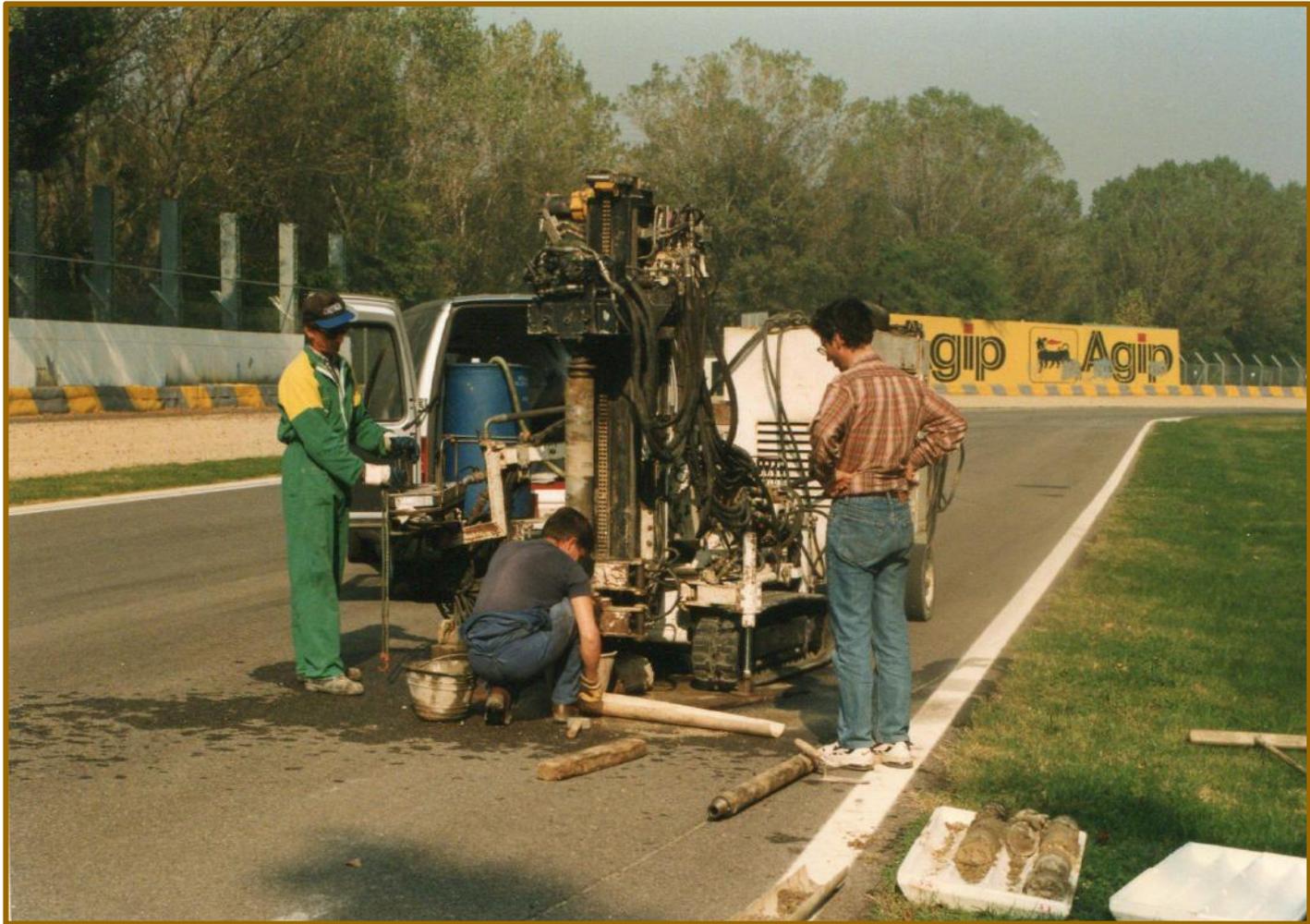
vedi particolare



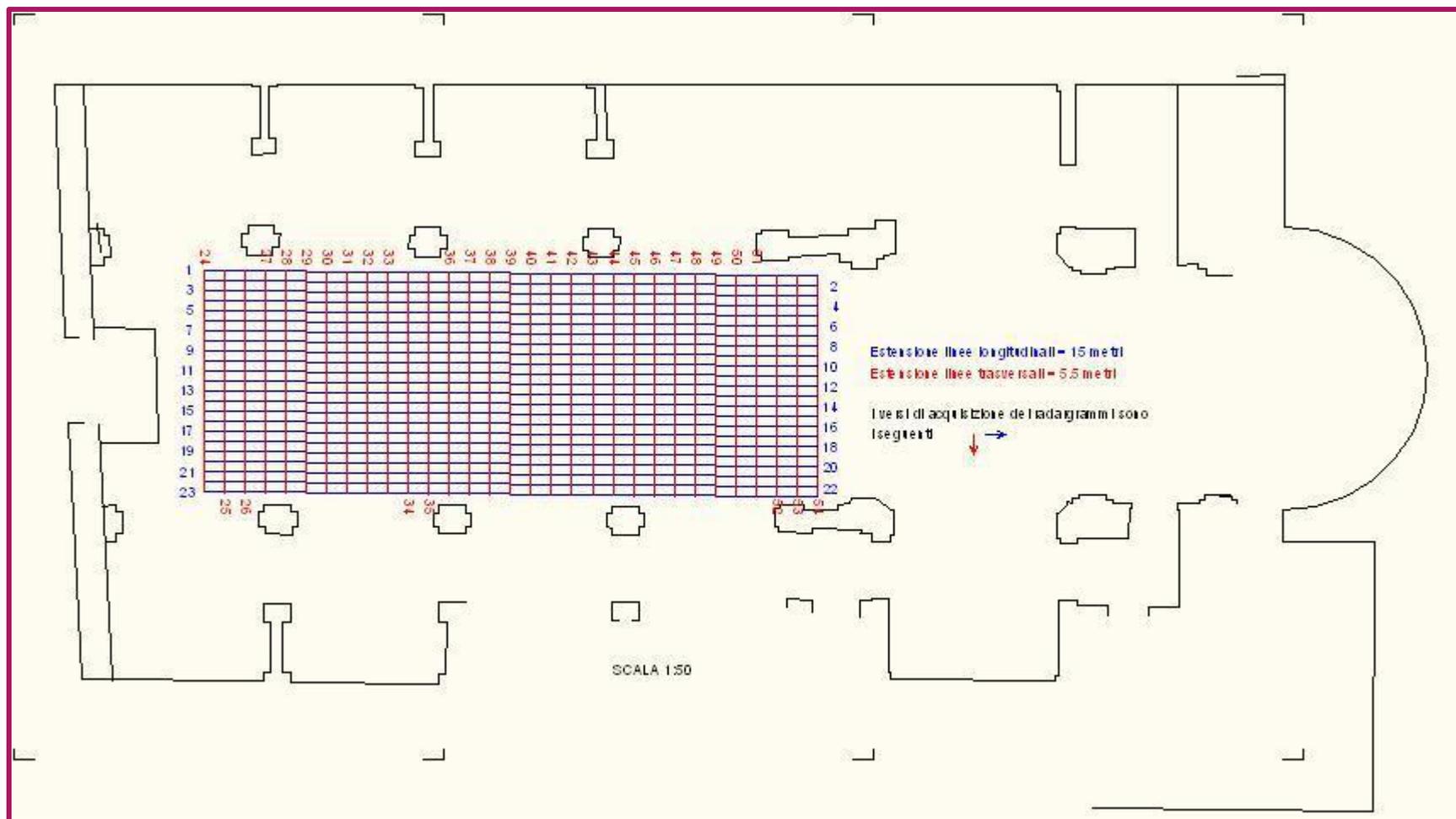
Autodromo "Dino e Enzo Ferrari"  
Imola - Italy



