



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE

Studio sulla propagazione delle onde elettromagnetiche in materiali dielettrici reali per applicazioni Ground Penetrating Radar

Relatore: prof. Roberto Vescovo

Laureando: Carlo Venier

PRESENTAZIONE E OBIETTIVI

- **approfondimento sulla metodologia Ground Penetrating Radar (GPR)**
- **studio delle caratteristiche dei dielettrici**
- **studio della propagazione delle onde nei dielettrici**
- **applicazione di concetti teorici per un corretto approccio alla tecnica di rilevamento GPR**

INTRODUZIONE

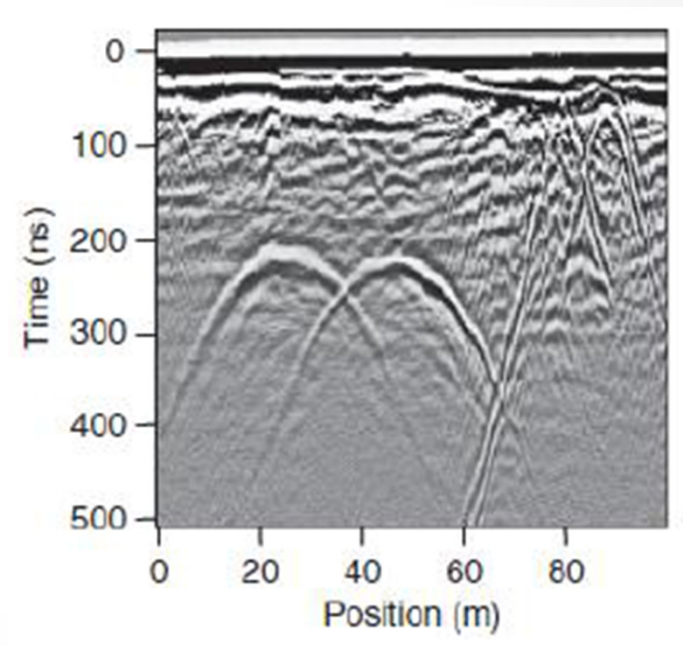
Ground Penetrating Radar (GPR)

- **metodo di prospezione geofisica non invasivo**
- **ricezione delle onde elettromagnetiche riflesse o diffuse**
- **tecnica di scansione del terreno largamente utilizzata**
- **sistema di rilevamento utilizzato da più di trent'anni**

INTRODUZIONE

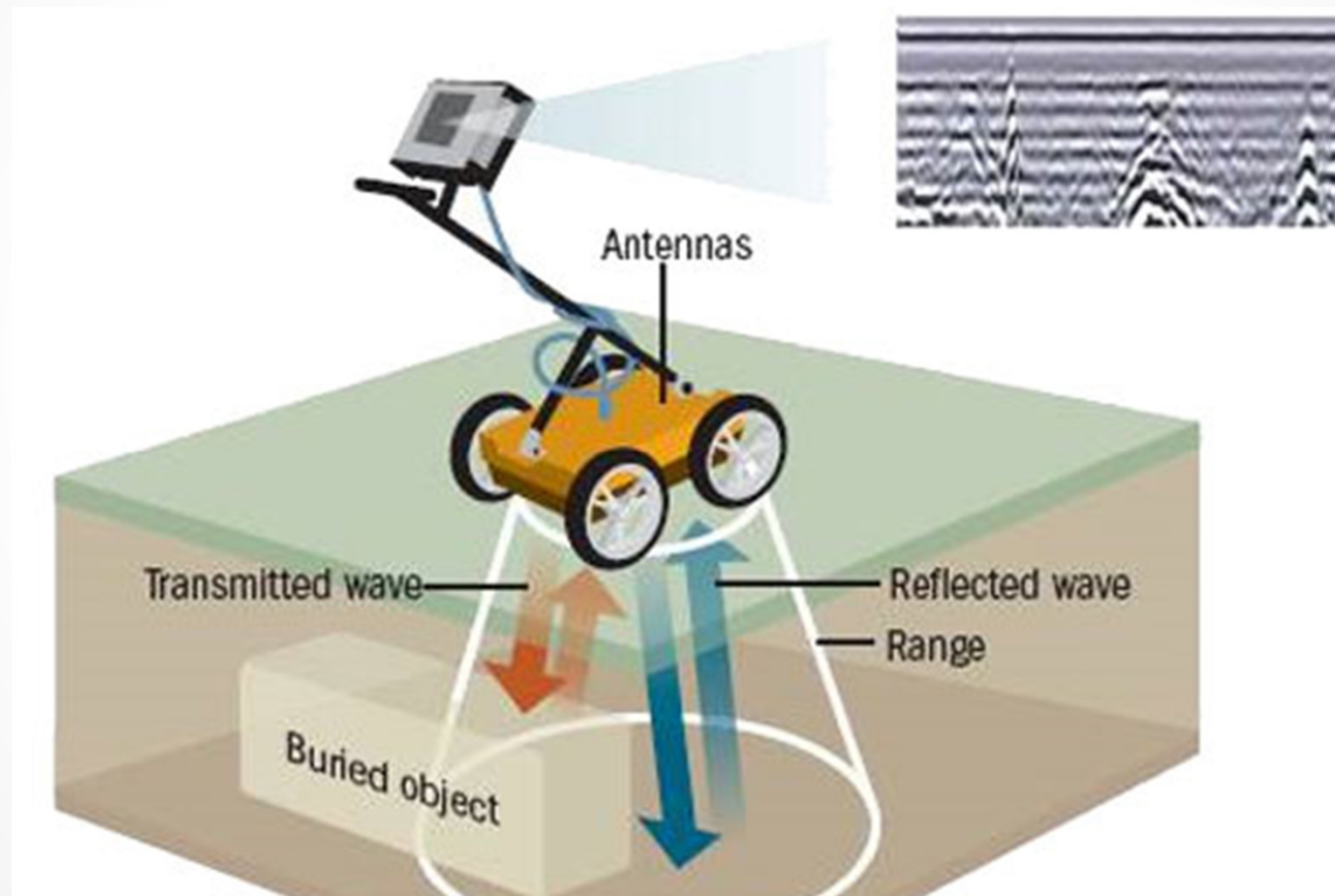
Ground Penetrating Radar: Principio di funzionamento

