



La geofisica applicata allo sfruttamento della risorsa geotermica

Flavio Poletto

Istituto nazionale di oceanografia e di geofisica sperimentale – OGS, Trieste, Italy

Rovereto 2 dicembre 2016, Fondazione Museo Civico di Rovereto

**XIII Workshop di Geofisica
e
IV Giornata di Formazione**

Sommario

Caratterizzazione della risorsa geotermica con metodi geofisici integrati.

Contributo ed esperienze di OGS:

- ❑ Breve introduzione ai concetti e alle tipologie di sistemi geotermici
- ❑ Cenno a metodi geofisici
- ❑ Il progetto di utilizzo diretto di Grado, sistema geotermico a bassa entalpia
- ❑ Cenno ad altre applicazioni per utilizzo diretto (Arco)

Condizioni per la geotermia

La risorsa geotermica viene raggiunta con la perforazione di pozzi.

Le condizioni essenziali per l'utilizzo della risorsa geotermica sono:

- ❑ Presenza di temperatura adeguata per gli usi desiderati
- ❑ Presenza di fluidi
- ❑ Circolazione dei fluidi in profondità, permeabilità (naturale od indotta)

Condizioni per la geotermia

La risorsa geotermica viene raggiunta con la perforazione di pozzi.

Le condizioni essenziali per l'utilizzo della risorsa geotermica sono:

- ❑ Presenza di temperatura adeguata per gli usi desiderati
- ❑ Presenza di fluidi
- ❑ Circolazione dei fluidi in profondità, permeabilità (naturale od indotta)

 **MODELLO CONCETTUALE**

Condizioni per la geotermia

La risorsa geotermica viene raggiunta con la perforazione di pozzi.

Le condizioni essenziali per l'utilizzo della risorsa geotermica sono:

- ❑ Presenza di temperatura adeguata per gli usi desiderati
- ❑ Presenza di fluidi (fluidi geotermici)
- ❑ Circolazione dei fluidi in profondità, permeabilità (naturale od indotta)

- ❑ Definizione del modello geologico: misure geologiche, geochimiche, geofisiche, incluse condizioni tettoniche

Condizioni per la geotermia

La risorsa geotermica viene raggiunta con la perforazione di pozzi.

Le condizioni essenziali per l'utilizzo della risorsa geotermica sono:

- ❑ Presenza di temperatura adeguata per gli usi desiderati
- ❑ Presenza di fluidi (fluidi geotermici)
- ❑ Circolazione dei fluidi in profondità, permeabilità (naturale od indotta)

 **Fondamentali per ridurre il rischio esplorativo**

Evoluzione delle misure geofisiche esplorative (1960-1970)

- ❑ Pozzi test (gradiente di temperatura, anomalie)
- ❑ Rilievi gravimetrici (anomalie, strutture locali e regionali)
- ❑ Resistività (DC) (studio *reservoir*)

Evoluzione delle misure geofisiche esplorative (1970-1980)

- ❑ Pozzi test
- ❑ Rilievi gravimetrici
- ❑ Resistività (DC)
- ❑ Sismica (2D) (variazioni di riflettività, fratture, porosità, permeabilità)

Evoluzione delle misure geofisiche esplorative (1990-2000)

- ❑ Pozzi test per misurare il gradiente di temperatura
- ❑ Rilievi gravimetrici
- ❑ Resistività (DC, MT) (rimozione del rumore con stazioni remote)
- ❑ Sismica (3D) (migliorare risoluzione in profondità, interpretazione strutturale)

Evoluzione delle misure geofisiche esplorative (1970-2000)

- ❑ Pozzi test per misurare la temperatura
- ❑ Rilievi gravimetrici
- ❑ Resistività (DC, MT)
- ❑ Sismica (3D)
- ❑ Misure da pozzo
 - Log geofisici (sonic, resistivity, GR, densità, *borehole imager*, ...)

Evoluzione delle misure geofisiche esplorative (1990-2000)

- ❑ Pozzi test per misurare la temperatura
- ❑ Rilievi gravimetrici
- ❑ Resistività (DC, MT)
- ❑ Sismica (3D)
- ❑ Misure da pozzo
 - Log geofisici
 - Sismica da pozzo (VSP, dove possibile) (links: sismica – logs, tempo-profondità)

Sistemi geotermici

Classificazione schematica del sistema geotermico in base alla temperatura (entalpia) della risorsa (fluido in profondità):

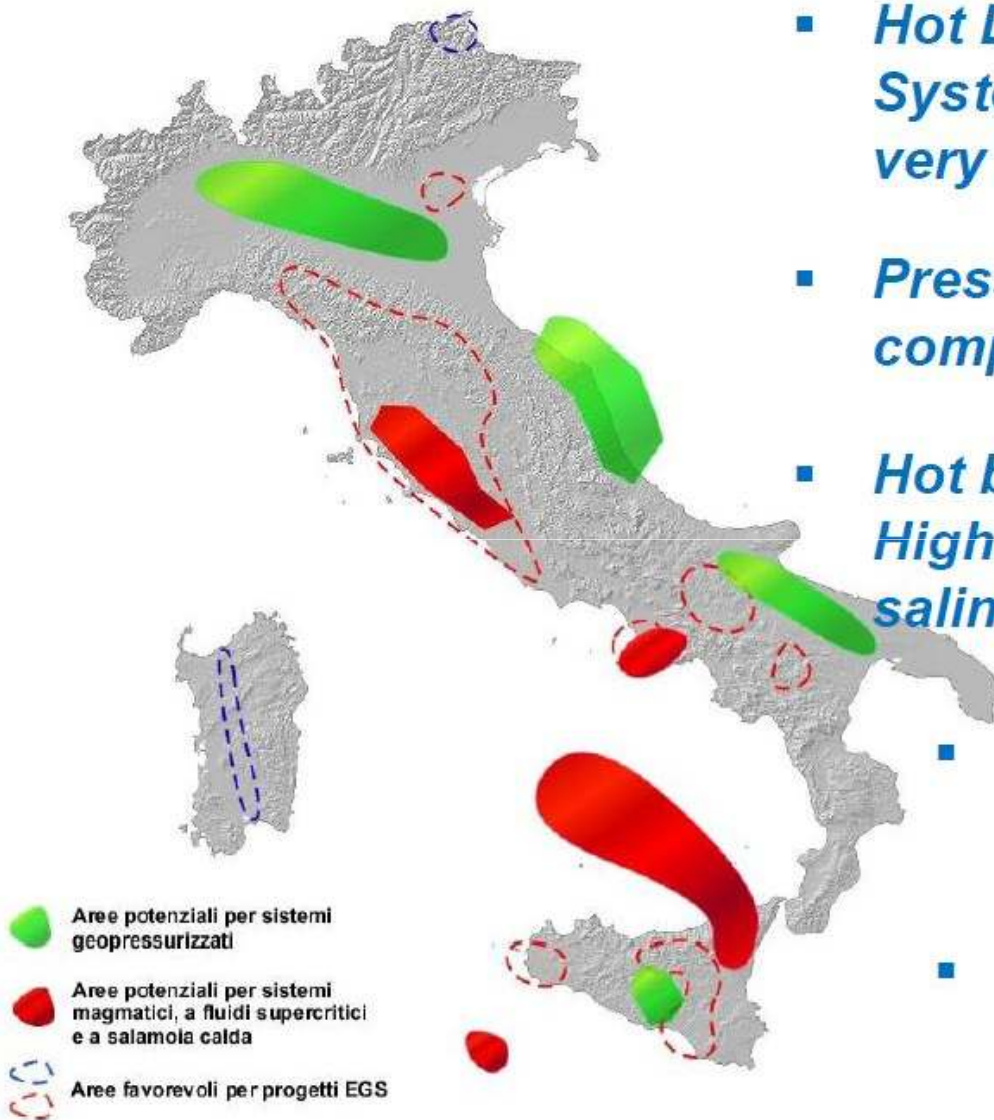
- ❑ Sistemi a bassa entalpia (uso diretto) ($T < 100 \text{ }^\circ\text{C}$)
- ❑ Sistemi a media entalpia (utilizzo elettrico) ($100 < T < 250 \text{ }^\circ\text{C}$)
- ❑ Sistemi ad alta entalpia (utilizzo elettrico) ($250 < T \text{ }^\circ$) (sistemi naturali super-hot, EGS)

Sistemi geotermici

Classificazione schematica del sistema geotermico in base alla temperatura (entalpia) della risorsa (fluido in profondità):

- ❑ Sistemi a bassa entalpia (uso diretto) ($T < 100$ °C)
- ❑ Sistemi a media entalpia (utilizzo elettrico) ($100 < T < 250$ °C)
- ❑ Sistemi ad alta entalpia (utilizzo elettrico) ($250 < T$ °) (sistemi naturali super-hot, EGS) (Larderello, Toscana, ...)

Scenario in Italia



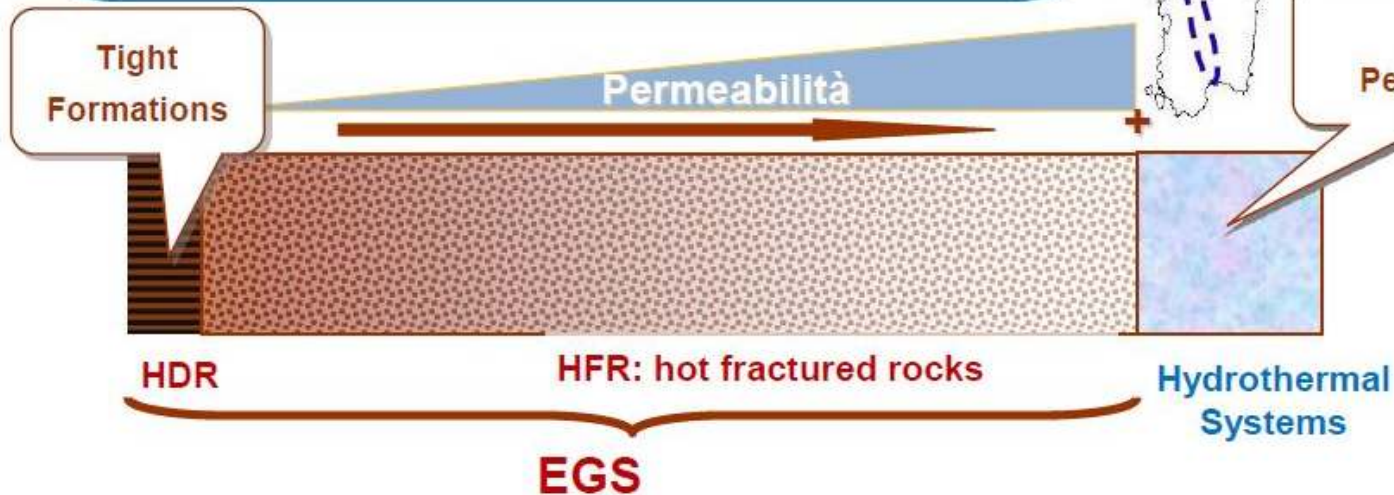
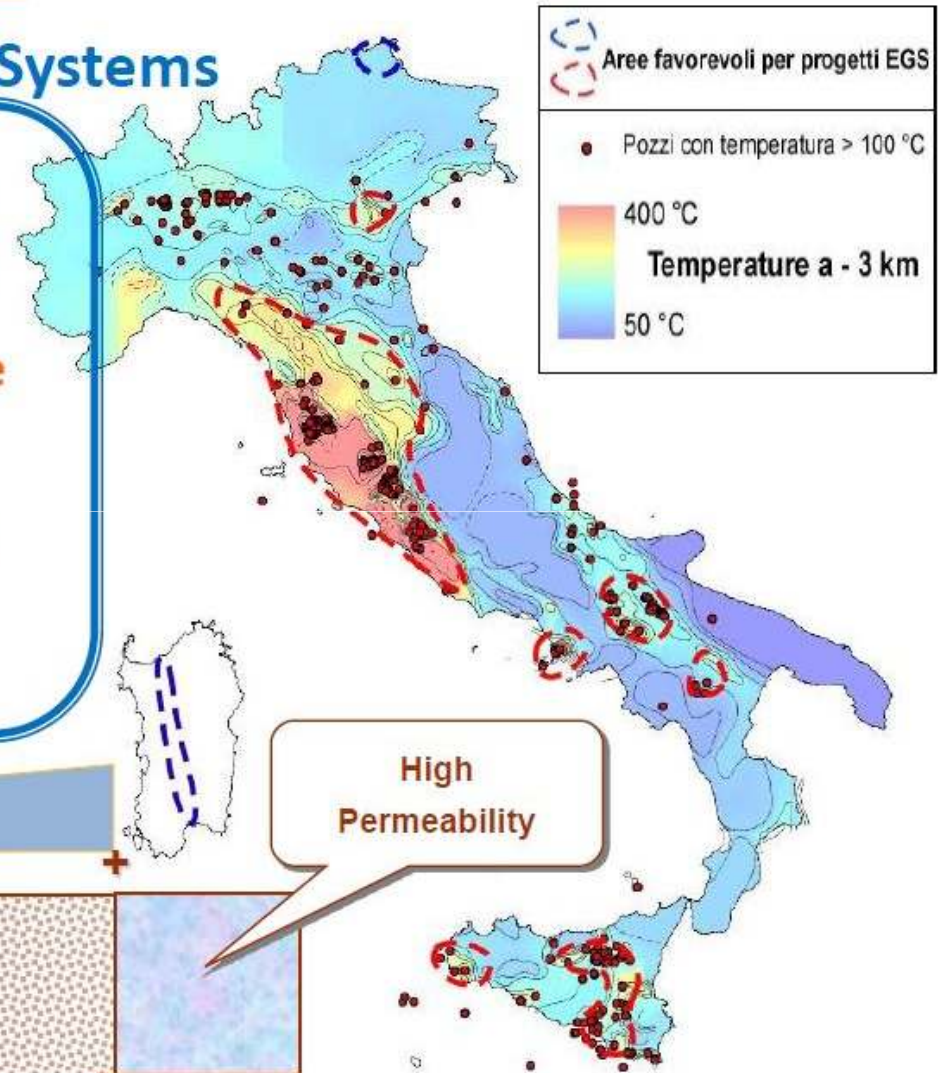
- *Hot Dry Rocks - Enhanced Geothermal Systems (high temperature and low-to-very low permeability)*
- *Pressurized systems in clastic complexes*
- *Hot brines, Mainly in volcanic systems. High temperature fluids at very high salinity (>> 10 g/l).*
- *Supercritical fluids, high temperature and depth in supercritical conditions*
- *Magma systems, heat capture in active volcanic areas*

