

GROUND PENETRATING RADAR (GPR)

Principio fondamentale:

Misura tempi d'arrivo ed ampiezza onde EM dirette, **riflesse**, diffratte e rifratte da discontinuità di impedenza elettromagnetica nel sottosuolo

Intervallo di frequenza: da ca. 10 MHz a 6 GHz

**Ricostruisce IMMAGINI del sottosuolo
Ad ALTA RISOLUZIONE**

GROUND PENETRATING RADAR (GPR)

SOMMARIO:

- Introduzione e cenni storici
- Confronto con altre tecniche non-invasive
- Cenni su proprietà mezzi, meccanismi propagazione, parametri di interesse
- Tecniche di acquisizione
- Tecniche di elaborazione
- Tecniche di interpretazione
- Applicazioni
- Esercitazione

GPR: applicazioni

Geological:

Detection of natural cavities and fissures
Subsidence mapping
Mapping sand body geometry
Mapping of superficial deposits
Soil stratigraphy mapping
Glacial geological investigations
Mineral exploration and resource evaluation
Peat thickness mapping and resource evaluation
Permafrost investigations
Location of ice wedges
Fracture mapping in rock salt
Location of faults, dykes, coal seams, etc.
Geological structure mapping
Lake and riverbed sediment mapping

Environmental:

Contaminant plume mapping
Mapping and monitoring pollutants within groundwater
Landfill investigations
Location of buried fuel tanks and oil drums
Location of gas leaks
Groundwater investigations

Glaciological:

Ice thickness mapping
Determination of internal glacier structures
Ice movement studies
Detection of concealed surface and basal glacier crevasses
Mapping water conduits within glaciers
Determination of thickness and type of sea and lake ice
Sub-glacial mass balance determination
Snow stratigraphy mapping

Engineering and construction:

Road pavement analysis
Void detection
Location of reinforcement (rebars) in concrete
Location of public utilities (pipes, cables, etc.)
Testing integrity of building materials
Concrete testing

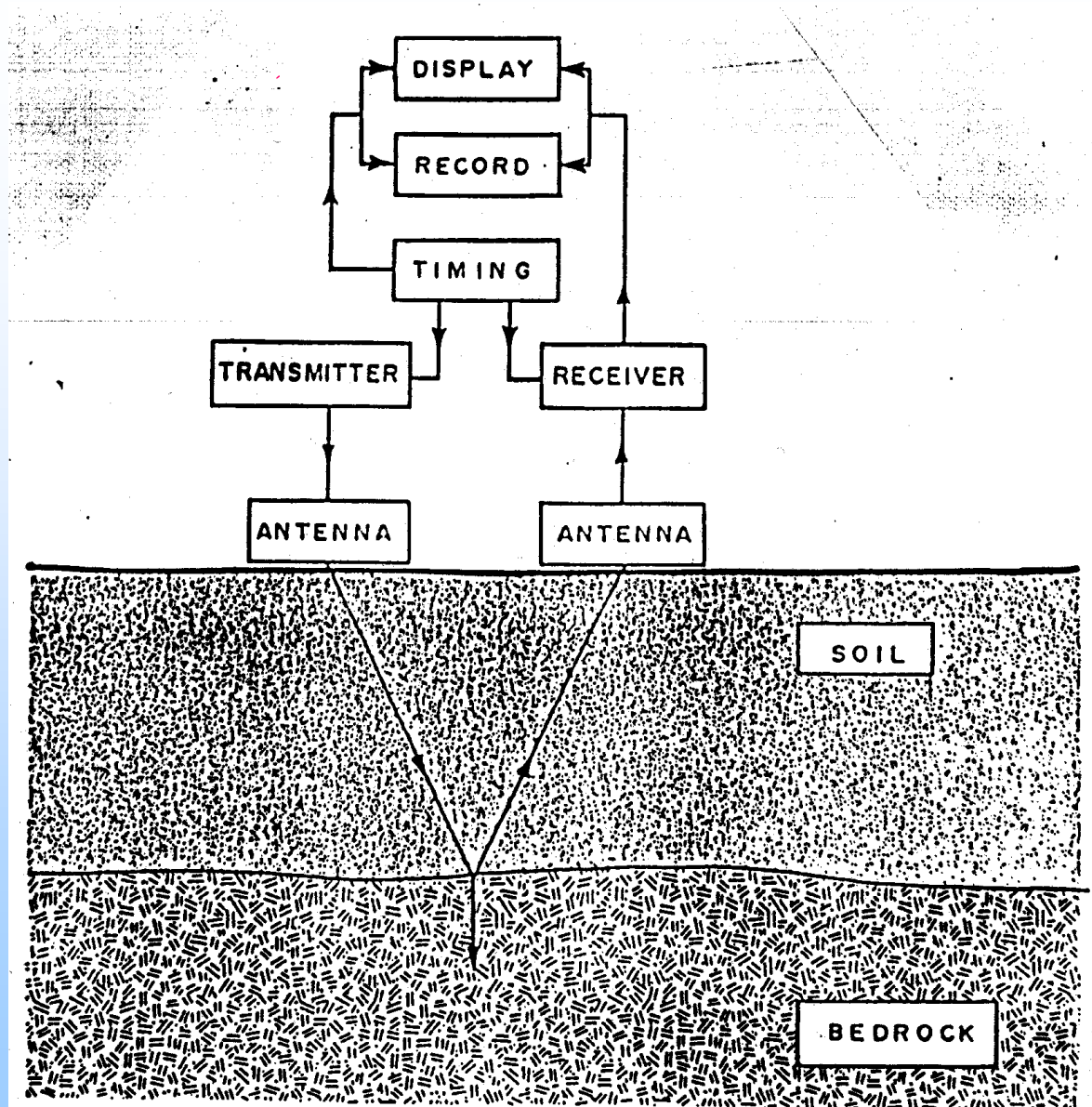
Archaeology:

Location of buried structures
Detection and mapping of Roman Roads, etc.
Location of post-holes, etc.
Pre-excavation mapping
Detection of voids (crypts, etc.)
Location of graves

Forensic science:

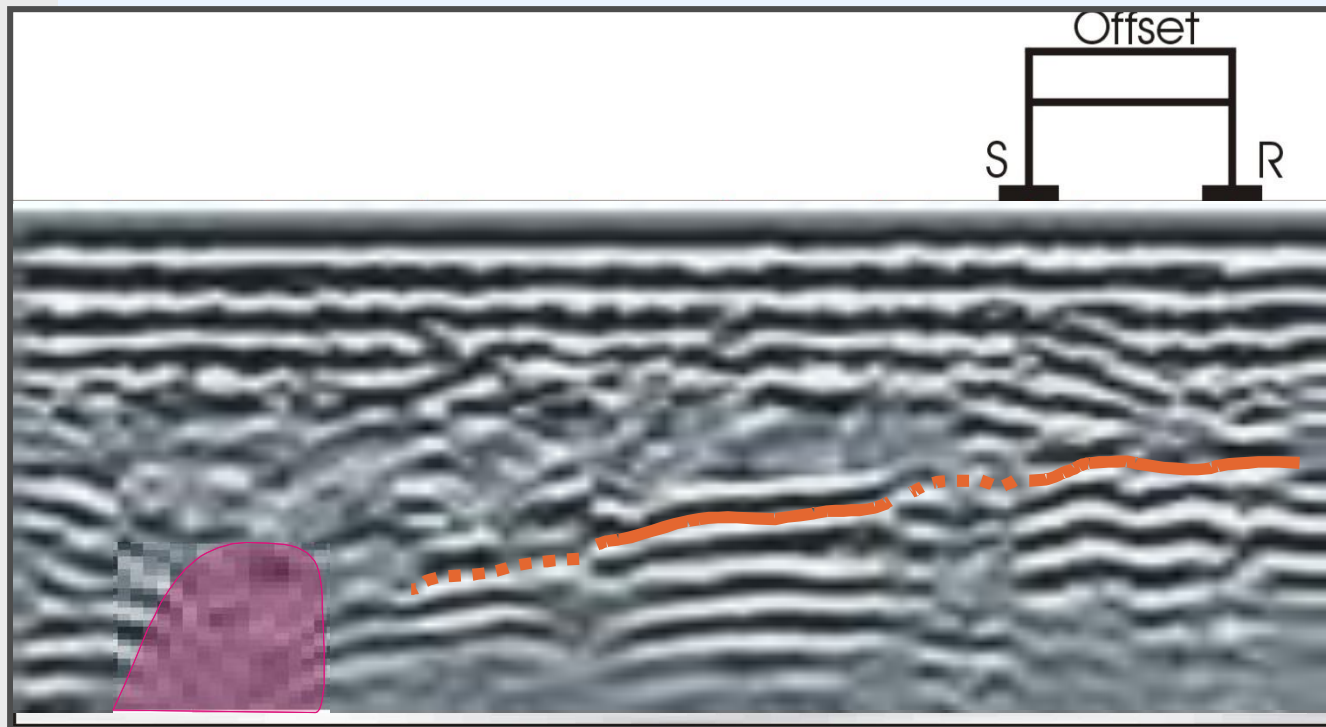
Location of buried targets (e.g. bodies and bullion)