- **impulsi ad alta frequenza immessi nel terreno**
- **riflessioni e rifrazioni delle onde causate da discontinuità nel sottosuolo**
- **ricezione dei segnali riflessi**
- **sezioni radar (radargrammi)**
- **tecniche di filtraggio delle sezioni radar**



INTRODUZIONE

Ground Penetrating Radar: Strumentazione



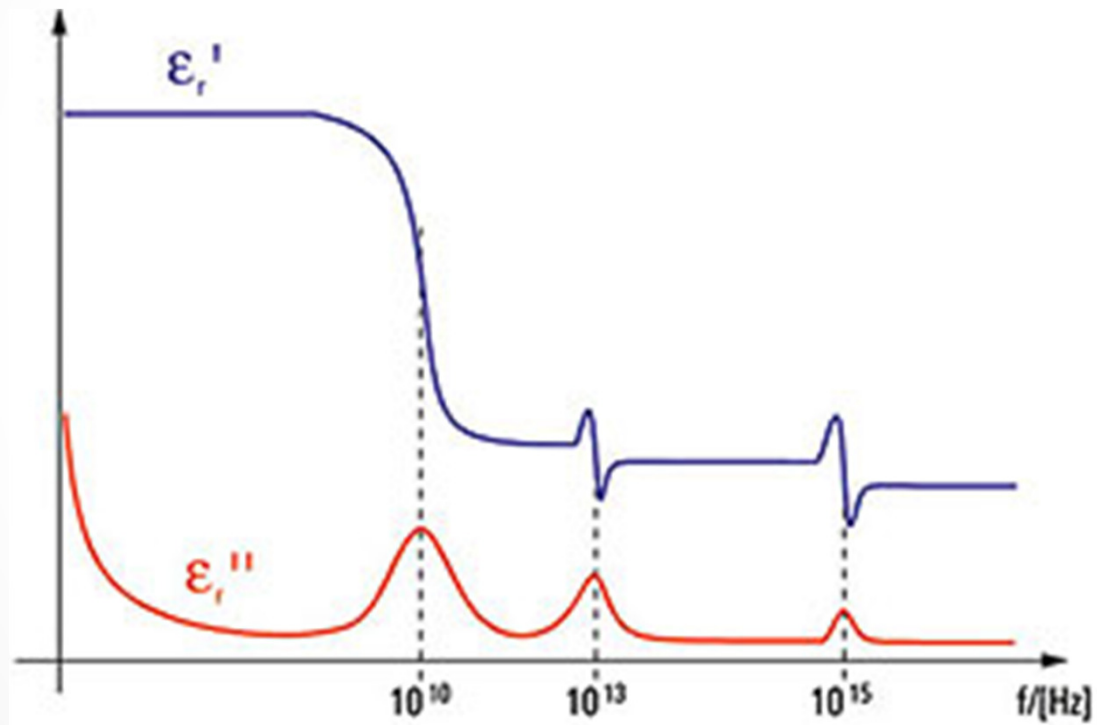
MATERIALI DIELETTICI

Polarizzazione

- **vari tipi di polarizzazione**
 - **per orientazione dipolare**
 - **per deformazione atomica**
 - **per deformazione elettronica**
- **permittività dielettrica**

