

# Diagnostica strutturale con indagini NDT su edifici in muratura e in c.a.

**Dott.ssa Roberta Zambrini**

Il decommissioning civile e  
industriale: rigenerare il  
passato per progettare il futuro

**eRWRx.**

**anfibia**  
srl

**esplora**  
srl

[www.labelab.it/ravenna2018](http://www.labelab.it/ravenna2018)

Fare i conti  
con l'ambiente  
Rifiuti acqua energia

**>Rave  
nna  
16·17·18  
maggio 2018**

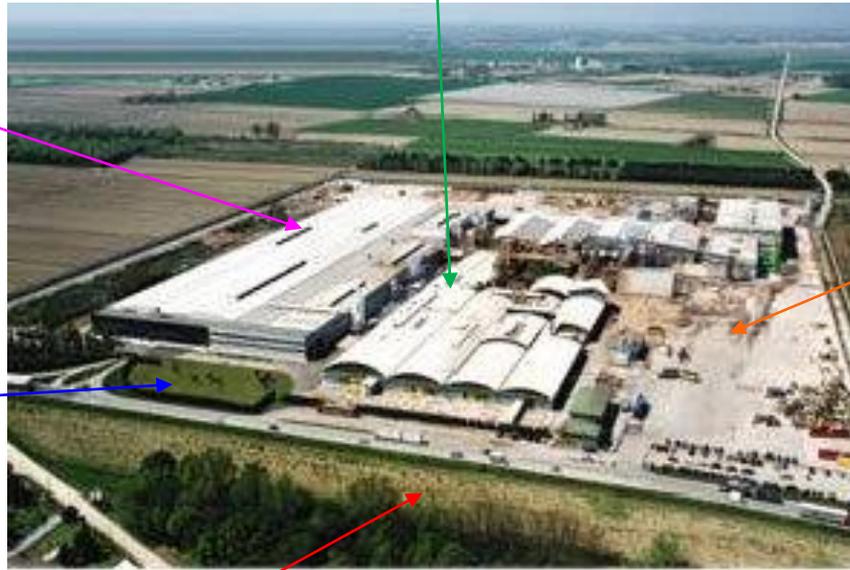


# Quali sono le incognite in un impianto dismesso che devo ristrutturare/riconvertire?

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

vulnerabilità sismica  
degli edifici rispetto alle  
normative vigenti

presenza di  
ordigni bellici,  
sottoservizi o di  
rifiuti interrati



caratterizzazione dei  
terreni  
per valutare la  
presenza di  
contaminazioni

natura litologica dei terreni  
e la loro amplificazione sismica

# Quali sono le incognite in un impianto dismesso

## che devo ristrutturare/riconvertire?

### Indagini geotecniche, ambientali e geofisiche sui terreni :

#### DIRETTE/INVASIVE

- Sondaggi, SCPT, CPTU, prelievo campioni
- Geoprobe
- Analisi di laboratorio (geotecniche, chimico-fisiche, biologiche)