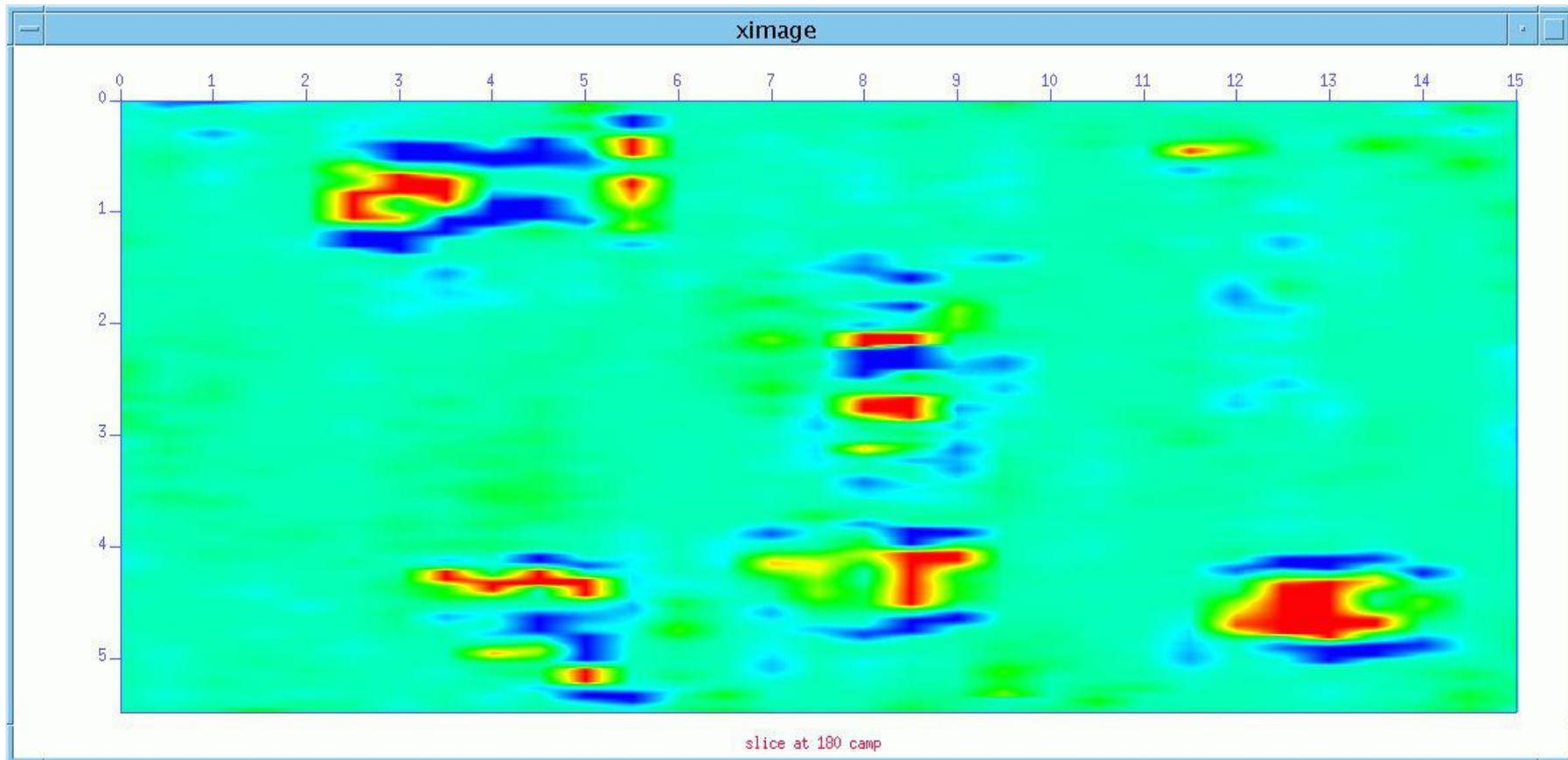
Acquisizioni dati con antenne da 2.5 GHz



Incidente morte Ayrton Senna 1994- Carotaggio sulla pavimentazione della pista



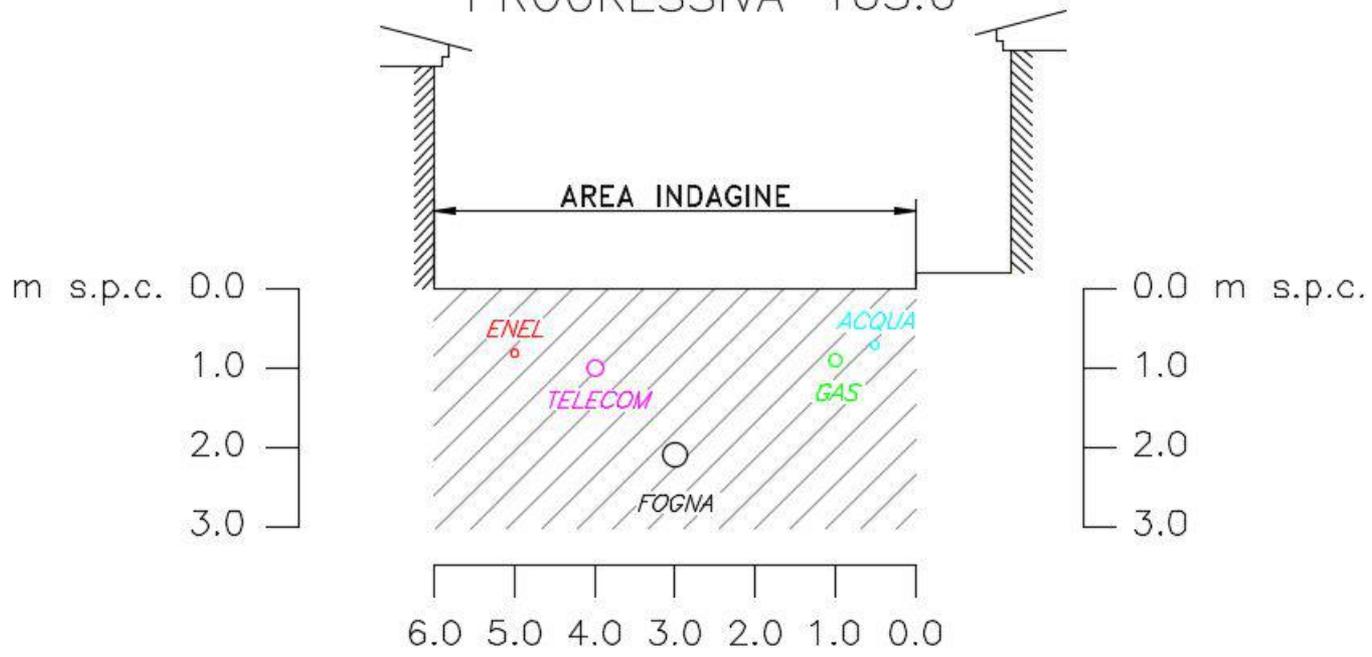
Ubicazione linee georadar (spaziate 25 cm) per rilievo 3D