Scenario in Italia

Unconventional Geothermal Systems (UGS)

Enhanced/Engineered Geothermal Systems

Any system where reservoir stimulation techniques such as “hydro-fracking” and chemical stimulation are used to enhance permeability, and hence increase circulating flow rates and energy production rates



(modified after Buonasorte)

Sistemi geotermici

Classificazione schematica del sistema geotermico in base alla temperatura (entalpia) della risorsa (fluido in profondità):

- ❑ Sistemi a bassa entalpia (uso diretto) (Grado)

Rilevo geofisico di Grado

Approccio geofisico integrato

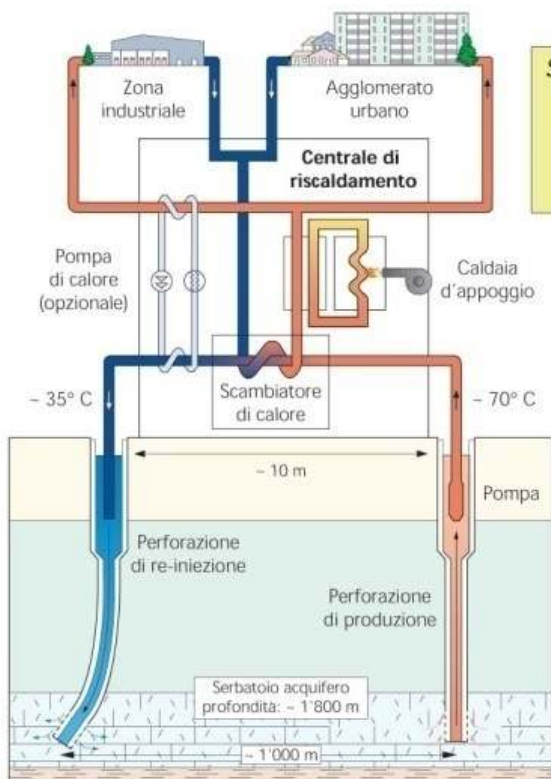
- Progetto geotermico per il riscaldamento diretto di Grado (isola Italia NE)

- Nuove indagini geofisiche (fase 2):
 - Sismica a riflessione
 - Sismica da pozzo (VSP)
 - Misure di gravità

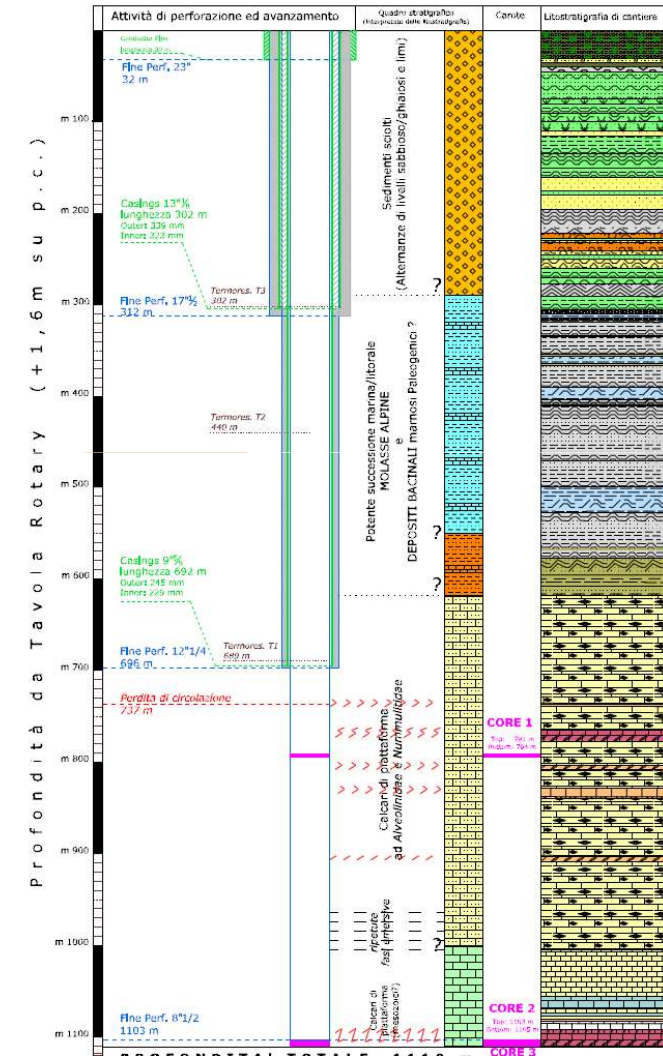
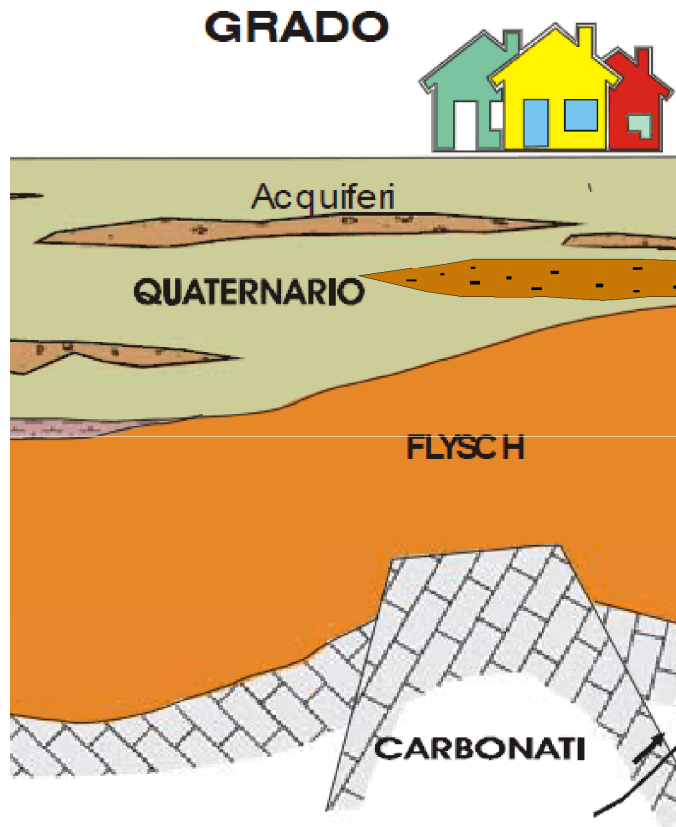
- Fornire informazioni per l'ubicazione del nuovo pozzo Grado 2 dopo i risultati del pozzo Grado 1

(si veda L. Petronio, F. Poletto, F. Palmieri and B. Della Vedova, 2012)

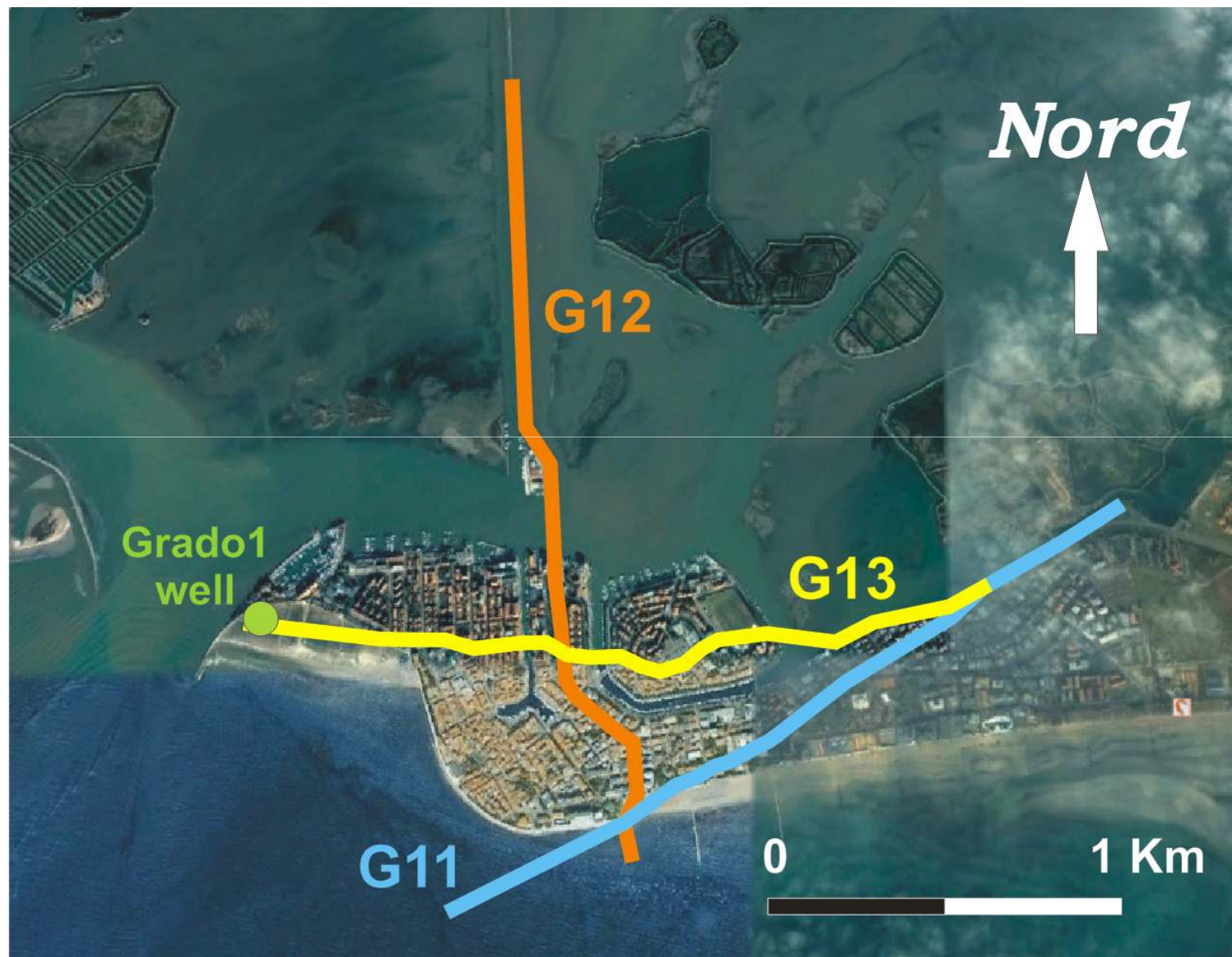
"Doublet" per l'uso geotermico diretto



Schema tipo di un «doublet» geotermico nella regione parigina



Mappa delle linee sismiche di superficie



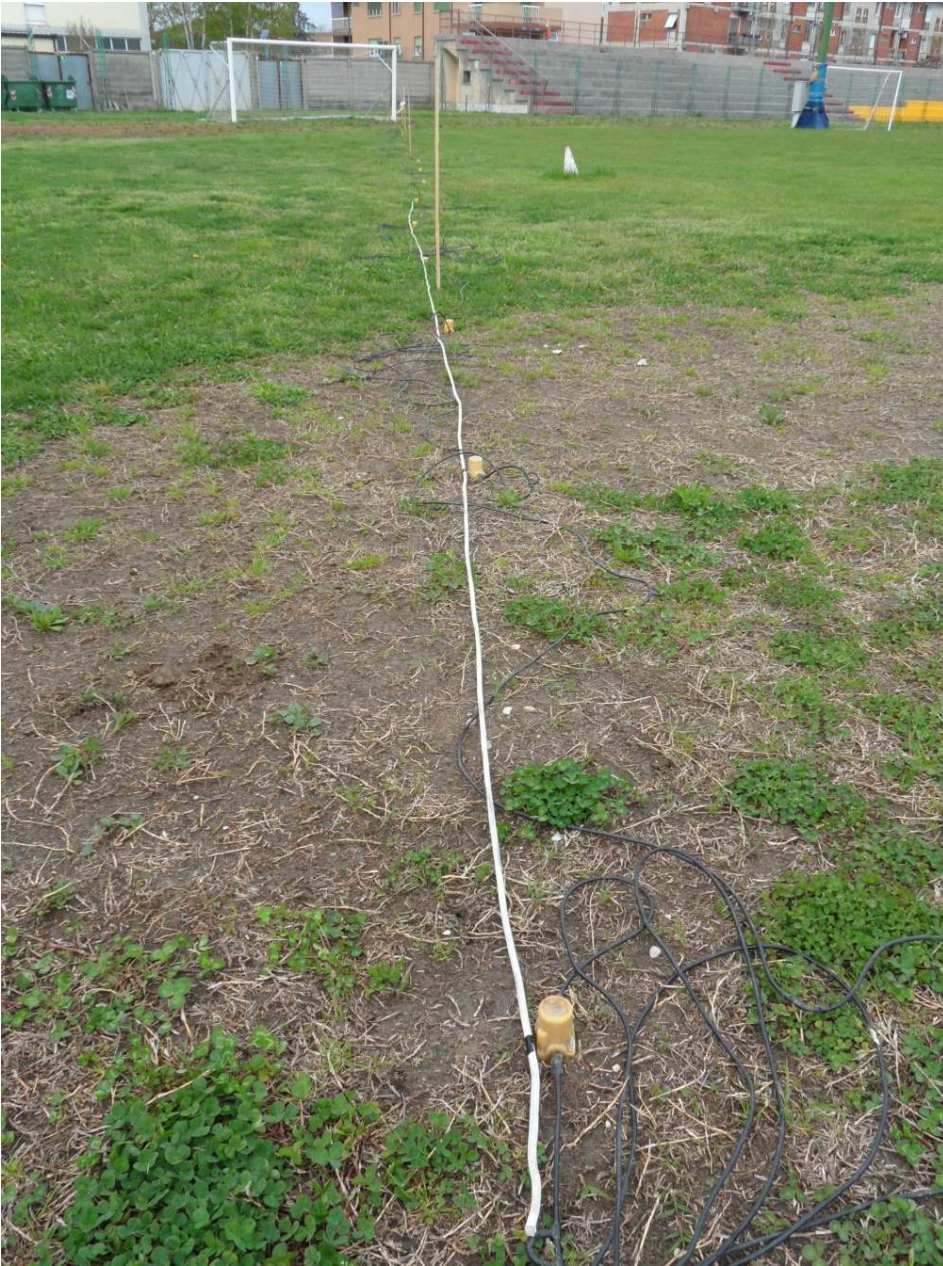
Parametri di acquisizione della sismica di superficie