#### INDIRETTE/NON INVASIVE

- Sismiche e vibrazionali
- Georadar
- Geoelettriche

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

#### INVASIVE/SEMI-DISTRUTTIVE

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

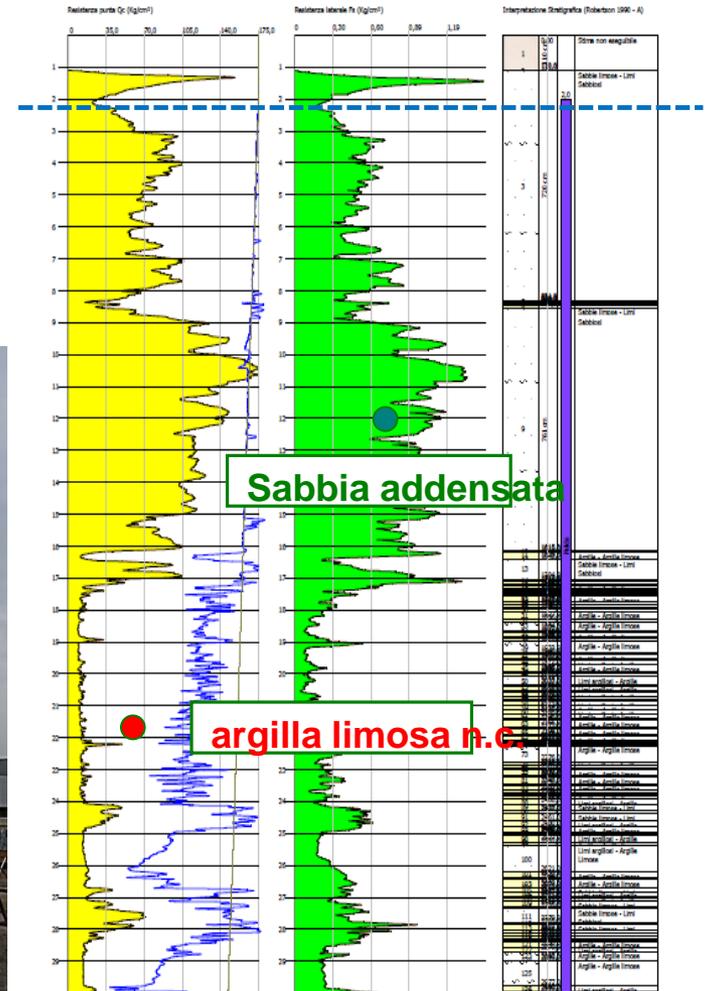
#### NON INVASIVE/PND/NDT

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

# I TERRENI

## INDAGINI "DIRETTE"

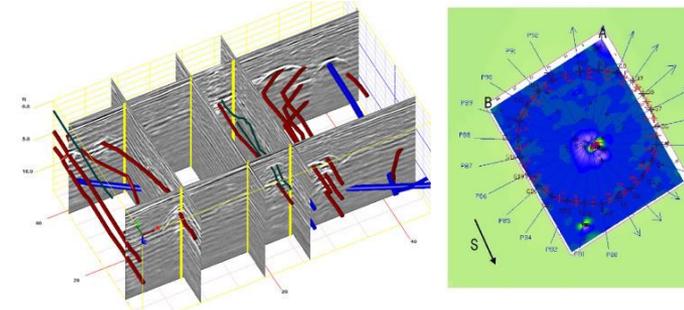
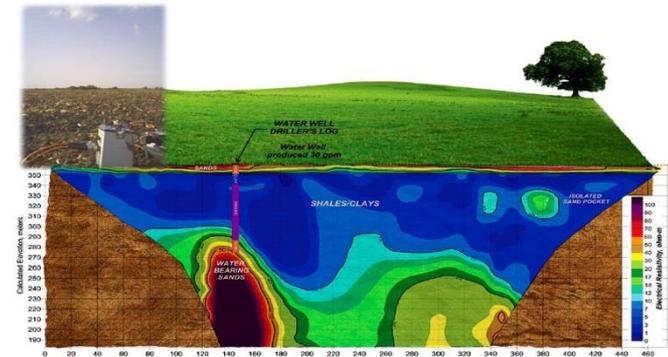
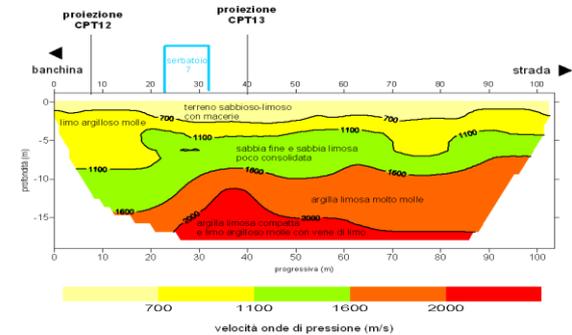
Molto affidabili ma PUNTUALI!!  
Non sono rappresentative  
di tutta l'area