GPR: lo strumento

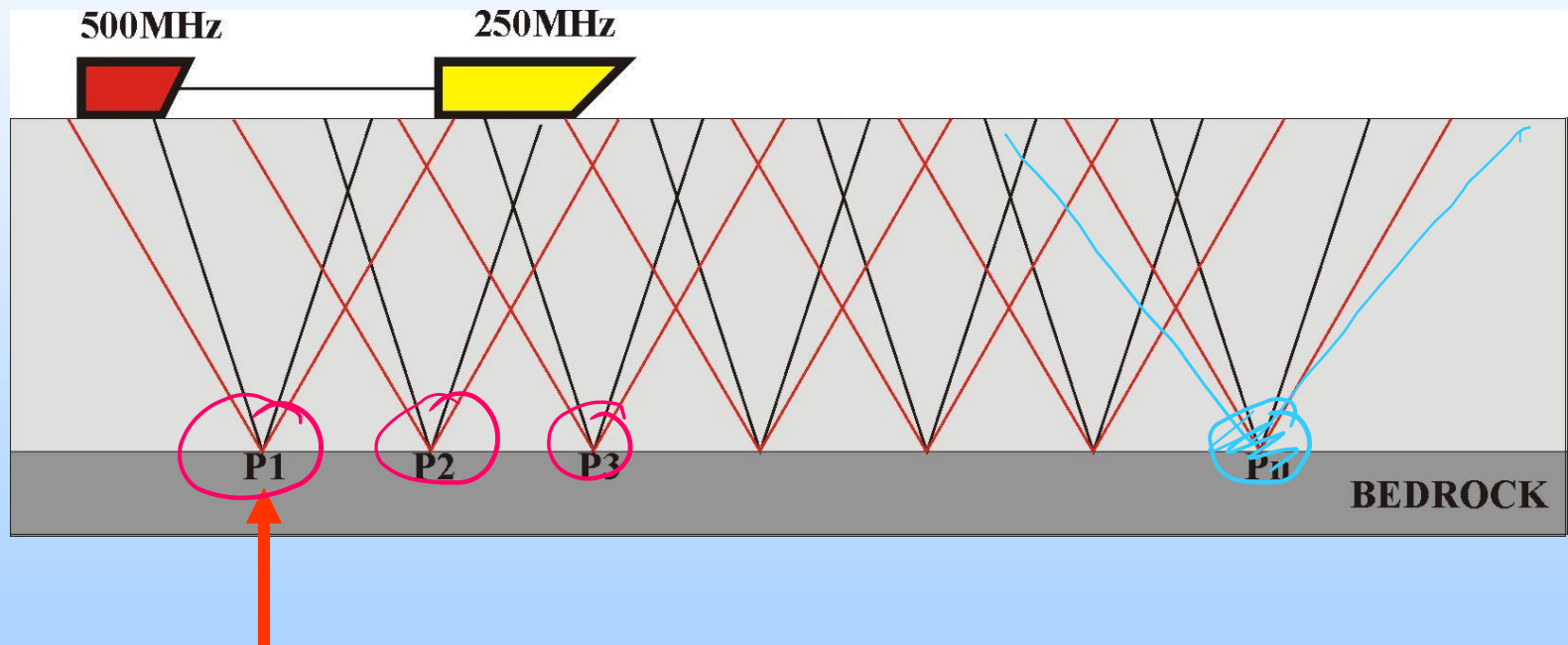


Acquisizione dati

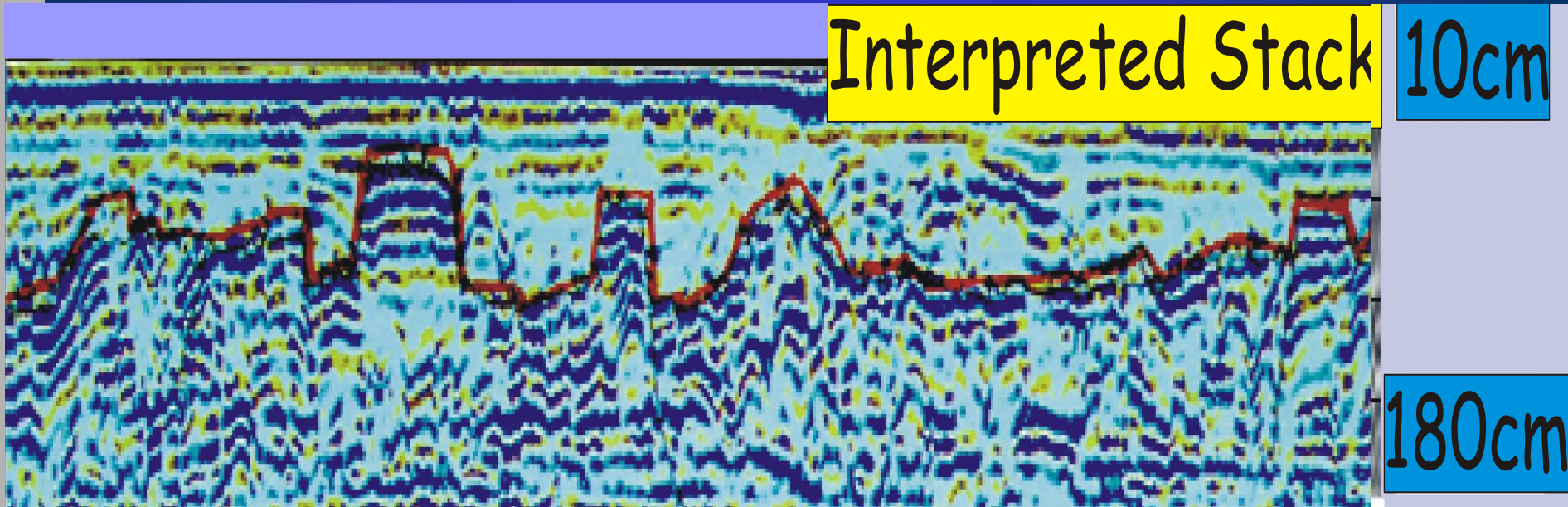
Common Offset Gather



GPR MULTI-FOLD



Confronto tra tecniche convenzionali (Single-fold) e nuove tecniche a Copertura multipla (multi-fold)



