

# Modellazione elettromagnetica di strutture sismogenetiche.

Agata Siniscalchi

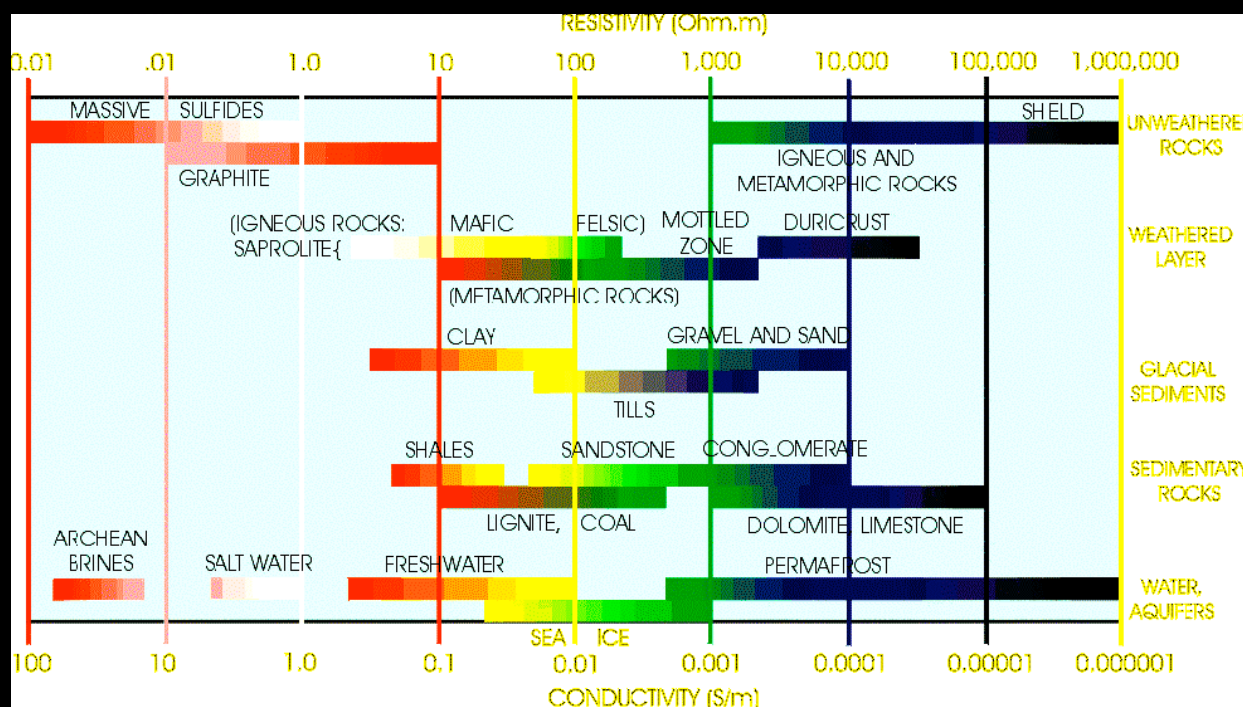
Dipartimento di Geologia e Geofisica,  
Università di Bari 'ALDO MORO'

# Indice

- Caratteristiche del parametro resistività
- Perché può rivestire un ruolo chiave nella comprensione della sismogenesi
- Il metodo MT quale strumento di indagine della resistività alla scala di profondità richiesta
- Vi sono comportamenti *comuni* dei modelli di resistività nelle aree sismogenetiche?
- Significato fisico-chimico
- Dalla modellazione statica a quella possibile 'dinamica'
- Necessità di migliorare ulteriormente la qualità delle stime MT

# Il parametro: resistività elettrica

## Intervallo di valori tipici di resistività



Palacky, G.J., 1987. Resistivity Characteristics of Geologic Targets. In: Electromagnetic Methods in Applied Geophysics – Vol 1. Theory. Soc. Expl. Geophys., Tulsa, OK.



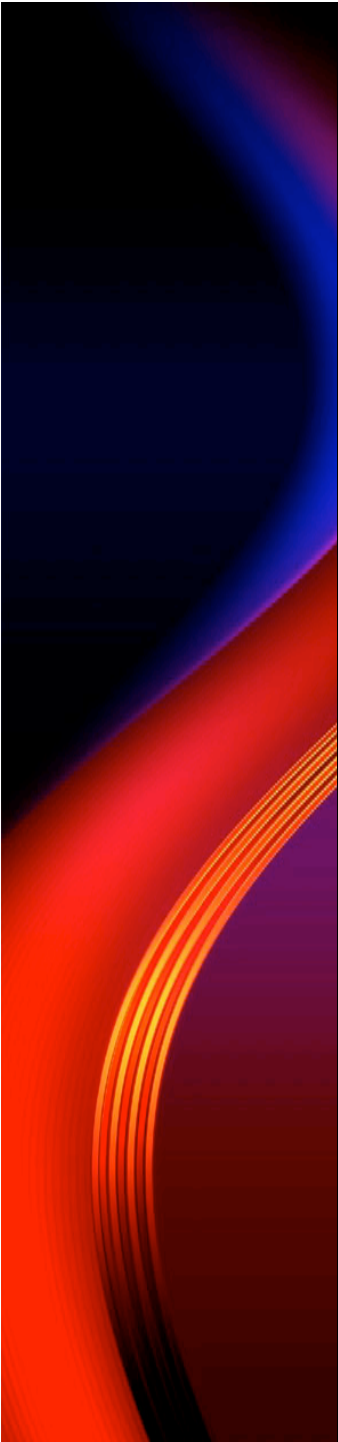
## Il parametro: resistività elettrica

Diminuzione di uno o due ordini di grandezza della resistività sono spiegabili in presenza di:

- *Contenuto in fluidi da moderato ad abbondante, circolante in rocce fratturate*
- *intensa mineralizzazione (e.g. argilla, grafite)*
- *alta temperatura*

Il grande intervallo di variabilità e la suddetta risposta alle modificazioni dello stato fisico e chimico hanno favorito l'applicazione dei metodi in grado di rilevare questo parametro sia per applicazioni superficiali che litosferiche.





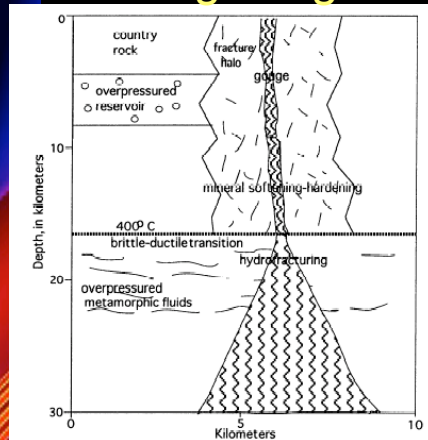
Gli studi sismologici e/o multidisciplinari  
fanno sì che:

*Il ruolo significativo dei fluidi  
nei processi di rottura di un  
terremoto sia oggi ampiamente  
riconosciuto*

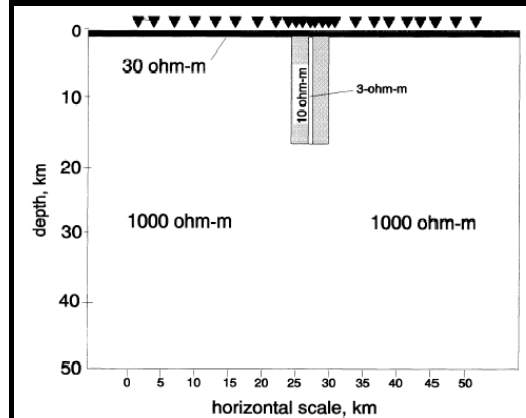
# I metodi elettrici, combinati con quelli sismici, sono necessari per individuare i fluidi

Studio  
Sintetico

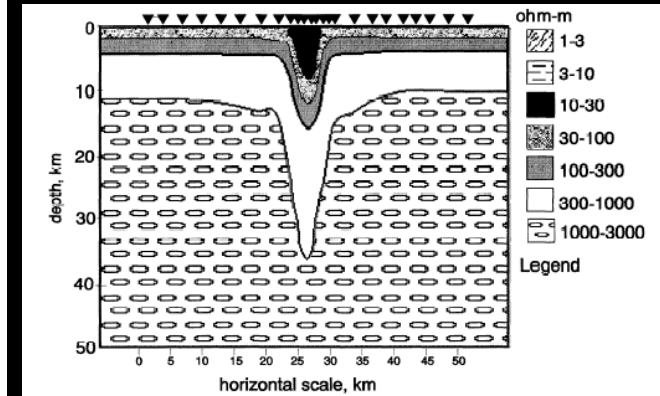
Modello geologico



Modello di resistività



Inversione risposta MT



## Risultati

Se i siti MT sono più densi rispetto alle dimensioni dell'area di damage, le indagini con un sistema MT wide band consente di ottenere modelli di resistività che individuano la zona di damage anche in profondità, e quindi possono essere utilizzati per ricavare il contenuto in fluidi e le pressioni di fluido.