	G11	G12	G13
Seismic source:	Hydrapulse	Hydrapulse	Minivib (18 s, 8 – 200 Hz)
Sensors:	geophone (6x10 Hz) and hydrophone		
Intertrace:		10 m	
Shot interval:		20 m	
Layout:		fixed spread	
Channels:	236	256	174
Length:	2350 m	2550 m	1730 m
Sampling rate:		1 ms	
Data length:	4 s	4 s	22 s

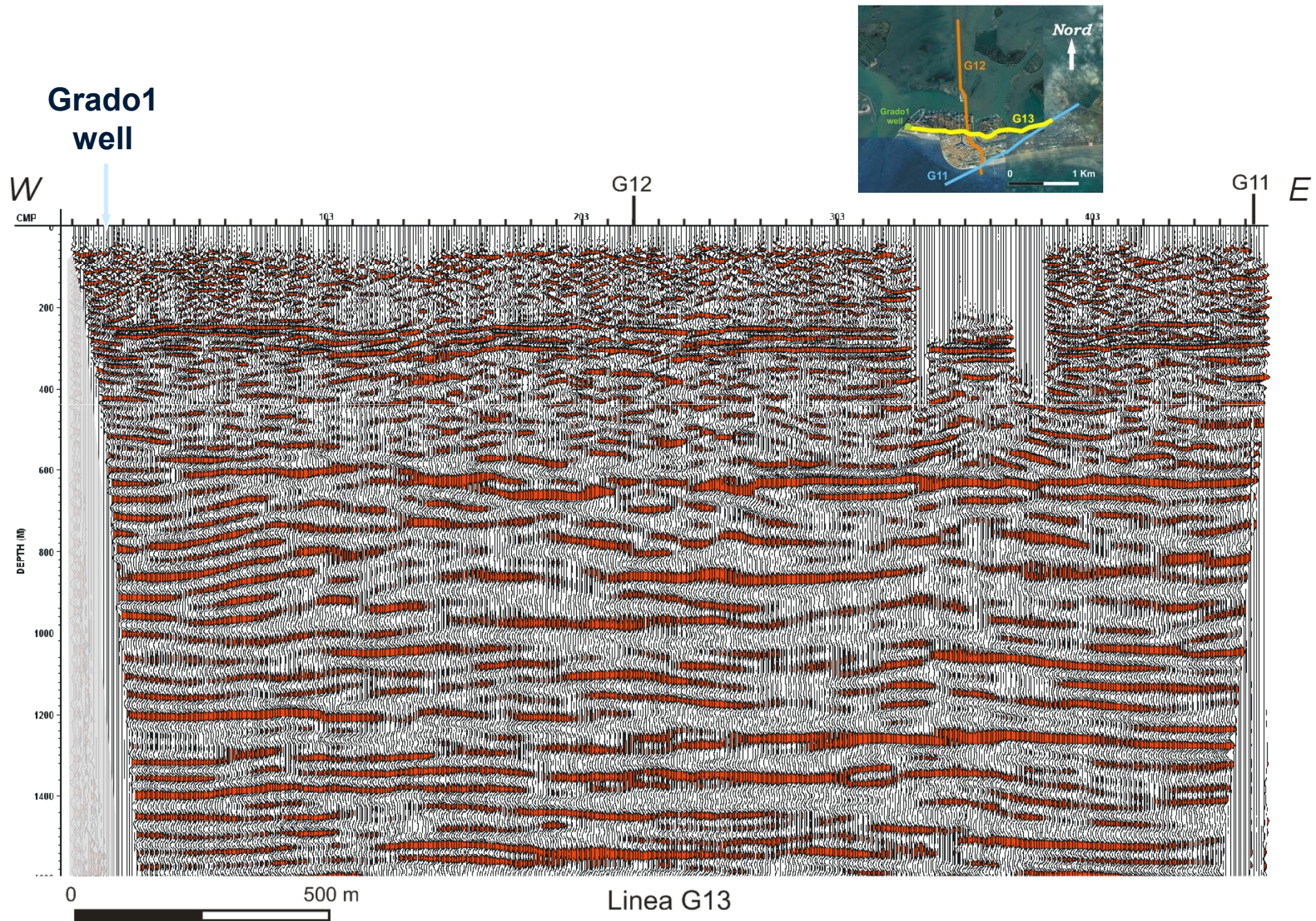
Sorgenti sismiche di superficie



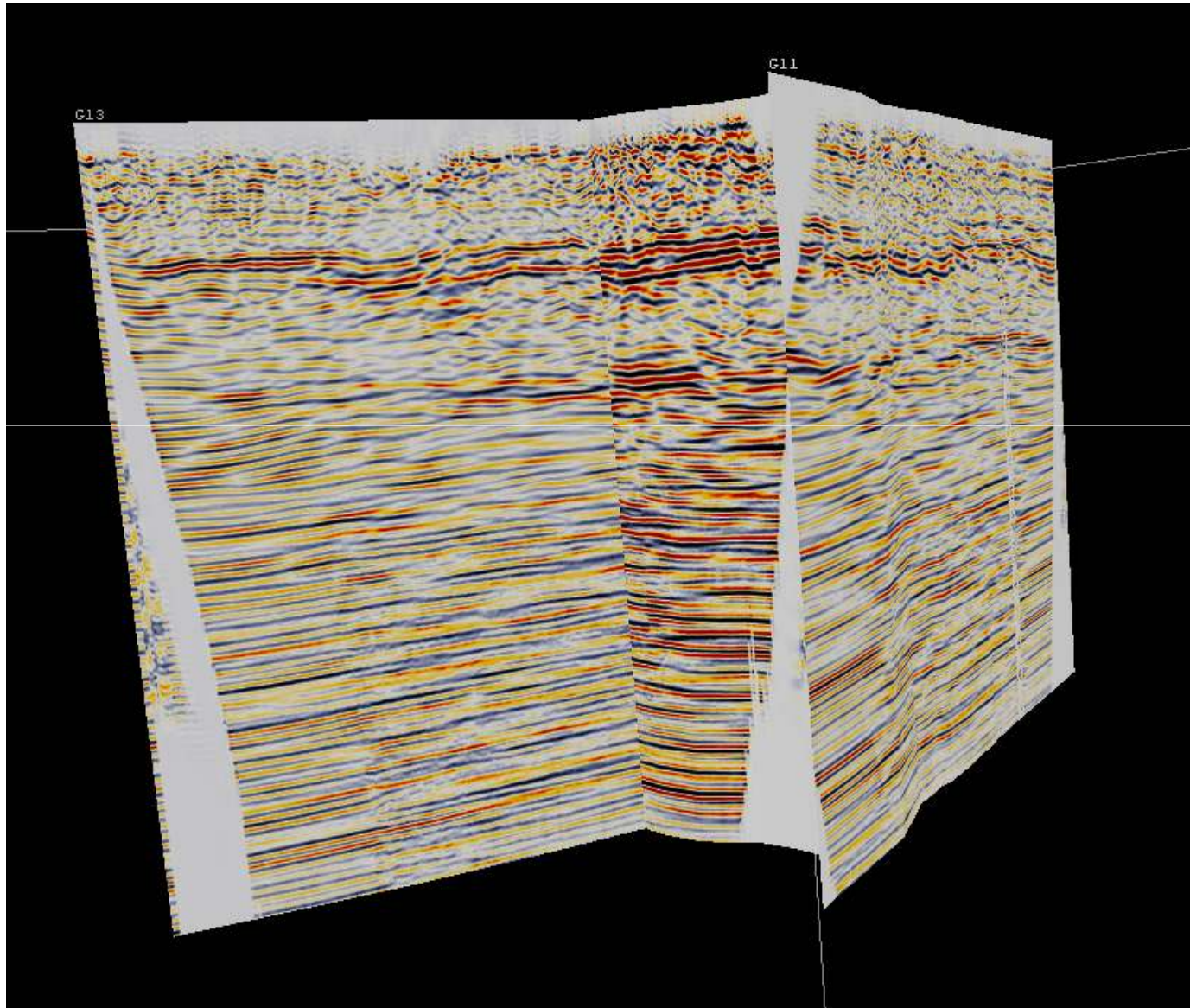
Ricevitori sismici di superficie



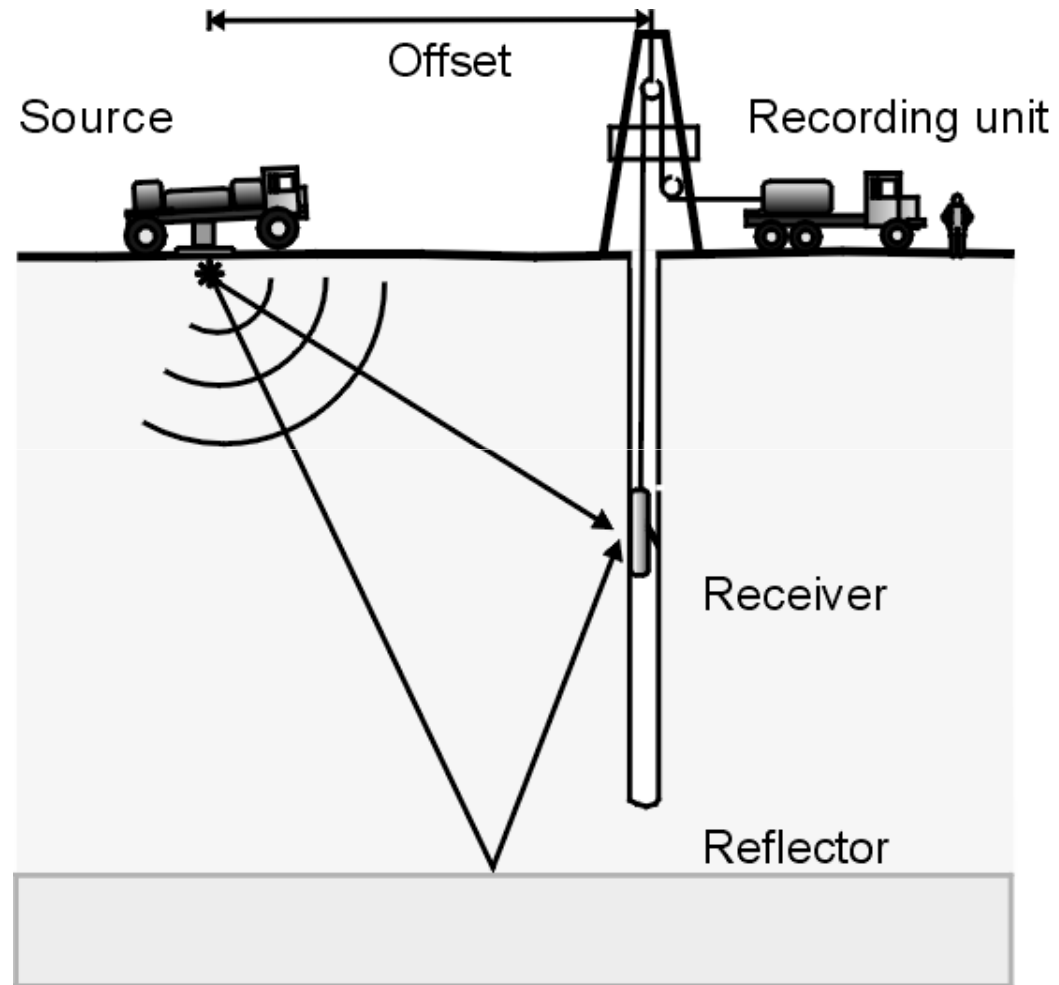
Esempio di elaborazione dei segnali riflessi



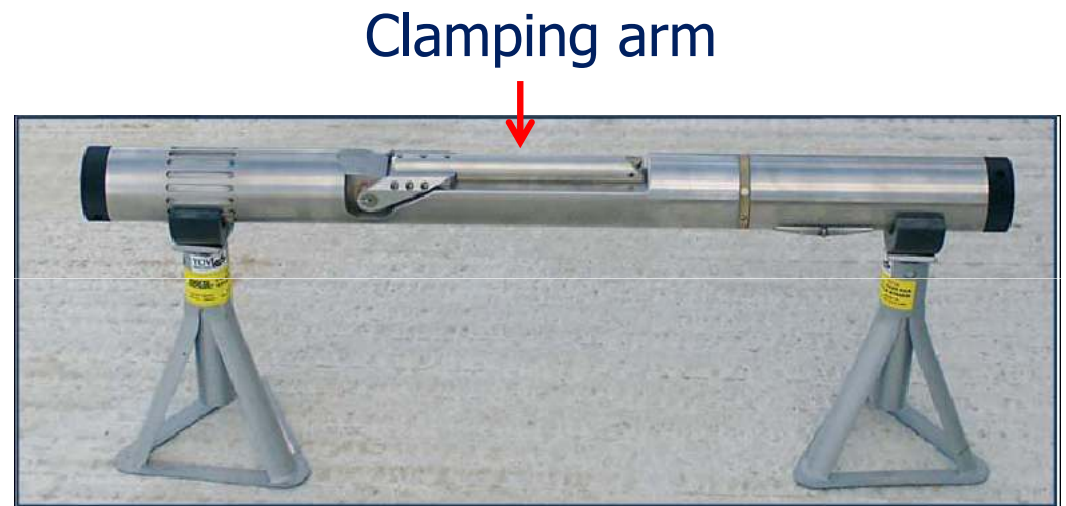
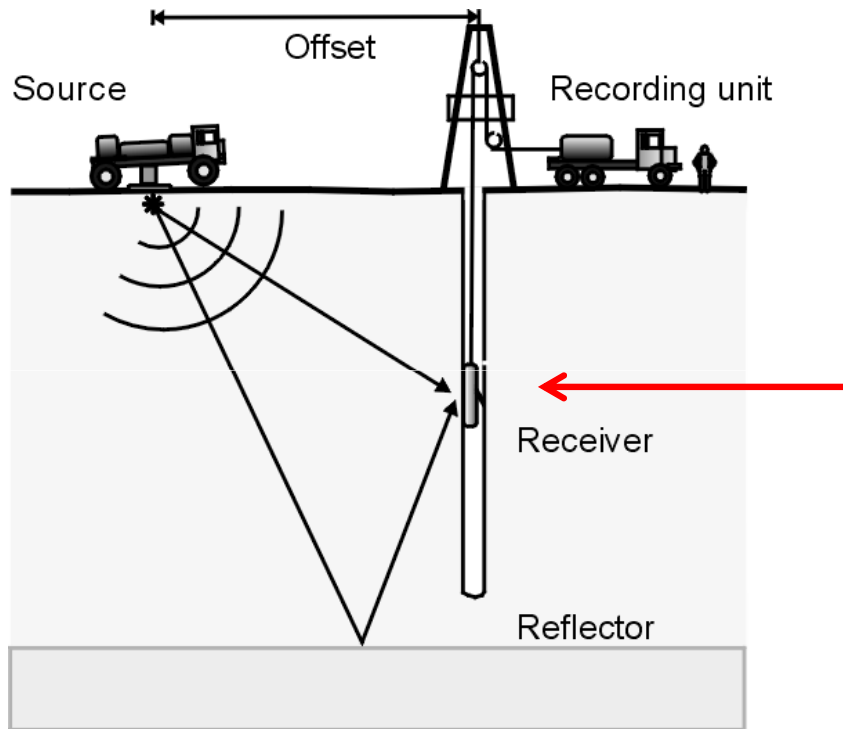
Interpretazione agli incroci