**Slice a 90 cm di profondità dal pavimento della chiesa**



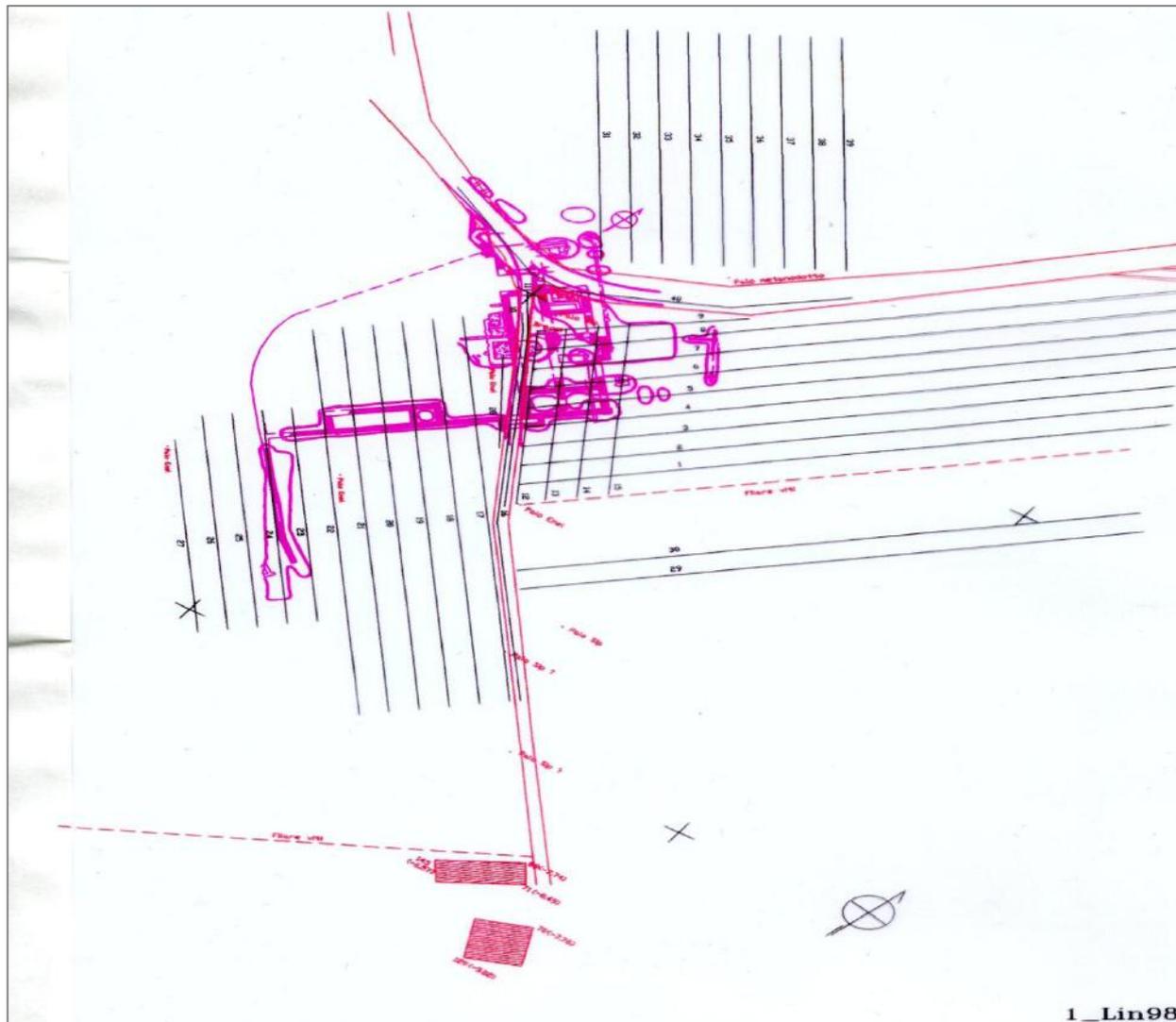
SEZIONE 1-1  
PROGRESSIVA 105.0



SEZIONE SOTTOSERVIZI

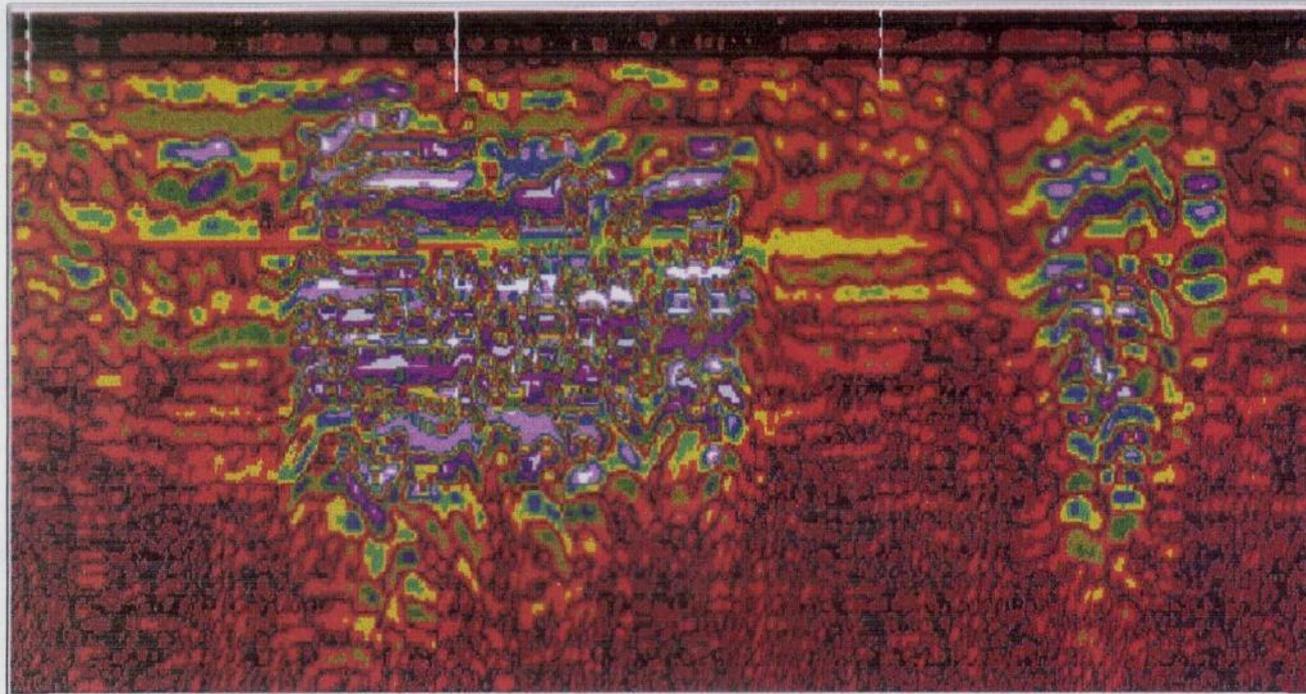
# PROSPEZIONI ARCHEOLOGICHE

Galeata-Forlì  
Villa di Teodorico  
Linee georadar



# RADARGRAMMA CON ANOMALIE ASSOCIABILI A FONDAZIONI DI MURI

Distanze (m)



0

Tempi di registrazione a/r in nanosecondi

40

15

20

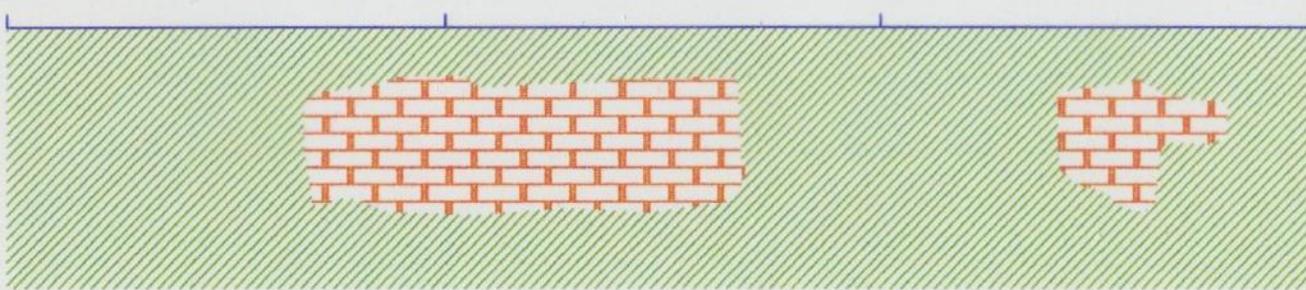
25

30

p.c.

- 1 m

- 2 m



p.c.