Il trade-off con altri fattori, come la porosità, la mineralogia e la geometria dei pori possono essere risolti attraverso una modellazione combinata con i parametri sismici.

Eberhart-Phillips et al., 1995

# Sorgenti dell'Energia Magnetotellurica

**Vento solare**

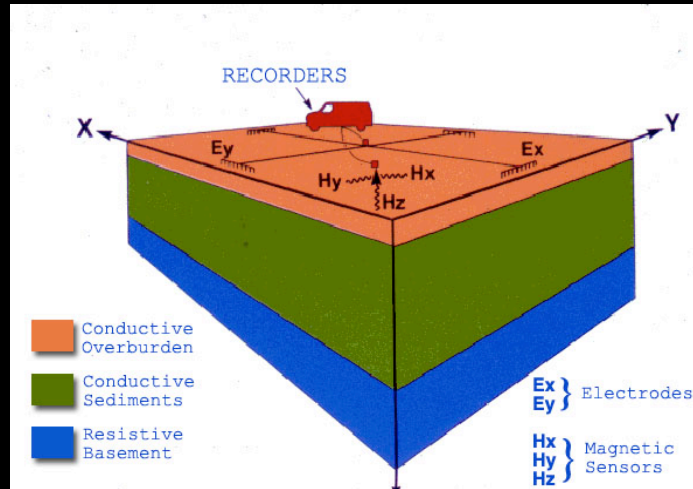


**Fulmini**



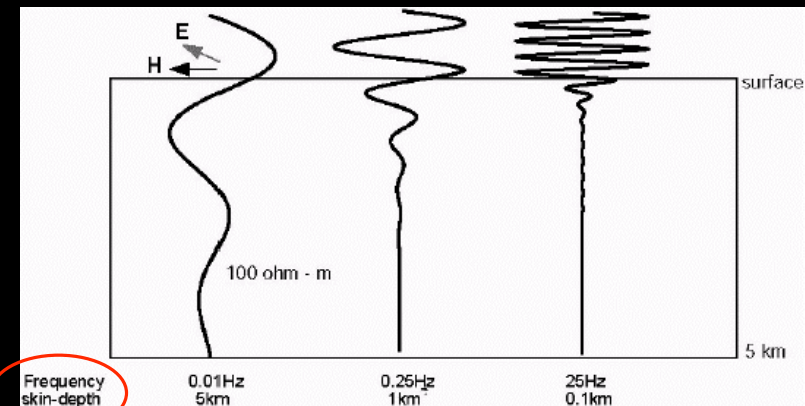
# Magnetotellurica

Misura simultanea delle componenti variabili dei campi elettrico e magnetico naturali



$$\begin{pmatrix} E_x(\omega) \\ E_y(\omega) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{xx}(\omega) & Z_{xy}(\omega) \\ Z_{yx}(\omega) & Z_{yy}(\omega) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_x(\omega) \\ H_y(\omega) \end{pmatrix}$$

$$\rho_a = \frac{1}{\omega\mu} \left( \frac{E}{H_{\perp}} \right)^2$$



L'intervallo di frequenza controlla la profondità di esplorazione.



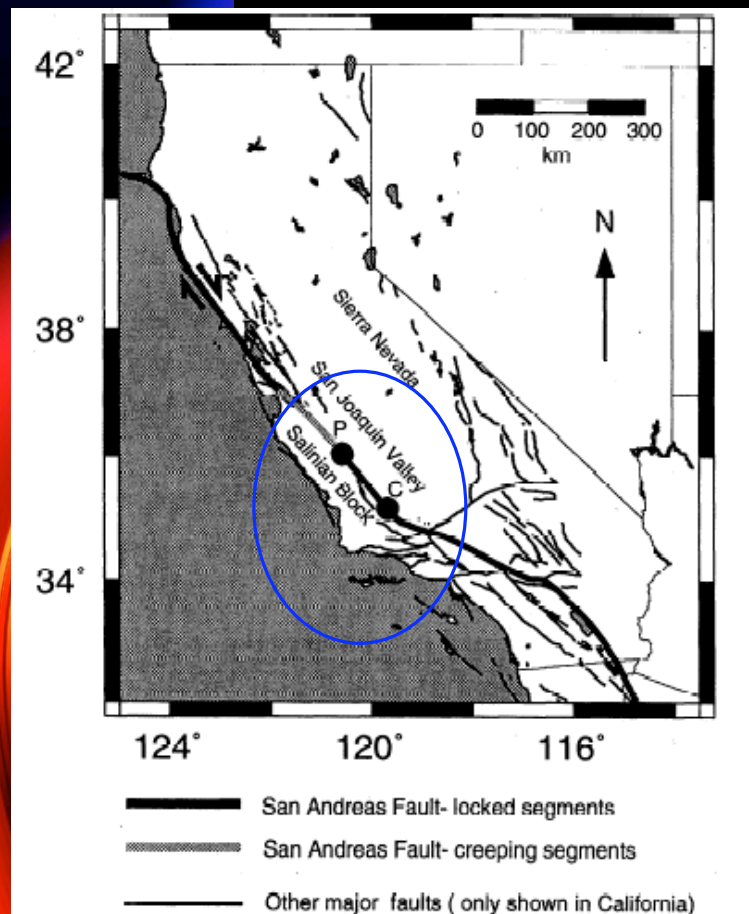
# Risultati magnetotellurici: parte prima

- Studi ad alta risoluzione per la caratterizzazione della porzione superiore delle aree di faglia.



....l'obiettivo di caratterizzazione dell'area di faglia della San Andreas fu prontamente realizzato da uno studio ormai famoso:

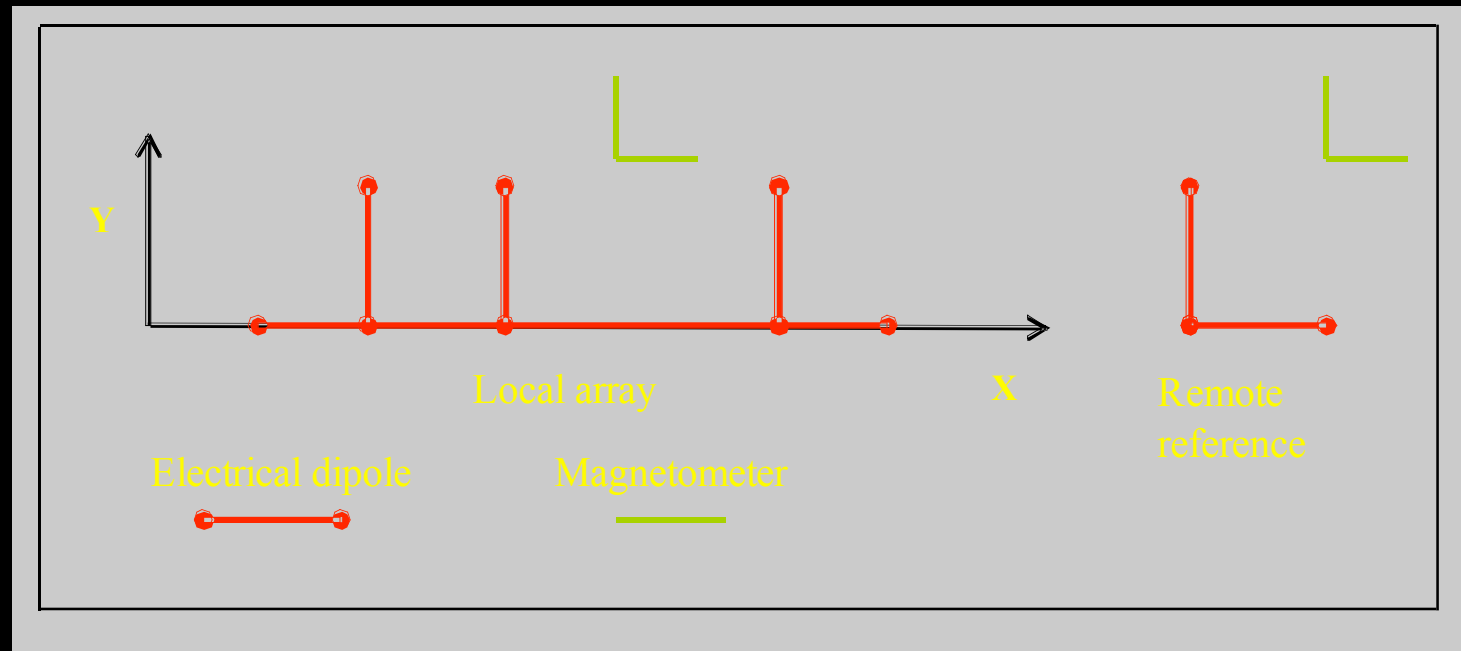
## Magnetotellurica sulla San Andreas (Unsworth et al., 1997)



Mapa che mostra la San Andreas Fault e ubicazione dei profili MT continui a Carrizo Plain (C) e a Parkfield (P).