*COSA possiamo vedere nel sottosuolo
con I nuovi metodi geofisici?*



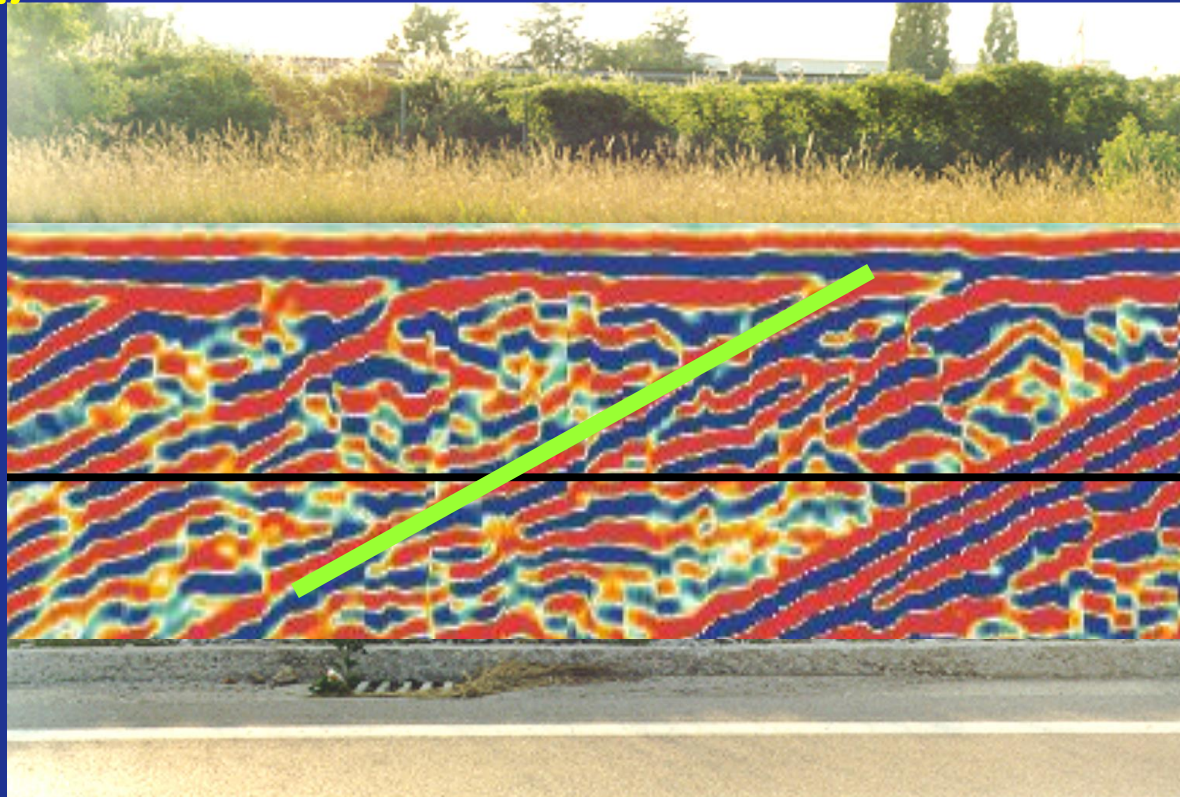
un esempio

geologico...