- 1 m

- 2 m

SEZIONE RADARSTRATIGRAFICA

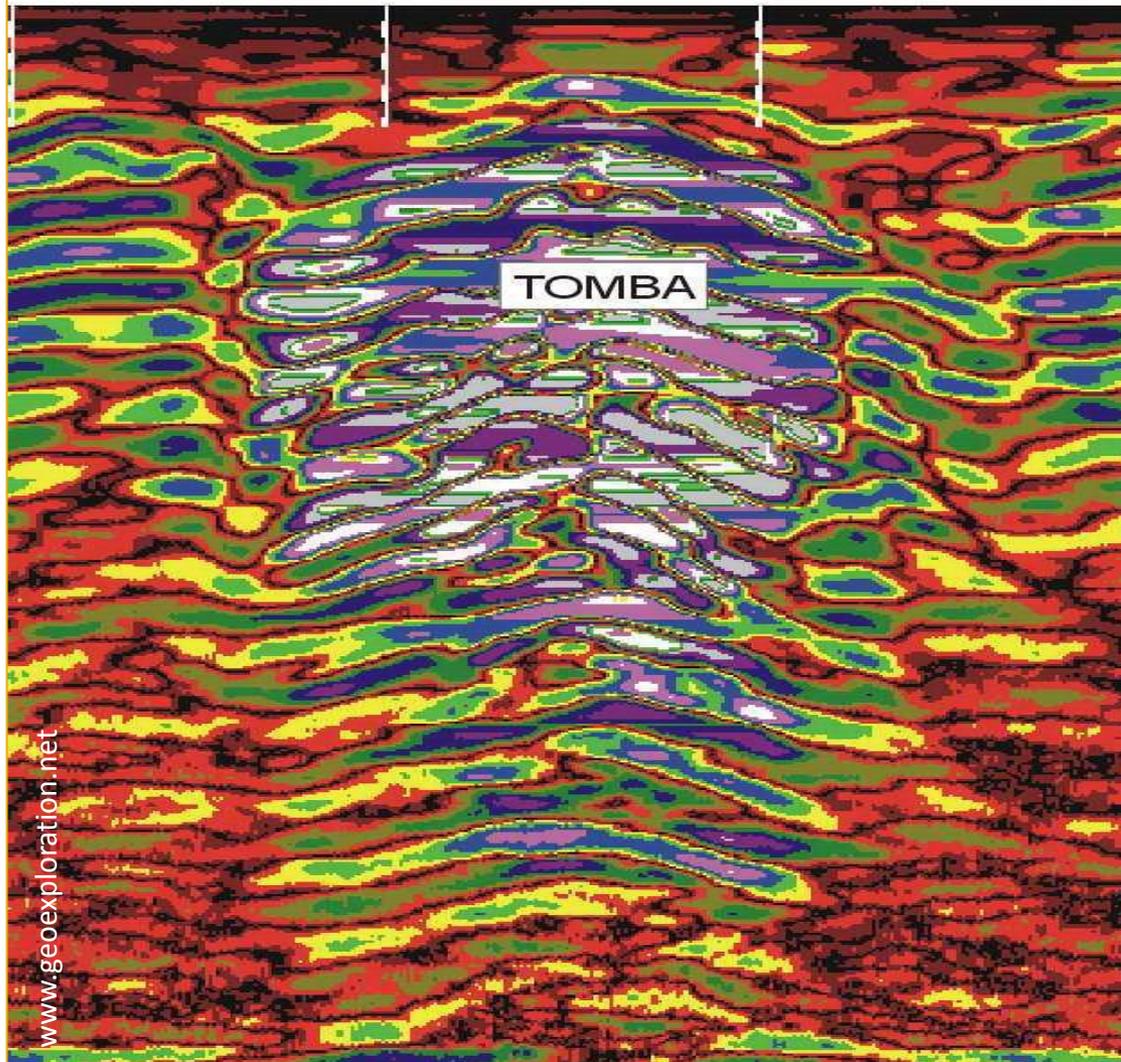


FOTO 1



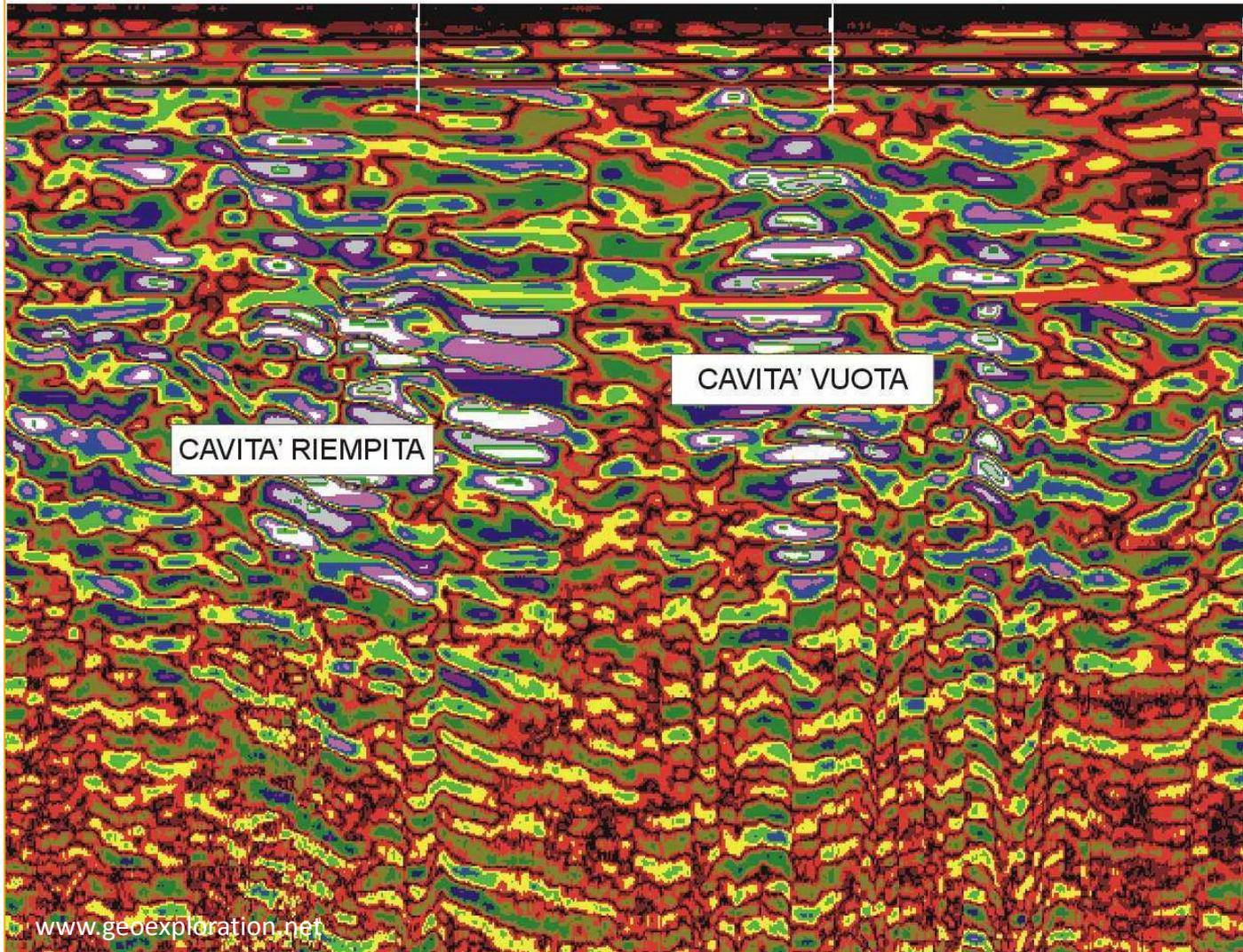
FOTO 2

## Radargramma linea 96 - Tomba



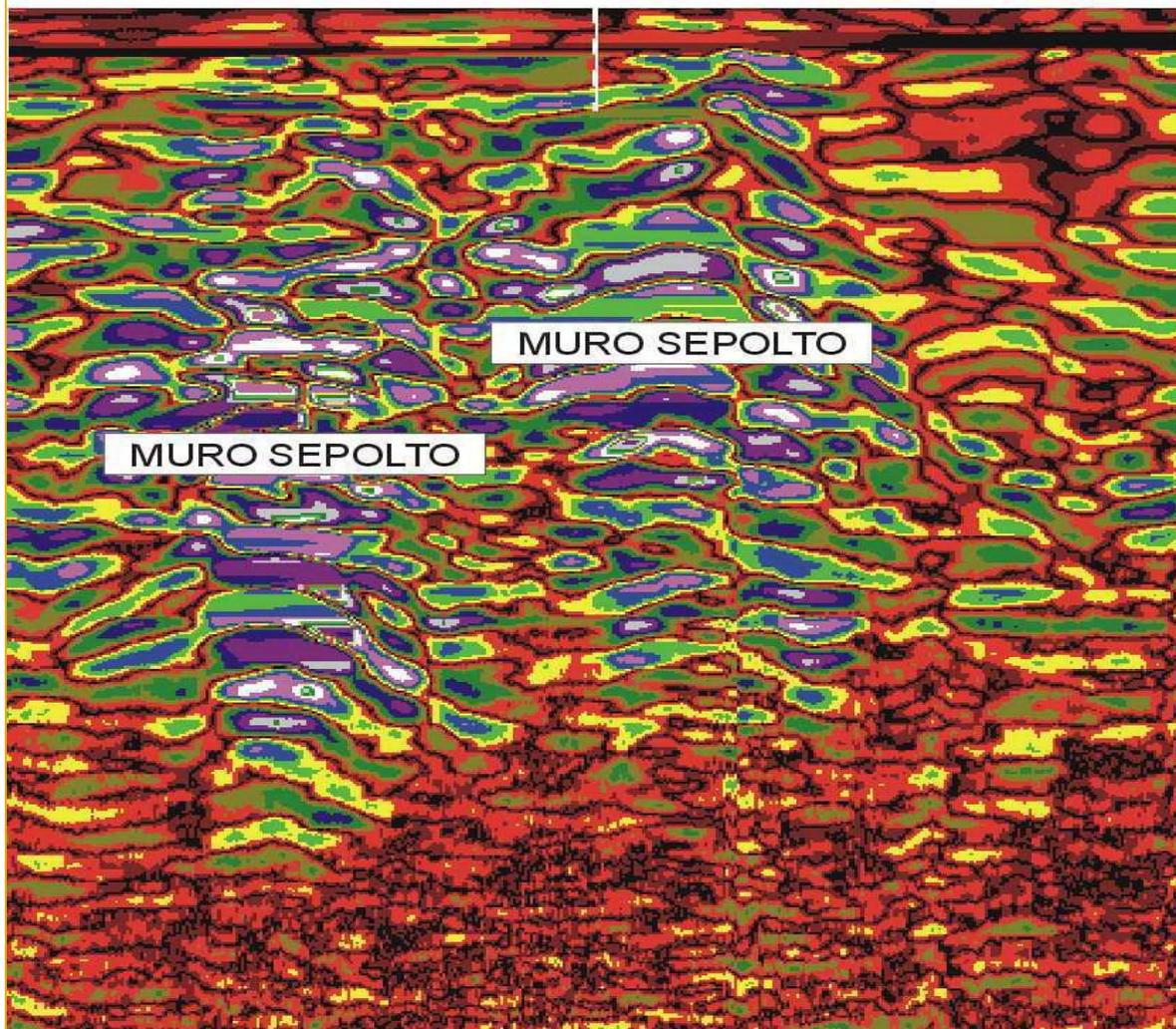
S. Maria delle Grazie – Covignano (Rimini)