A Carrizo Plain la faglia era sismicamente quiescente e apparentemente bloccata  
A Parkfield vi sono regolarmente piccoli terremoti ed eventi di creeping.

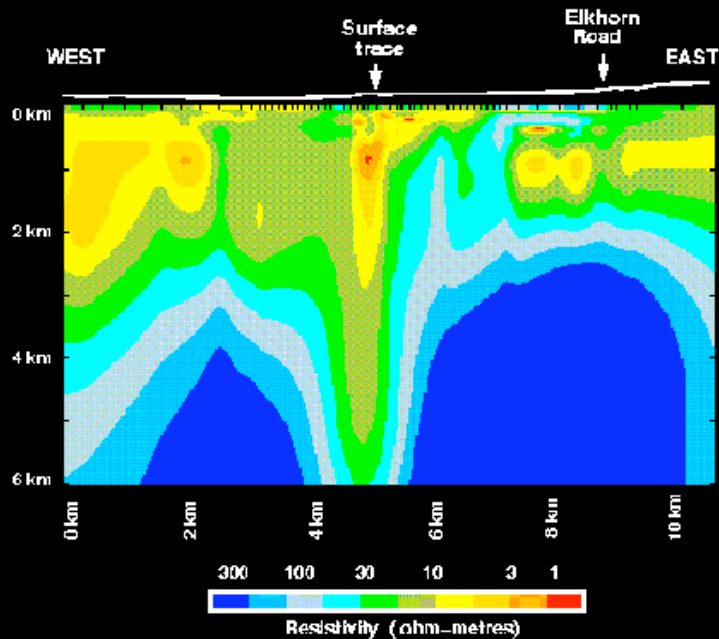
# Magnetotelluric continuous array profiling



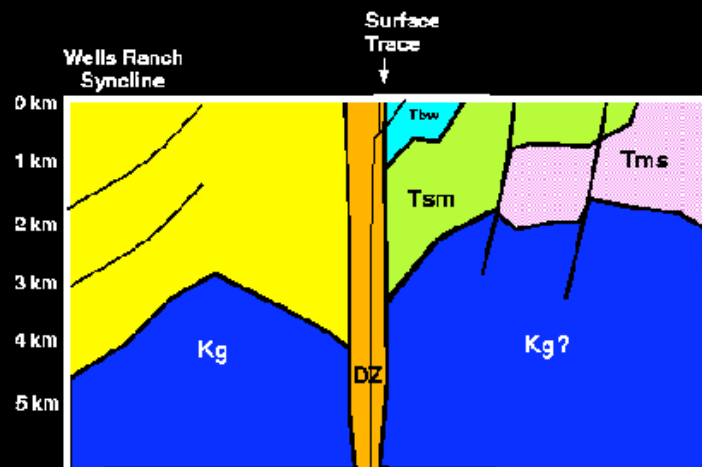
- Per aumentare la risoluzione orizzontale
- Per aumentare il rapporto segnale/rumore

# CARRIZO PLAINS Risultati e Interpretazione

## *Modello di Resistività della Faglia di San Andreas a Carrizo Plain*

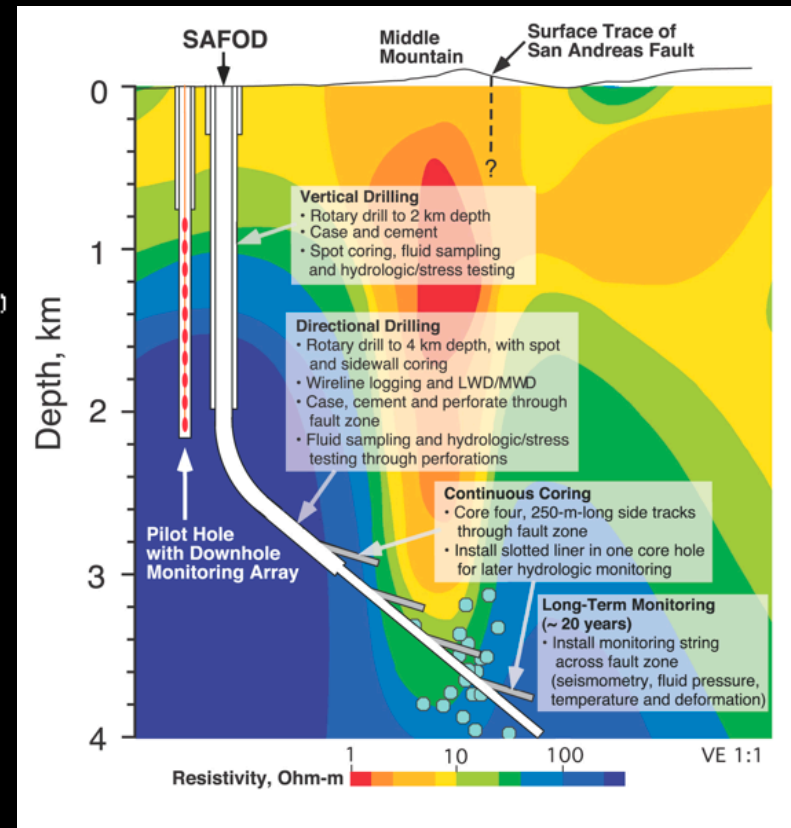
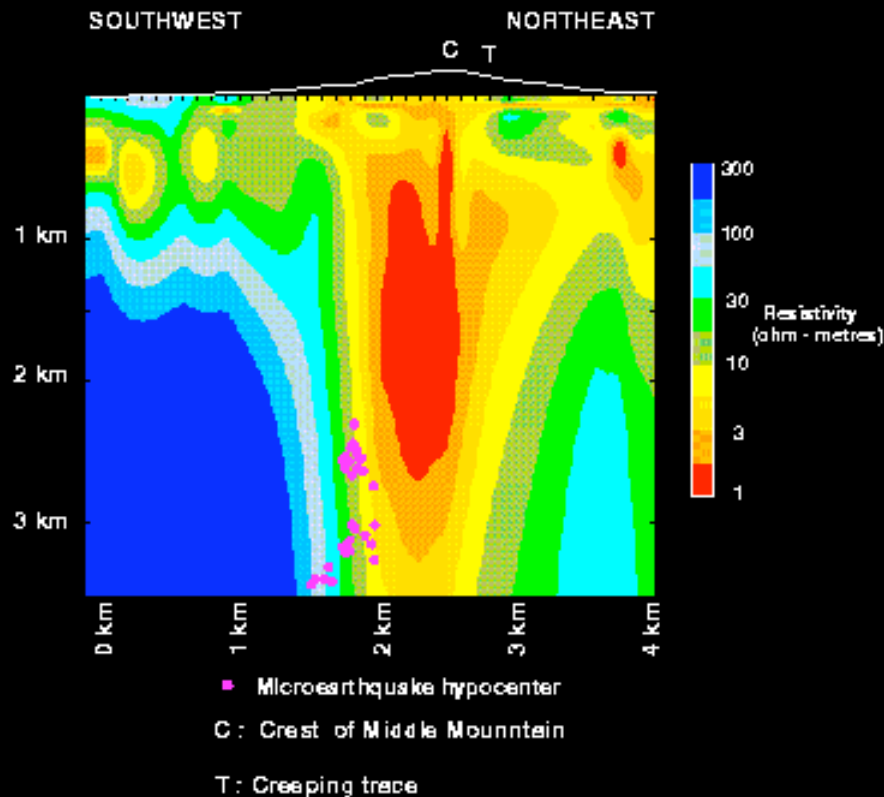


- Kg = Salinian granite
- Tms = Monterey shale
- Tsm = Santa Margarita formation
- Tbw = Bitterwater Creek Shale
- DZ = Damaged zone



(Unsworth et al., 1997)