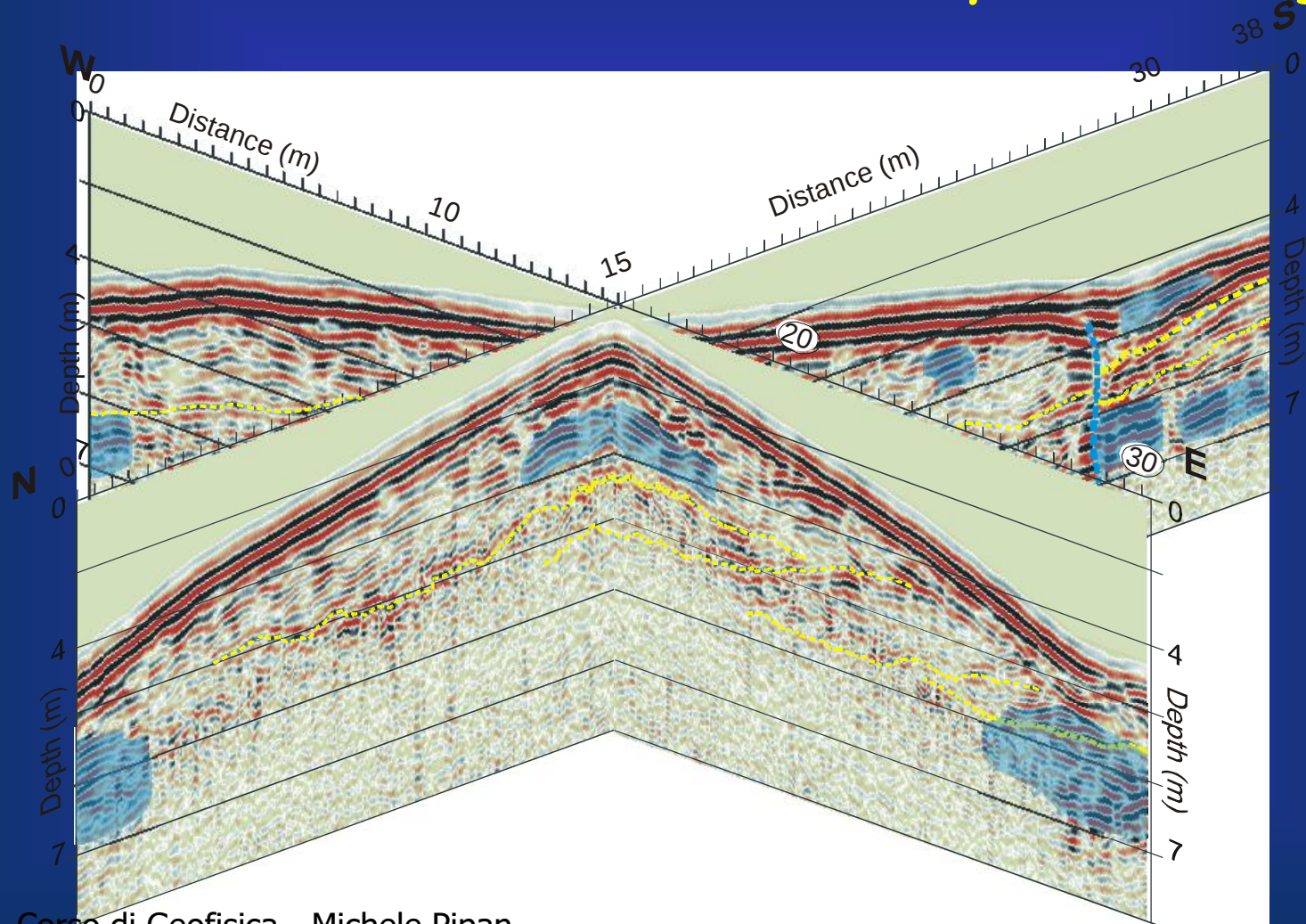
*COSA possiamo vedere nel sottosuolo
con I nuovi metodi geofisici?*