## Radargramma linea 51 - Esempio di cavità riempita e vuota



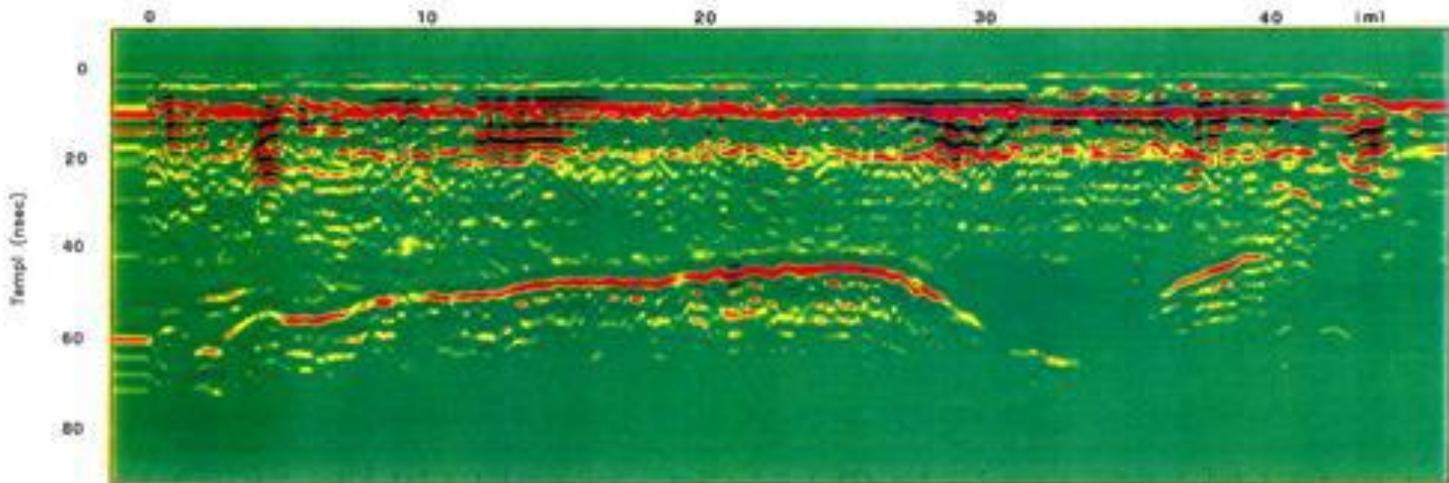
**S. Maria delle Grazie – Covignano (Rimini)**