Sismica di pozzo: wireline VSP



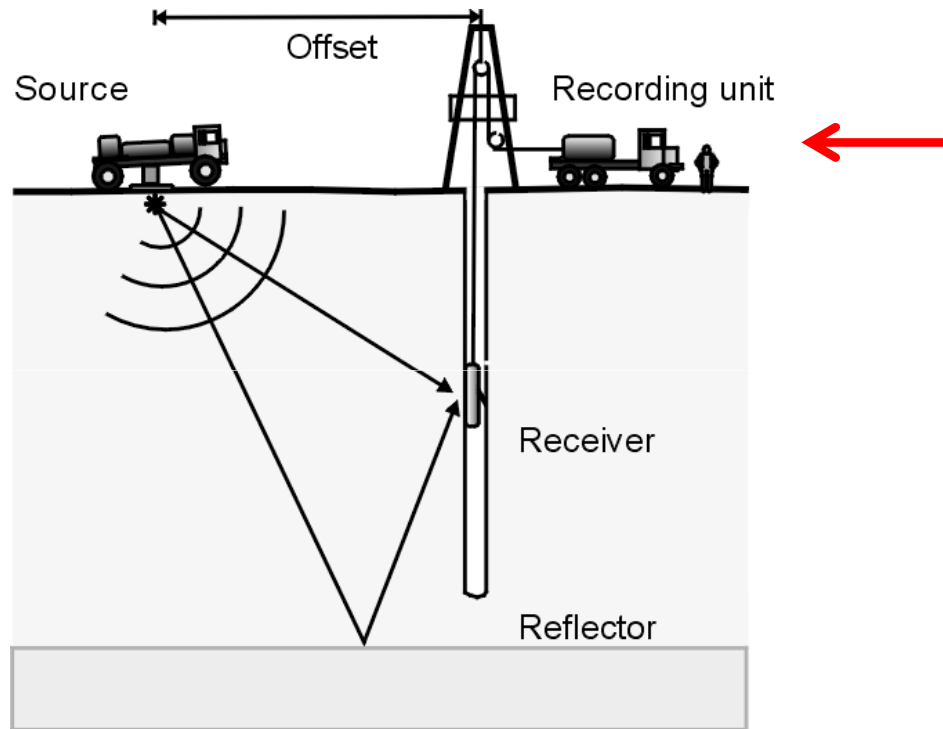
Sismica di pozzo: wireline VSP



3C borehole geophone

Sismica di pozzo: wireline VSP

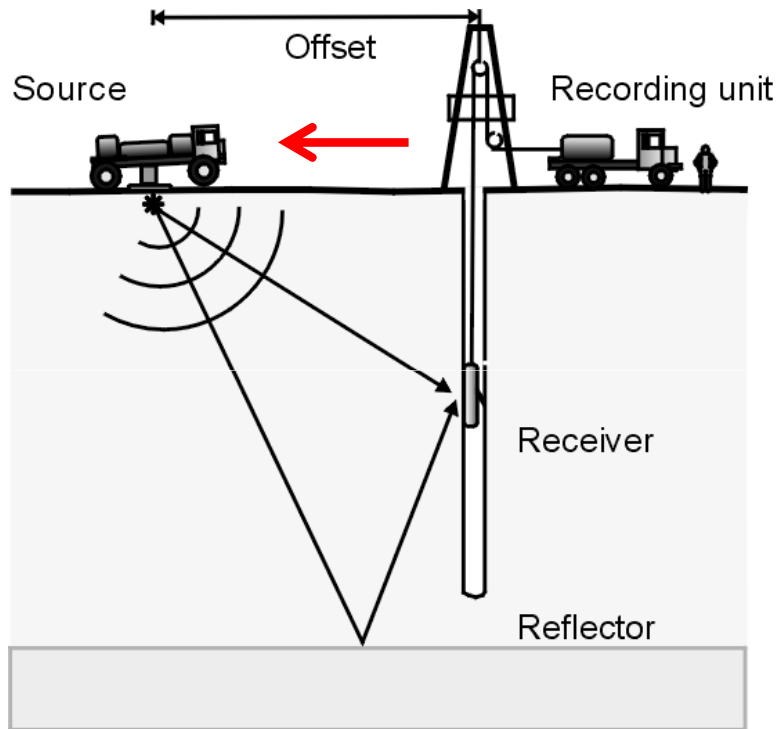
Whinch system



Standard cable



Sismica di pozzo: wireline VSP



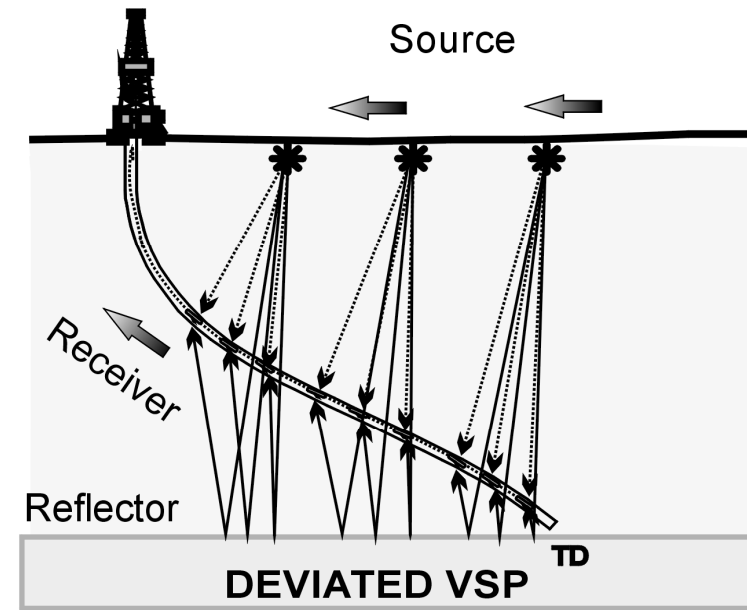
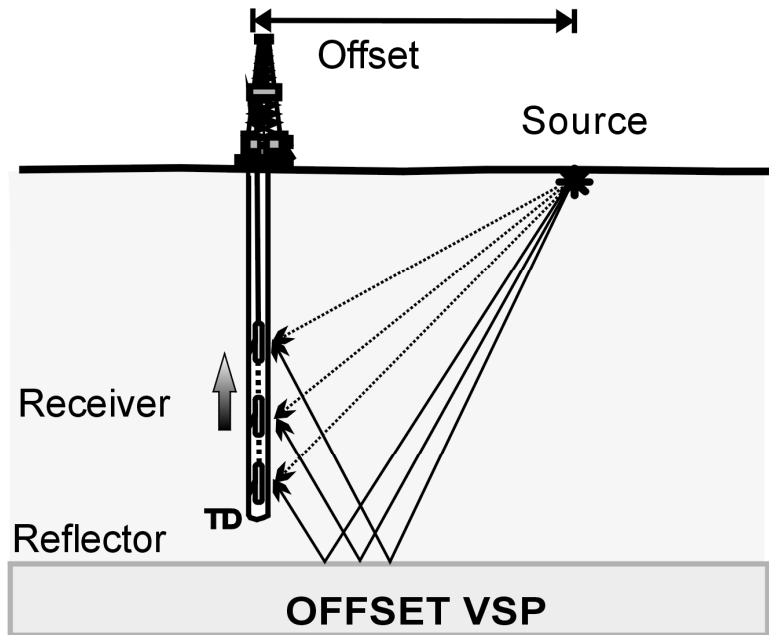
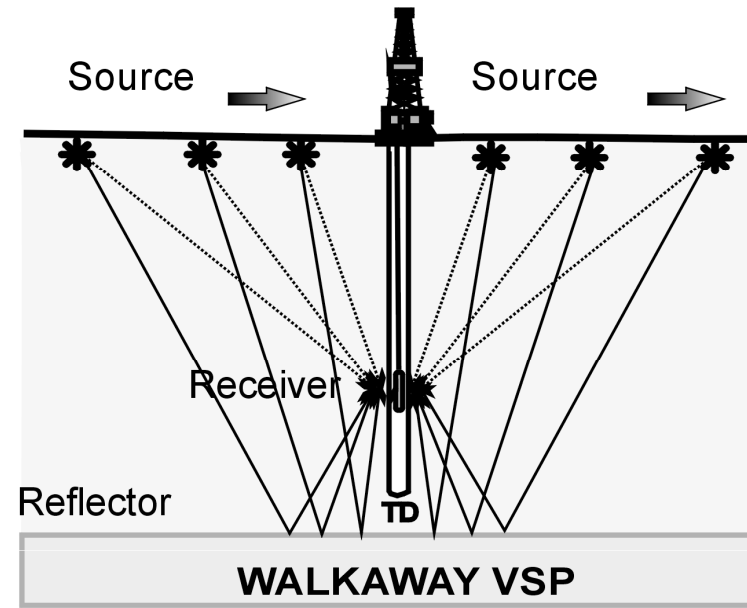
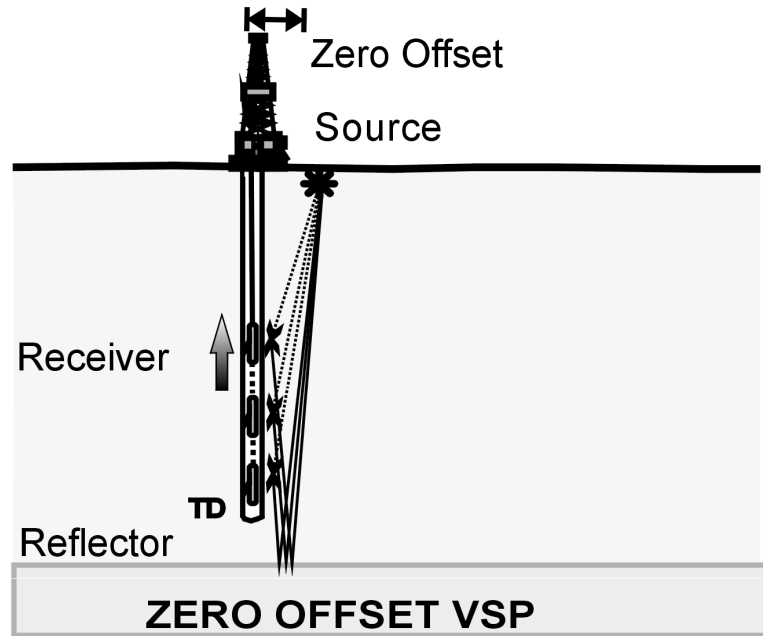
Vibrator source



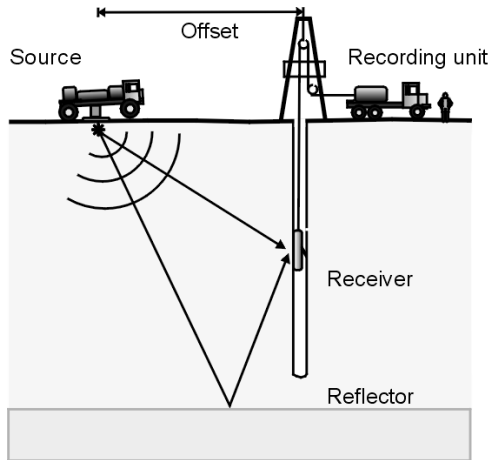
Impulsive source

Importante acquisire in pozzo ad **intervalli regolari** (dipende dalla massima frequenza del segnale desiderata), sorgente **ripetibile**.