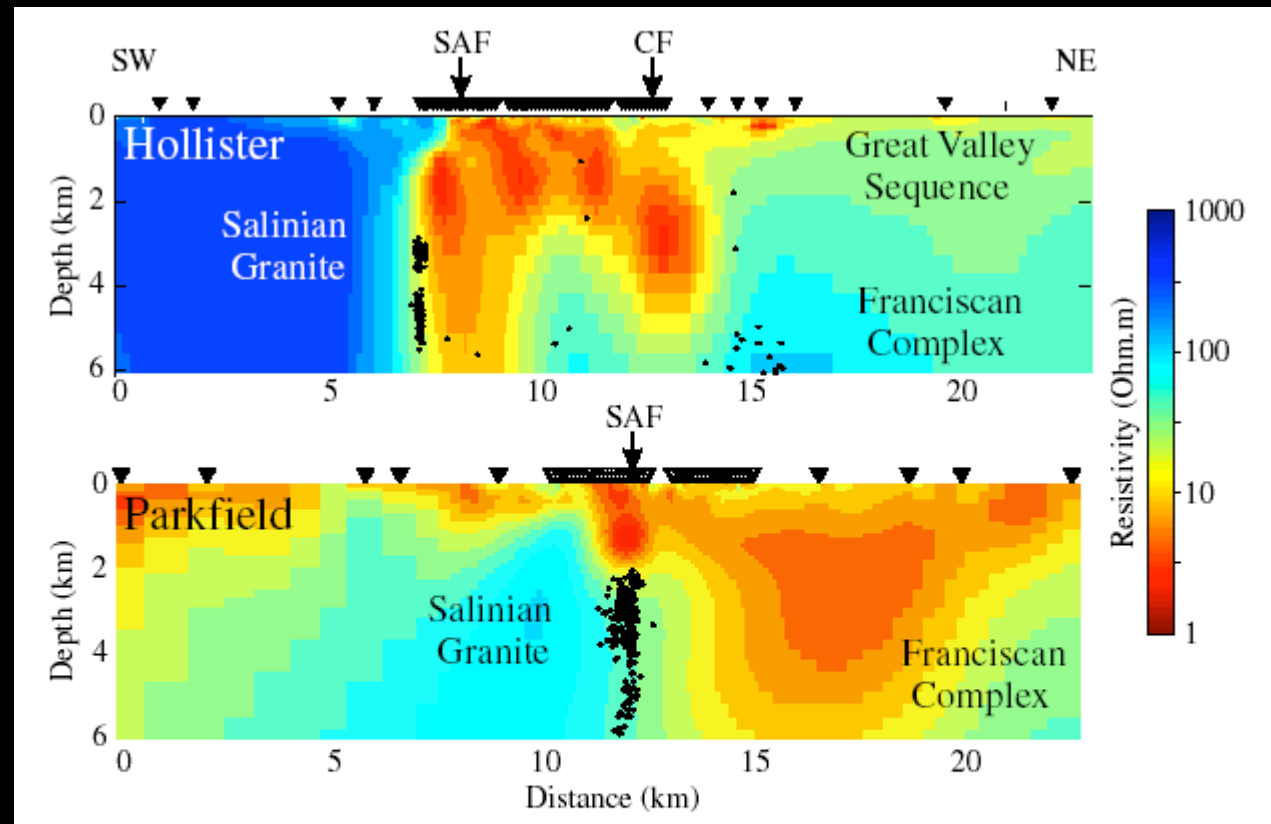
# Parkfield: il modello di resistività è il modello di riferimento ....



Link Wikipedia: [San Andreas Fault Observatory at Depth](#)

# La zona di faglia: condotto o barriera

Condotta

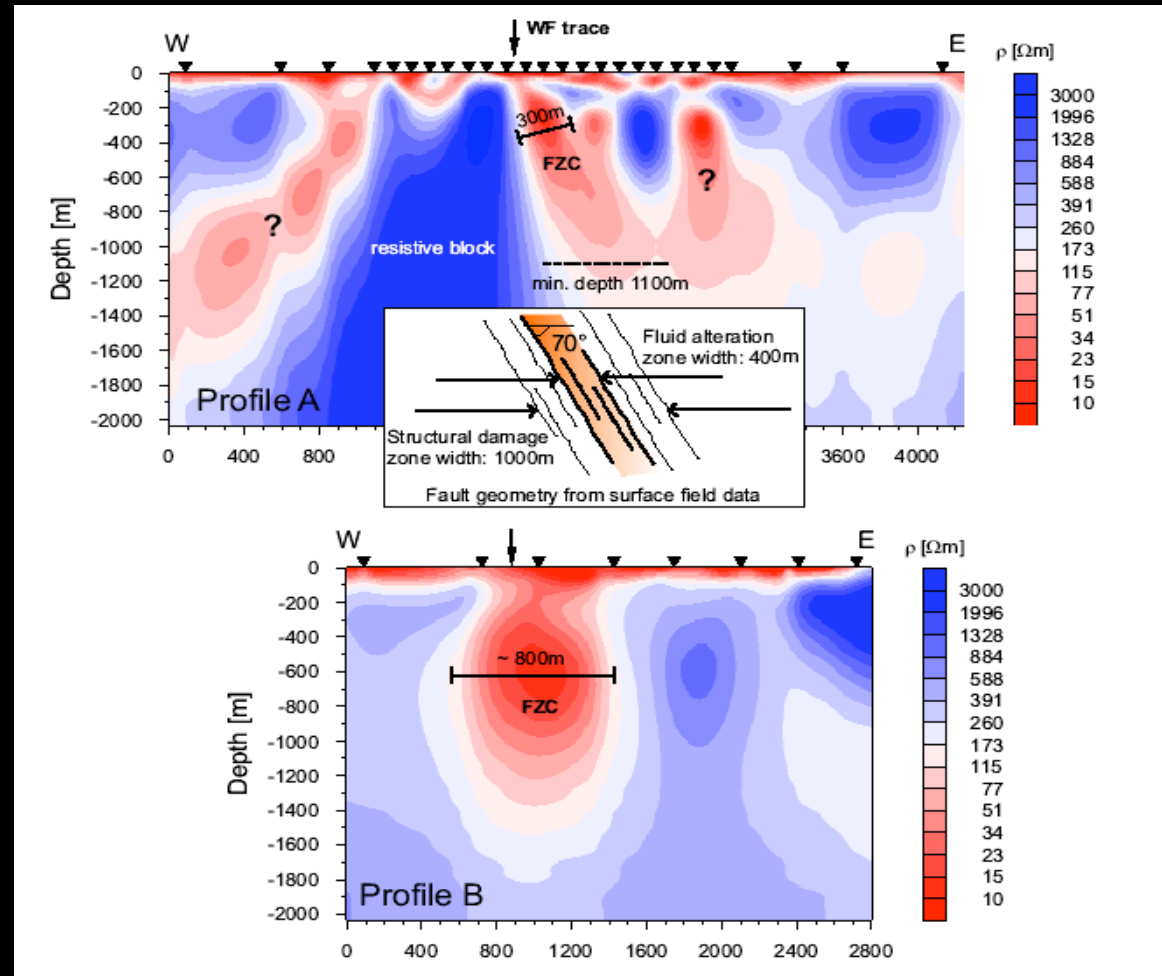


San Andreas Fault (Bedrosian et al., 2004)



# La zona di faglia: condotto o barriera

Condotto

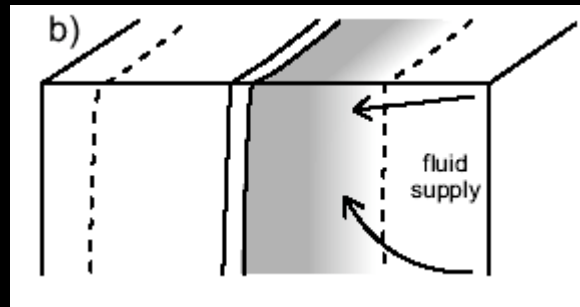
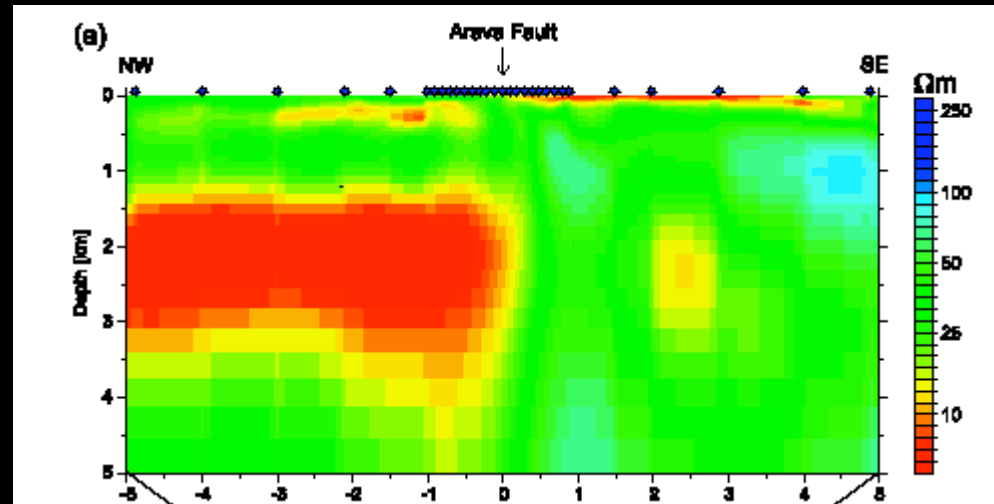


The norther segment, West Fault Zone (WFZ), of the Precordillera Fault System (PFS), Chile. Hoffmann-Rothe, et al., 2004.