geologico... → un esempio



**COSA possiamo vedere nel sottosuolo
con I nuovi metodi geofisici?**

➡ ... ed un esempio archeologico



Corso di Geofisica - Michele Pipan

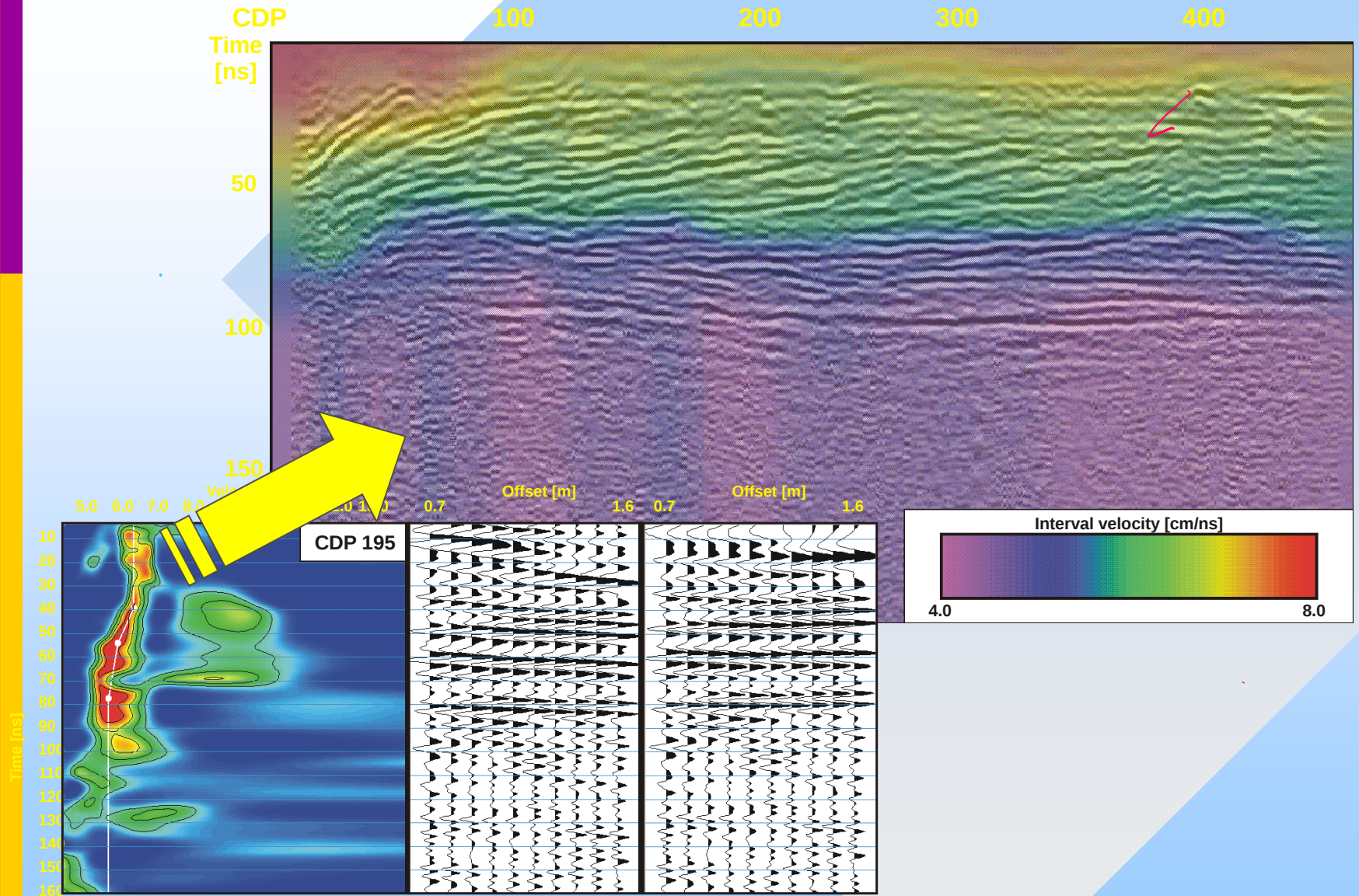
... VERIFICA TRAMITE SCAVO



... VERIFICA TRAMITE SCAVO



Dalle immagini alle proprietà fisiche dei materiali



I
N
V
E
R
S
I
O
N
E

GPR: fondamenti teorici

Equazioni di Maxwell

J = densità corrente (A/m²)

E = intensità campo elettrico (V/m)

B = densità flusso magnetico (T)

H = intensità campo magnetico
(A/m)

D = spostamento elettrico (C/m²)

$$\nabla^2 E = j\omega\mu\sigma E - \omega^2\mu\epsilon E$$

$$\nabla^2 H = j\omega\mu\sigma H - \omega^2\mu\epsilon H$$

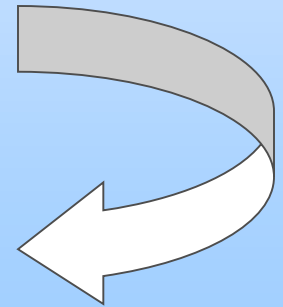
$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$$

$$B = \mu H$$

$$D = \epsilon E$$

$$J = \sigma E$$



GPR:
proprietà' dei
materiali

$$\frac{\partial^2 E}{\partial z^2} = \mu \varepsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu \varepsilon}} \quad (m / s)$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_o \varepsilon_o}}$$

$$\mu = \mu_o \mu_r$$

$$\varepsilon = \varepsilon_o \varepsilon_r$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

GPR: proprietà' dei materiali

TOPP

$$\varepsilon_r = 3.03 + 9.3\theta_w + 146.0\theta_w^2 + 76.7\theta_w^3$$

GPR: proprietà' dei materiali

CRIM

$$\sqrt{\varepsilon_r} = \phi(1 - S_w)\sqrt{\varepsilon_0} + (1 - \phi)\sqrt{\varepsilon_1} + \phi S_w \sqrt{\varepsilon_2}$$

Maxwell – Wagner – Bruggeman – Hanai (MWBH)

$$\frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_r}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_r} \right)^{1/3} = \phi$$

