



Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale

## DECOMMISSIONING DI IMPIANTI INDUSTRIALI

**La caratterizzazione non invasiva  
dei terreni e degli edifici dismessi**



Docente: dott.ssa Roberta Zambrini

e-mail [direzione@anfibia.eu](mailto:direzione@anfibia.eu)



# Quali sono le incognite in un impianto dismesso che devo ristrutturare/riconvertire?

Esempio applicativo: stabilimento Ex Falco (Pomposa)

vulnerabilità sismica degli edifici rispetto alle normative vigenti

presenza di sottoservizi o di rifiuti interrati

natura dei materiali degli edifici per la resistenza al fuoco: stato del c.a., armature, solai, pavimentazioni, fondazioni ecc..



caratterizzazione dei terreni per valutare la presenza di contaminazioni

natura litologica dei terreni e la loro amplificazione sismica

anfibia  
S.P.I.

LIFE LABORATORI INGEGNERIA FERRARA

ArchLiving  
LABORATORIO di PROGETTAZIONE  
SONGEO S.R.L.

# Indagini in situ per la caratterizzazione ambientale, sismica e strutturale di un sito industriale dismesso

Esempio applicativo: stabilimento Ex Falco (Pomposa)

## Indagini geotecniche, ambientali e geofisiche sui terreni :

- Sondaggi, SCPT, CPTU, campioni
- Geoprobe
- Analisi di laboratorio (chimico-fisiche)
- Sismiche e vibrazionali

## Altre indagini

- Georadar
- Geoelettriche

## Indagini sugli edifici (fondazioni, travi, pilastri, tegoli, capriate in acciaio

- Carotaggi sul cls.
- Prove di laboratorio (compressione)
- Saggi sulle armature e sugli acciai (snervamento, rottura, ecc.)
- Pull-off
- Pacometro
- Carbonatazione

## Altre indagini

- SonReb (sclerometro e ultrasuoni)
- Georadar alta freq.
- Termografia

## LE INDAGINI GEOGNOSTICHE: GEOTECNICA E GEOFISICA

Il sottosuolo può essere caratterizzato dal punto di vista geologico, geotecnico e geomeccanico attraverso indagini:

dirette: consentono un rilievo diretto e dettagliato del terreno (prove geotecniche come sondaggi, prove penetrometriche CPT ecc..) e permettono il campionamento

vantaggi - elevata precisione

svantaggi - informazioni puntuali, il campione non sempre è rappresentativo

indirette: misurano la variazione di caratteristiche intrinseche dei materiali e permettono di risalire alla definizione del terreno che costituisce il sottosuolo (metodi geofisici)

vantaggi - informazioni su aree estese

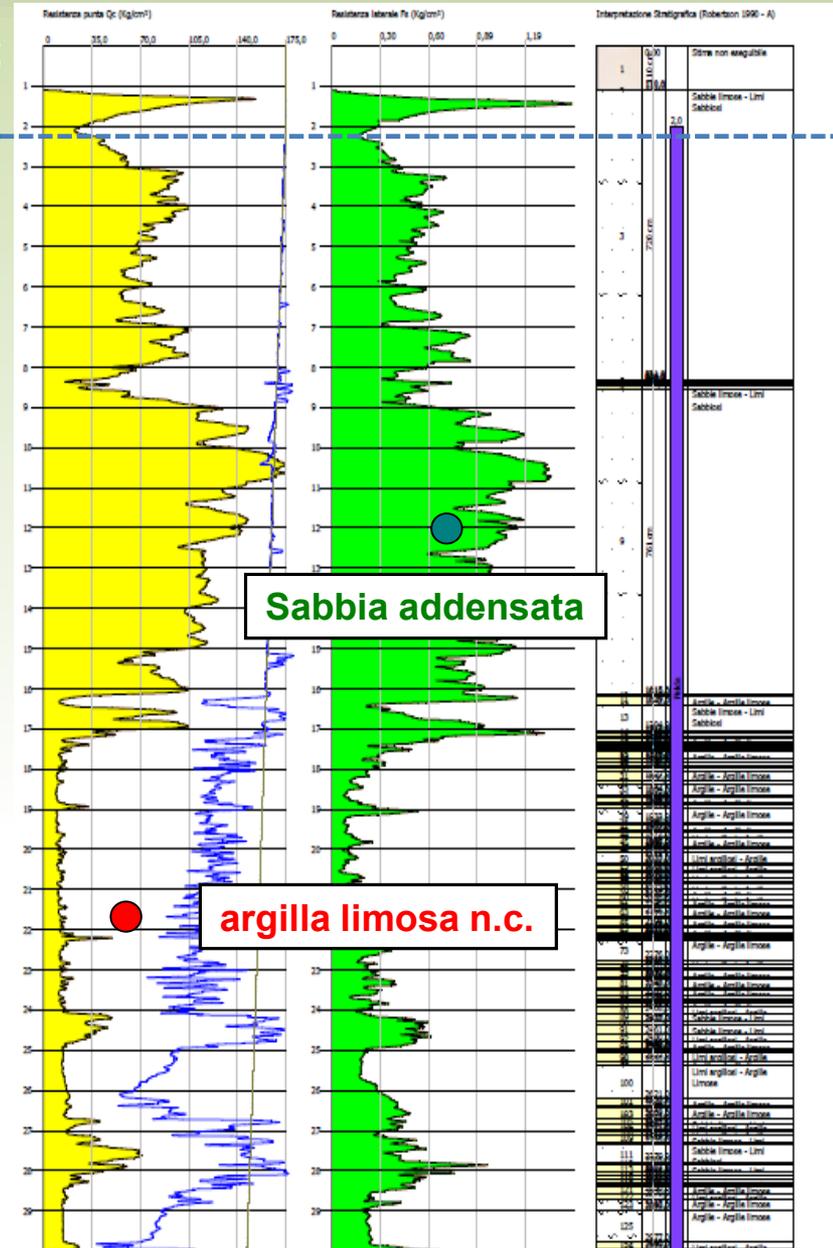
svantaggi - valutazioni qualitative

**ATTENZIONE: le prove geofisiche DEVONO SEMPRE essere tarate sui risultati geotecnici!!!**

# INDAGINI "DIRETTE"

Le prove geotecniche più diffuse sono:

- CPT, CPTU E SCPTU sono prove penetrometriche con o senza piezocono o punta sismica, che restituiscono la resistenza del terreno e una correlazione con la stratigrafia e la velocità delle onde sismiche
- Sondaggi a rotazione: eseguono un carotaggio dal quale si possono prelevare campioni indisturbati e non
- Sondaggi con Geoprobe: particolare metodo di infissione a percussione della fustella che permette di ottenere un campione integro dal punto di vista chimico-fisico



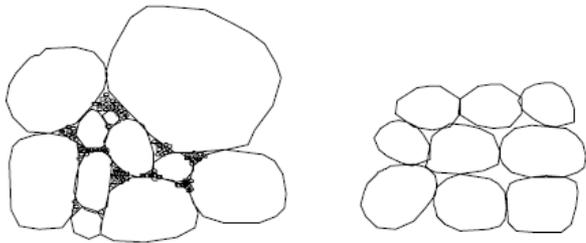
# INDAGINI "DIRETTE"

Sui **CAMPIONI** posso eseguire una serie di analisi:

- Chimiche e microbiologiche: idrocarburi, metalli pesanti, IPA, PCB, ecotossicologiche ecc..
- Fisiche: granulometria, porosità, contenuto d'acqua, prove di resistenza al taglio, triassiali, edometriche ecc..

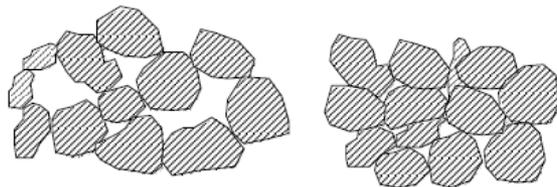
## Granulometria

### Assortimento e Addensamento



SABBIA BENE ASSORTITA    SABBIA POCO ASSORTITA

Figura 1.3 – Tipo di assortimento di una sabbia

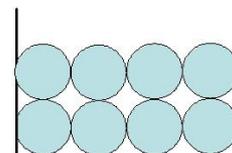


SABBIA SCIOLTA    SABBIA DENSA

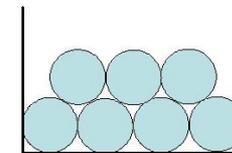
Figura 1.4 – Stati di addensamento di una sabbia



## Porosità e densità



Disposizione cubica – porosità 48 %

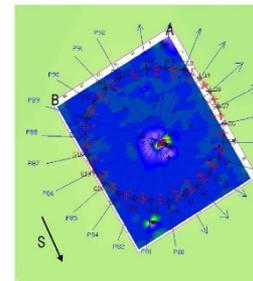
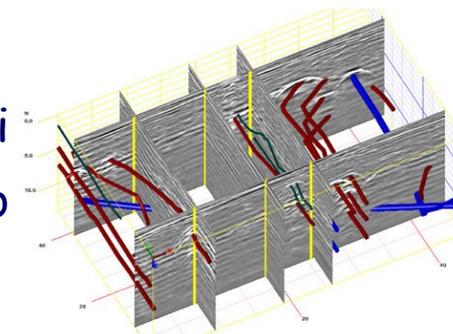
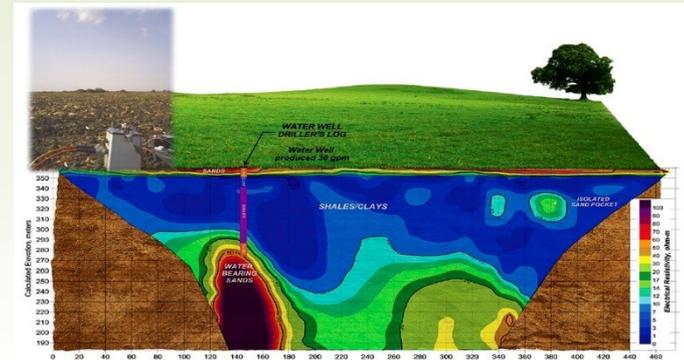
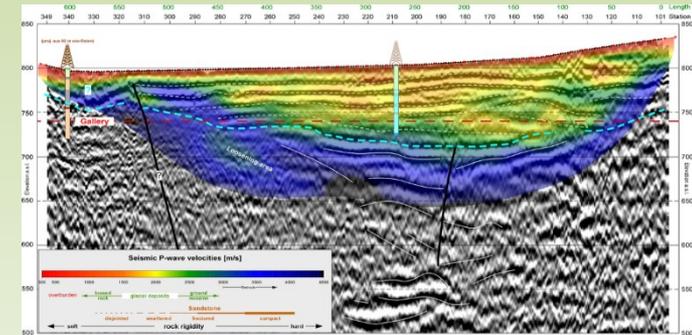


Disposizione romboedrica – porosità 26 %

# INDAGINI "INDIRETTE"

I metodi geofisici più utilizzati sono:

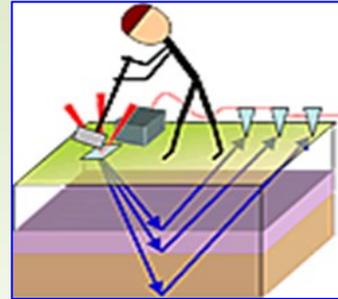
- Sismico: onde sismiche di compressione (P), di taglio (S) e di superficie (R). Interpretazione di onde riflesse, rifratte e della loro dispersione
- Geoelettrico: trasmissione di corrente elettrica continua o alternata, e misura della ddp funzione della conducibilità dei materiali attraversati
- Elettromagnetico: segnale elettromagnetico riflesso dalle discontinuità, o metodo a induzione che restituisce la conducibilità dei materiali attraversati
- Magnetico: misura delle intensità delle variazioni localizzate rispetto al Campo Magnetico Terrestre



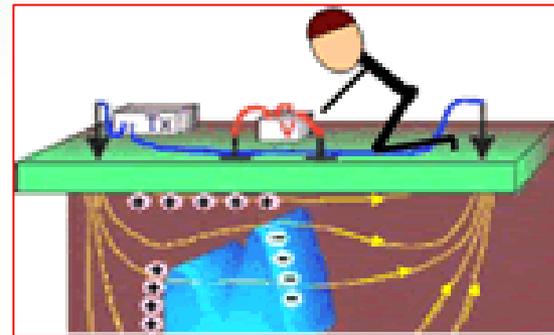
# Applicazioni GEOFISICHE

I terreni e le rocce hanno importanti proprietà fisiche intrinseche sulle quali si basa l'applicazione di tutti i metodi geofisici. Queste proprietà che vengono determinate attraverso le misure con le diverse metodologie sono:

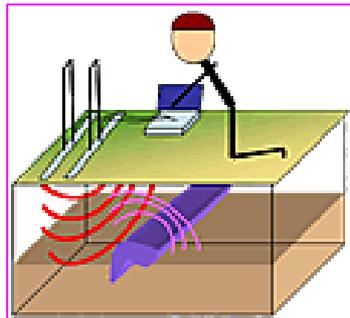
- **Elastiche** - velocità , moduli elastici



- **Elettriche** - Resistività , conducibilità, potenziale spontaneo, polarizzazione indotta, permittività dielettrica



- **Magnetiche** - suscettività magnetica



# METODI SISMICI

## Cos'è un'onda sismica?

Un'onda sismica è un' onda acustica che rappresenta uno stato "meccanico" di non-equilibrio, definibile da una grandezza fisica meccanica (*sforzo, deformazione, spostamento, velocità, accelerazione, ...*), che si propaga da un punto all'altro di un mezzo (non nel vuoto). Matematicamente e graficamente si rappresenta in due domini attraverso la trasformata di Fourier:

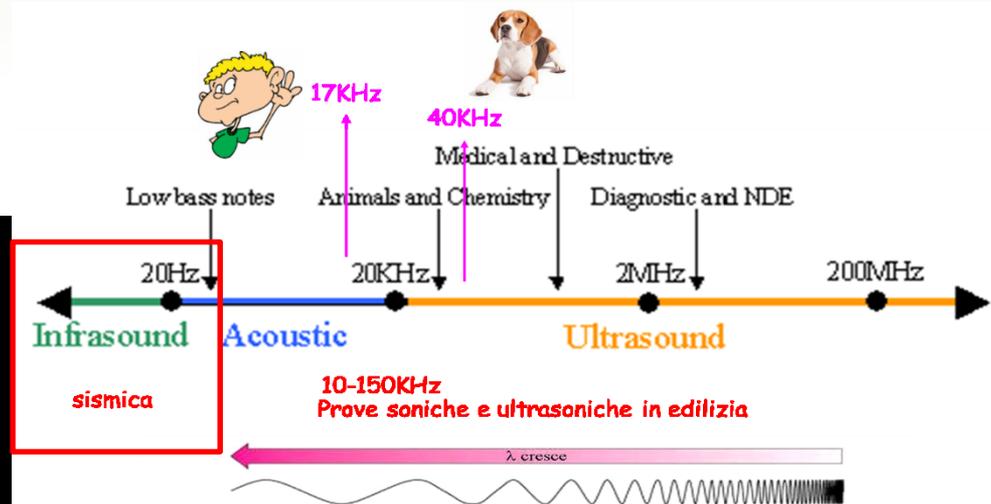
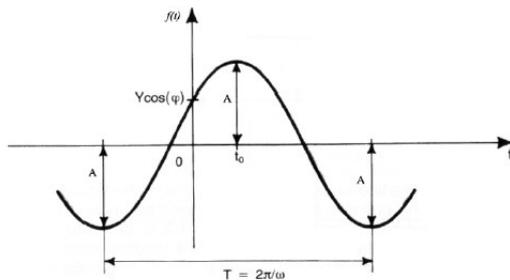
DOMINIO TEMPI



DOMINIO FREQUENZE

FFT

(SPETTRO DI AMPIEZZA O BANDA)

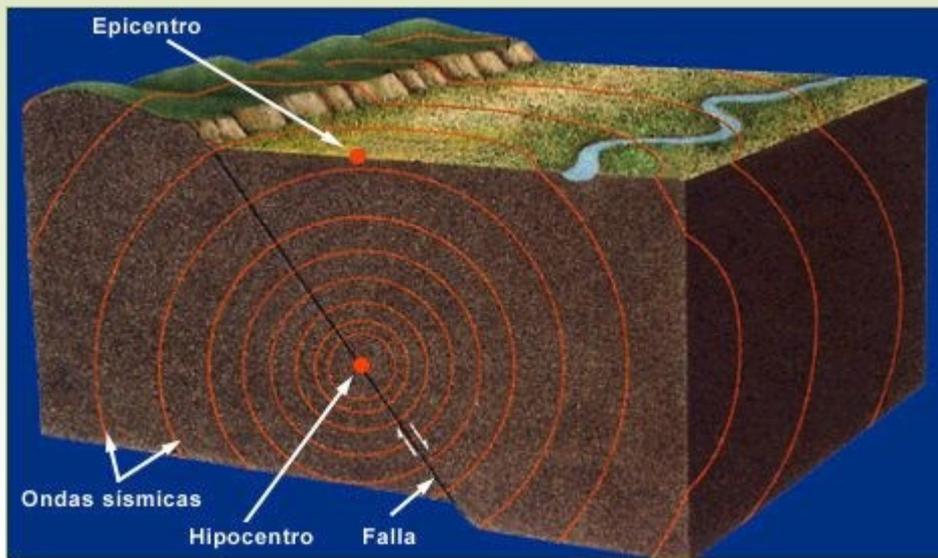


Un sismogramma nel «dominio del tempo» è caratterizzato da:

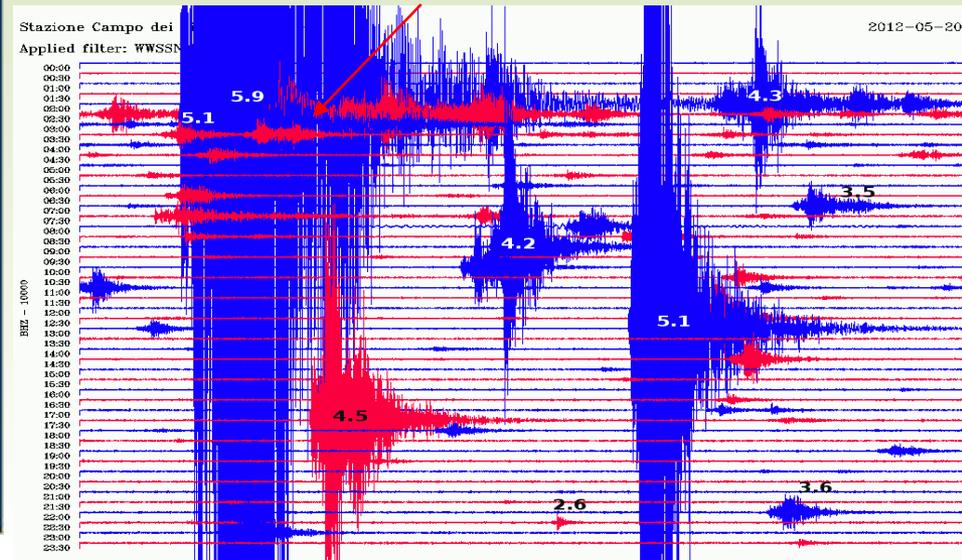
- Durata  $t$  – lunghezza del segnale registrato (record time)
- Ampiezza  $A$  – altezza del segnale nella finestra temporale considerata
- Periodo  $T$  – tempo fra due cicli nella finestra temporale considerata

# METODI SISMICI

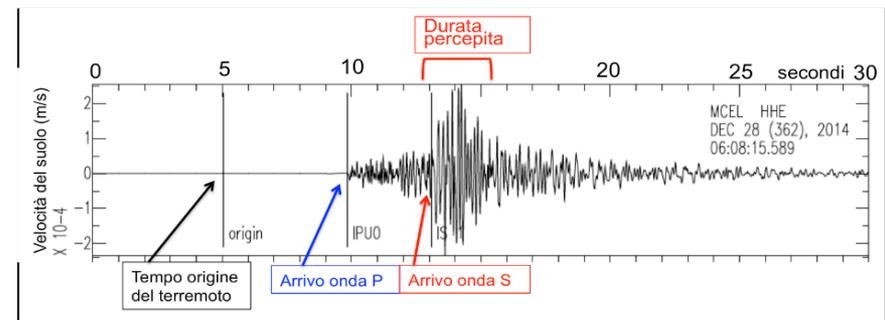
## Cos'è un'onda sismica?



FINALE EMILIA 20 maggio 2012 ore 4:03



Durante i terremoti si sviluppano treni d'onda detti onde sismiche, attraverso cui possiamo studiare il sottosuolo. Possiamo fare l'analisi di rischio sismico generando onde sismiche artificiali



# Rischio sismico e risposta sismica locale

Il rischio sismico è la misura dei danni che, in base al tipo di sismicità, di resistenza delle costruzioni e di antropizzazione (natura, qualità e quantità dei beni esposti), ci si può attendere in un dato intervallo di tempo e in una particolare area.

## NORMATIVA:

- OPCM 20 marzo 2003, n. 3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- OPCM 28 aprile 2006, n. 3519 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi"
- Norme tecniche costruzioni 2008
- Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (IMCS, 2008)
- Contributi per l'aggiornamento degli 'Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica', supplemento alla rivista *Ingegneria Sismica*" (2011)

# Rischio sismico e risposta sismica locale

Risposta sismica locale: alcuni depositi (terreni poco consolidati) e particolari forme del territorio (dorsali, creste, picchi, versanti acclivi) possono modificare l'ampiezza, la frequenza e la durata del sisma

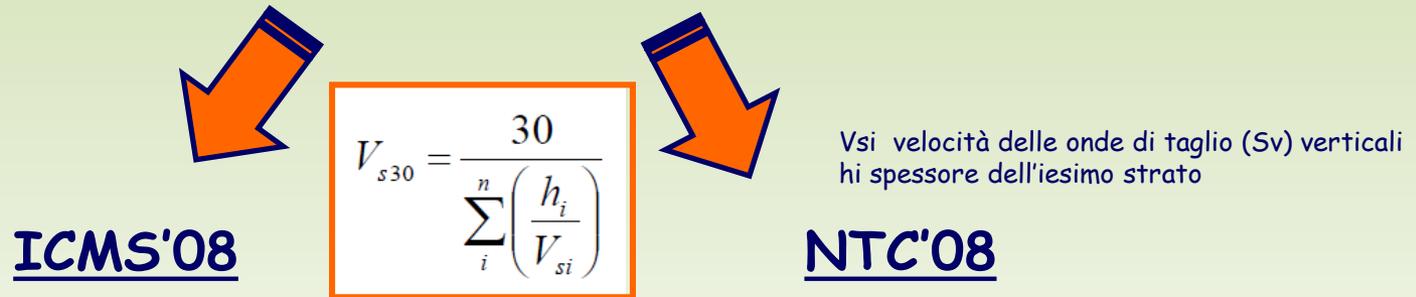
I terreni teneri smorzano più delle rocce però c'è sempre competizione fra SMORZAMENTO e AMPLIFICAZIONE

Se  $V_2 \gg V_1$  l'onda viene «intrappolata» e l'ampiezza è doppia!!



# Rischio sismico e risposta sismica locale

Come si determina la risposta sismica locale a livello sperimentale?



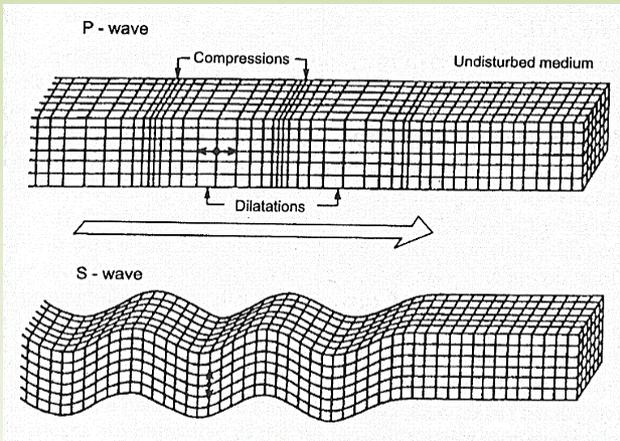
## ICMS '08 (e ss.mm.)