# La zona di faglia: condotto o barriera

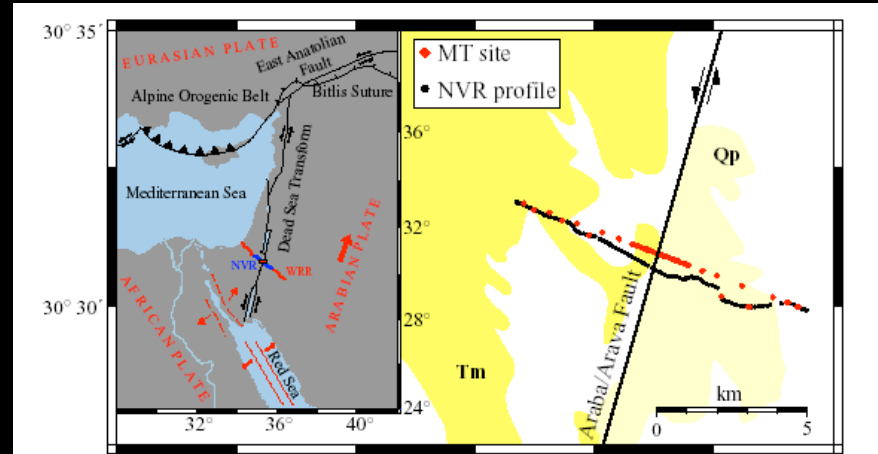
La zona di faglia agisce come una barriera: Arava Fault

Barriera

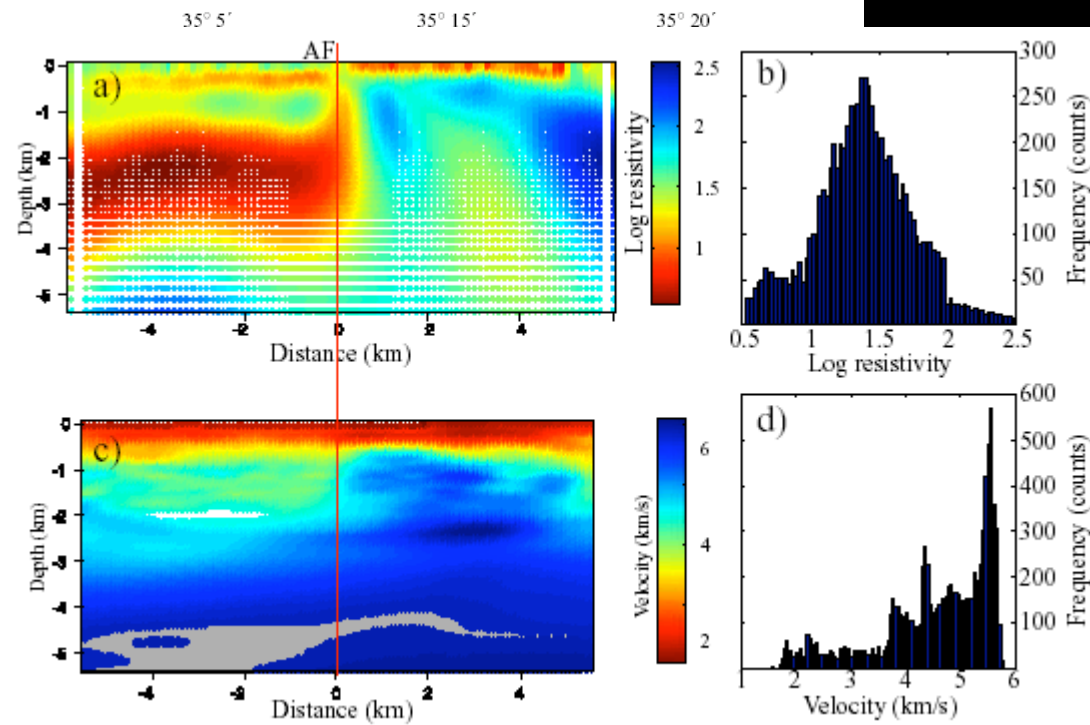


(Bedrosian et al., 2005)

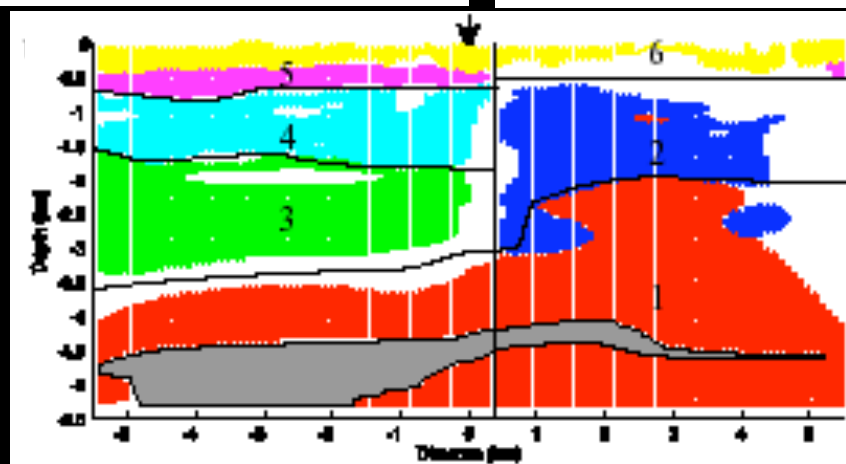
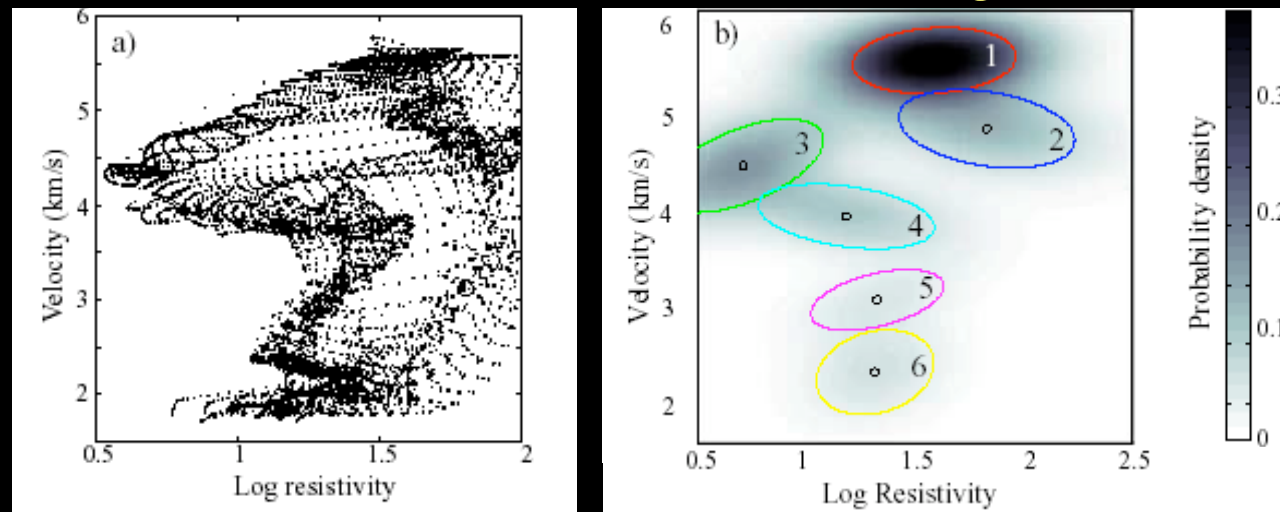
# Esperimento Colocato sismica e magnetotellurica



*Bedrosian et al., 2007*



# Modello Resistività – velocità vs modello litologico e fisico



**Bedrosian et al., 2007**

**Table 1.** Resistivity, seismic velocity, and thickness ( $t$ ) of classes denoted in Fig. 10. Also included are inferred age, rock type, and geologic unit based on constraints discussed in the text. Classes spanning the Arava/Arava Fault are identified by geologic unit on both the west (W) and east (E) sides of the fault.