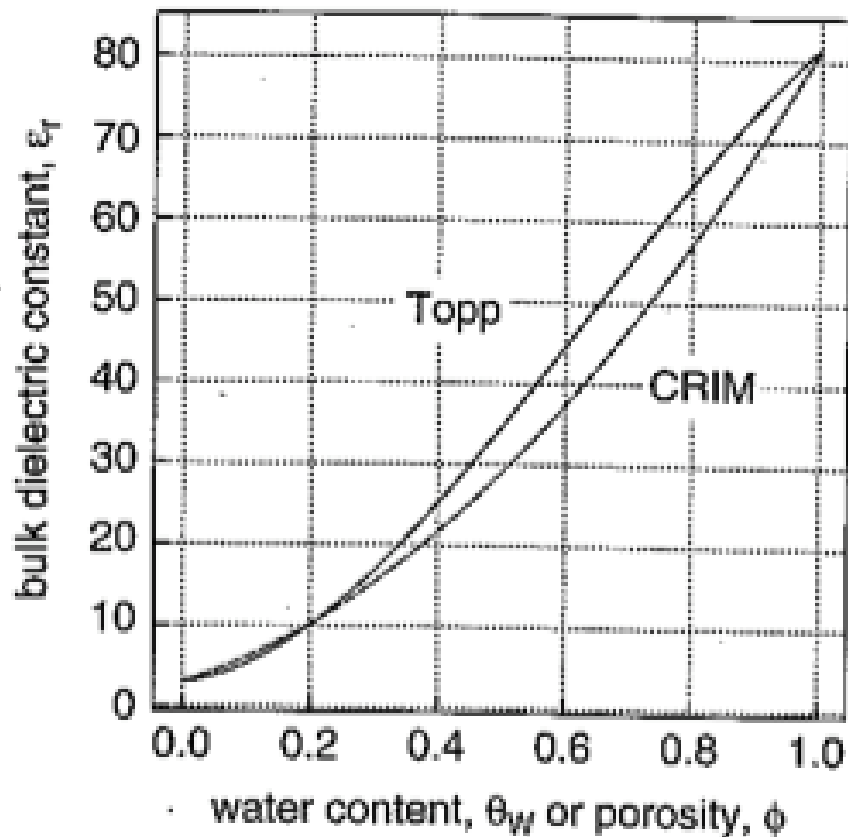
GPR: proprietà' dei materiali

$$v = \frac{c}{\sqrt{\frac{\mu_r \epsilon_r}{2} \left[\sqrt{(1 + P^2)} + 1 \right]}}$$

$$P = \frac{\sigma}{\omega \epsilon} = \tan \delta$$

Fattore di perdita

GPR: proprietà' dei materiali



GPR: proprietà' dei materiali

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \quad (ohm)$$

Impedenza intrinseca

$$E(z) = E_o e^{-jkz}$$

Onda che si propaga in
dielettrico perfetto

Numero d'onda

$$k = \frac{\omega}{v} = \omega \sqrt{\mu\varepsilon}$$

Cicli per metro

$$k\lambda = 2\pi$$

Lunghezza d'onda

$$\lambda = \frac{2\pi}{\omega \sqrt{\mu\varepsilon}} = \frac{v}{f}$$

GPR: dissipazione in dielettrici

Permittivita' e Conduttivita' complesse

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon''$$

$$J = \sigma E + i\omega D = \sigma E + i\omega \varepsilon E = \sigma^* E$$

$$\sigma^* = \sigma + i\omega \varepsilon$$

Per f fino a 1 GHz e $\sigma < 0.01$ S/m, ε'' viene in genere trascurata

GPR:

propagazione onda in dielettrico conduttivo

$$E(z, t) = E_o e^{-\alpha z} \cdot e^{j(\omega t - \beta z)}$$

$$k = \omega \sqrt{\mu(\epsilon' - j\epsilon'')}$$

Numero d'onda
complesso

$$jk = \alpha + j\beta = j\omega \sqrt{\mu\epsilon' \left(1 - j \frac{\epsilon''}{\epsilon'}\right)}$$

α =fattore d'attenuazione

β =coefficiente di fase

$z = 1/\alpha$ =skin depth

GPR:

fattore d'attenuazione e coefficiente di fase

$$\alpha = \omega \left[\frac{\mu \varepsilon'}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \right)^2} - 1 \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\beta = \omega \left[\frac{\mu \varepsilon'}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \right)^2} + 1 \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

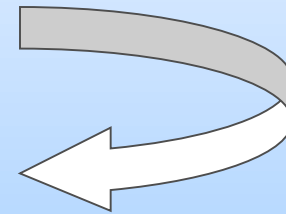
GPR: tangente di perdita

$$\frac{\varepsilon_e''}{\varepsilon_e'} = \tan \delta$$

Per materiali asciutti e a bassa dissipazione (perdita) $\tan \delta$ e' approssimativamente costante tra 10^7 e 10^{10} Hz (intervallo di interesse per GPR)