Per ricostruire il modello del sottosuolo è importante acquisire:

- una base topografica del territorio;
- carte tematiche del territorio; carte geologiche, geologico-tecniche, idrogeologiche, geomorfologiche, che rappresentano il prodotto di un accurato rilevamento di campagna;
- dati litostratigrafici e geotecnici acquisiti per mezzo di sondaggi meccanici e prove in laboratorio;
- dati geofisici che definiscono la velocità di propagazione delle onde sismiche all'interno dei terreni e la geometria delle unità litotecniche (sismica a rifrazione, in foro, microtremoni, MASW, SASW, ReMi, geoelettrica, georadar, ecc)

# Onde acustiche

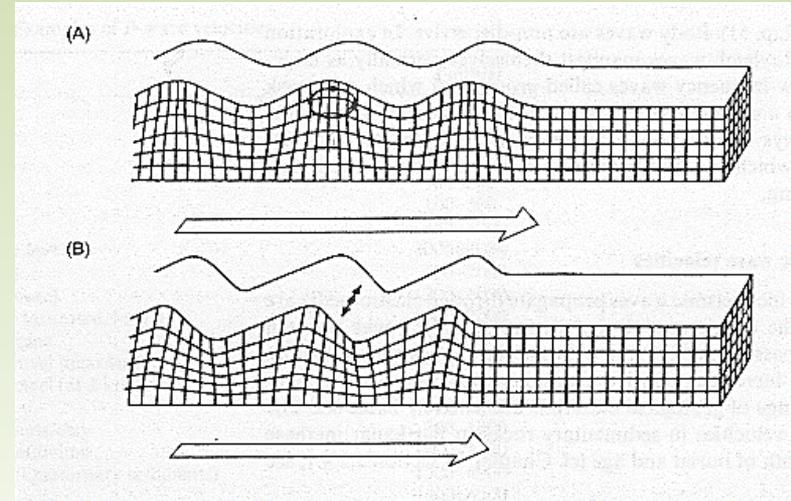
P



S

Rayleigh

Love



**Onde di CORPO o BODY WAVES** → si propagano nell'intero volume

→ Onde P ed S

- Onde P (dilatazionali, longitudinali, irrotazionali, compressionali)
- Onde S (di taglio, trasversali, rotazionali)

**Onde di SUPERFICIE (Ground roll)** → si propagano lungo un'interfaccia (SE ESISTE!) e sono quelle che fanno danni nei sismi: Onde di Rayleigh, di Love, ecc...

# Onde acustiche

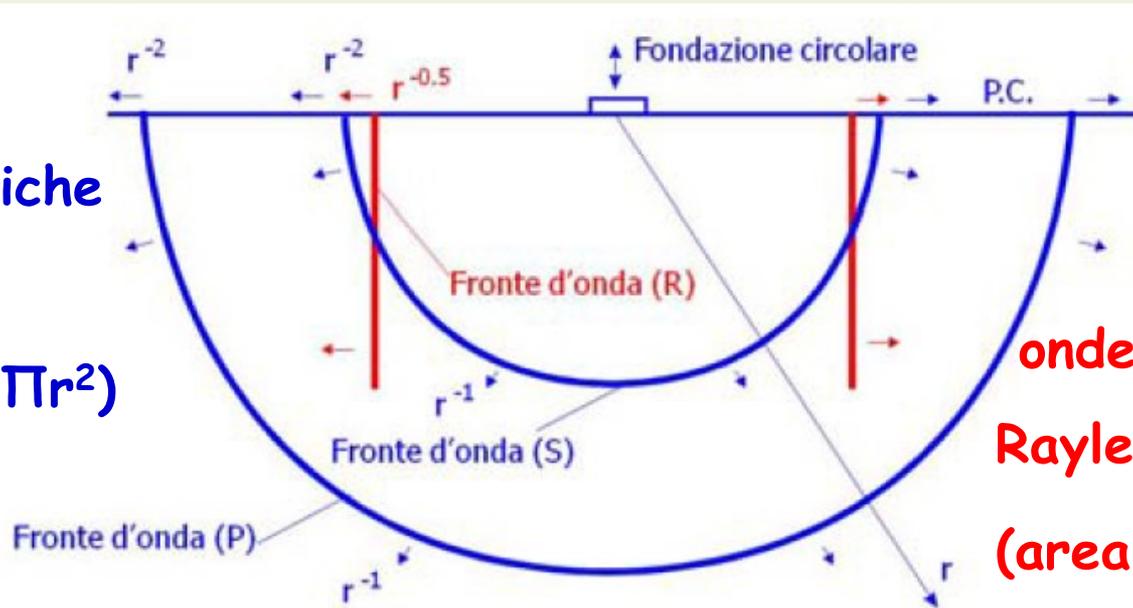
ATTENUAZIONE E SPREADING: Perdita della densità di energia

L'energia è fissa e dipende dalla sorgente. Con la propagazione di un fronte d'onda l'energia si disperde e si hanno due fenomeni:

- Diminuzione dell' "ampiezza" del segnale - SPREADING GEOMETRICO
- Perdita delle alte frequenze - ATTENUAZIONE PER ASSORBIMENTO (ogni ciclo si perde energia, quindi più cicli più perdita)

onde semisferiche  
P ed S  $\approx 1/r$   
(area sfera =  $4\pi r^2$ )

Es.  
a 2m  $I \approx 0.5$   
a 4m  $I \approx 0.25$



Es.  
a 2m  $I \approx 0.7$   
a 4m  $I \approx 0.5$

onde cilindriche  
Rayleigh  $\approx 1/r^{0.5}$   
(area cilindro =  $2\pi rL$ )

In superficie l'ampiezza delle Rayleigh è prevalente rispetto alle P ed S

# Condizioni di applicabilità per i rilievi sismici:

- linearità (sforzi di breve durata) - onde sismiche artificiali
  - conservazione dell'energia
  - profondità contenute - ~ 2000-3000m
- piccole deformazioni - sorgenti a bassa potenza

rocce  comportamento elastico ideale



## PROSPEZIONI SISMICHE:

Sismica a rifrazione, a riflessione, di superficie, in foro

• Velocita' delle Onde P:

$$V_P = \sqrt{\frac{\left(k + \frac{4}{3}\mu\right)}{d}}$$

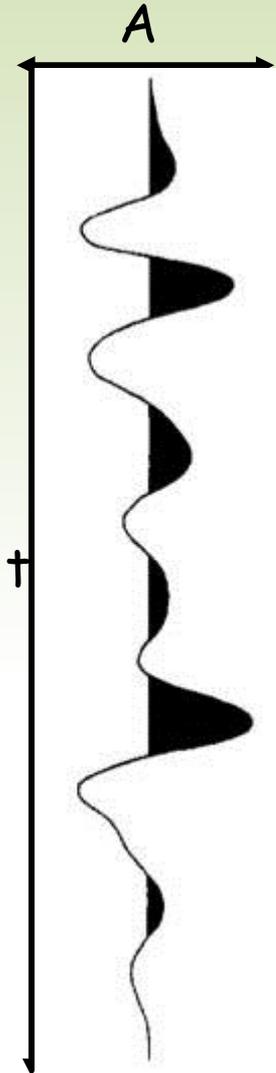
• Velocita' delle Onde S:

$$V_S = \sqrt{\frac{\mu}{d}}$$

Tipo di terreno	$V_P$ [m/s]	$V_S$ [m/s]
Argilla satura	1500	100 ÷ 250
Sabbia fine e media	300 ÷ 500	120 ÷ 200
Sabbia densa	400 ÷ 600	200 ÷ 400
Ghiaia	500 ÷ 750	300 ÷ 600
Arenaria	1500 ÷ 4500	700 ÷ 1500
Marna	1500 ÷ 4500	600 ÷ 1500

# Metodi sismici

I metodi sismici si basano sull'analisi di registrazioni di segnali.



Sono metodi di IMAGING del sottosuolo.

A seconda di cosa cerchiamo selezioniamo un METODO.  
Fra i diversi metodi possono cambiare le strumentazioni e le porzioni della traccia da analizzare (o segnale sismico):

Sismica a riflessione → intera traccia sismica  
onde riflesse

Sismica a rifrazione → Primo arrivo della traccia  
onda diretta e onde rifratte

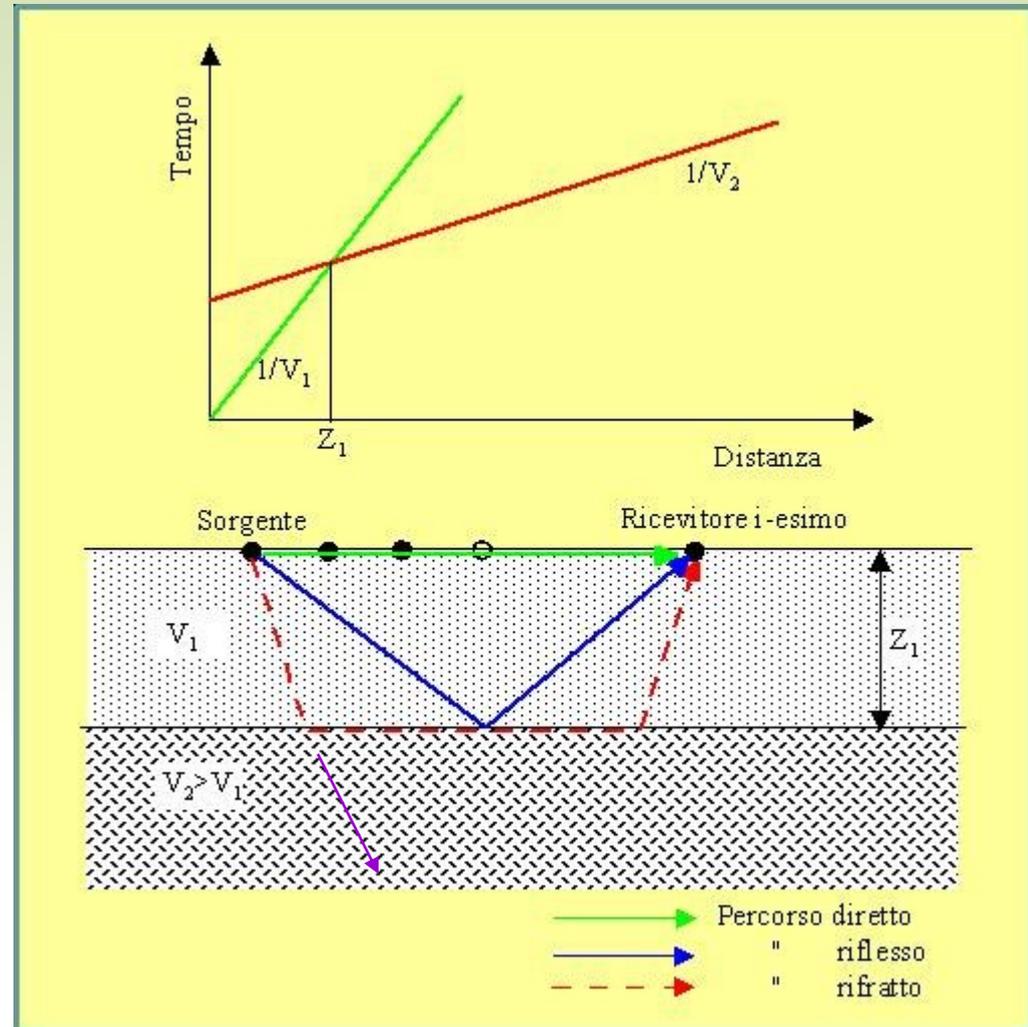
Sismica in foro → Primo arrivo della traccia  
onda diretta

Sismica con microtremori → Porzioni della traccia  
(MASW, REMI, HVSR) onde di superficie

# Metodi sismici

## Principi fisici:

- Una sorgente che incide non ortogonalmente genera onde P, S, di superficie
- All'interfaccia tra due mezzi diversi il segnale è in parte **trasmesso**, **rifratto** e in parte **riflesso**, quindi per ogni tipologia di onda si avranno diverse propagazioni
- Più il mezzo è compatto e più la velocità delle onde è elevata



# Metodi sismici

## Strumentazione

### 1. Sistemi posizionamento

GPS (Global Positioning System)