MATERIALI DIELETTICI

Polarizzazione

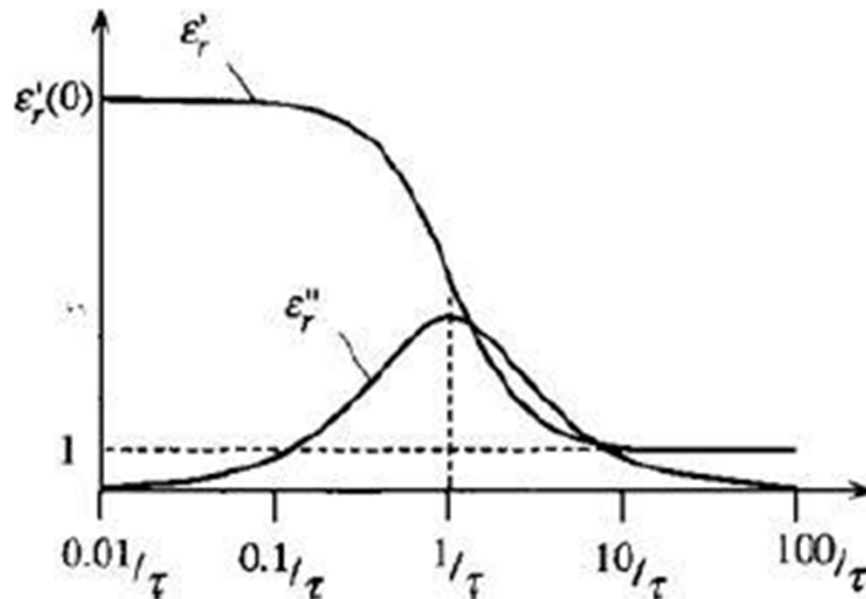


RILASSAMENTO DIELETTRICO

- definizione del fenomeno di rilassamento e della frequenza di rilassamento

Modello di Debye

$$\epsilon_r = \epsilon_v + \frac{(\epsilon_s - \epsilon_v)}{1 + j\omega\tau}$$



ANISOTROPIA

- proprietà dei materiali variano in funzione della direzione
- le grandezze caratteristiche sono descritte da diadi

$$\bar{\bar{\epsilon}} = \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} & \epsilon_{zy} & \epsilon_{zz} \end{bmatrix}$$

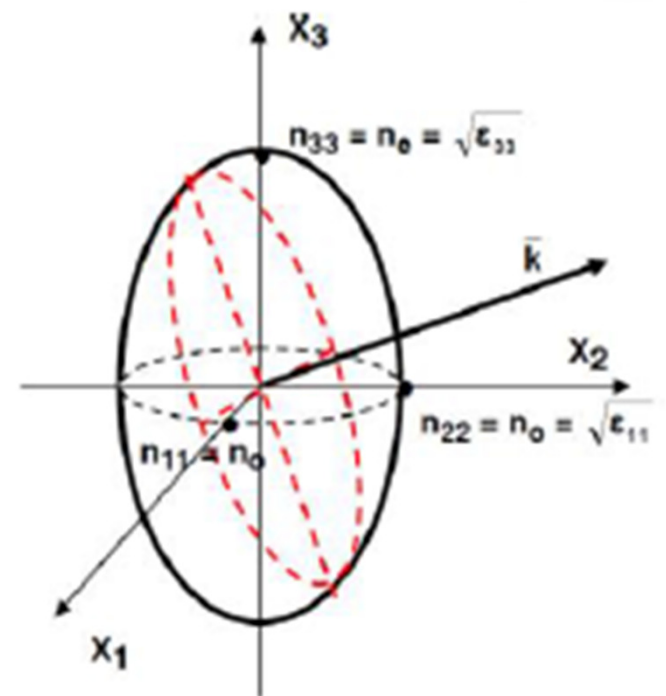
- solitamente nei cristalli
- differenza tra i cristalli uniassici e biassici