Cls.	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	$V_p$ ( $km s^{-1}$ )	$t$ (km)	Age	Lithology type	Stratigraphic unit
1	16 – 92	$5.5 \pm 0.3$	1.5+	<i>IPC</i>	ark., cgl., volc.	Zenifm fm.(W); Aqaba cmplx.: Ghuwayr volc., Arava cmplx. (undif.)(E)
2	26 – 173	$4.8 \pm 0.4$	3+	<i>IPC</i>	cgl., qtz. porph.	Fidan grnt., Arava cmplx.: Ahaymir volc.(E)
3	2 – 11	$4.4 \pm 0.5$	1.6	C-K	sst., lst., dolm., mar., clst.	Yam Suf, Negev, Ramon, Kurnub, Judea grs(W) $\sim 1.7$ km
4	6 – 39	$3.9 \pm 0.3$	1.0	<i>IK-T</i>	chk., cht., lst. mar.	Mt. Scopus, Avedat grs.(W)(equiv. to Belqa gr.), 700 m
5	10 – 43	$3.0 \pm 0.3$	0.5	Tm	sst., clst., cgl.	Hazeva gr.(W) $\sim 500$ m
6	11 – 39	$2.2 \pm 0.4$	0.2	Tp-Qp	alluv: cgl., sd., slt., grvl.	Arava fm.(W, E)

# La crosta terrestre

- La sismogenesi è confinata nella parte superiore (brittle)

KTB

- Transizione 'Brittle/ductile':

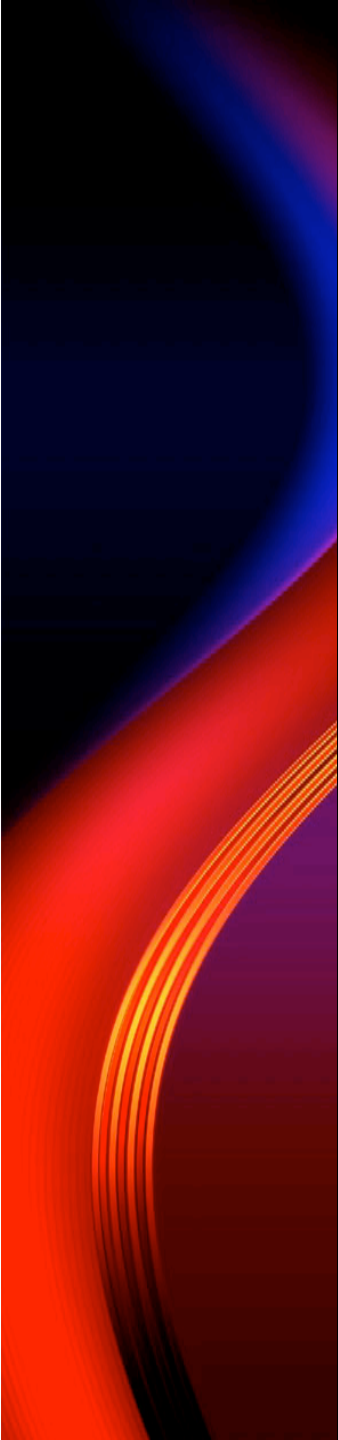
Sibson, 1984

Rice and Cocco, 2007

La transizione è definita dalla temperatura

(nei graniti 350°C)

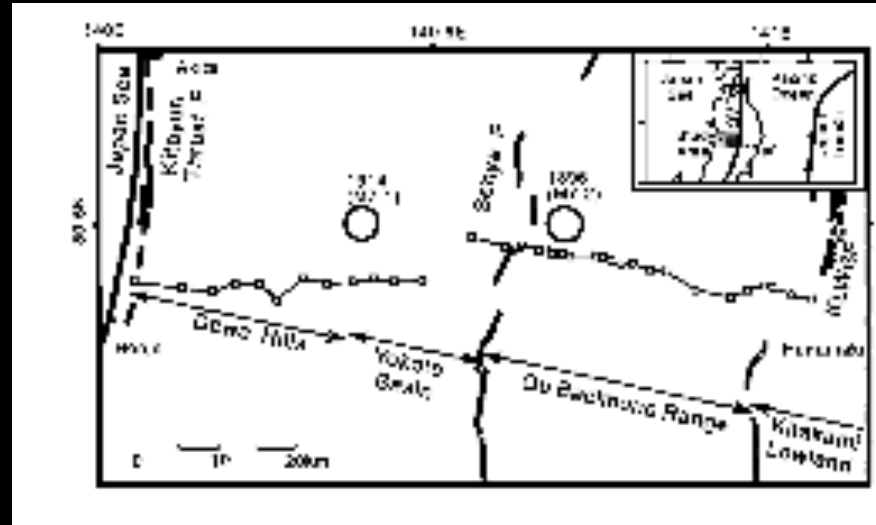




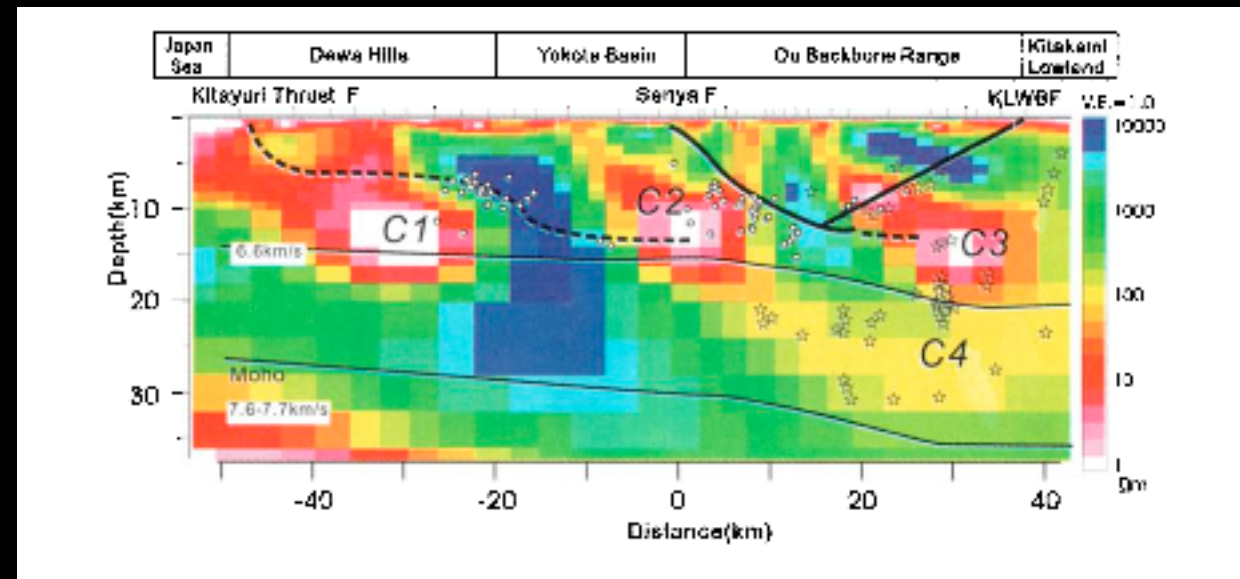
# Risultati magnetotellurici: parte seconda

- Studi ad alta risoluzione per la caratterizzazione della zona sismogenetica e della transizione fragile/duttile.

## Zone conduttive in profondità ed epicentri dei terremoti



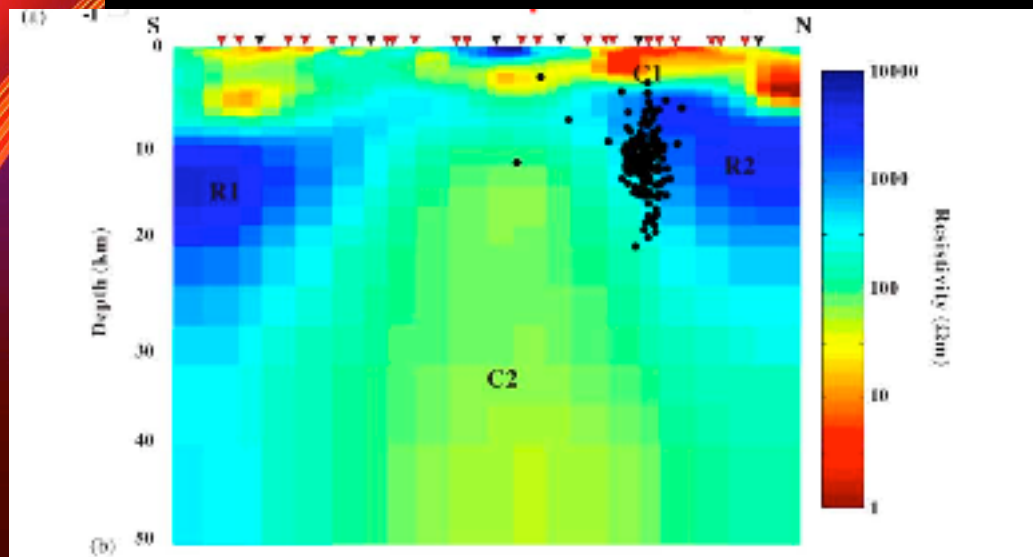
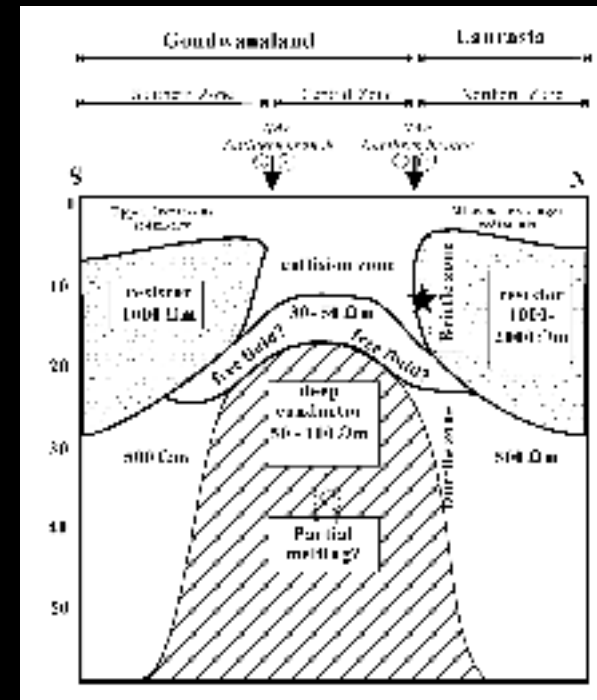
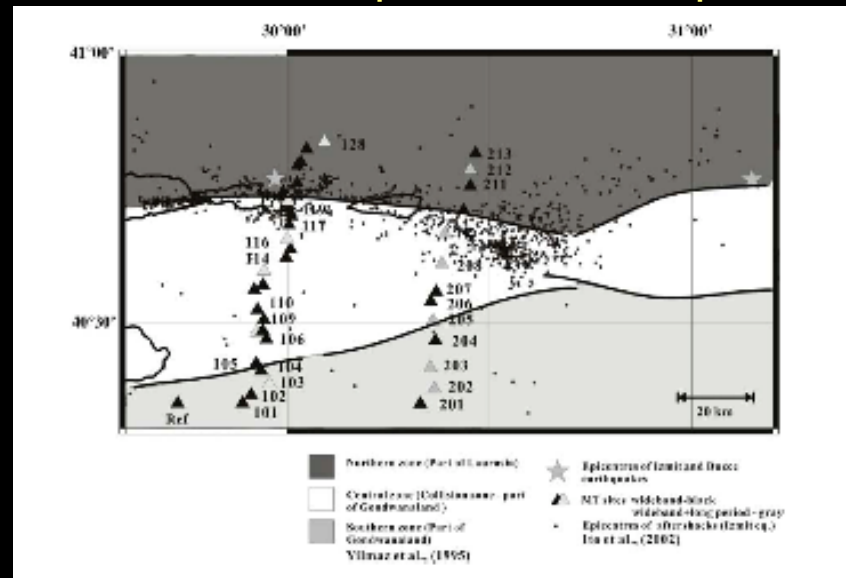
Giappone