Stazione totale

Cordella metrica

### 2. Sorgenti

Impulsive/Non-impulsive

### 3. Sensori

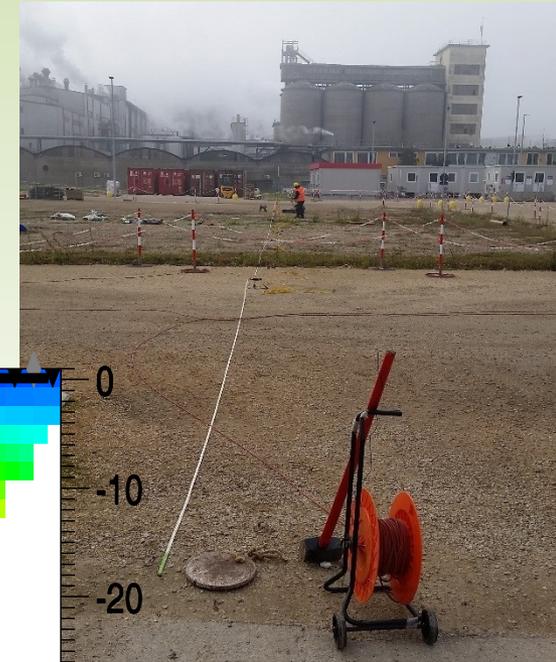
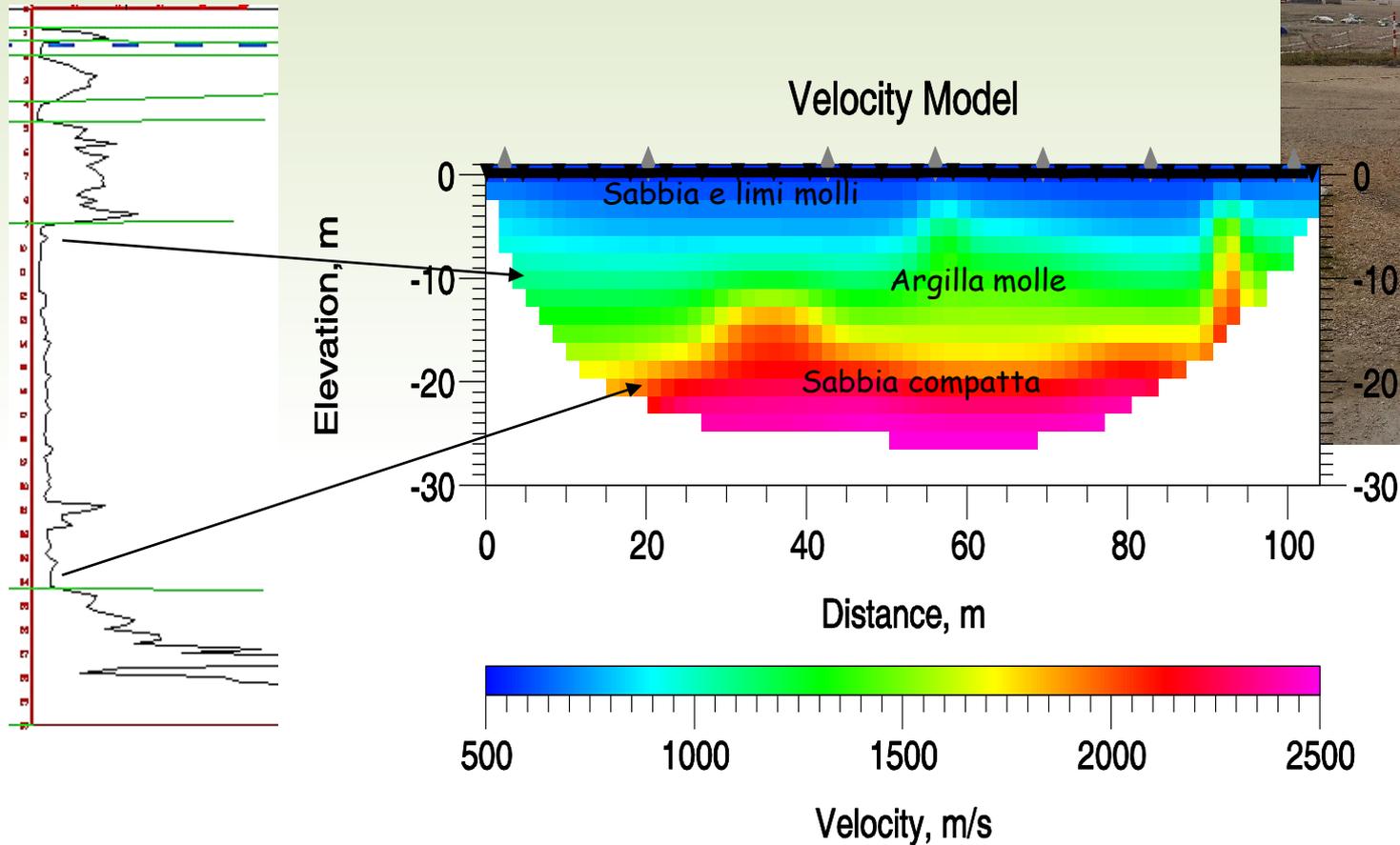
Geofoni orizzontali e verticali

### 4. Sismografi



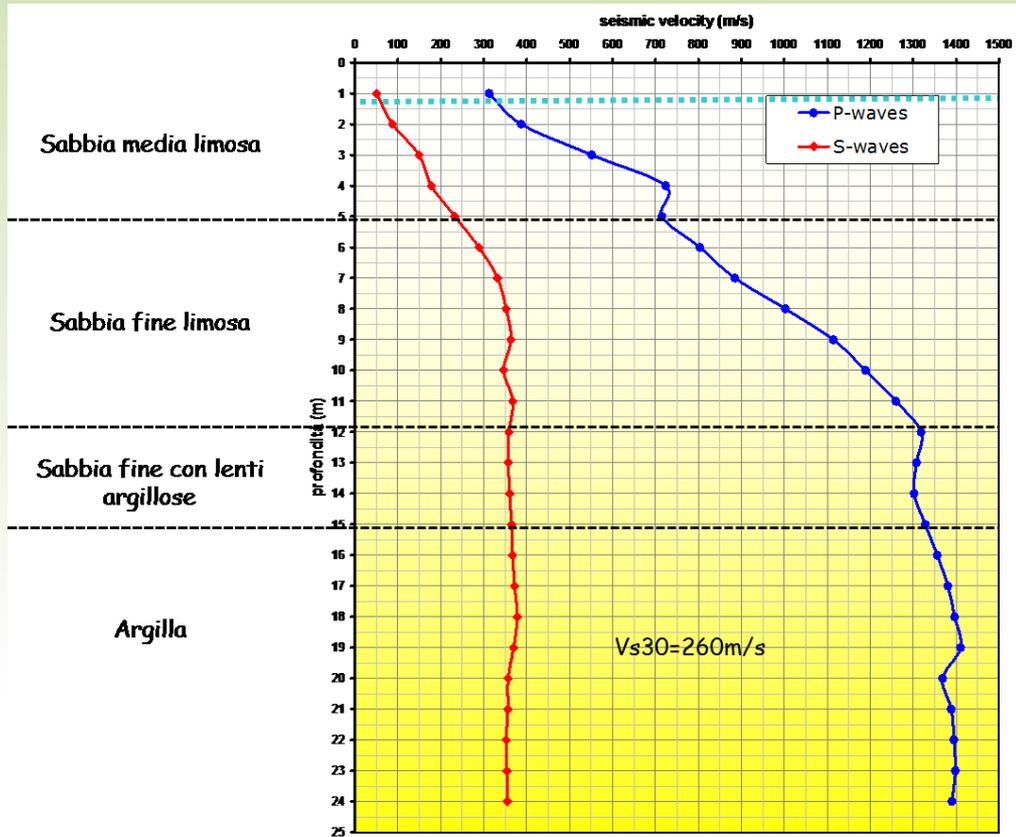
# Sismica a rifrazione

Es. tomografia con onde P e CPT in area industriale



# Sismica in foro

Es. downhole a 30m onde S e onde P in area industriale



# Sismica con onde di superficie

Molto utilizzate per la determinazione del parametro  $V_{s30}$

Perché si usano le onde superficiali e non le onde di volume ?

- La loro densità di energia è maggiore, a parità di distanza dalla sorgente ( $r$ )
- L'ampiezza diminuisce in profondità e posso studiarne la dispersione
- In mezzi verticalmente eterogenei, componenti che hanno diversa frequenza ( $f$ ) hanno diversa velocità di fase fino a  $\lambda/3$  - *STEADY STATE APPROXIMATION*
- Esiste una correlazione fra  $V_s$  e  $V_{rayleigh}$  ( $V_r=0.9*V_s$ )

Metodi più usati:

Re.Mi. (Refraction Microtremors) - passivo

MASW - attivo

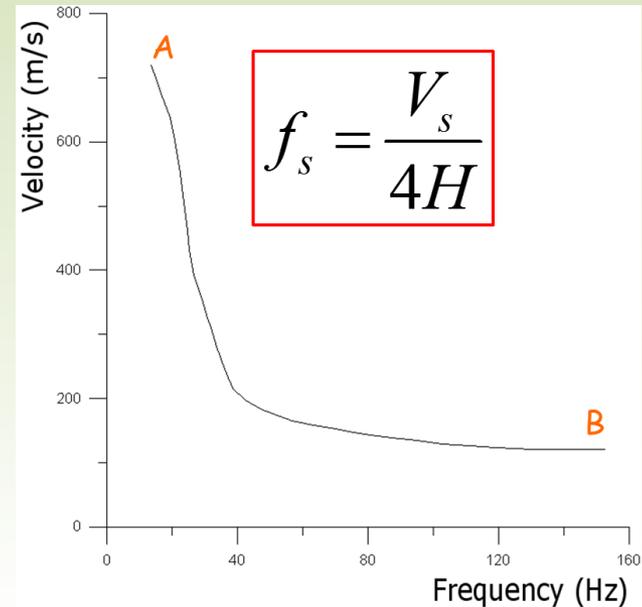
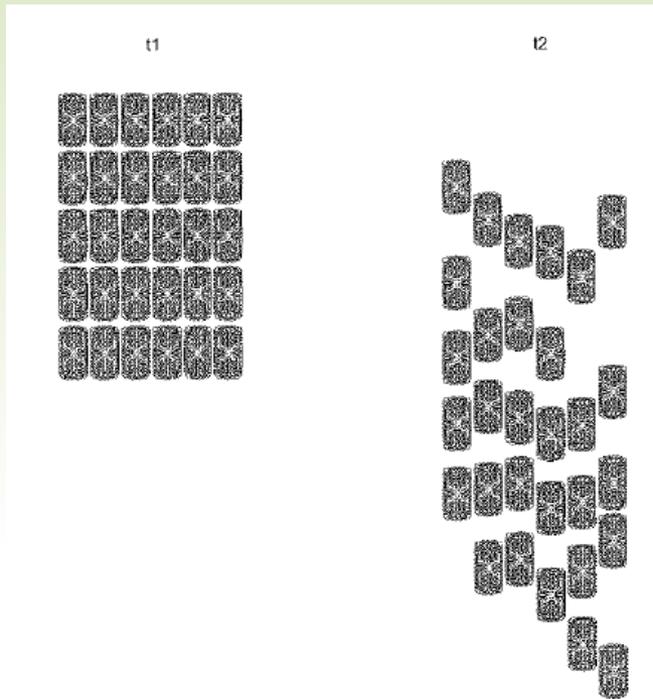
HVSR - passivo

SASW, ESAC..ecc

Sono tecniche speditive e affette da errori, l'ideale è usare più tecniche ed incrociare i dati per valutare la RISPOSTA DI SITO!!!