## INDAGINI "INDIRETTE"

I metodi 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



**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:**

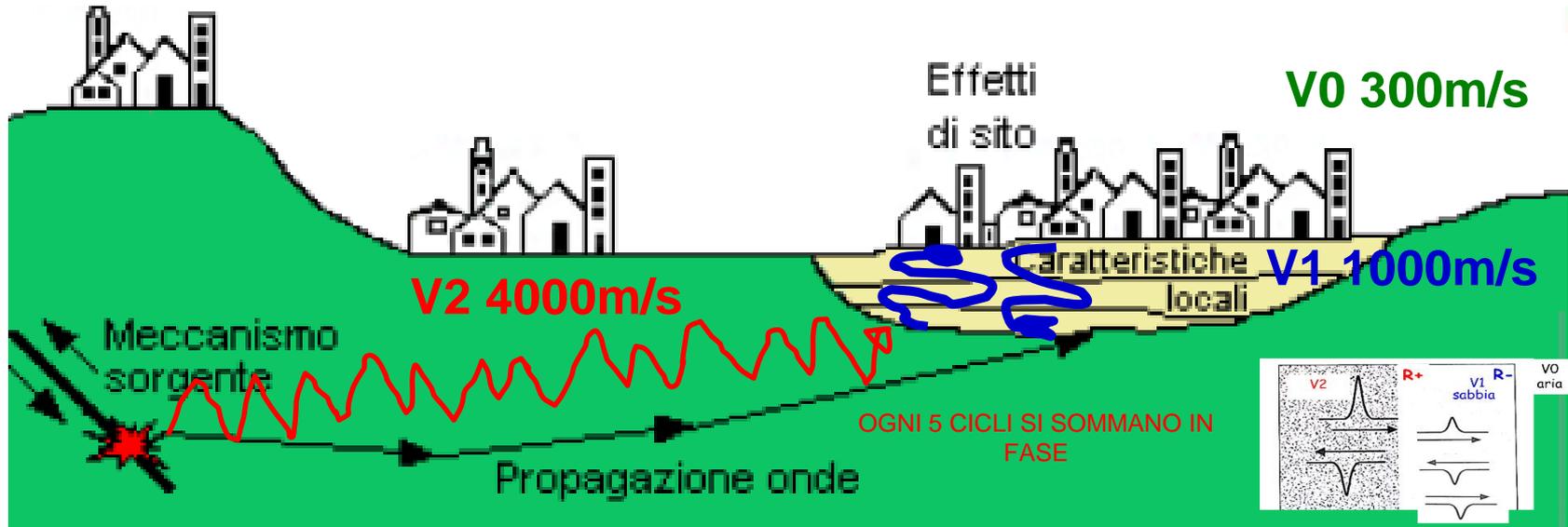
- Norme tecniche costruzioni (DM 14/01/2008 e 17/01/2018)
- Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” (IMCS Prot. Civile, 2008)
- Contributi per l’aggiornamento degli ‘Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica’ (supplemento alla rivista Ingegneria Sismica, 2011)

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

**Rischio sismico e risposta sismica locale**

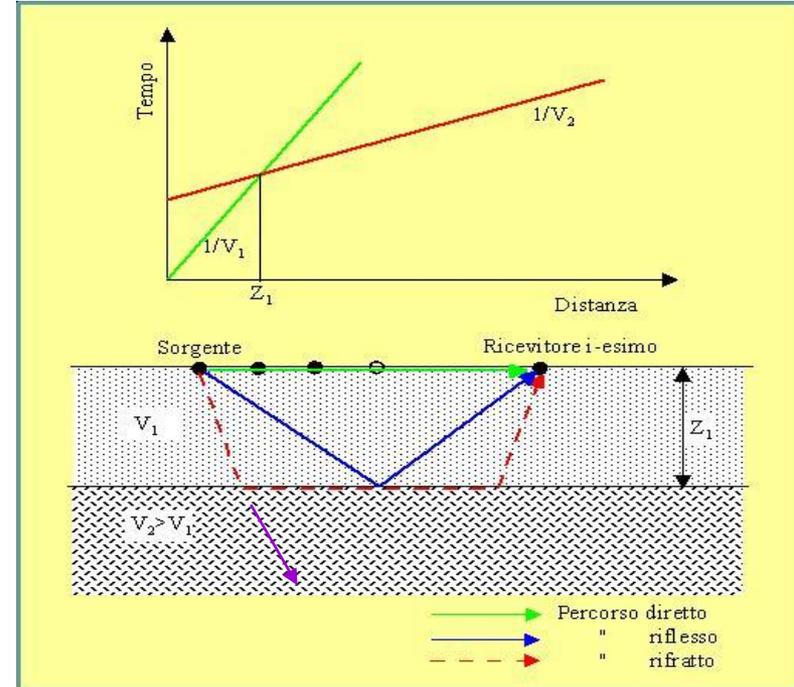
I terreni teneri smorzano più delle rocce ma a seconda dell'interfaccia bedrock/strato soffice ci può essere **AMPLIFICAZIONE**