Ogawa et al., 2001

# Zone conduttive in profondità ed epicentri dei terremoti

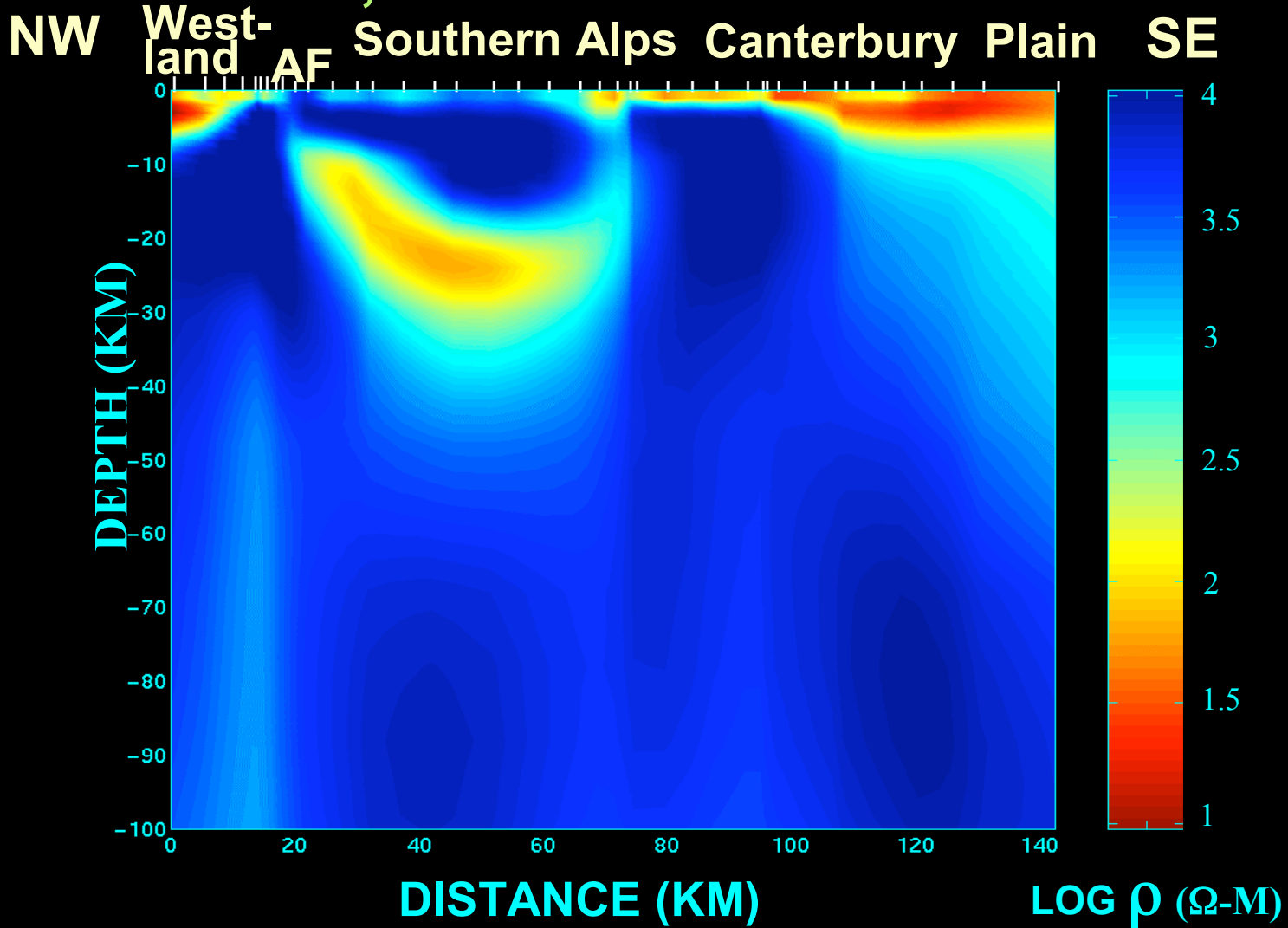
Turchia



Bulent Tank et al., 2005

# Southern Alps, New Zealand

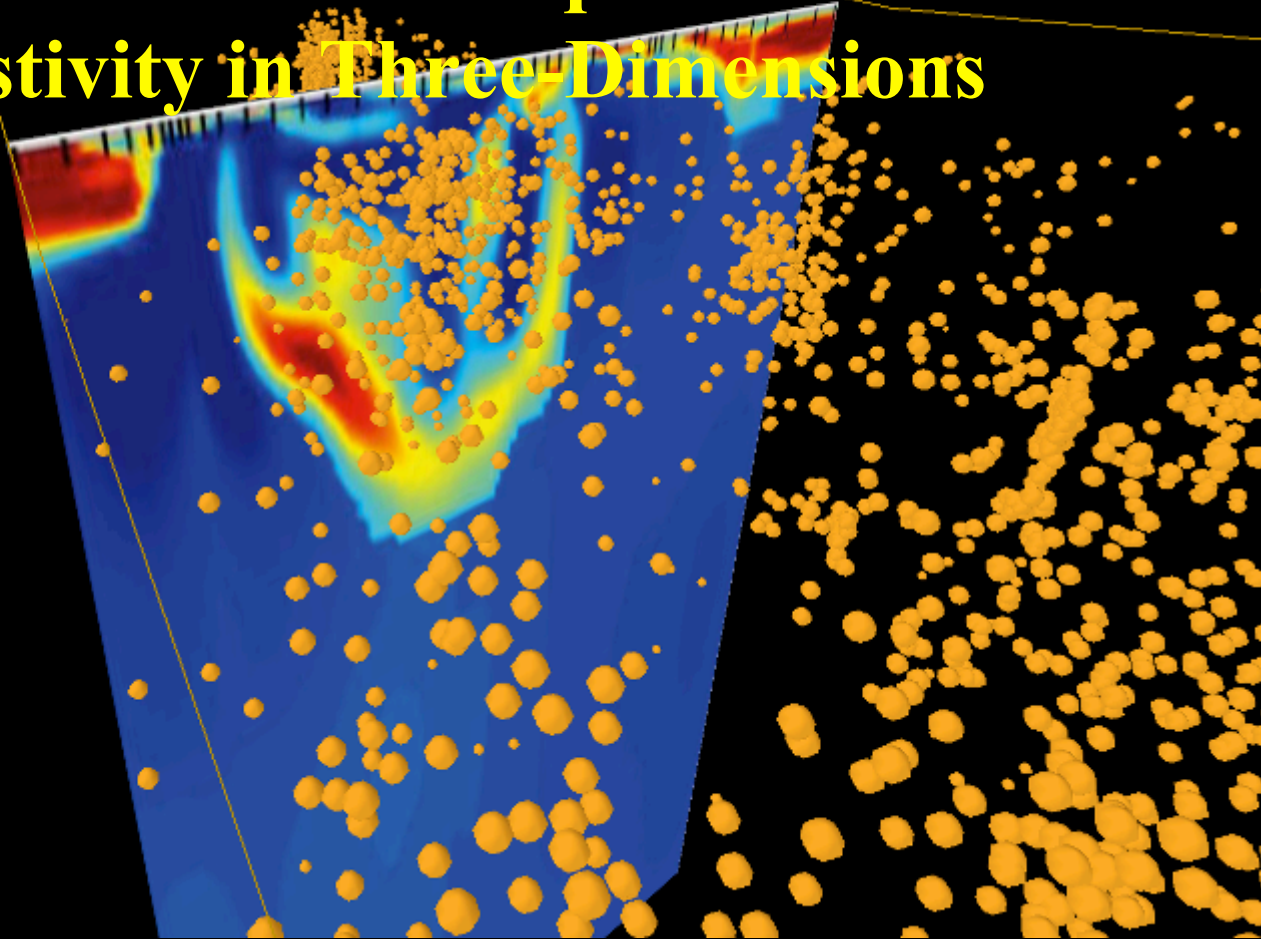
## South Island, New Zealand Goelectric Section