# Sismica con onde di superficie

Cos'è la Velocità di fase? È la velocità di ogni componente (f)



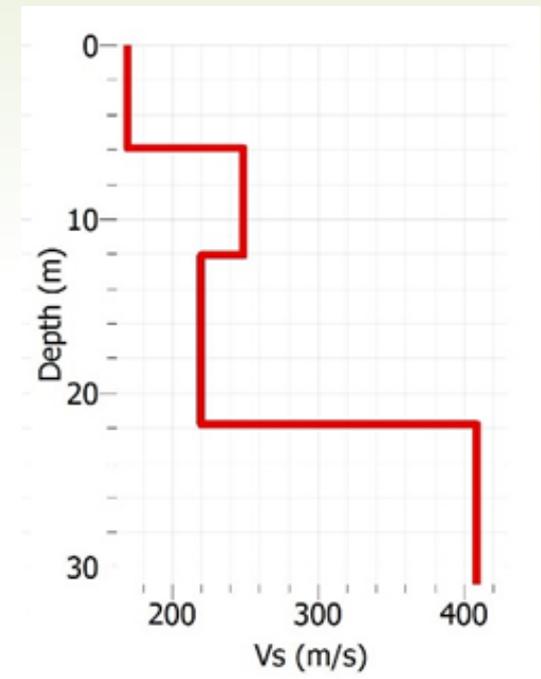
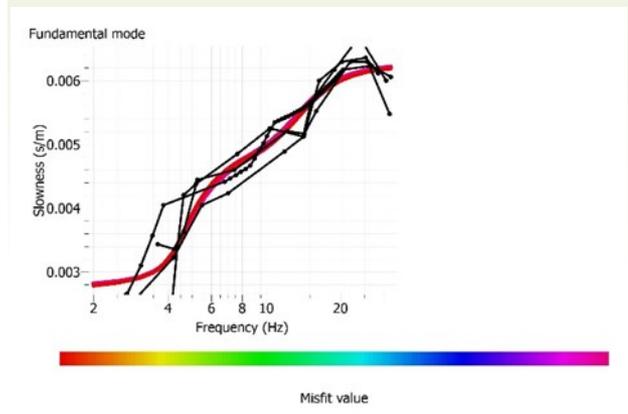
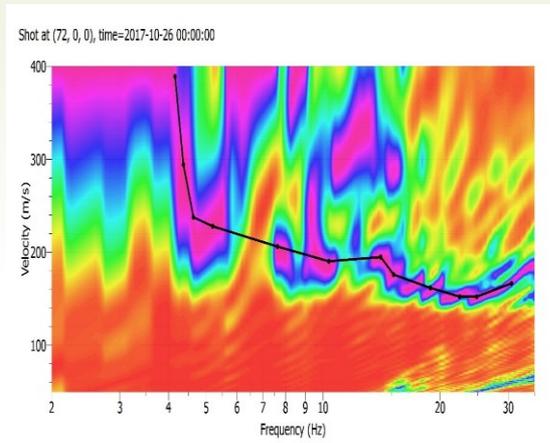
Le BASSE frequenze rappresentano strati PROFONDI (punto A)

Le frequenze ELEVATE rappresentano le zone più superficiali (punto B)

il segnale si spalma lungo la verticale  
=  
CURVA DI DISPERSIONE

# Sismica MASW

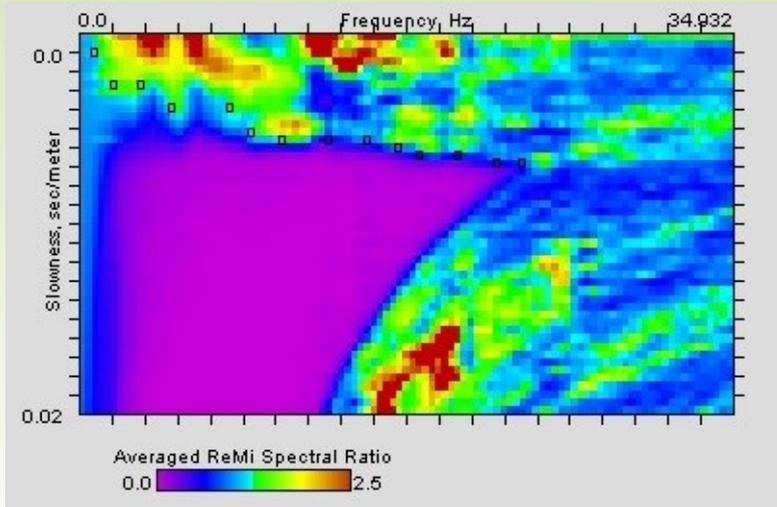
Es. Ex Falco



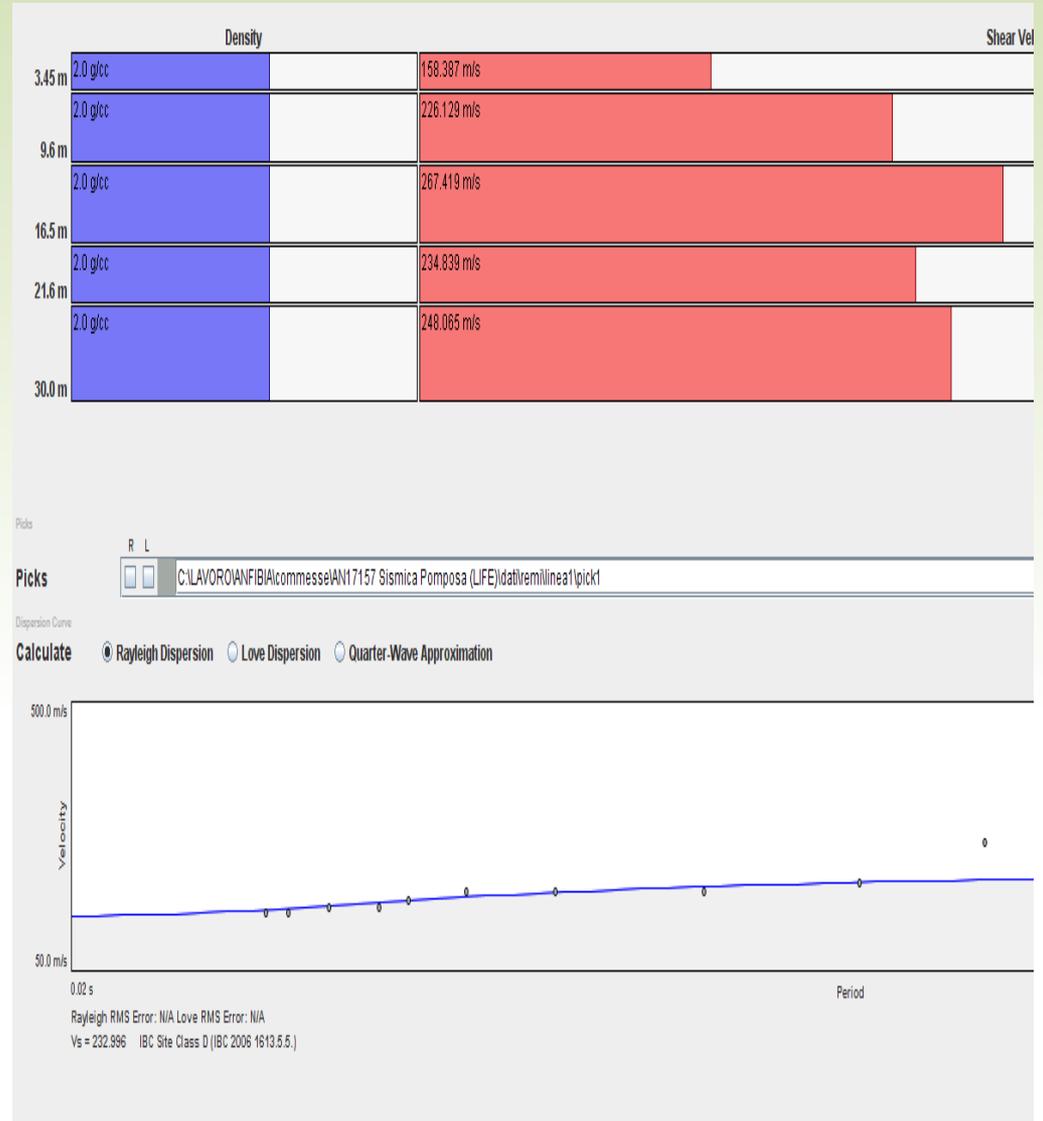
LINEA	Vs30 (m/s)
MASW1	233
MASW2	244

# Sismica microtremori REMI

## Es. Ex Falco

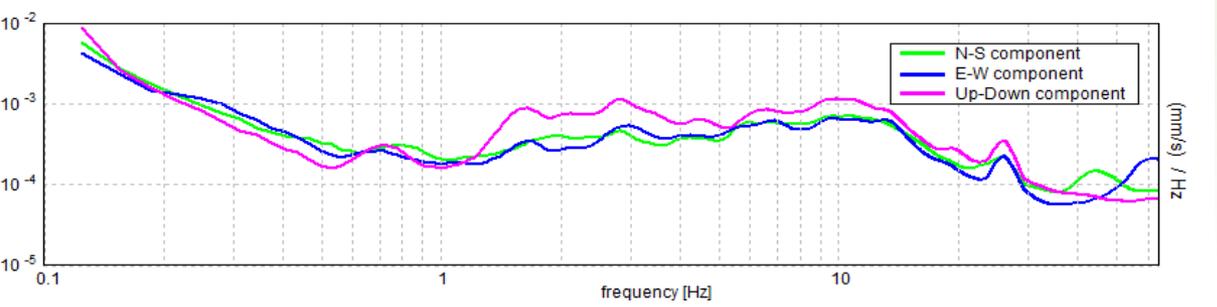
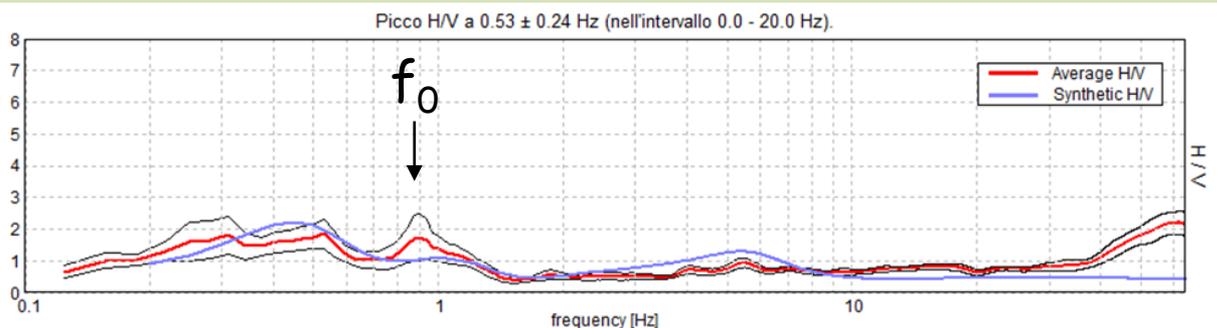


LINEA	Vs30 (m/s)
REMI 1	234
REMI 2	229

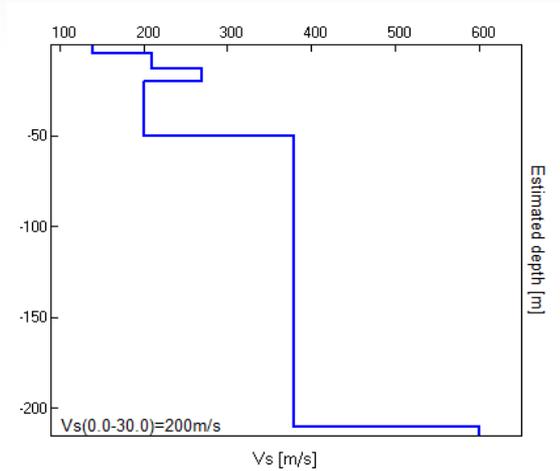


# Sismica vibrazionale HVSR

Es. Ex Falco



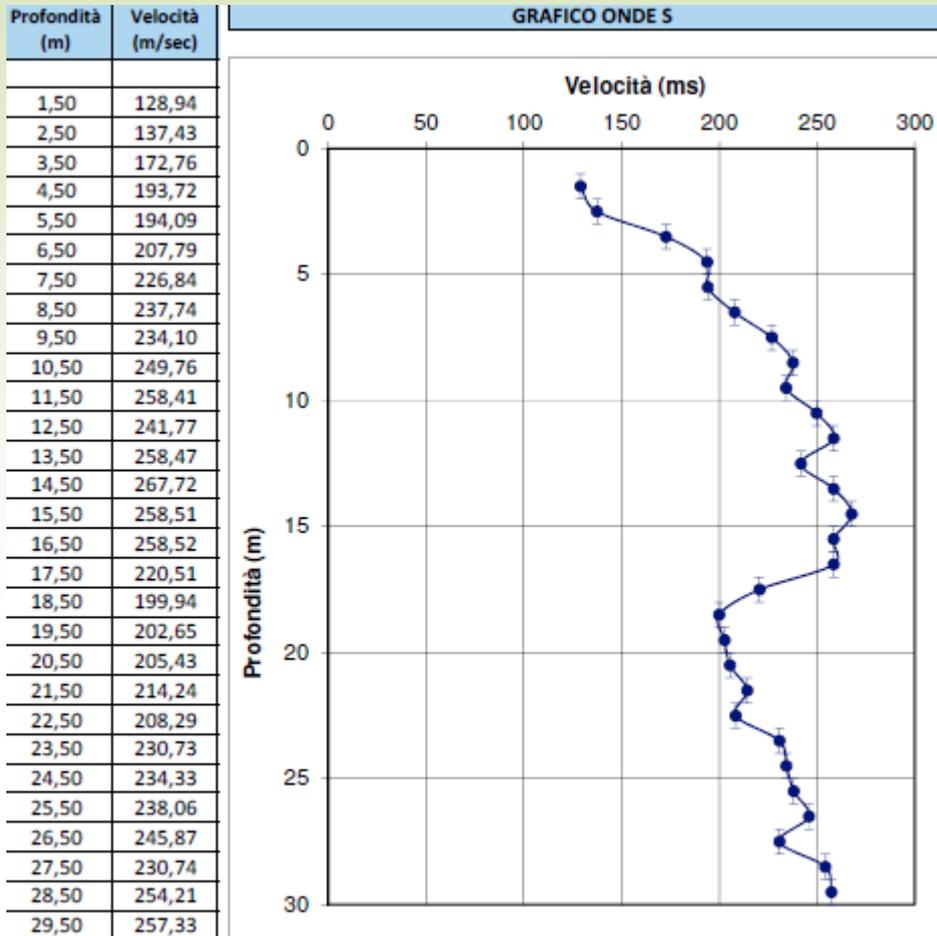
LINEA	Vs30 (m/s)
HVSR 1	204
HVSR 2	200



# Confronto fra metodi sismici

Es. Ex Falco

## SCPTU3



LINEA	Vs30 (m/s)
MASW1	233
MASW2	244
REMI 1	234
REMI 2	229
HVSR 1	204
HVSR 2	200
SCPTU3	224

## SUOLO CATEGORIA "C"

Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra 180 e 360 m/s

Vs <sub>30</sub> (m/sec):	223,86
Categoria suolo di fondazione:	C

# METODI GEOELETTRICI

Misurano resistività, potenziale spontaneo e caricabilità, e sono utili a determinare:

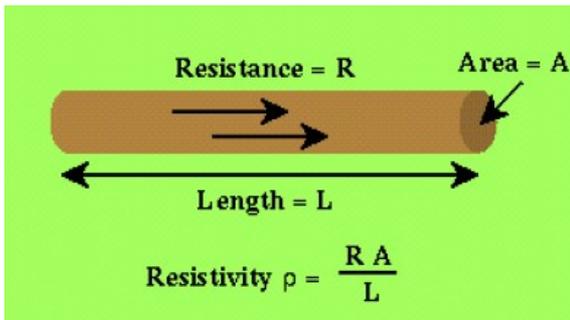
- La stratigrafia
- I livelli porosi e la tipologia dell'acquifero
- Cavità, zone fessurate
- Resti archeologici
- Rifiuti interrati
- Infiltrazioni saline
- Ecc...

# METODI GEOELETTRICI

Sono proprietà intrinseche dei materiali ed esprimono la capacità del materiale a lasciarsi attraversare dalla corrente (misura di resistività  $\rho$  indipendente dai fattori geometrici come la resistenza  $R$ )

La corrente elettrica si può propagare nelle rocce principalmente in 3 modi:

- 1) Conduzione Elettronica (ohmica): *presenza di elettroni liberi (delocalizzati)*
- 2) Conduzione Elettrolitica (ionica): *se è presente ACQUA, in particolare se questa è ricca di sali minerali*



$$\Delta V = RI$$

$$\rho = R \frac{A}{l}$$

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} k$$

*Legg di Ohm*

*K= coefficiente geometrico*

# METODI GEOELETTICI

<i>Oxides:</i>	
Hematite	$3.5 \times 10^{-3} - 10^7$
Limonite	$10^3 - 10^7$
Magnetite	$5 \times 10^{-5} - 5.7 \times 10^3$
Ilmenite	$10^{-3} - 5 \times 10$
Quartz	$3 \times 10^2 - 10^6$
Rock salt	$3 \times 10 - 10^{13}$
Anthracite	$10^{-3} - 2 \times 10^5$
Lignite	$9 - 2 \times 10^2$
Granite	$3 \times 10^2 - \times 10^6$
Granite (weathered)	$3 \times 10 - 5 \times 10^2$
Syenite	$10^2 - 10^6$
Diorite	$10^4 - 10^5$
Gabbro	$10^3 - 10^6$
Basalt	$10 - 1.3 \times 10^7$
Schists (calcareous and mica)	$20 - 10^4$
Schist (graphite)	$10 - 10^2$
Slates	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
Marble	$10^2 - 2.5 \times 10^8$
Consolidated shales	$20 - 2 \times 10^3$
Conglomerates	$2 \times 10^3 - 10^4$
Sandstones	$1 - 7.4 \times 10^8$
Limestones	$5 \times 10 - 10^7$
Dolomite	$3.5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$
Marls	$3 - 7 \times 10$
Clays	$1 - 10^2$
Alluvium and sand	$10 - 8 \times 10^2$
Moraine	$10 - 5 \times 10^3$

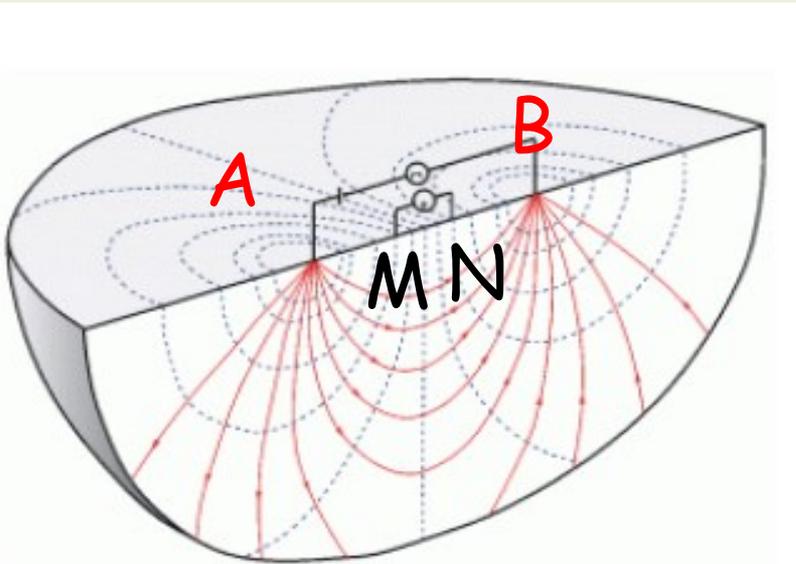
Estrema variabilità, la  $\rho$  aumenta con la granulometria

I valori più comuni tra  $10^0$  e  $10^3 \Omega\text{m}$

L'aria ha resistività infinita (vuoti e cavità)!!

# METODI GEOELETTRICI

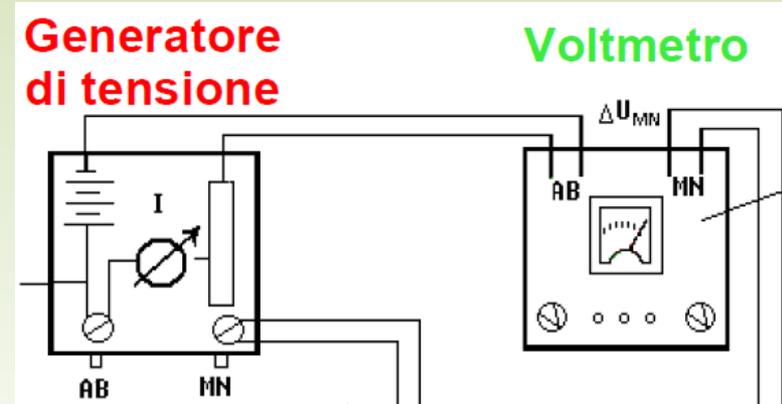
Si basano sull'immissione nel terreno di corrente elettrica continua o alternata (con onda quadra  $f \sim 50 \text{ Hz}$ ) e sulla misura della differenza di potenziale creata a causa delle diverse proprietà del terreno .  
L'immissione di corrente  $I$  e la misura della ddp  $\Delta V$  viene fatta attraverso 4 elettrodi infissi nel terreno



Metodologia	Strumentazione	Geometria	Interpretazione
SEV - SEO	Georesistivimetro a 4 elettrodi	1D strati piani e paralleli	Inversione 1D e mappe
Tomografia 2D	Multielettrodica	Sezioni 2D	Inversione 2D
Tomografia 3D	Multielettrodica multicanale	Griglie 3D	Inversione 3D
Tomografia 3D HQ	Multielettrodica multicanale con grande numero di elettrodi >100, high speed, remote control	Generiche geometrie 3D in superficie e in foro	Inversione 3D e 4D

# METODI GEOELETRICI

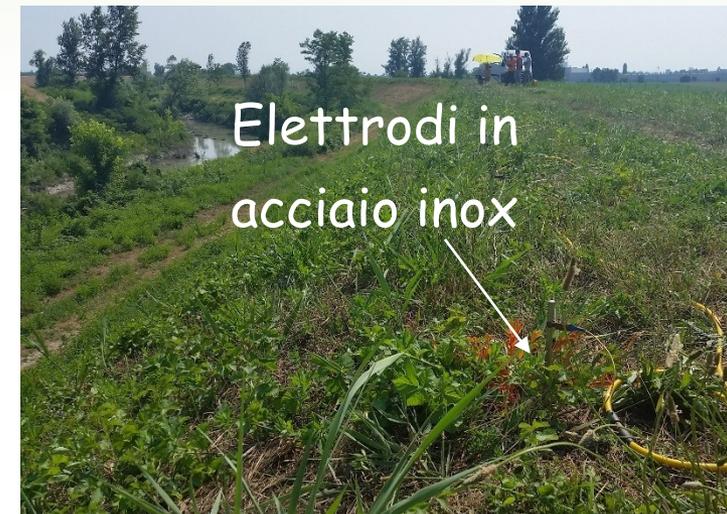
## Georesistivimetro



## Energizzatore

## Cavi

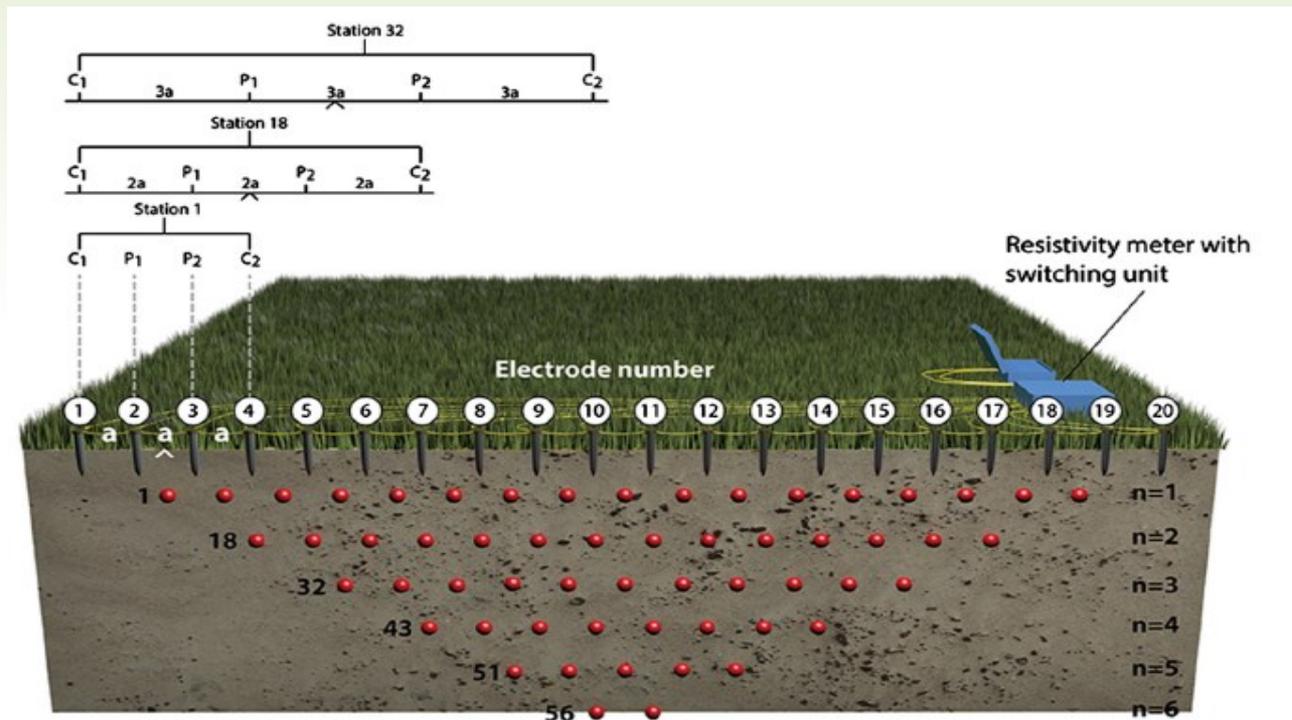
## Batterie



# METODI GEOELETTRICI

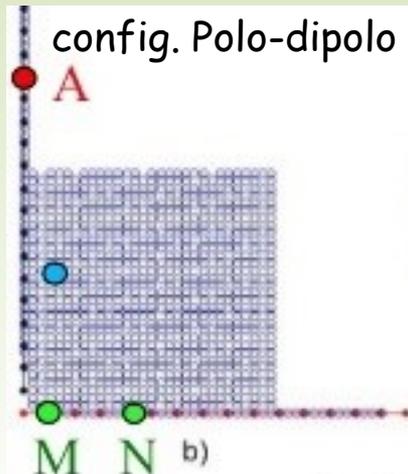
Sistemi "multielettrodo" per configurazioni 2D (sezioni), 2.5D (serie di sezioni parallele) o 3D (volumi)