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



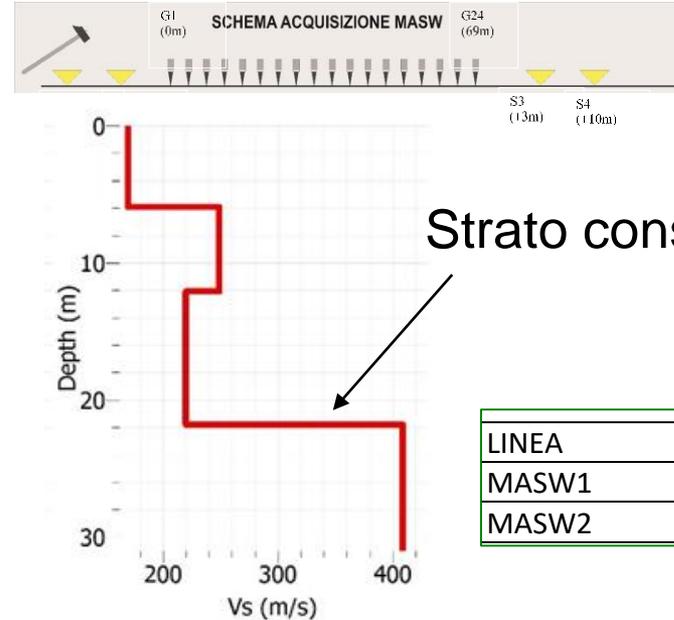
Misurano la velocità delle onde acustiche, e sono utili a determinare:

- La stratigrafia
  - Zone di faglia
  - Versanti in frana
  - Cavità, zone fessurate
- 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

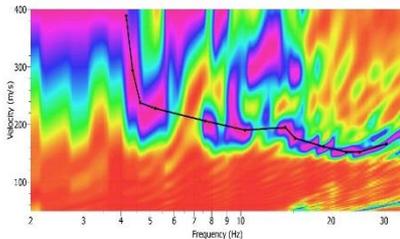


[www.labelab.it/ravenna2018](http://www.labelab.it/ravenna2018)

## Es. Determinazione della Vs30 dei terreni di un impianto industriale dismesso



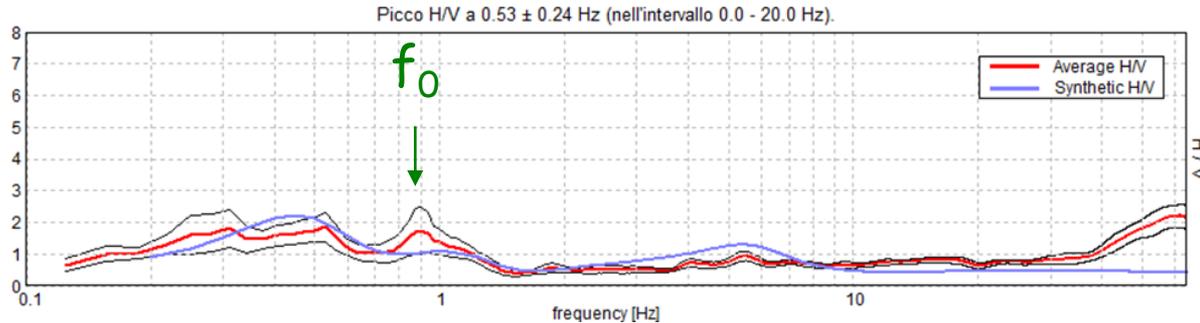
Shot at (72, 0, 0), time=2017-10-26 00:00:00



## NTC'08 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

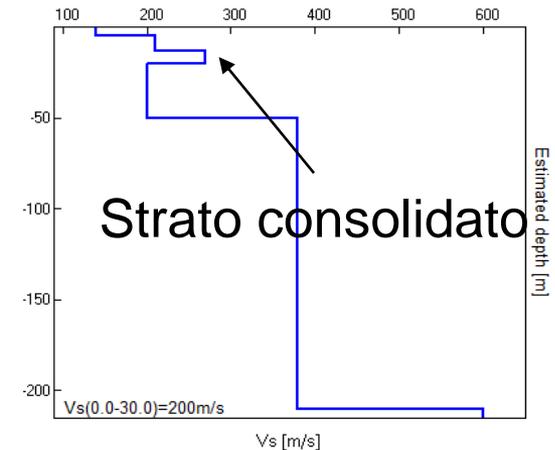
## Es. Determinazione della $f$ fondamentale dei terreni di un impianto industriale dismesso