## Radargramma linea 67 - Muri sepolti

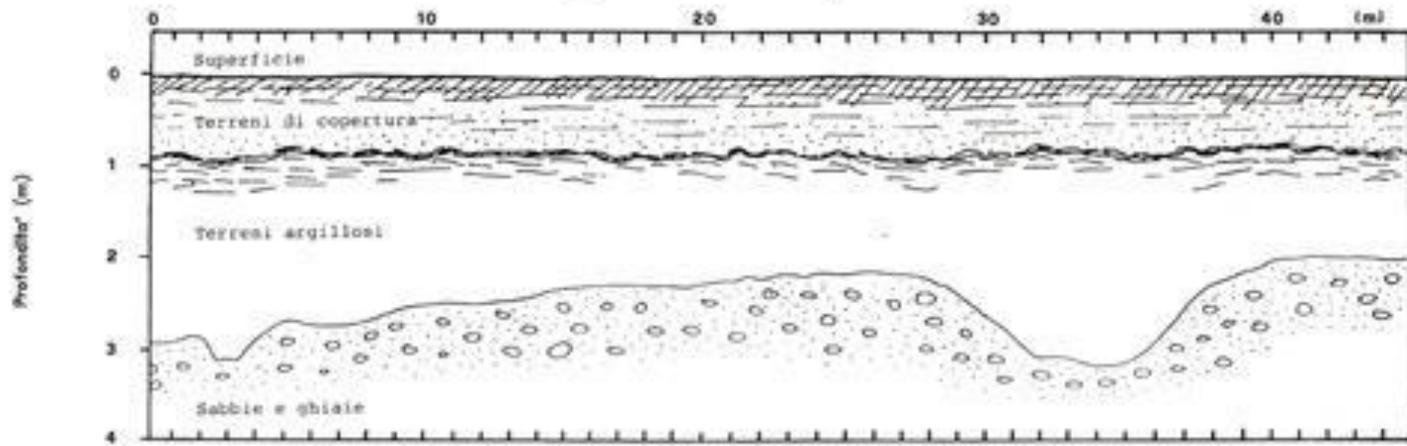


S. Maria delle Grazie – Covignano (Rimini)

# PROSPEZIONE GEOFISICA CON GROUND PENETRATING RADAR (G.P.R.)

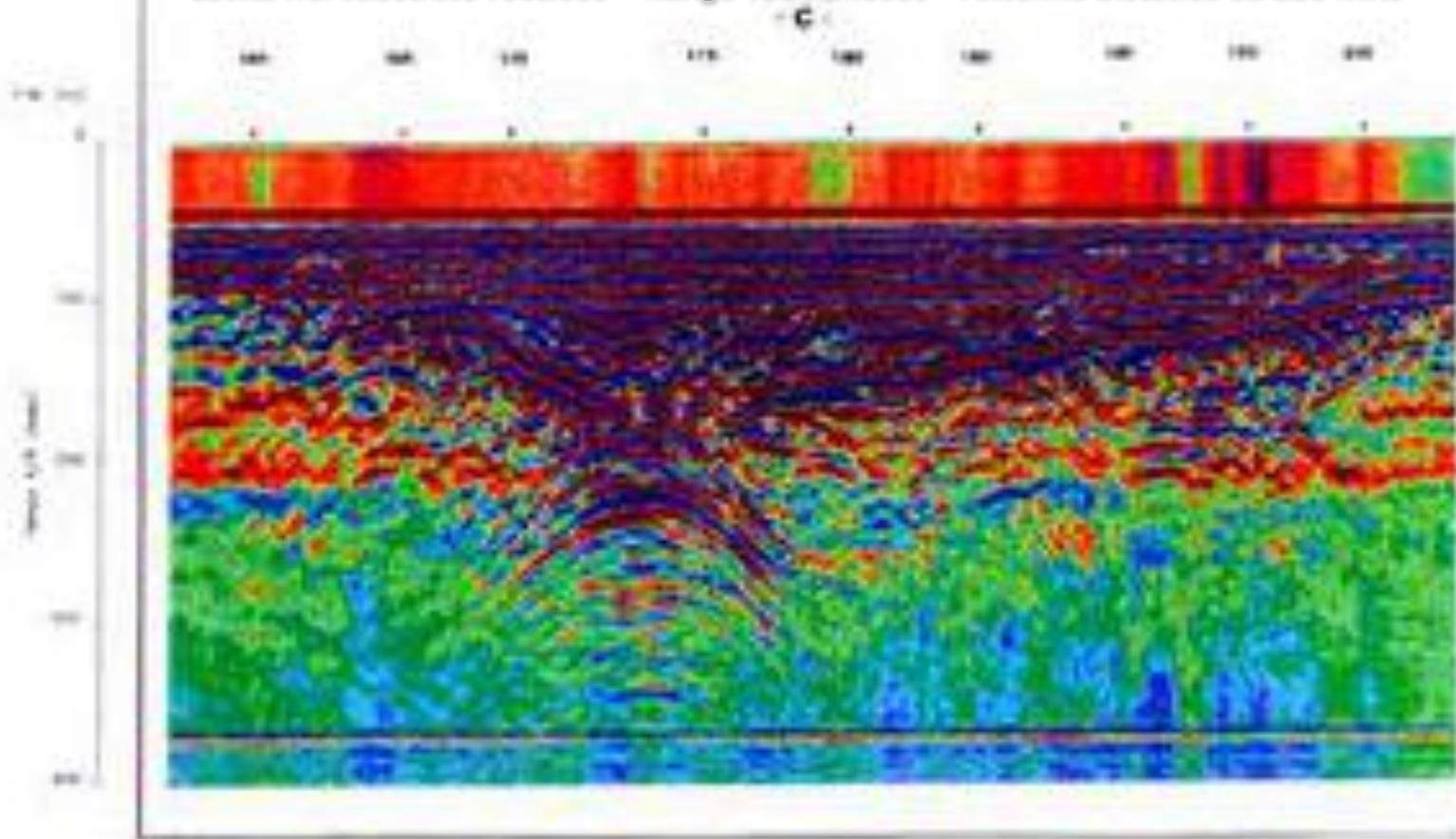


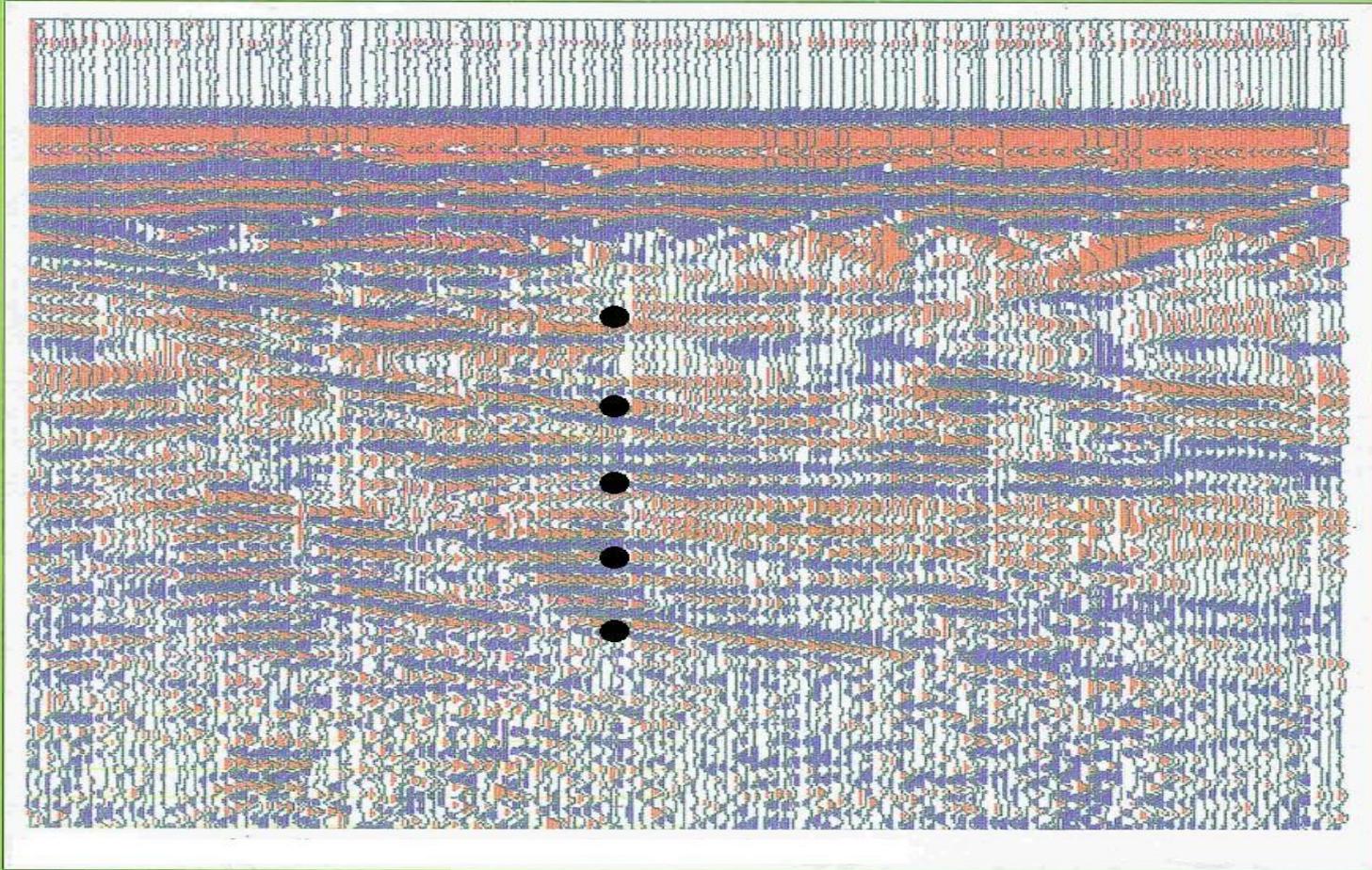
Radargramma elaborato con processore a colori



Sezione radarstratigrafica

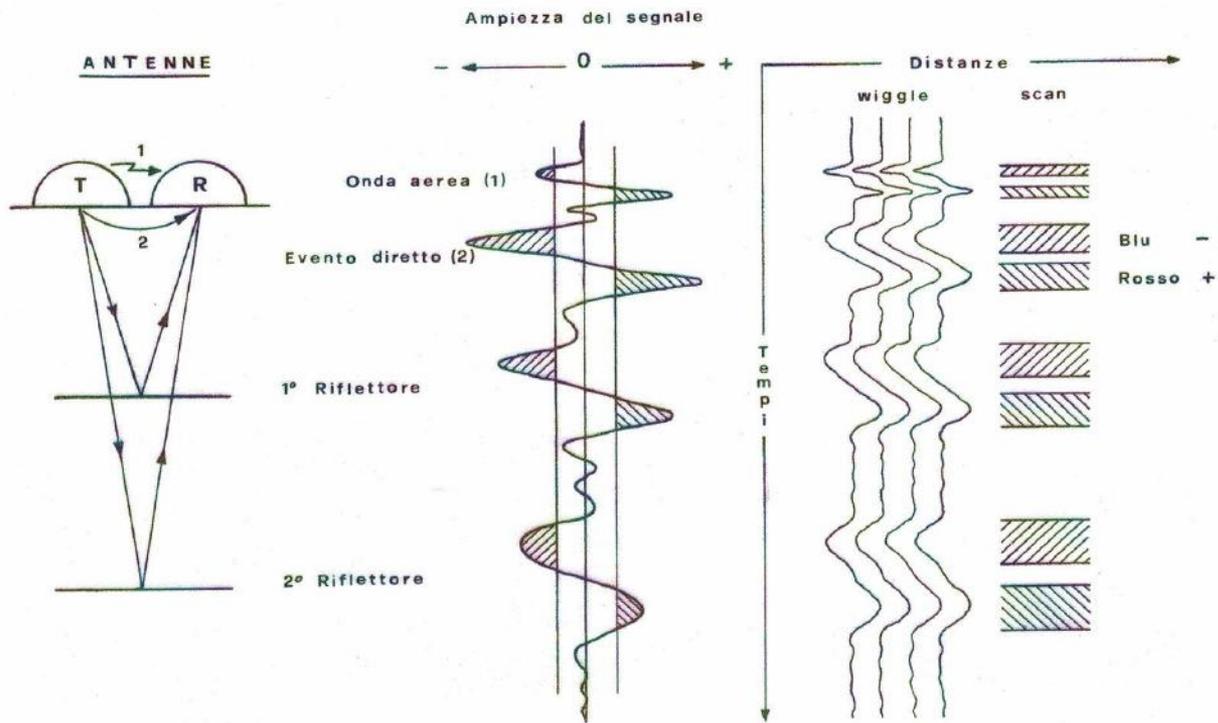
**Cavità nel substrato roccioso – Range 400 nanosec – Antenna bistatica da 120 MHz**