Il georesistivimetro con un sistema di interruttori interni (relè) seleziona progressivamente i 4 elettrodi di misura sulla base di una SEQUENZA QUADRIPOLOARE. Attenzione al fondo scala (es. ddp molto elevate)

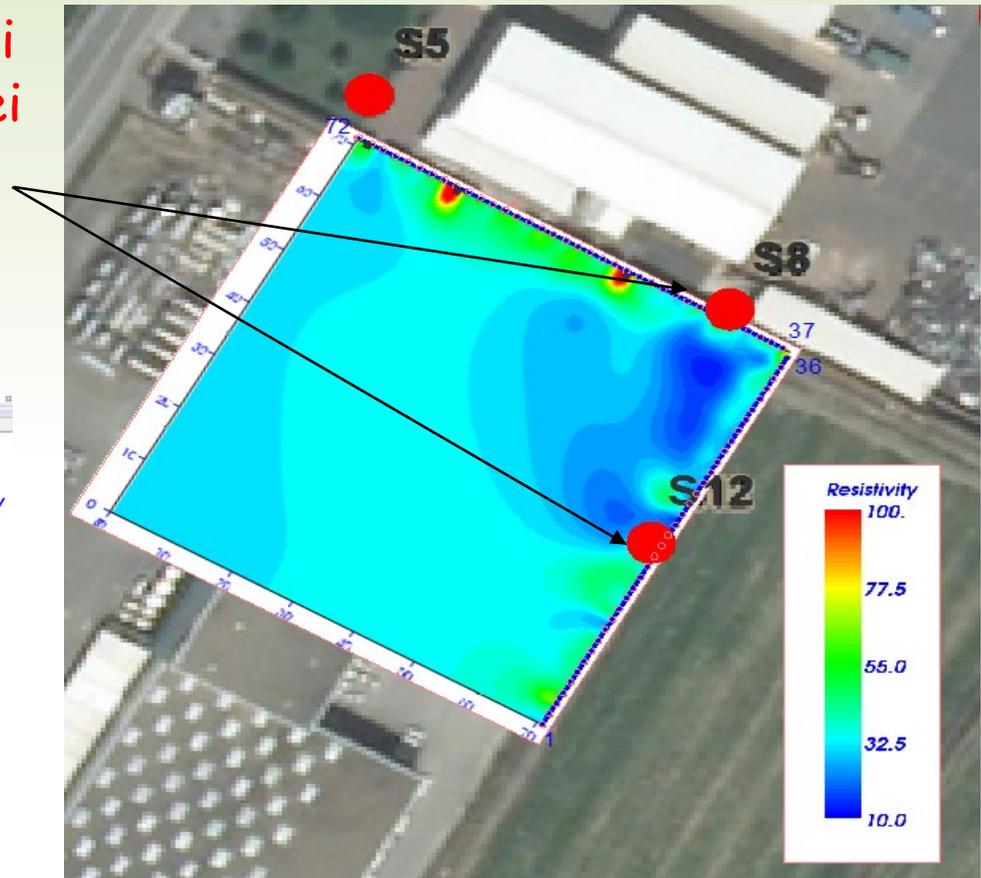
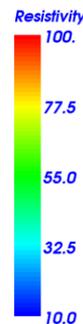
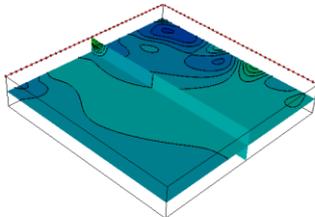


# Tomografia elettrica 3D

Es. localizzazione di una contaminazione nei terreni di un impianto industriale dismesso



Elevata concentrazione di metalli pesanti nei piezometri (bassa  $\rho$ )



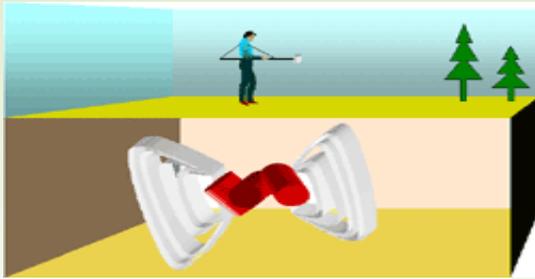
# METODI ELETTROMAGNETICI

Sono utili a determinare:

- La stratigrafia
- I livelli porosi e la tipologia dell'acquifero
- Cavità, zone fessurate
- Resti archeologici
- Rifiuti interrati
- Infiltrazioni saline
- La stratigrafia
- Sottoservizi
- Armature metalliche nelle strutture
- Stratigrafie murarie
- Strati delle pavimentazioni stradali
- Spessore dei ghiacciai, ecc...

# METODI ELETTROMAGNETICI

I metodi più utilizzati si dividono in :

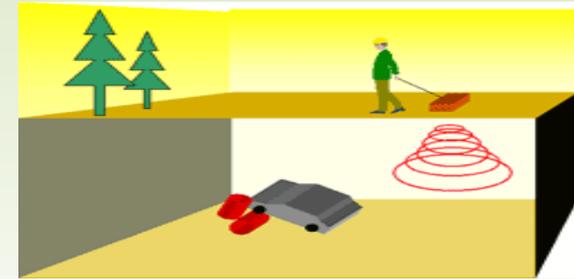


## METODI A INDUZIONE

Prevalgono le correnti di conduzione elettronica ed elettrolitica

$f < 10^2$  KHz (misurano la  $\rho$ )

- Frequency domain FDEM
- Time domain TDEM



## METODI A RIFLESSIONE

Prevalgono le correnti di spostamento degli elettroni (polarizzazione)

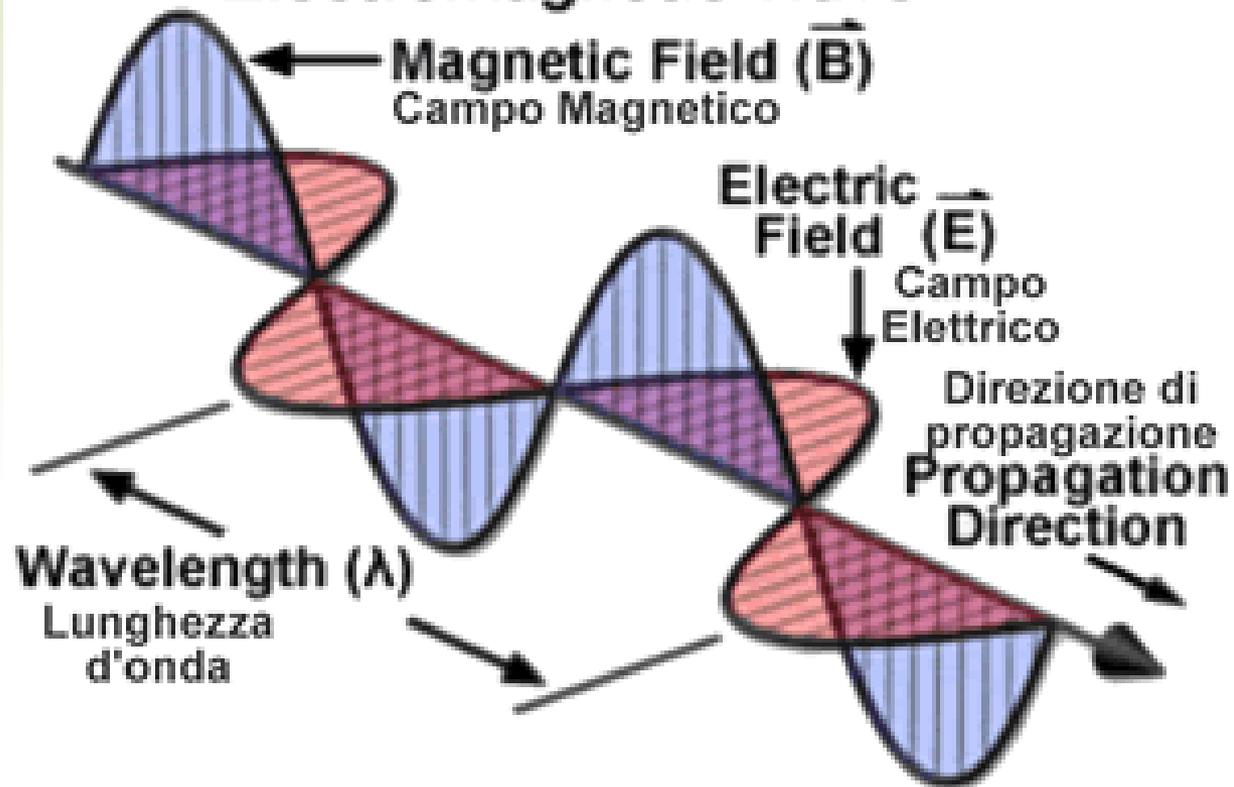
$F > 10$  MHz (immagine del sottosuolo)

- Ground Penetrating Radar GPR

# METODI ELETTROMAGNETICI

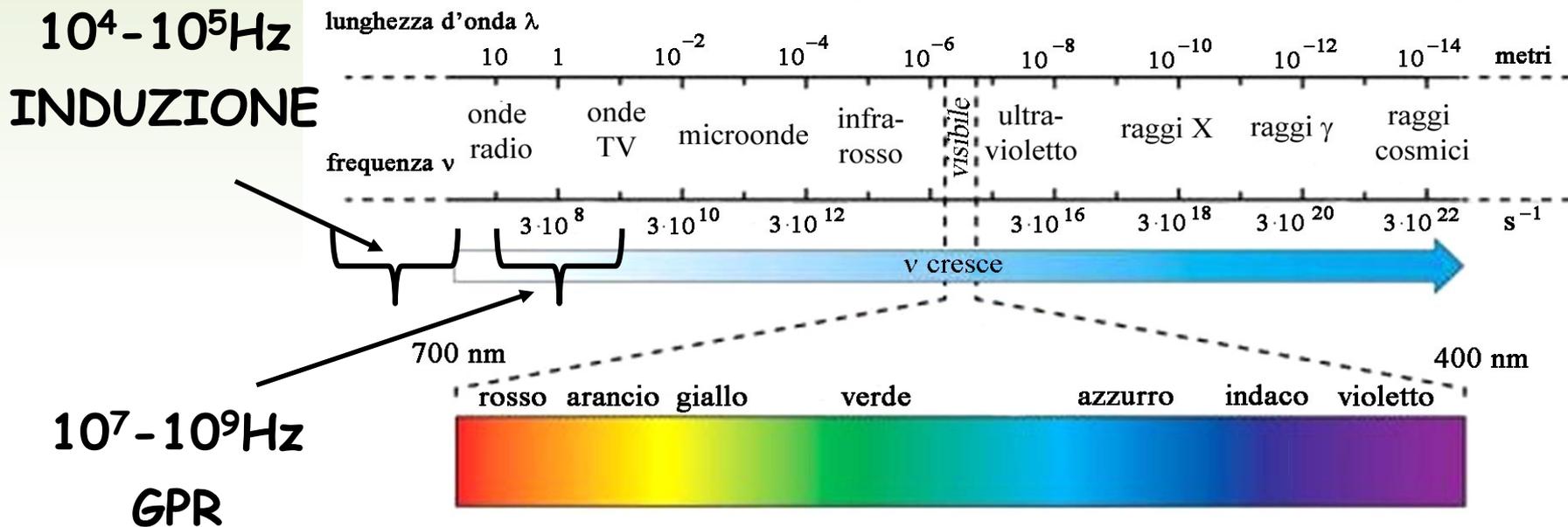
## Onda Elettromagnetica

### Electromagnetic Wave



# METODI ELETTROMAGNETICI

## Spettro dell'onda elettromagnetica



# METODI ELETTROMAGNETICI

## FDEM

Il metodo elettromagnetico a induzione si basa sull'impiego di un elettromagnetometro (conduttivimetro) costituito almeno da due bobine, una trasmittente e **una ricevente** poste ad una certa distanza fissa.