Sismica di pozzo: geometrie



Sismica di pozzo in Grado 1



Concetto di profilo sismico verticale (VSP)

Quattro VSPs: 1 near offset VSP + 3 offset VSP

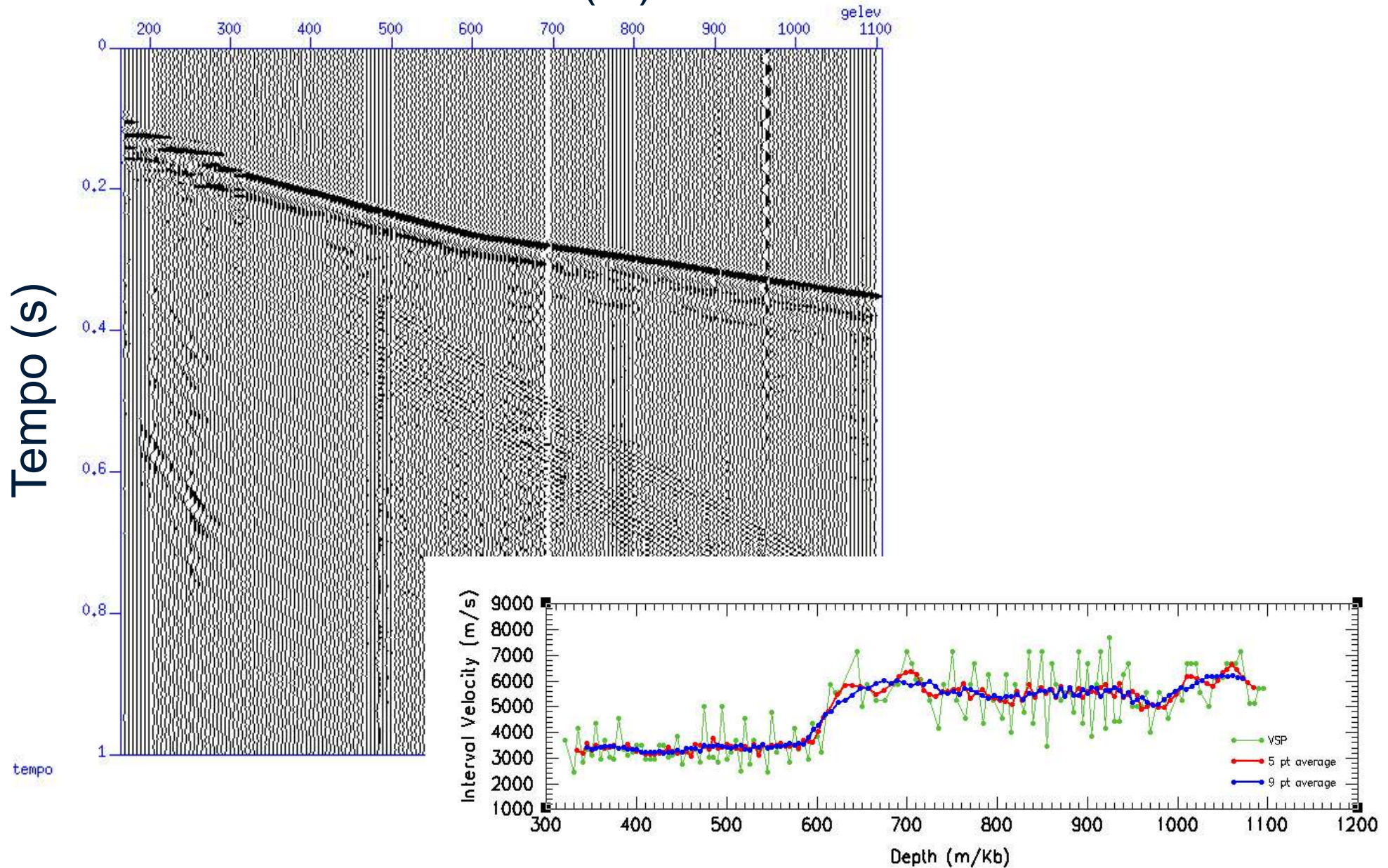
Well depth	1.1 km
Seismic source:	Hydrapulse
Borehole sensors:	3 C geophone (Avalon)
Surface reference sensors:	geophone (10 Hz)
Offset:	44 m, 266 m, 449 m, 939 m
Depth intervals:	5 m (near offset), 10 – 20 m (medium - far offsets)
Depth levels no.:	186, 91, 90, 51
Sampling rate:	0.5 ms
Data length:	4 s

Mappa di acquisizione VSP

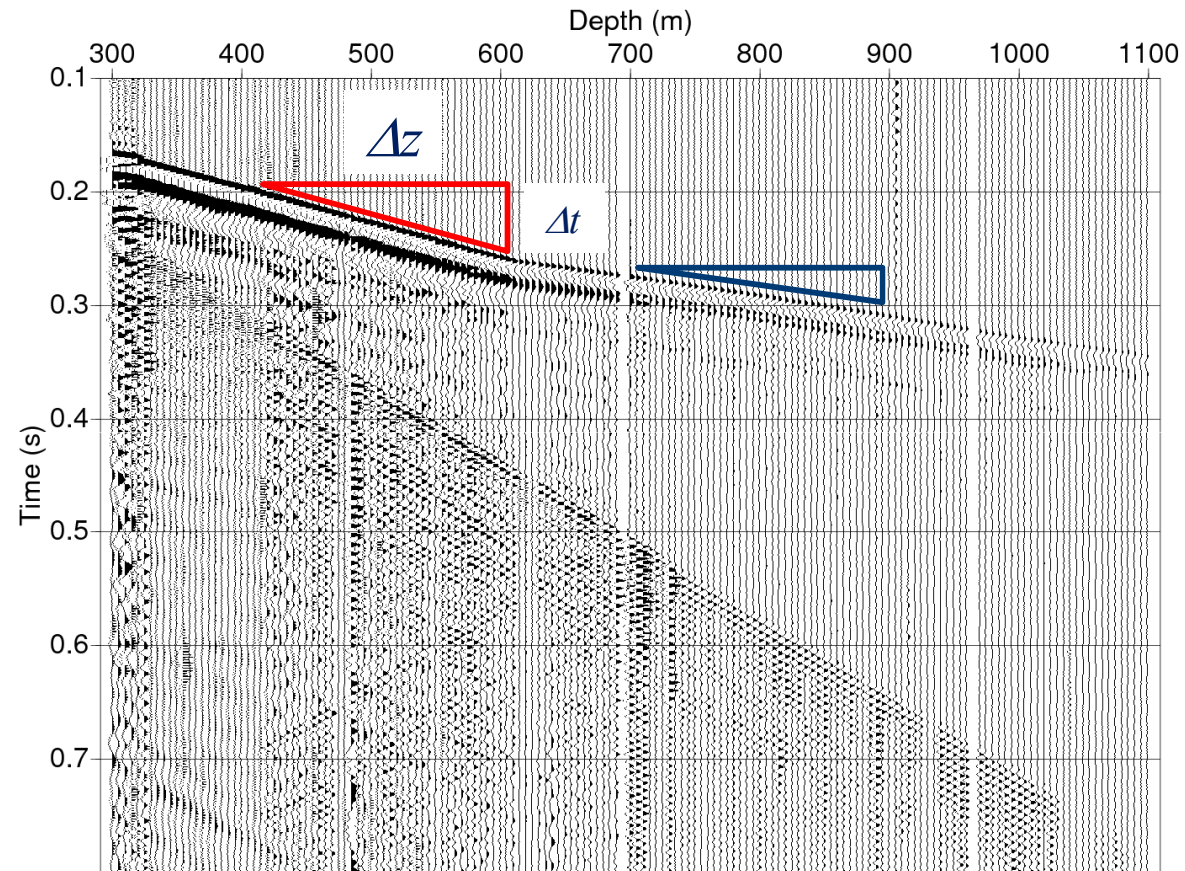


Near Offset VSP: velocità intervallari

Profondità (m)



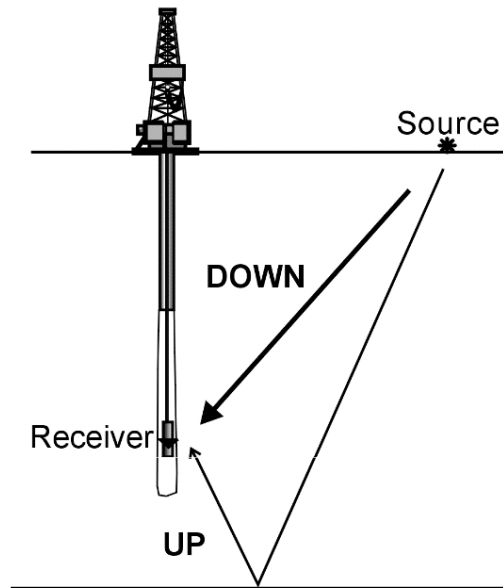
Near Offset VSP: velocità intervallari



VSP riflettività e risultati di pozzo

WAVEFIELDS IN REVERSE AND NORMAL VSP

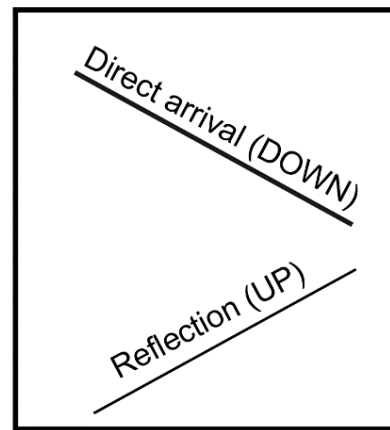
NORMAL VSP



b)

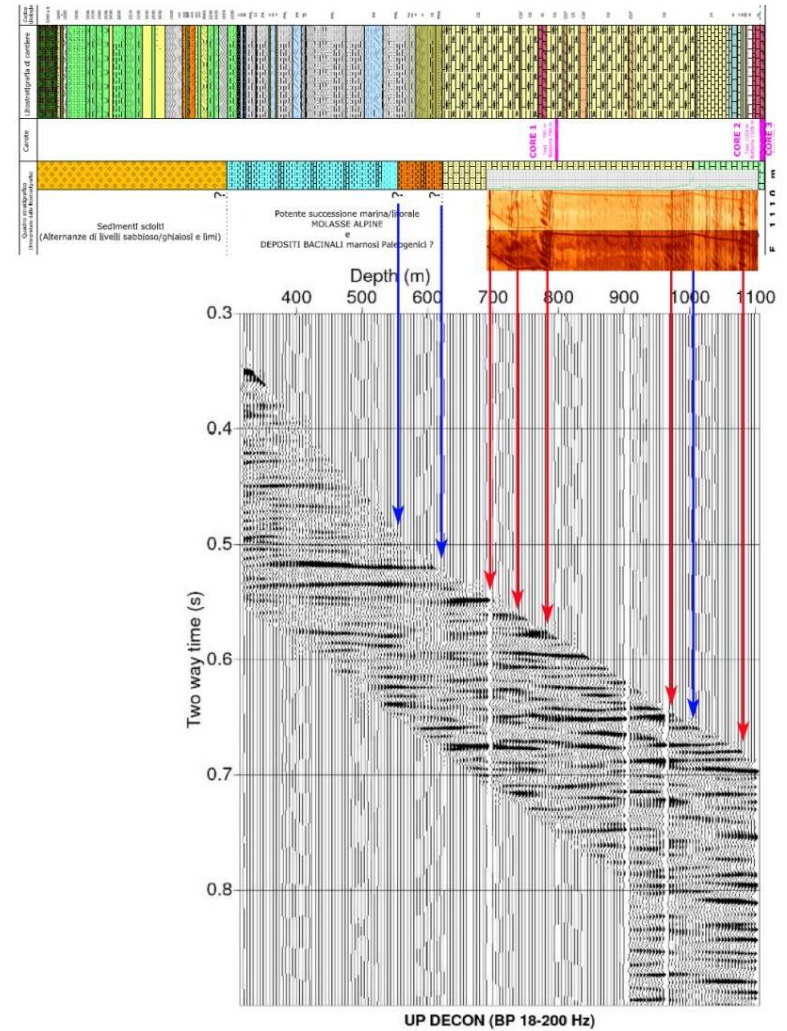
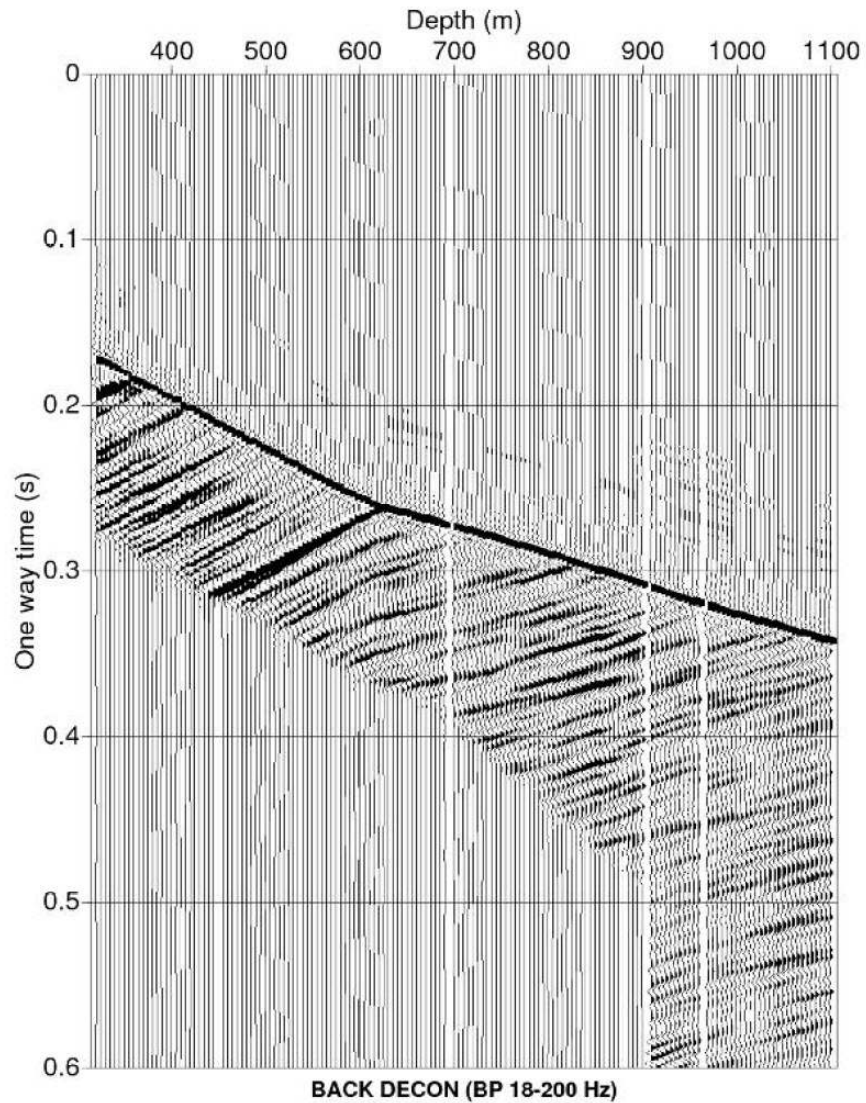
DEPTH →