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

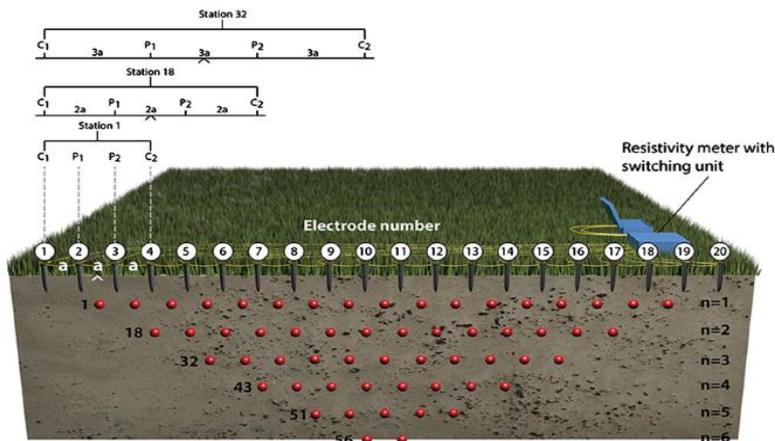
**NTC'08**  
**SUOLO CATEGORIA "C"**

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

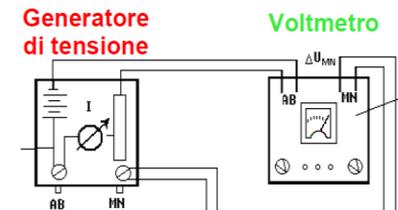


Si basano sull'immissione nel terreno di corrente elettrica continua o alternata e sulla misura della differenza di potenziale creata a causa delle diverse proprietà del terreno. Misurano resistività, potenziale spontaneo e caricabilità, e sono utili a determinare:

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



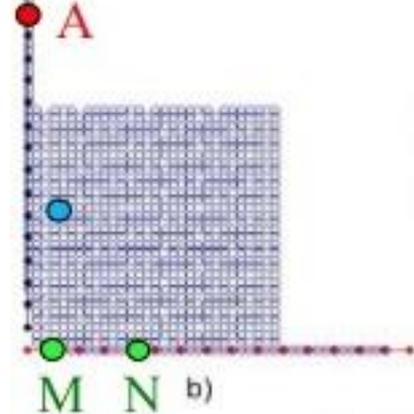
Georesistivometro



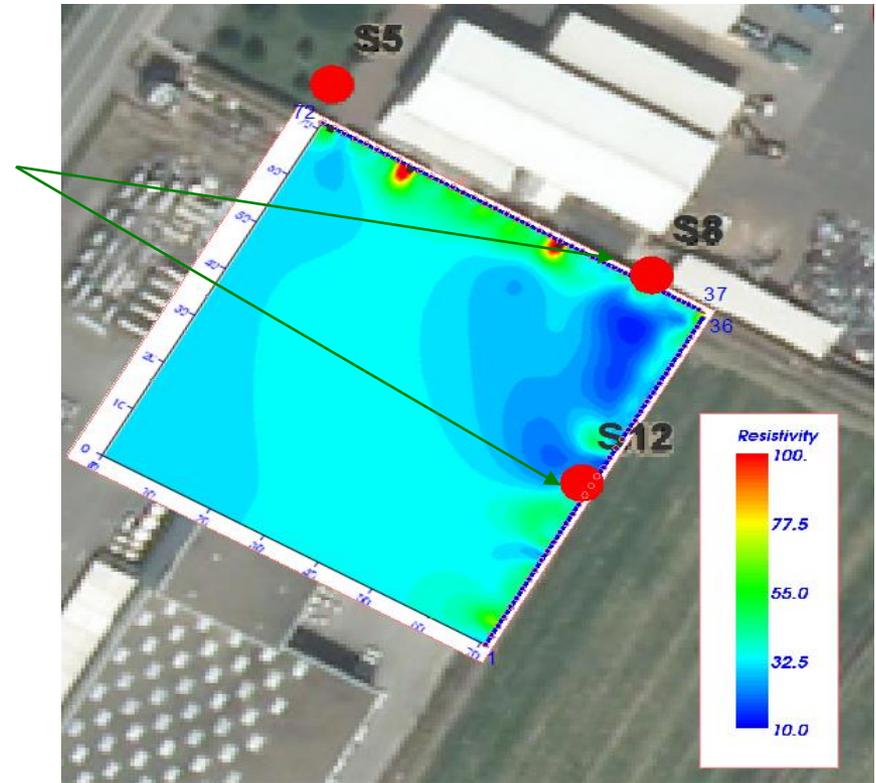
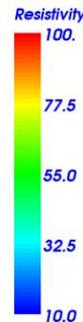
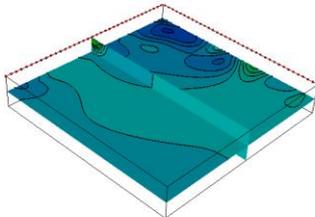
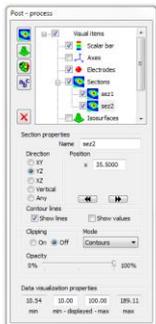
# Tomografia elettrica 3D