PROPAGAZIONE IN UN MEZZO ANISOTROPO

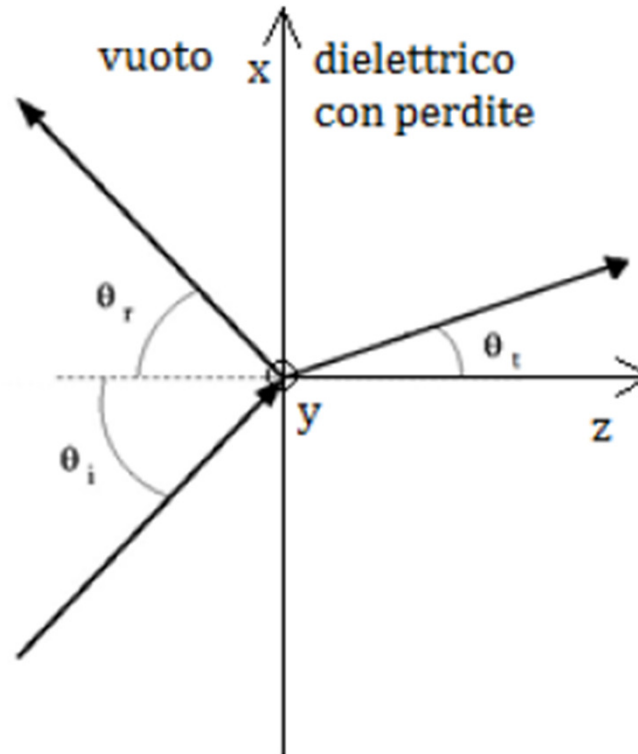
- fenomeno della birifrangenza
- equazione di dispersione

$$|k_0^2 \bar{\bar{\epsilon}} + (\bar{k} \times \bar{I}) \cdot \bar{\bar{\mu}}^{-1} \cdot (\bar{k} \times \bar{I})| = 0$$

- vettore di propagazione
- ellissoide di Fresnel



RIFLESSIONE E RIFRAZIONE DELLE ONDE IN MEZZI CON PERDITE



- la velocità di propagazione dell'onda nel secondo mezzo è minore del caso di un mezzo dielettrico perfetto

RIFLESSIONE E RIFRAZIONE DELLE ONDE IN MEZZI CON PERDITE

- **velocità di fase nel caso del dielettrico senza perdite**

$$v_{f_2} = \frac{\omega}{\beta_1 \sin \theta_i}$$

- **velocità di fase nel caso di dielettrico con perdite**

$$v_{f_2} = \frac{\omega}{\sqrt{(\beta_1 \sin \theta_i)^2 + q_2^2}}$$

- **angolo di trasmissione diverso da quello previsto dalla legge di Snell**

SCATTERING ELETTROMAGNETICO

Equazioni di Bessel

- equazione differenziale di Bessel di prima specie e ordine n

$$x^2 \frac{d^2 y}{dx^2} + x \frac{dy}{dx} + (x^2 - n^2)y = 0$$

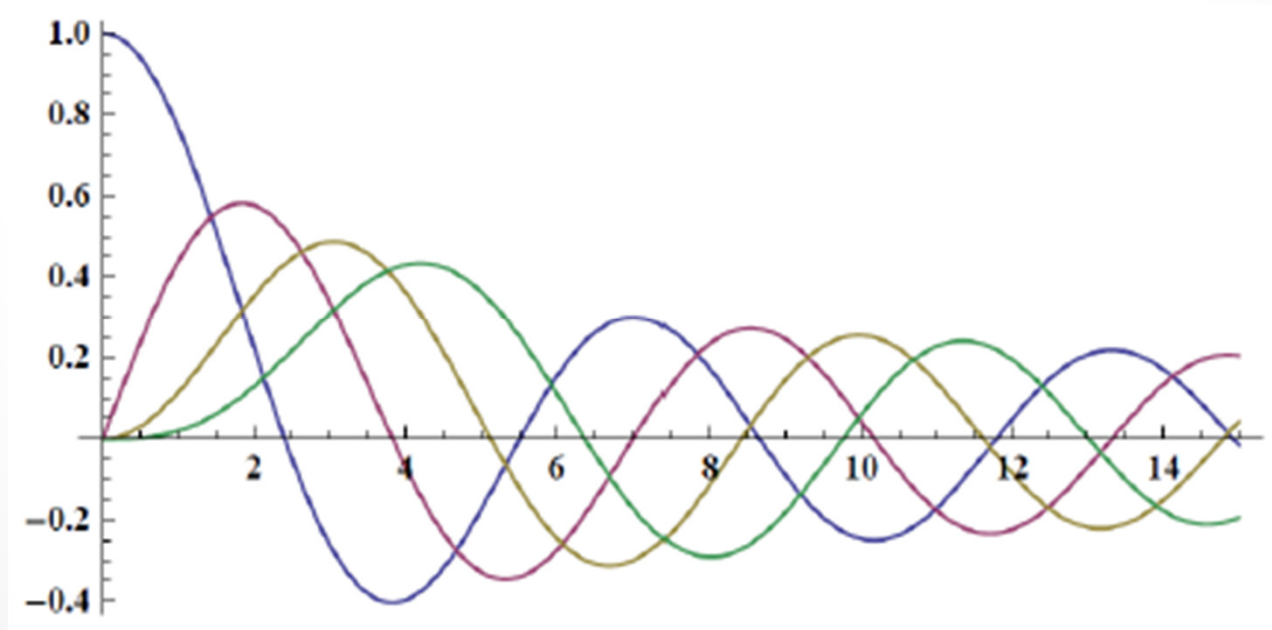
- possibile soluzione:

$$J_n(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{(-1)^k \left(\frac{x}{2}\right)^{2k+n}}{k! \Gamma(k+n+1)}$$

SCATTERING ELETTROMAGNETICO

- le funzioni di Bessel sono sviluppabili in serie di Laurent e rappresentano i coefficienti della serie di Fourier di

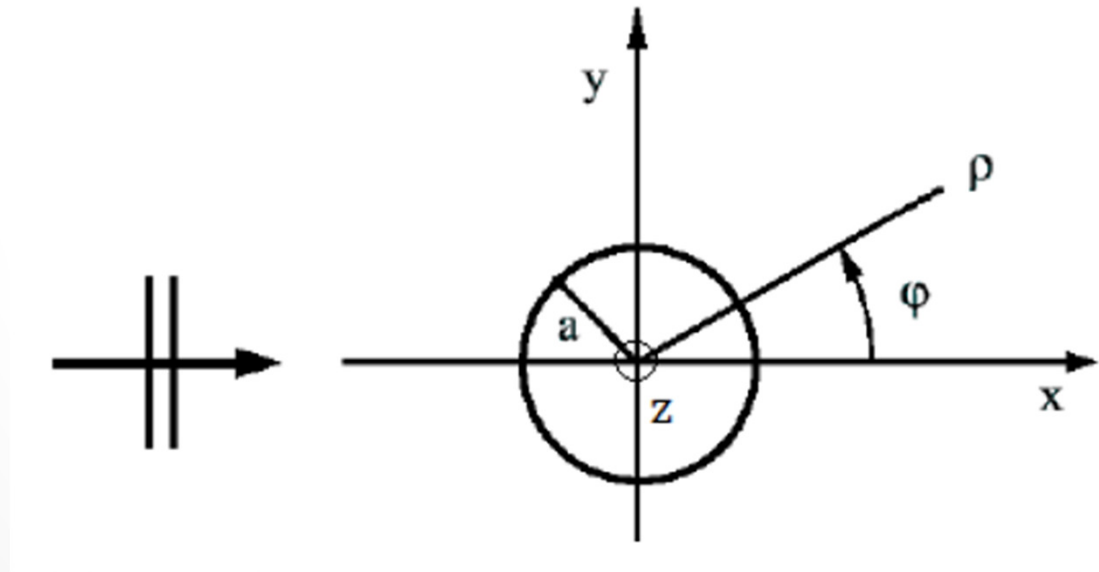
$$e^{jx \sin \theta} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(x) e^{jn\theta}$$



SCATTERING ELETTROMAGNETICO

Scattering da cilindro – incidenza normale all'asse del cilindro

- geometria del problema



SCATTERING ELETTROMAGNETICO

Scattering da cilindro conduttore – incidenza normale all'asse del cilindro

- equazione dell'onda incidente, polarizzata TMz,

$$E_i(\rho, \varphi) = E_0 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} j^{-n} J_n(k\rho) e^{jn\varphi}$$

- equazione del campo di scattering esterno

$$E_s(\rho, \varphi) = E_0 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} j^{-n} c_n H_n^{(2)}(k\rho) e^{jn\varphi}$$

SCATTERING ELETTROMAGNETICO

Scattering da cilindro dielettrico – incidenza normale all'asse del cilindro

- **stesse considerazioni del caso cilindro conduttore**
- **presenza di un campo di scattering anche all'interno del cilindro**

$$\bar{E}_c(\rho, \varphi) = E_0 \hat{k} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} j^{-n} a_n J_n(k_c \rho) e^{jn\varphi}$$

FUTURI SVILUPPI

- **studio più approfondito delle problematiche legate alla realizzazione dello strumento GPR**
- **caratterizzazione dello strumento**
- **realizzazione dello strumento**

Grazie per la cortese attenzione.