TIME ↓



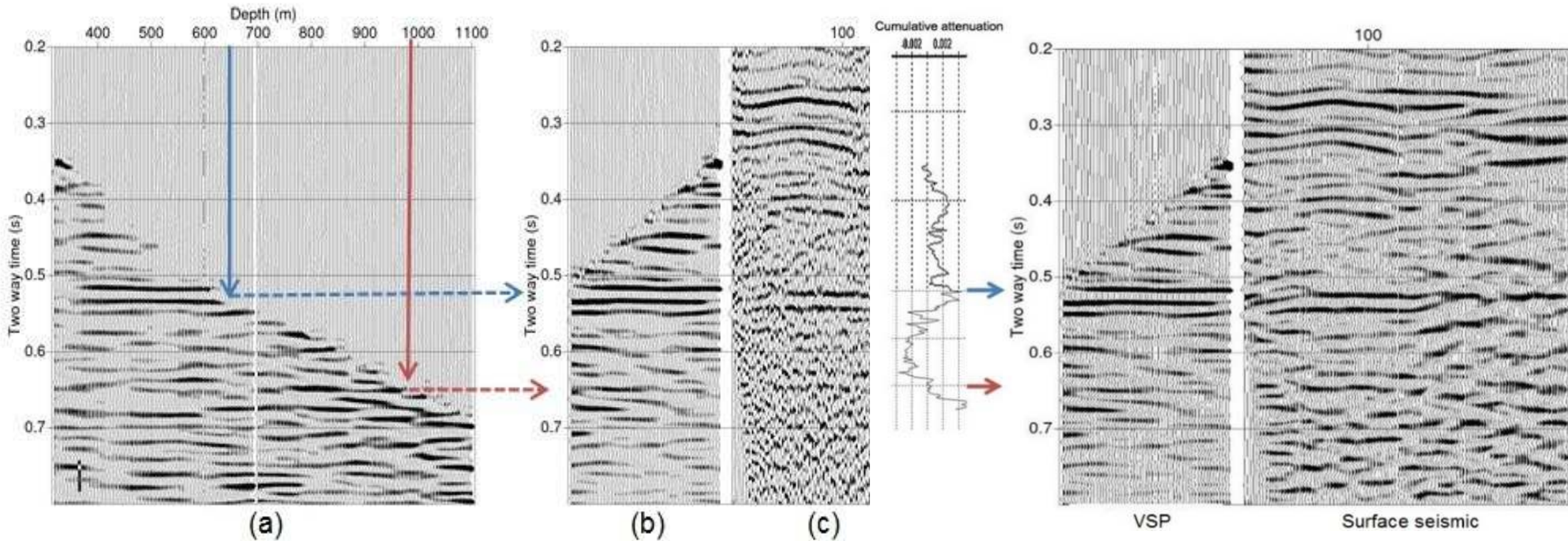
NORMAL VSP

VSP riflettività e risultati di pozzo

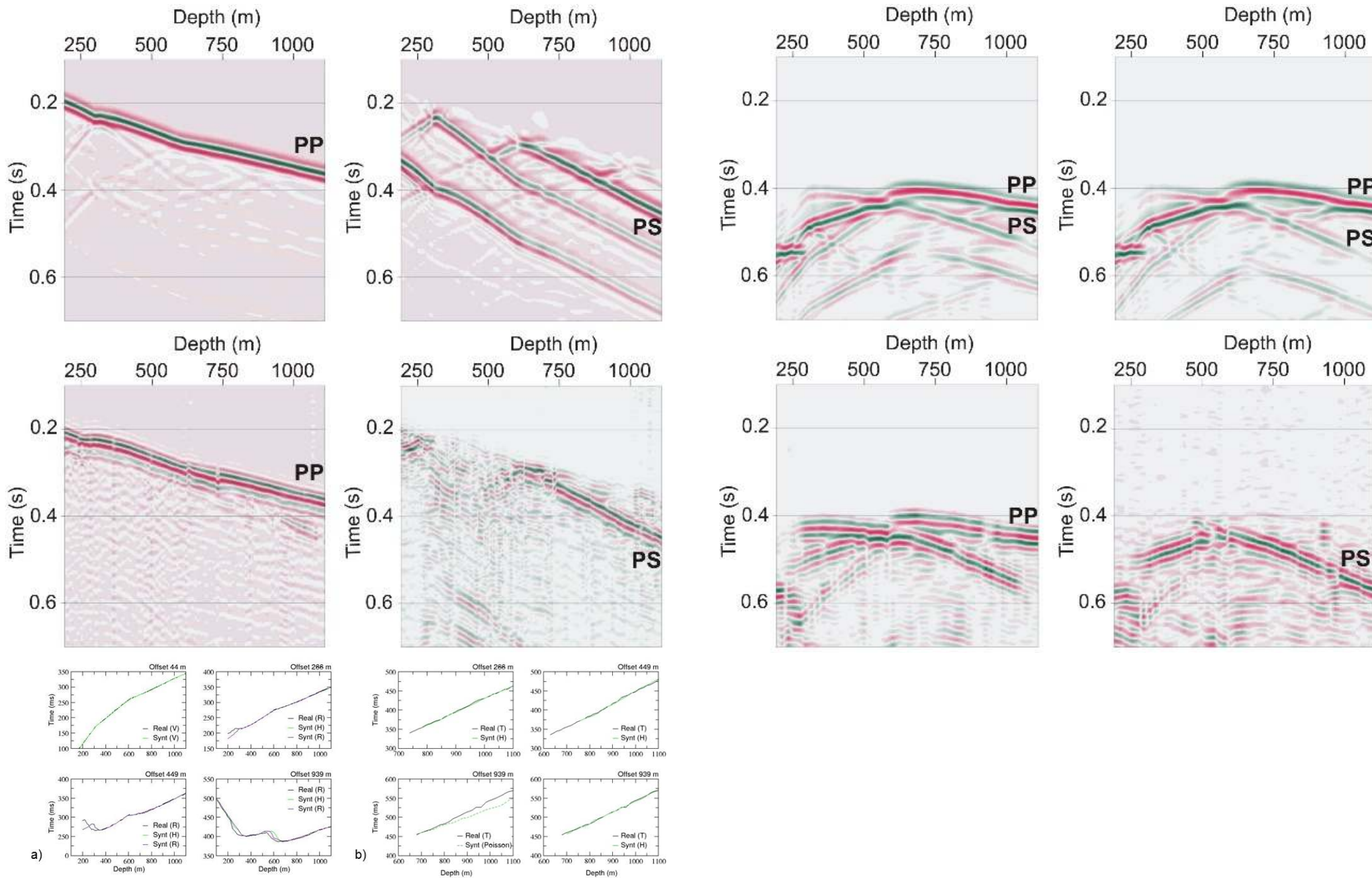


Interpretazione delle riflessioni e Qualità della roccia (studio dell'attenuazione)

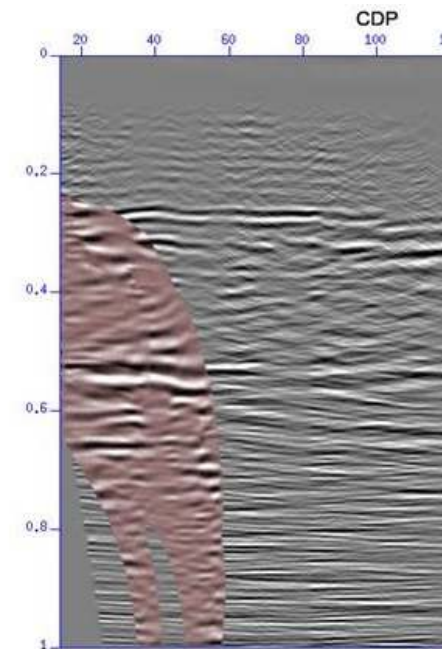
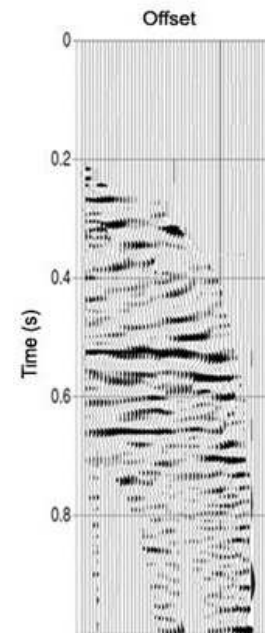
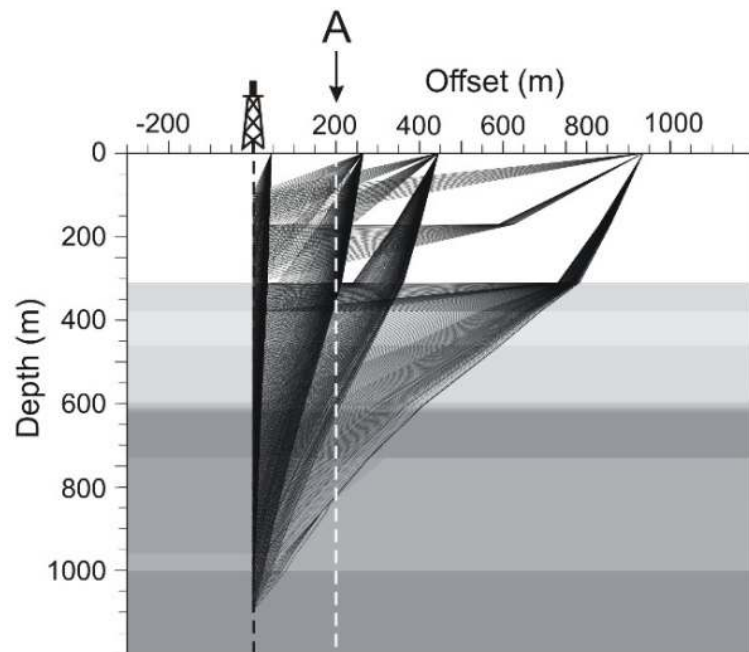
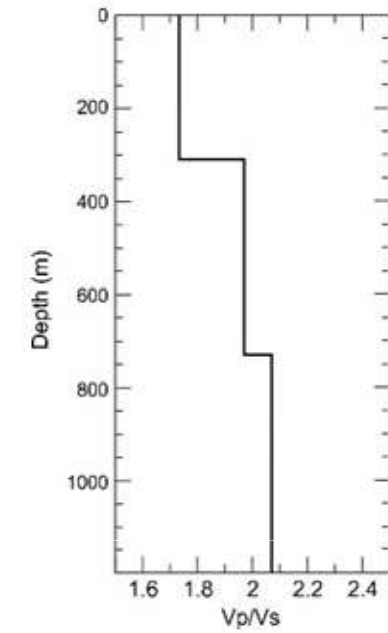
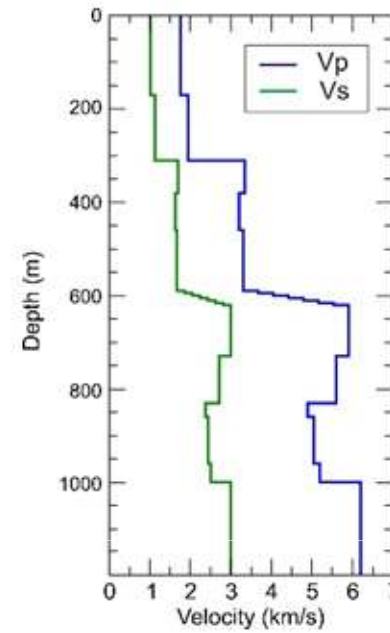
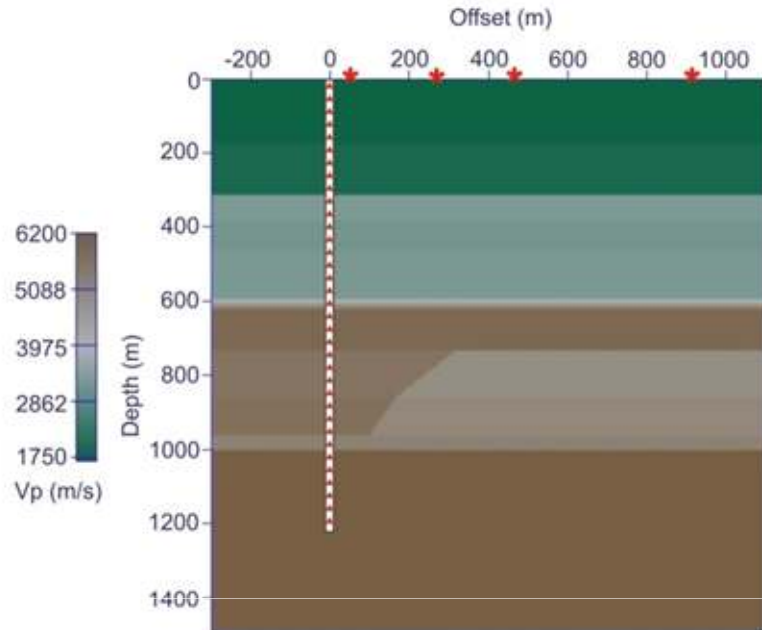
c)