Viene generato un campo elettromagnetico indotto secondario che sarà "distorto" rispetto al primario in funzione delle caratteristiche fisiche del sottosuolo.

**Il rapporto fra il campo EM secondario e primario consente di calcolare la conducibilità o la resistività del terreno.**

# METODI ELETTROMAGNETICI FDEM

Strumentazione: elettromagnetometro o conduttivimetro

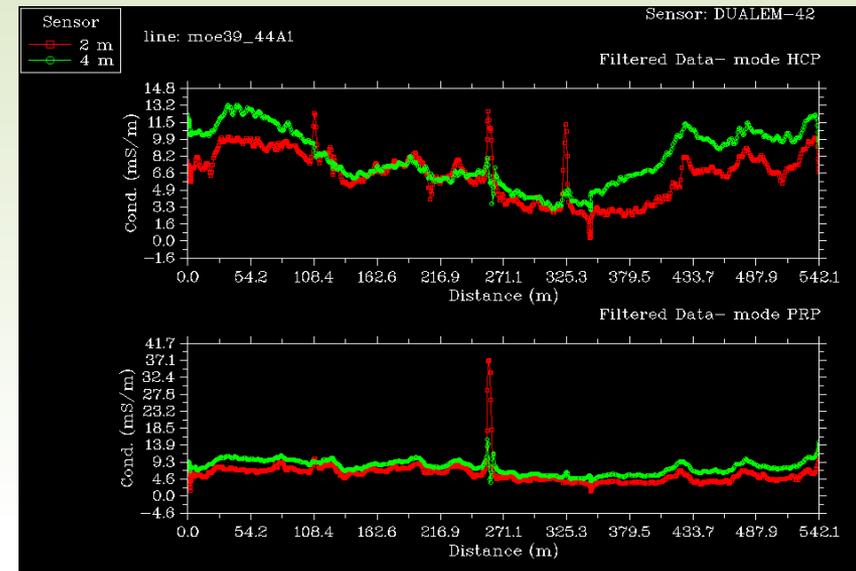


La profondità di esplorazione in questo tipo di indagini è funzione sia dello spazio tra le bobine, (m-decine di metri), sia della frequenza utilizzata, sia della disposizione delle bobine

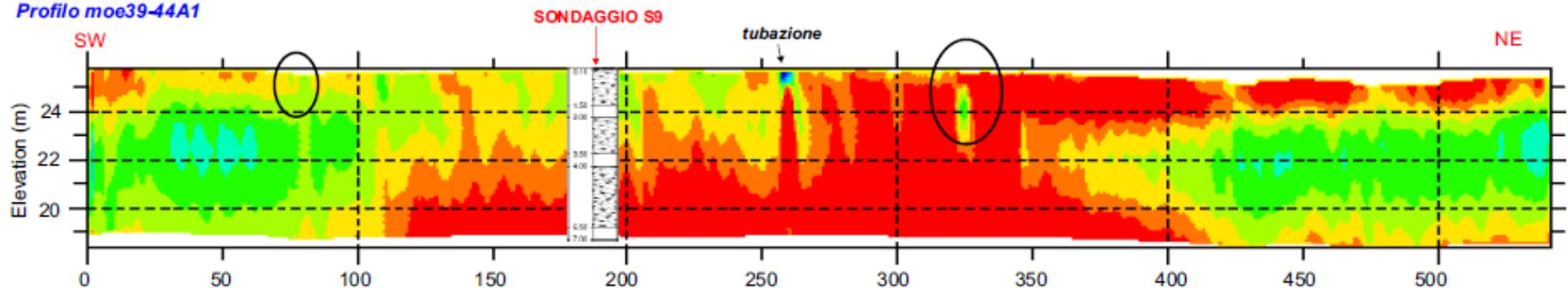
Strumento	Frequenza	Distanza tra le spire
EM31	9800 Hz	3.7 m
EM34-3	6400,1600,400	7.5,15,30 m
EM38	13200 Hz	1 m

# METODI ELETTROMAGNETICI FDEM

Es. ricerca ordigni bellici



Profilo moe39-44A1



# METODI ELETTROMAGNETICI

## GPR

Il georadar si basa sull'analisi della costante dielettrica  $\epsilon$ , che rappresenta la resistenza che ha un materiale nel farsi attraversare da onde elettromagnetiche, e quanto esso sia polarizzabile.

La  $\epsilon_r$  di rocce e sedimenti, dipende essenzialmente da:

- Contenuto mineralogico
- Densità
- Porosità
- Contenuto d'acqua
- Frequenza dell'onda

$$V_{em} \approx \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$c = 30 \text{ (cm/ns)}$$

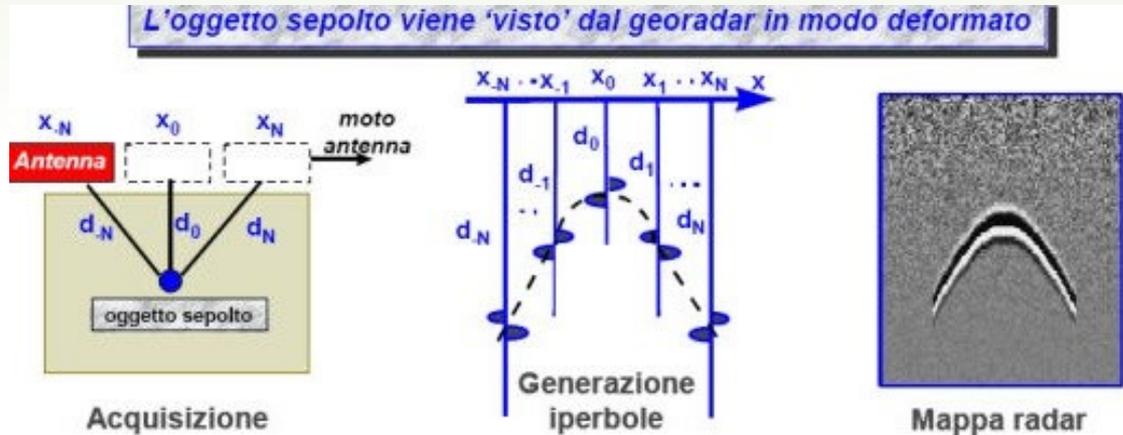
Nel vuoto  
(DIELETTRICO PERFETTO)

MATERIAL	$\epsilon_r$	$\sigma$ (mS/M)
Air	1	0
Distilled Water	80	0.01
Fresh Water	80	0.5
Sea Water	80	$3 \times 10^3$
Dry Sand	3-5	0.01
Saturated Sand	20-30	0.1-1.0
Limestone	4-8	0.5-2
Shales	5-15	1-100
Silts	5-30	1-100
Clays	5-40	2-1000
Granite	4-6	0.01-1
Dry Salt	5-6	0.01-1
Ice	3-4	0.01

# METODI ELETTROMAGNETICI GPR

Un sistema georadar GPR è costituito da tre parti fondamentali:

- Generatore di forme d'onda (oscillatore)
- Trasduttori (antenne)
- Sistema di acquisizione dati



# METODI ELETTROMAGNETICI GPR

Attualmente esistono sistemi "MULTICANALE" ARRAY o 3D che utilizzano contemporaneamente piu' set di antenne anche a diversa frequenza centrale, che permettono di ottenere informazioni complementari e ridondanza dei dati → maggiore precisione e controllo dei risultati

*Esempio array: IDS Stream x array da  
16 antenne da 200MHz*



*Esempio 3D: MALA MiniMIRA  
array da 9 antenne da  
400MHz*

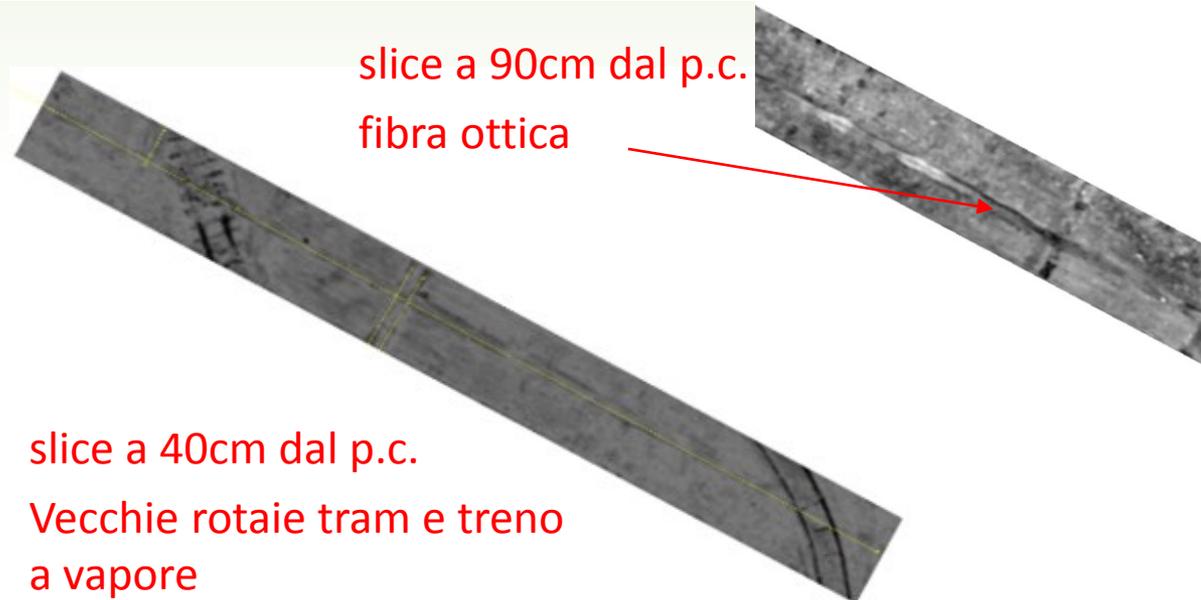
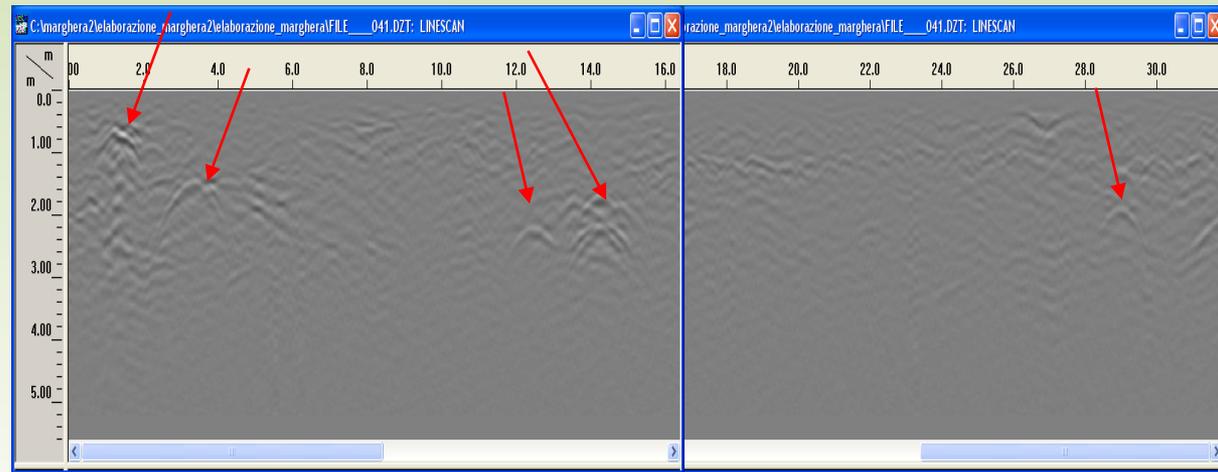


*Esempio 3D SF horn:  
3D RADAR Geoscope  
da 41 antenne da  
200MHz a 3GHz*



# METODI ELETTROMAGNETICI GPR

Es. ricerca sottoservizi in area industriale



**GRAZIE PER L'ATTENZIONE!!**

**E ricordate che...**