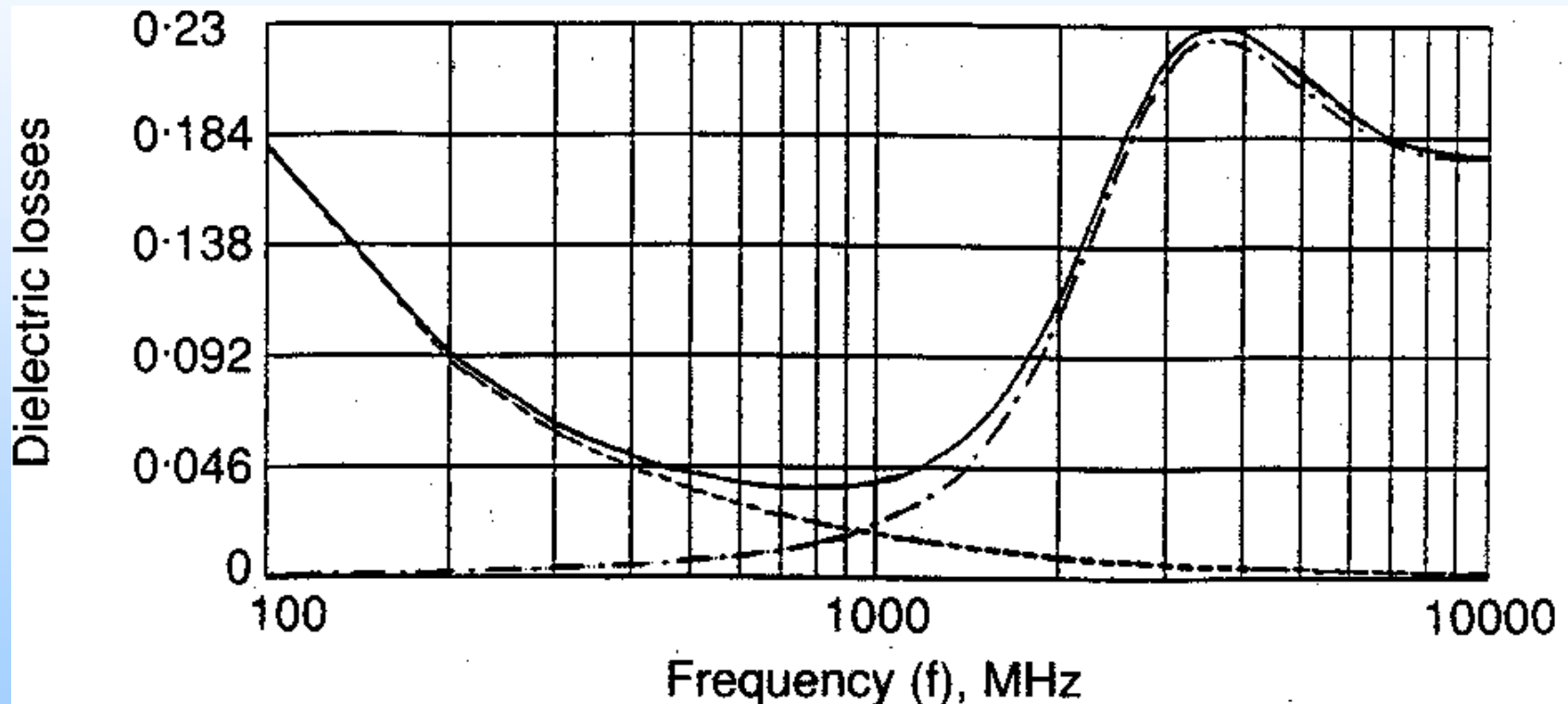
Ma per materiali umidi e con perdita non si puo' approssimare

$$\tan \delta = \frac{\sigma' + \omega \varepsilon''}{\omega \varepsilon' + \sigma''}$$



In genere, per materiali geologici $\tan \delta$ e' elevata a bassa frequenza, raggiunge un minimo intorno ai 10^8 Hz e sale poi verso un massimo a diversi GHz rimanendo poi costante

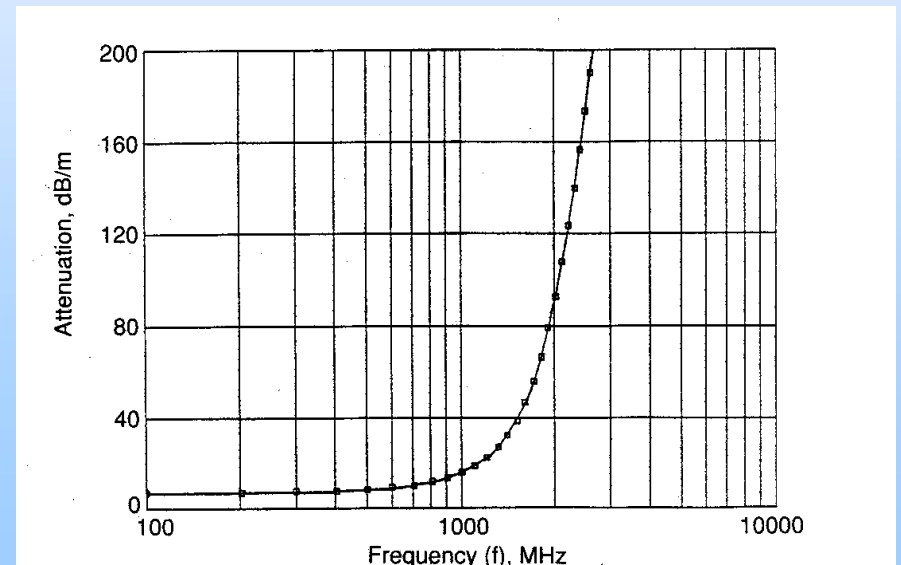
GPR: Perdite dielettriche per un suolo medio



GPR:
tangente di perdita (2)

$\tan\delta$ =perdite per conduttività' +
perdite dipolari (H_2O)

$$\tan \delta = \frac{\sigma_{dc}}{\omega \epsilon} + \text{perdite.dipolari}$$



GPR:

impedenza intrinseca e coefficiente riflessione

$$\eta = \frac{E}{H} = \left[\frac{-j\omega\mu}{\sigma - j\omega\varepsilon} \right]^{\frac{1}{2}} \approx \left[\frac{\mu}{\varepsilon} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (ohms)$$

$$R = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1}$$

Coefficiente riflessione

$$R = \frac{\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2}}{\sqrt{\varepsilon_2} + \sqrt{\varepsilon_1}}$$

c.r. in mezzo non conduttivo