Radargramma ad alta risoluzione - Antenna 120 MHz

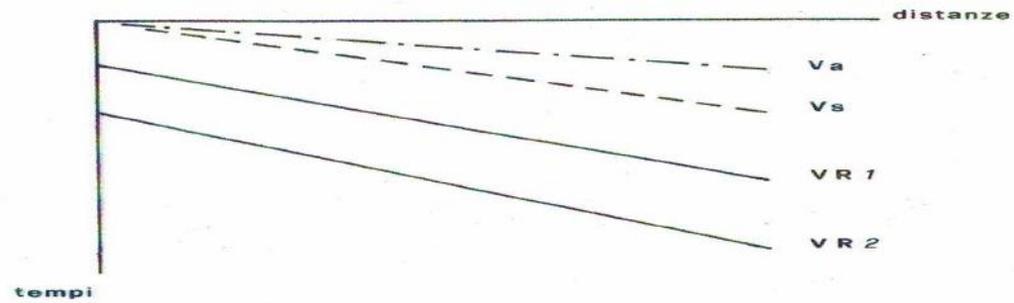
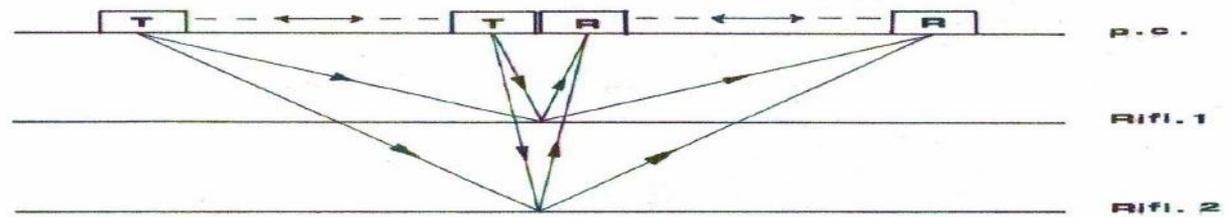
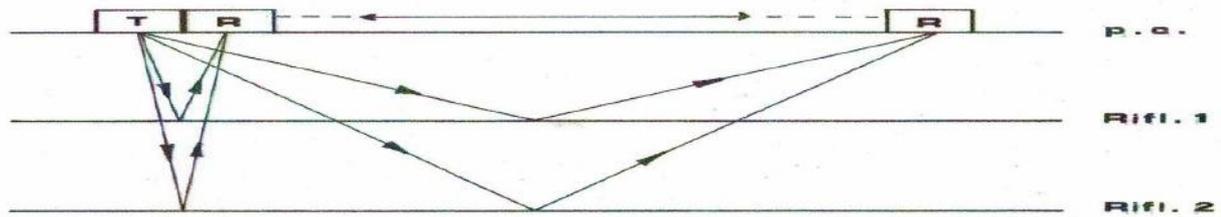
- Riflettori principali