Segnali diretti e convertiti negli offset VSPs



Variazioni laterali VSP ed analisi Vp/Vs



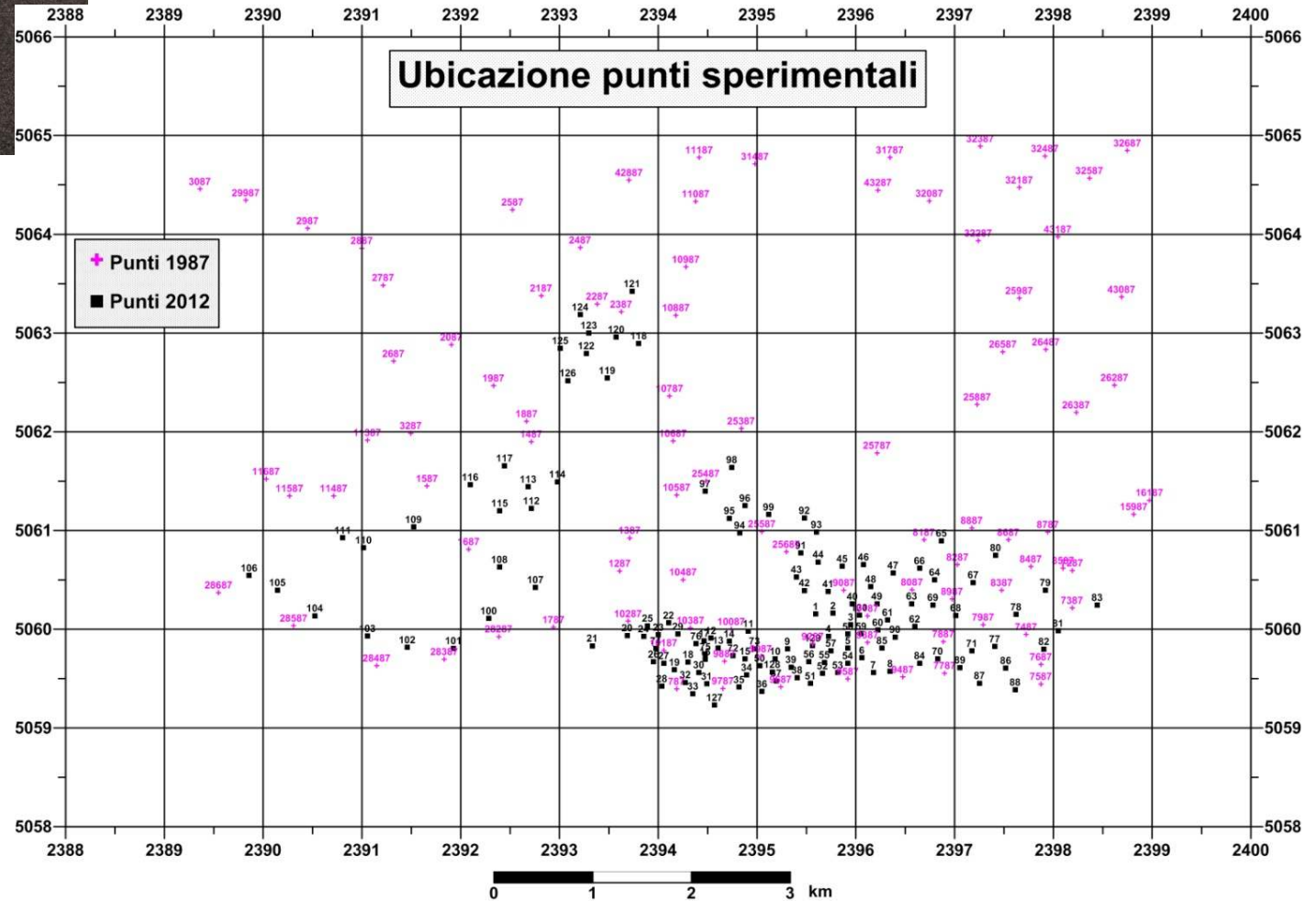
Acquisizione di dati di Gravità



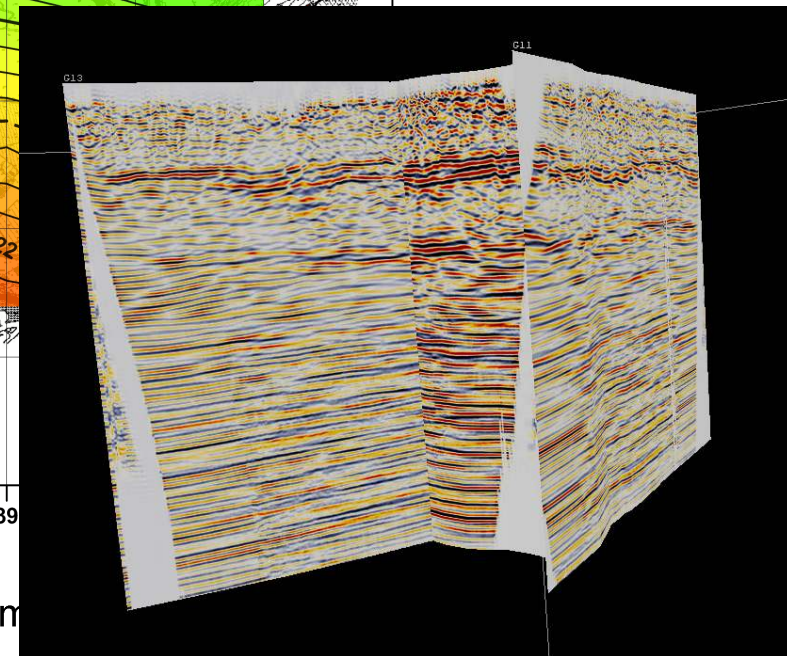
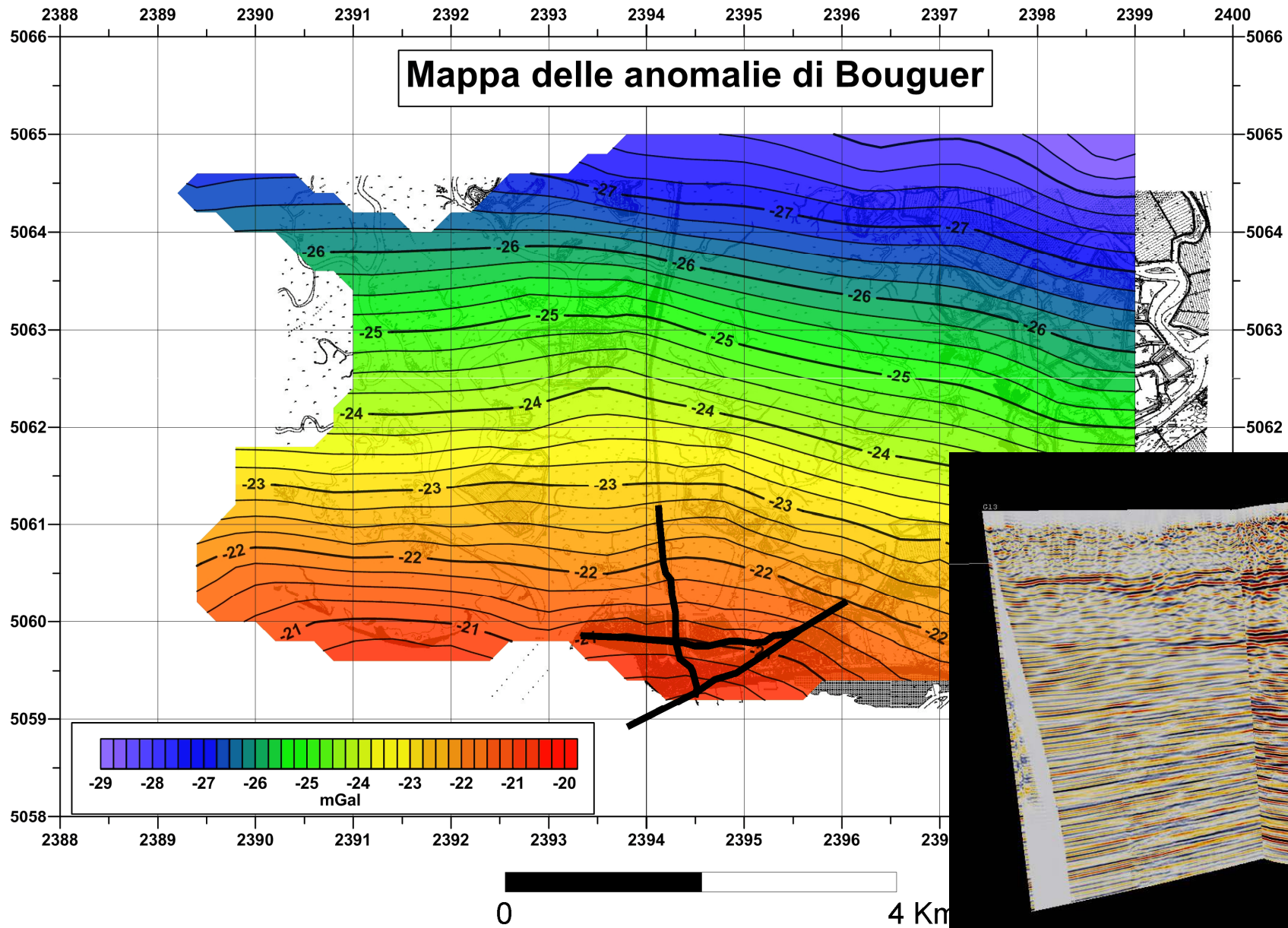
LaCoste & Romberg model D

229 new measurements

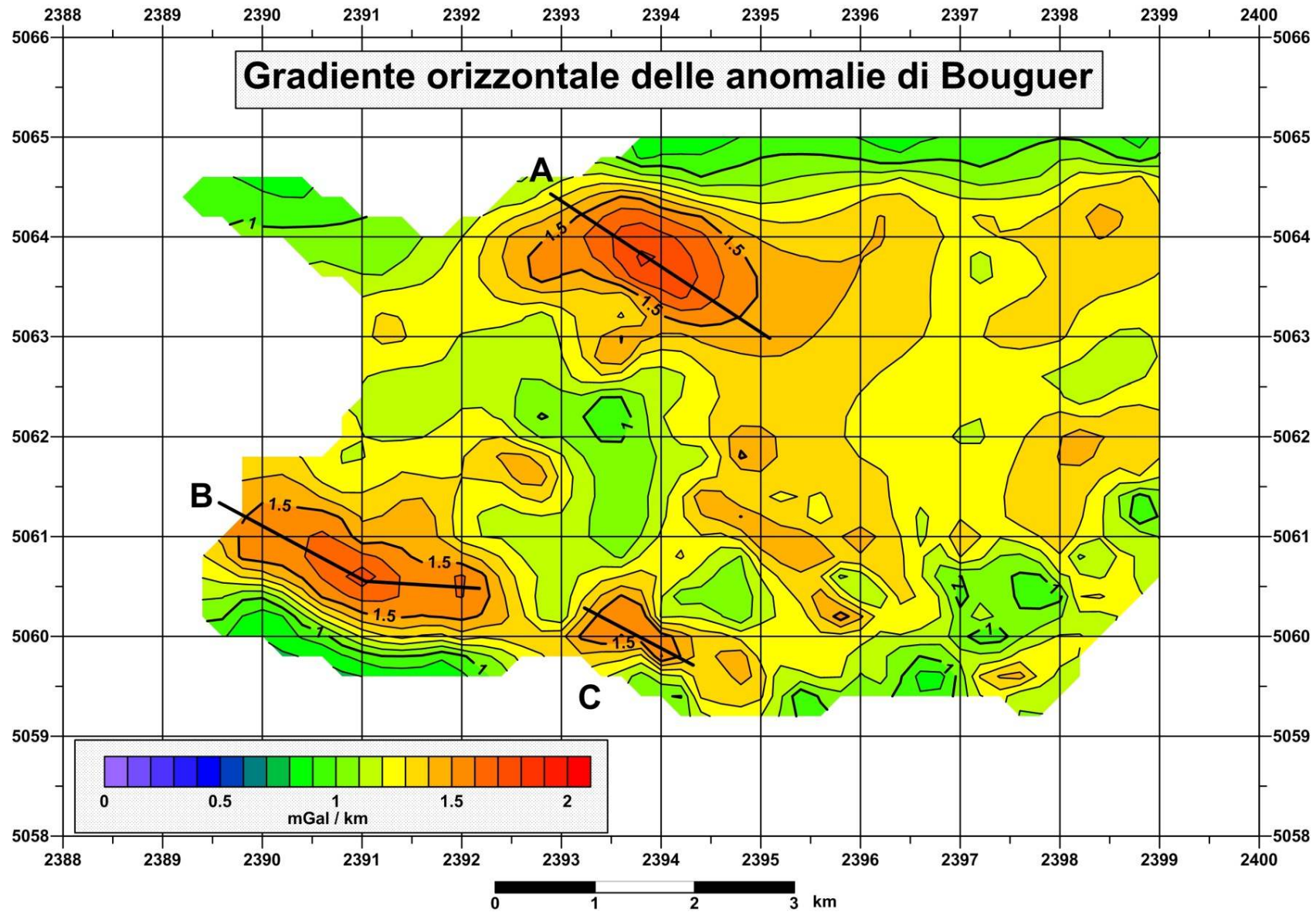
Integration with previous measurements (1987)



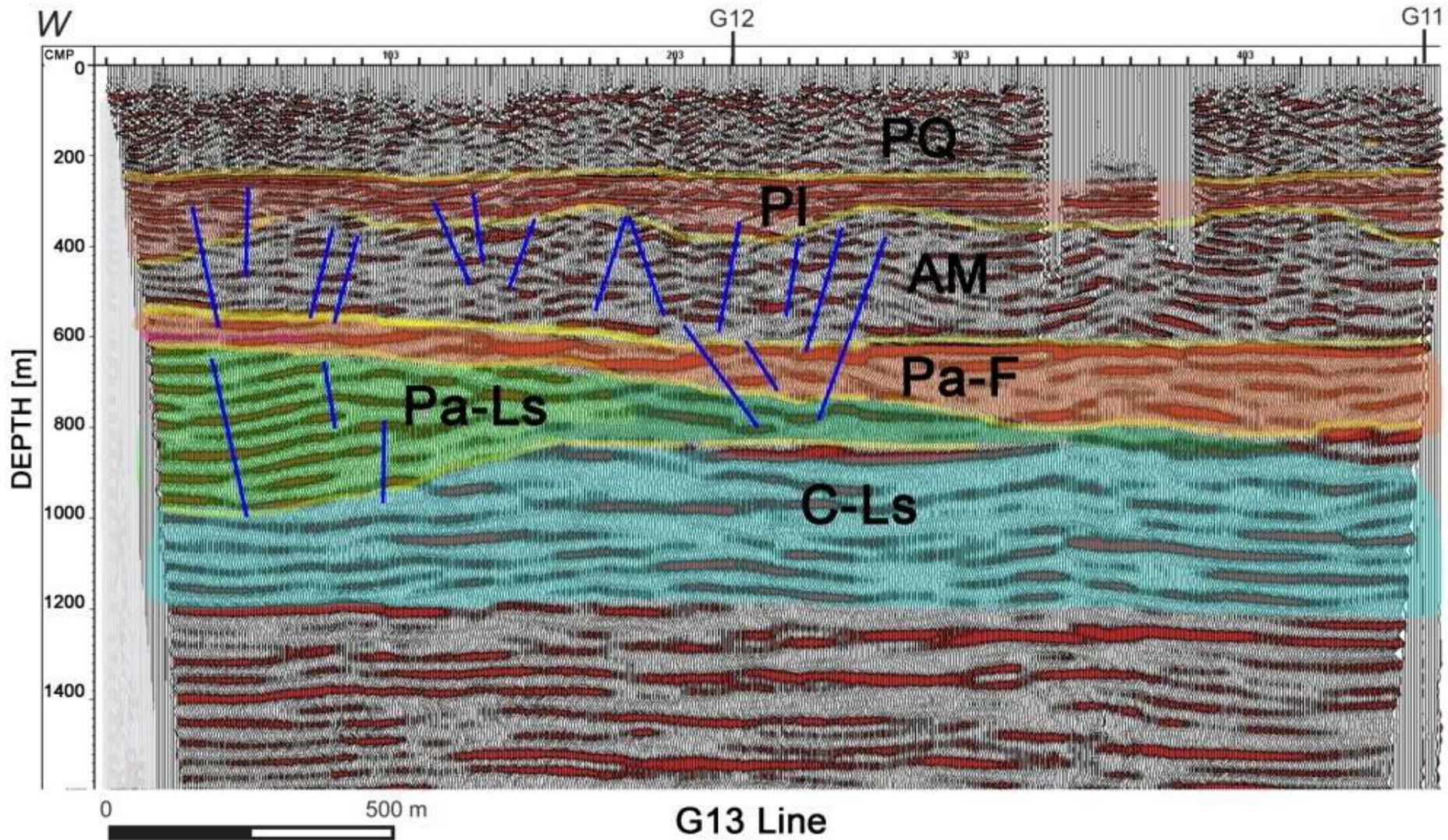
Mappa di Gravità



Interpretazione congiunta dei dati



Interpretazione congiunta dei dati



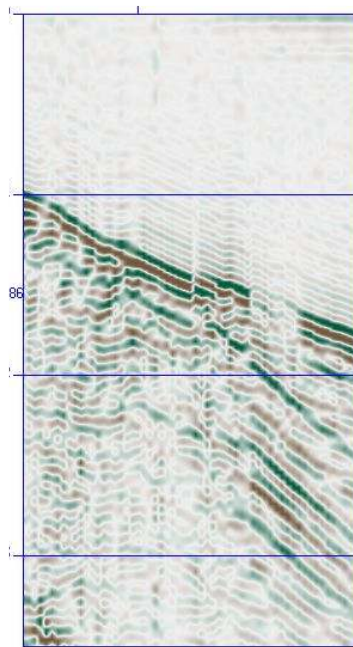
VSP ad Arco

Motivazione

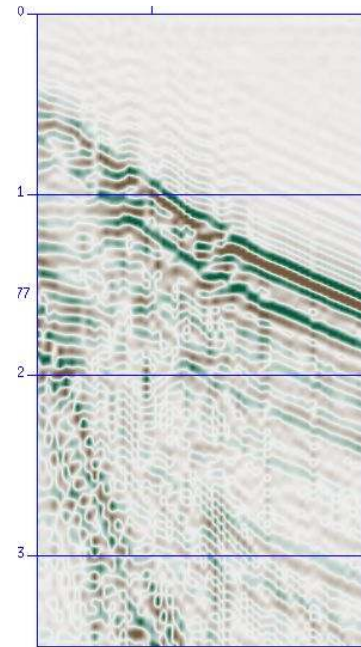
- ❑ Calibrare l'informazione in profondità
- ❑ Estendere l'informazione attorno al pozzo esistente Arco 1
- ❑ Profilo di velocità e analisi delle strutture