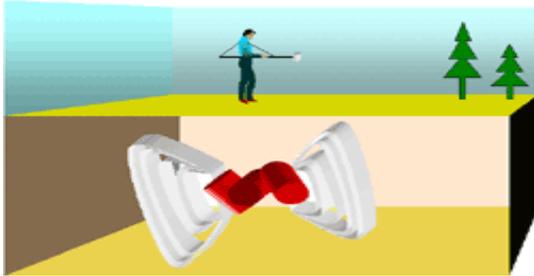
Es. localizzazione di una contaminazione nei terreni di un impianto industriale dismesso

config. Polo-dipolo



Elevata concentrazione di metalli pesanti nei piezometri (bassa rho)

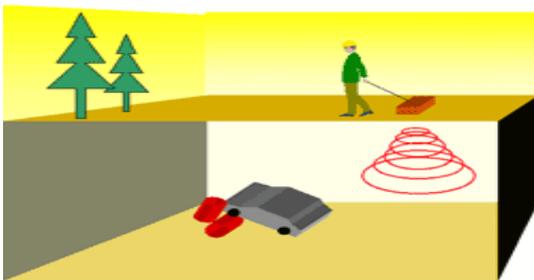




### METODI A INDUZIONE

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

- Frequency domain FDEM
- Time domain TDEM



### METODI A RIFLESSIONE

$F > 10$  MHz (immagine del sottosuolo)

- Ground Penetrating Radar GPR

Sono utili a determinare:

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

### L'elettromagnetometro



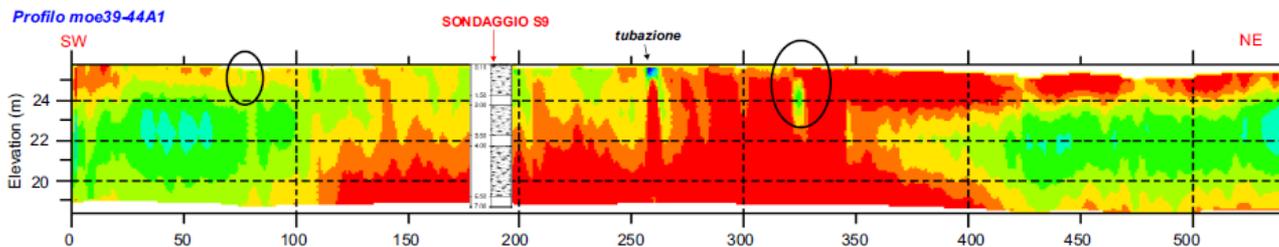
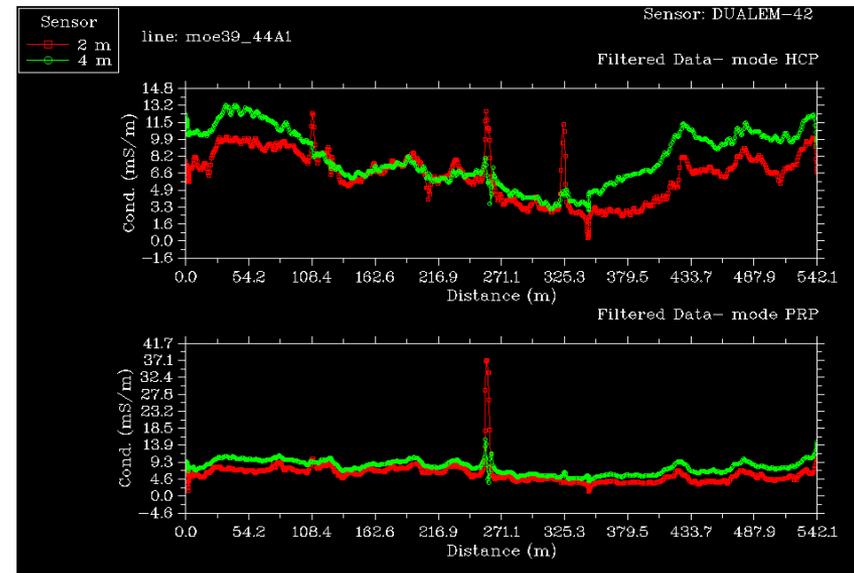
La profondità di esplorazione in questo tipo di indagini è funzione sia dello spazio tra le bobine, (m-decine di metri), sia della frequenza utilizzata, sia della disposizione delle bobine

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



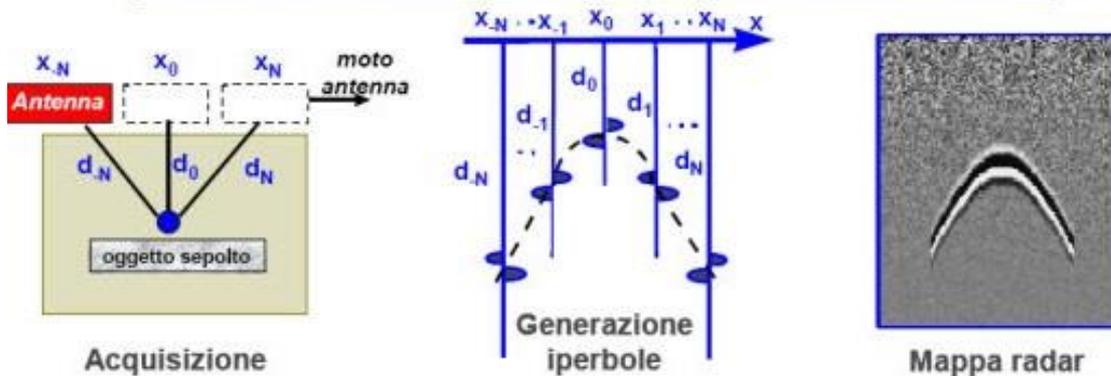
# METODI ELETTROMAGNETICI

## GPR

Un sistema georadar GPR è costituito da tre parti fondamentali:

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

*L'oggetto sepolto viene 'visto' dal georadar in modo deformato*



# 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**

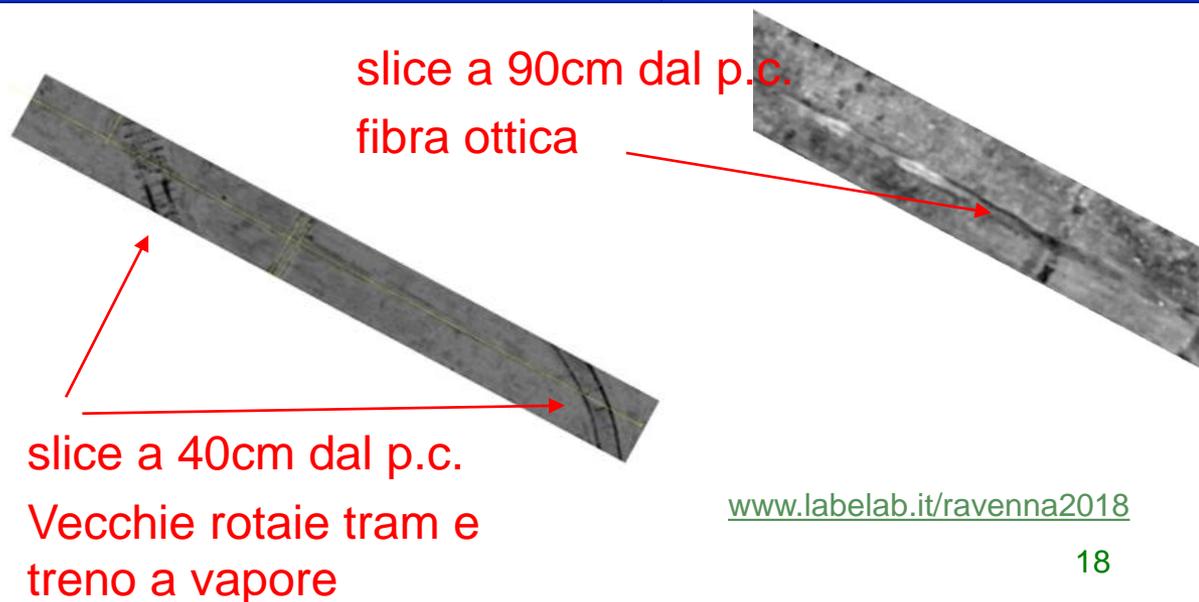
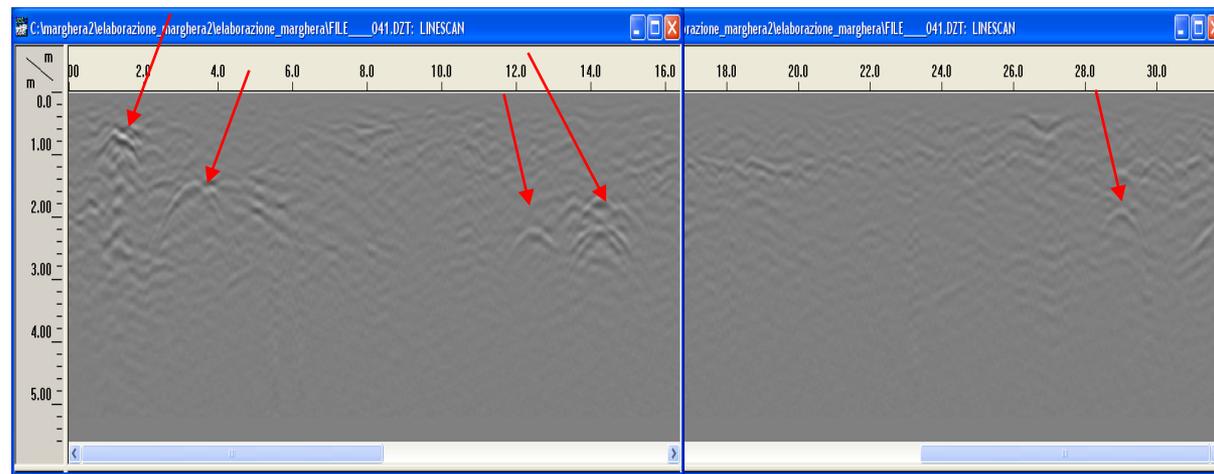


[www.labelab.it/ravenna2018](http://www.labelab.it/ravenna2018)

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



## Es. ricerca sottoservizi in area industriale



# GLI EDIFICI E LE INFRASTRUTTURE

CONTROLLI IN SITU E PROVE DI LABORATORIO  
SEMI-DISTRUTTIVI E NON DISTRUTTIVI SU  
Calcestruzzo, murature, metalli, malte, legno....

## DIRETTI

- SEMI
- Carotaggi/saggi
- DISTRUTTIVI
- Scavi
  - Endoscopia

## INDIRETTI

- Prova di penetrazione (Windsor)
- Prova di estrazione (pull-off)

I controlli NON-distruttivi in generale sono metodi **indiretti** in cui si misurano certe caratteristiche fisiche o chimiche da cui si ricava una stima della resistenza attraverso correlazioni

## NON

## DISTRUTTIVI

## INDIRETTI

- Sclerometro
- Georadar
- Metodi sonici e Ultrasonici
- Impact-echo
- Termografia

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE!**

**direzione@anfibia.eu**  
**roberta@esplorasrl.it**



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI TRIESTE