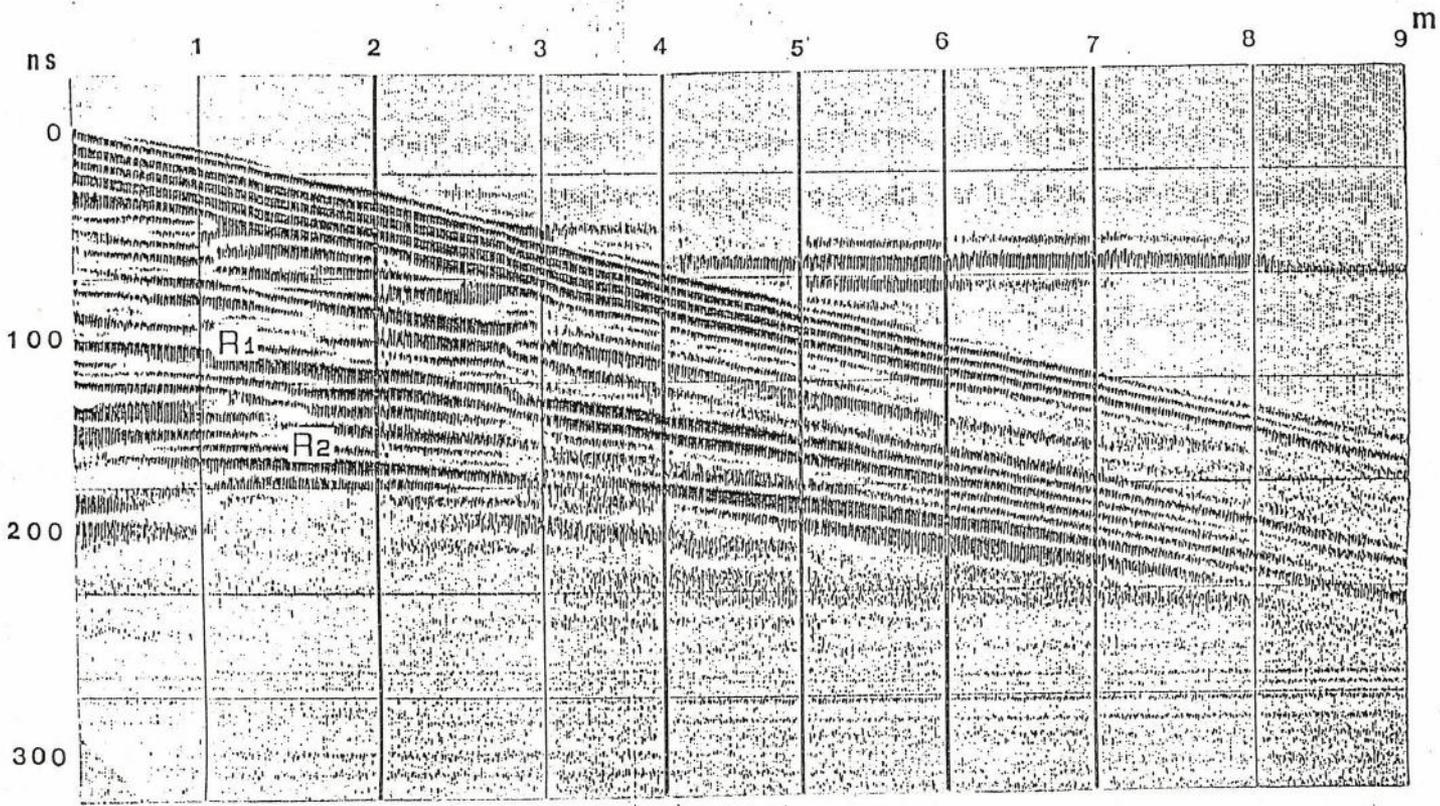


Tragitto eventi radar

Traccia radar

Rappresentazione grafica dei radargrammi





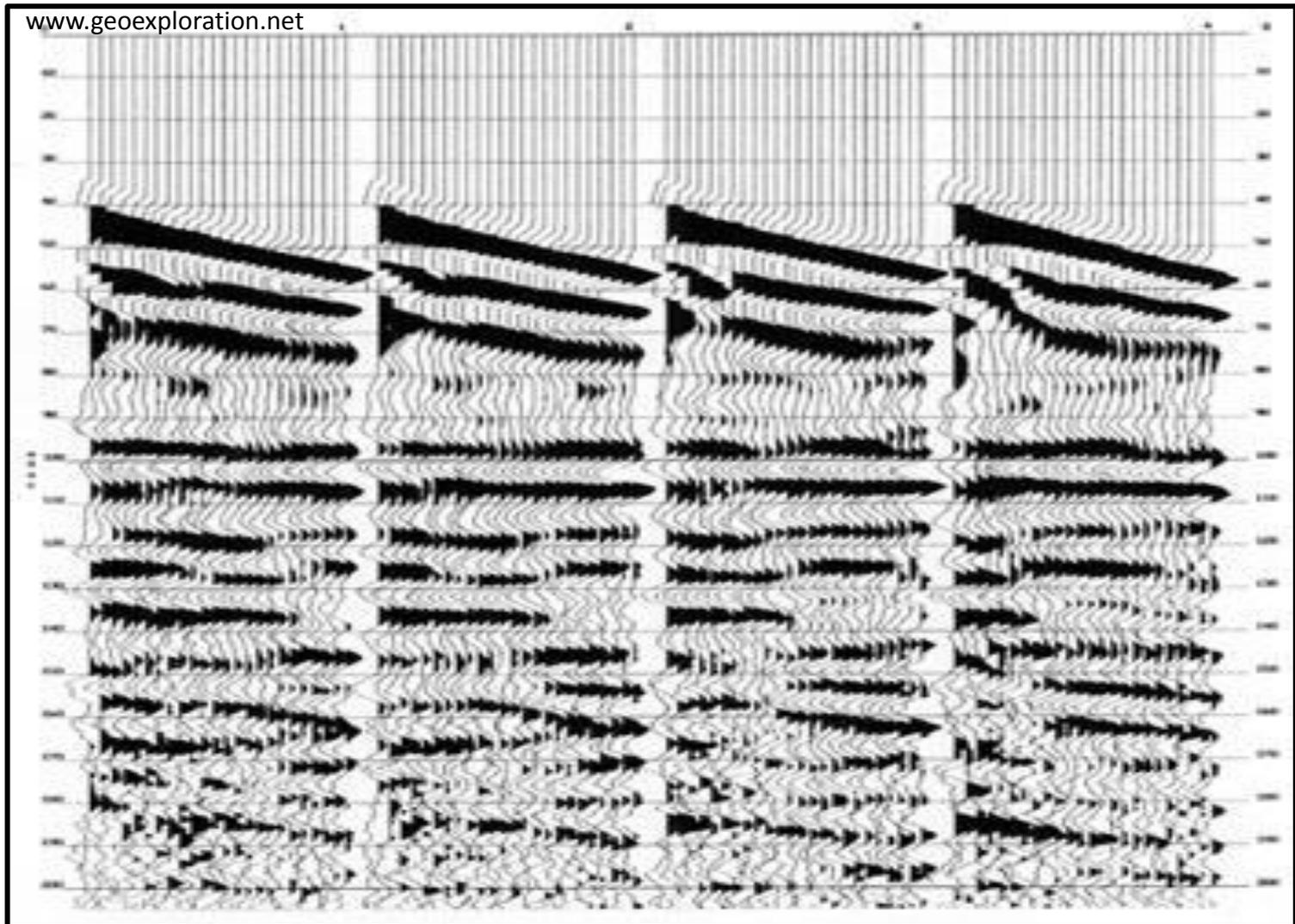
Misura della velocità di propagazione degli impulsi elettromagnetici - Metodo Mirar.



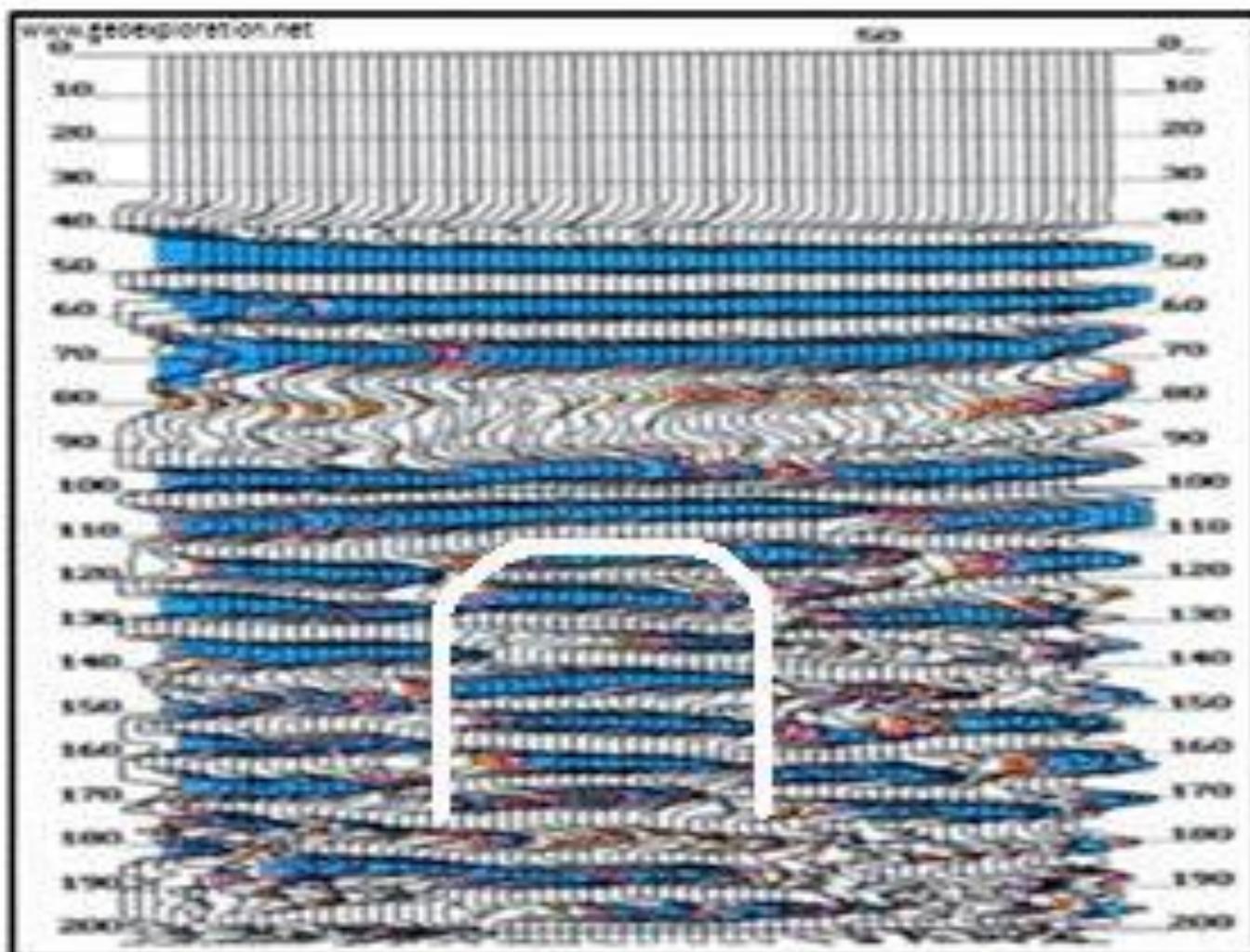
Santarcangelo di Romagna (RN) Dicembre 1993 – Centro storico



Figura 5.3 - Strumentazione Georadar OYO con antenne da 120 MHz.



**Alcuni radargrammi con tracce ad offset variabile per copertura multipla - Santarcangelo di Romagna 1993**



Radarsezione (stack) a riflessione



**Strumentazione 1994**



[www.geoexploration.net](http://www.geoexploration.net)

**Strumentazione georadar 2010**



*Rilievo archeologico con 3D-RADAR, Oslo (settembre 2008*

# Strumentazione georadar GSSI SIR 4000 con antenna a doppia frequenza da 300/800MHz e 400MHz Smart - 2018



# Strumentazione GSSI SIR 4000 con antenne a doppia frequenza e 400MHz Smart in configurazione bistatica- 2020



La definizione delle anomalie georadar non viene ricavata mediante formule o algoritmi ma sarà riconosciuta dalla lettura eseguita da tecnici di provata esperienza visiva nell'interpretazione dei dati, in base alla tipologia (es. forma dell'oggetto che ha provocato la riflessione) ed all'estensione degli echi captati dal sensore ricevente.

**Qualora dall'interpretazione emergessero scarsi risultati, ai fornitori si raccomanda umiltà ed onestà di riferire al cliente soltanto quanto è stato possibile leggere sui radargrammi.**

Se un evento anomalo non è interpretabile, deve essere considerato come "informazione" utile per integrare i rilievi con altre tecniche di esplorazione ed elemento di nuova conoscenza da tenere presente durante successive prospezioni georadar.

**La maggior e frequente soddisfazione lo l'ho riscontrata lavorando con gli archeologi e con tecnici delle bonifiche ambientali che in breve tempo, per mestiere vanno a verificare mediante scavi, quanto è stato loro diagnosticato.**

*« Indagini con ground penetrating radar  
ed applicazioni in siti oggetto di bonifica  
e/o dismessi »*

---

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE!**

*Dott. Antonio Edoardo BRACCI*

*Tel. Cell. +39-348-3026750*

*aebracci@gmail.com*

*Sito = <https://bracciantonioedoardo>*

---