Multi Offset VSPs

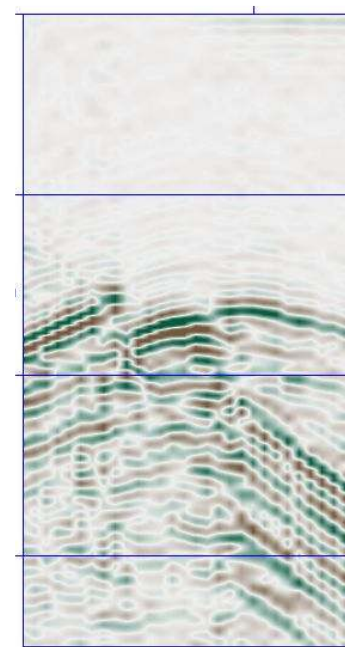
- ❑ Ad Ovest, vicino e ad Est del pozzo (offset con distanze confrontabili)
- ❑ Dati di campagna



Ovest



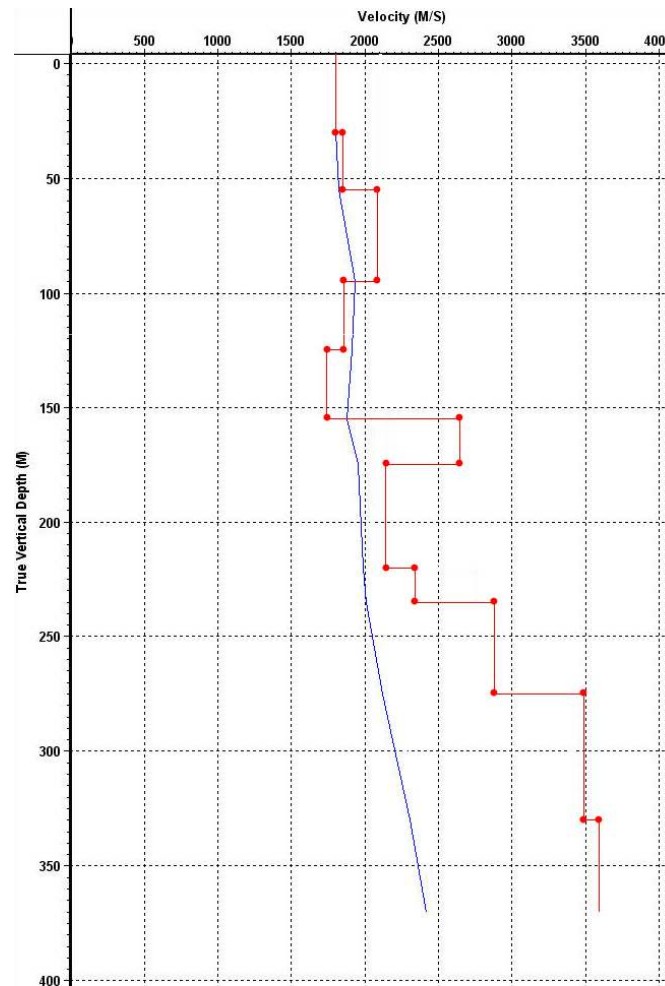
Zero



Est

Multi Offset VSPs

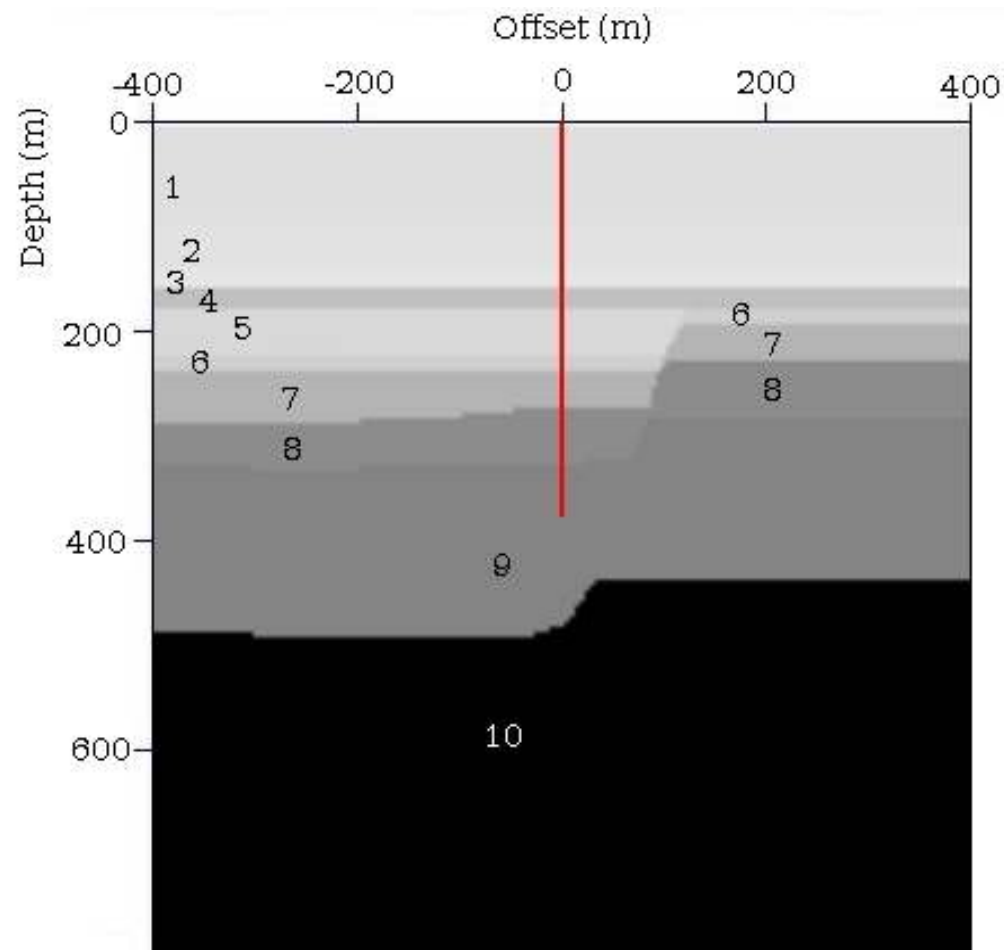
- Profilo di velocità



Risultati

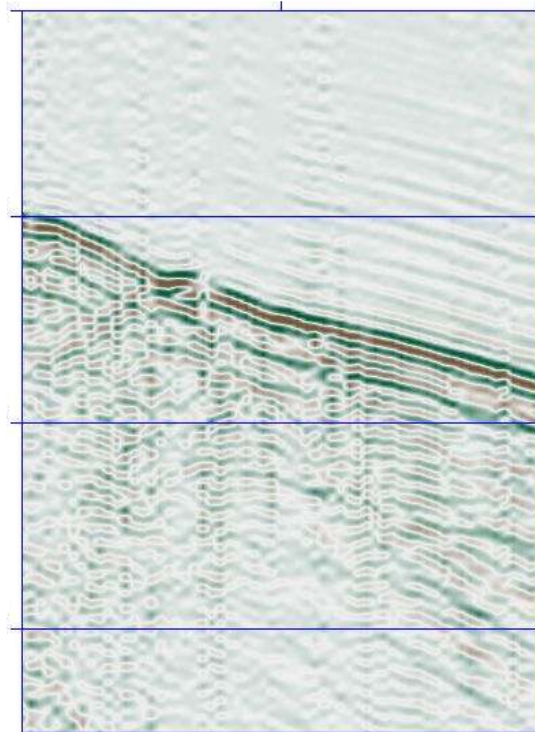
- Strutture diverse a sinistra e destra del pozzo

Vp1 = 1950 m/s
Vp2 = 1860 m/s
Vp3 = 1740 m/s
Vp4 = 2650 m/s
Vp5 = 2140 m/s
Vp6 = 2340 m/s
Vp7 = 2880 m/s
Vp8 = 3490 m/s
Vp9 = 3590 m/s
Vp10 = 5000 m/s

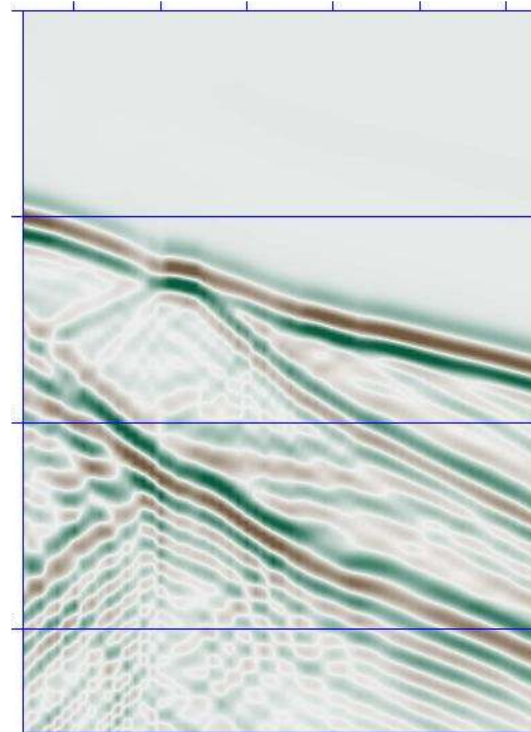


Risultati

- Esempi confronto reale sintetico (VSP ad Ovest)



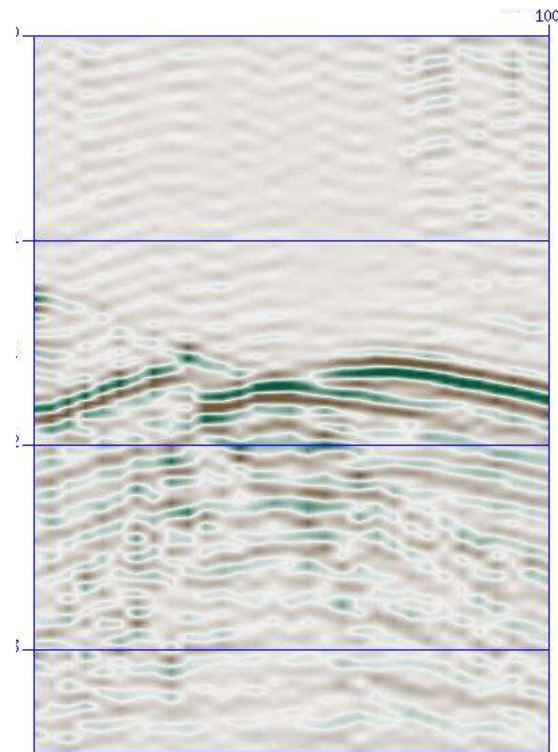
Reale



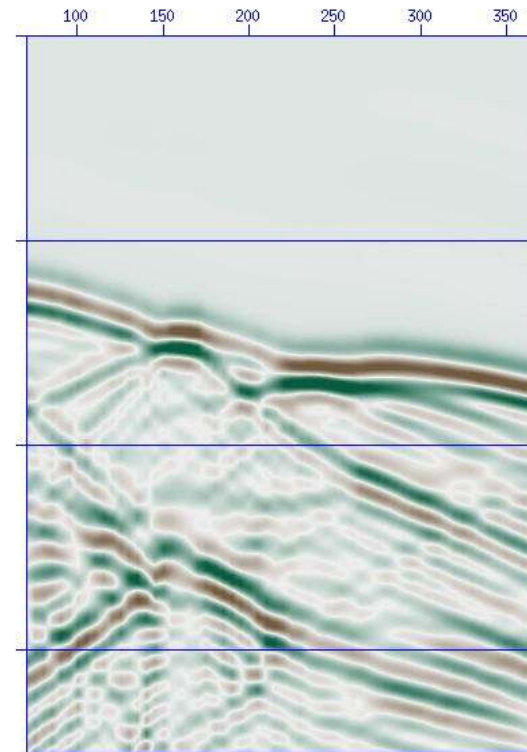
Sintetico

Risultati

- Esempi confronto reale sintetico (VSP ad Est)



Reale



Sintetico

Conclusioni

Utilizzo delle misure geofisiche esplorative per:

- ❑ Definire il modello geotermico concettuale
- ❑ Ridurre il rischio operativo
- ❑ Uso integrato dei dati per ottenere e validare informazioni strutturali e del reservoir



Grazie per l'attenzione

Rovereto 2 dicembre 2016, Fondazione Museo Civico di Rovereto

**XIII Workshop di Geofisica
e
IV Giornata di Formazione**