Jiracek et al. 2007

## Southern Alps, New Zealand

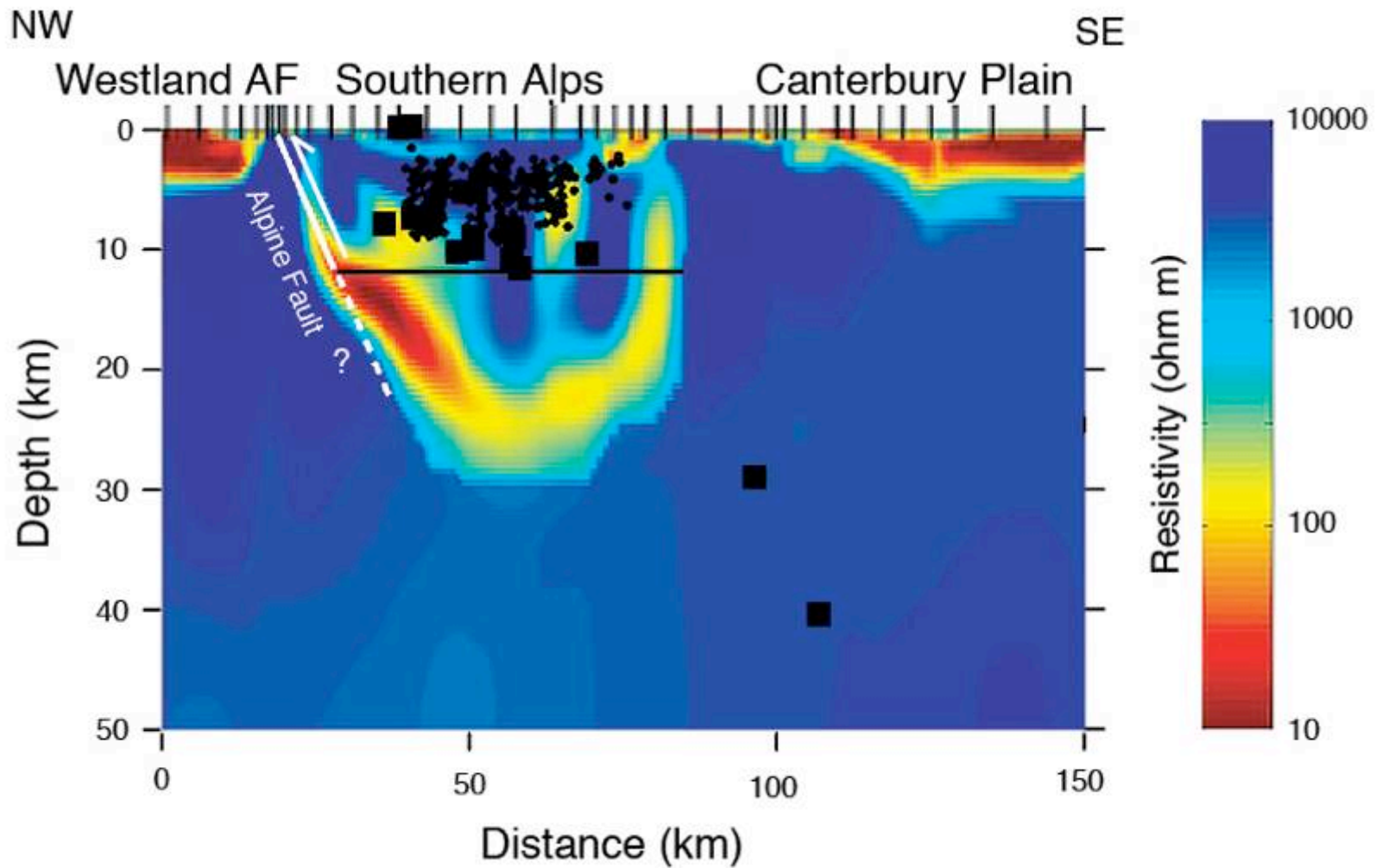
### New Zealand Earthquakes vs. Resistivity in Three-Dimensions



Jiracek et al. 2007

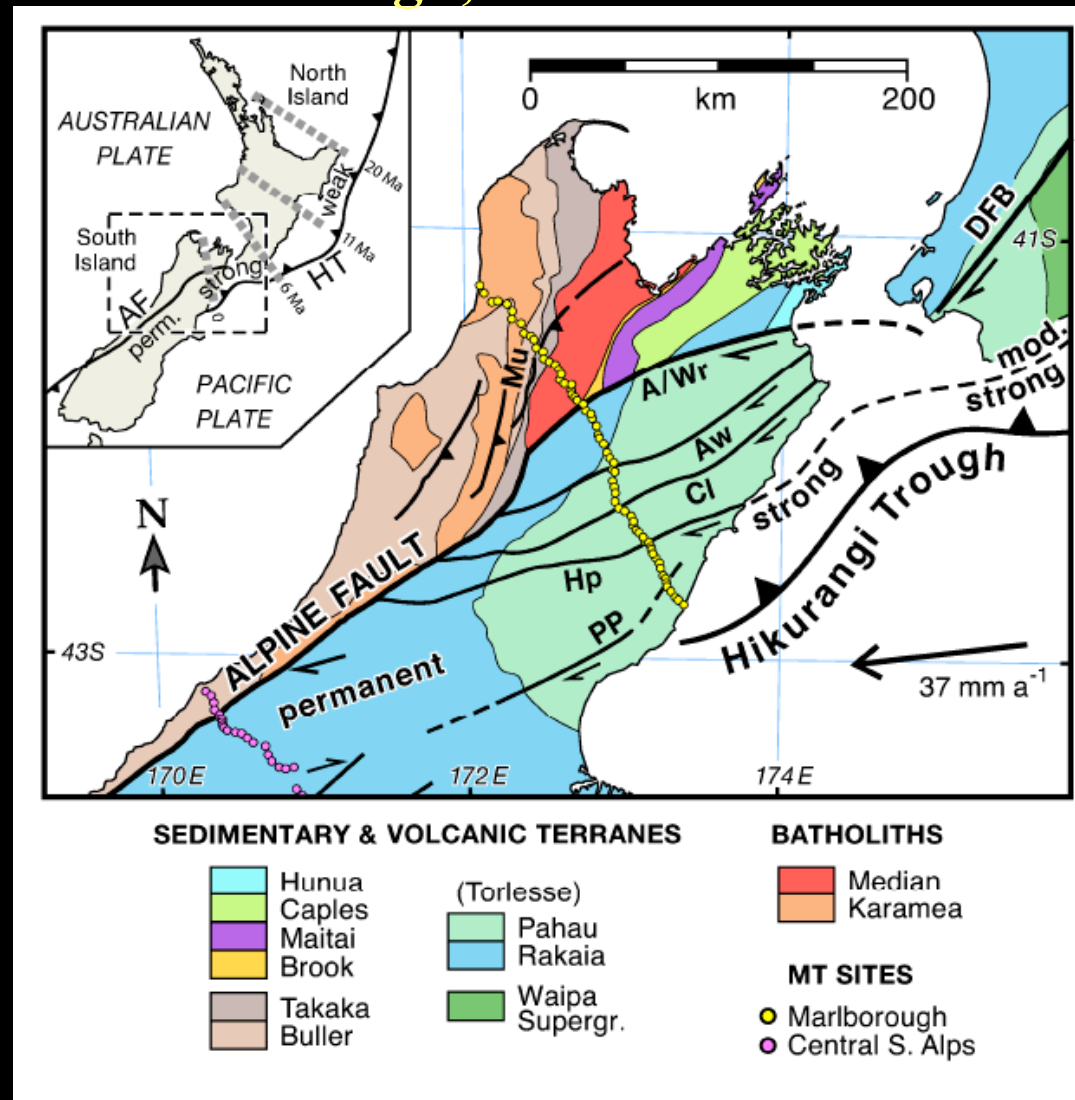


# Southern Alps, New Zealand



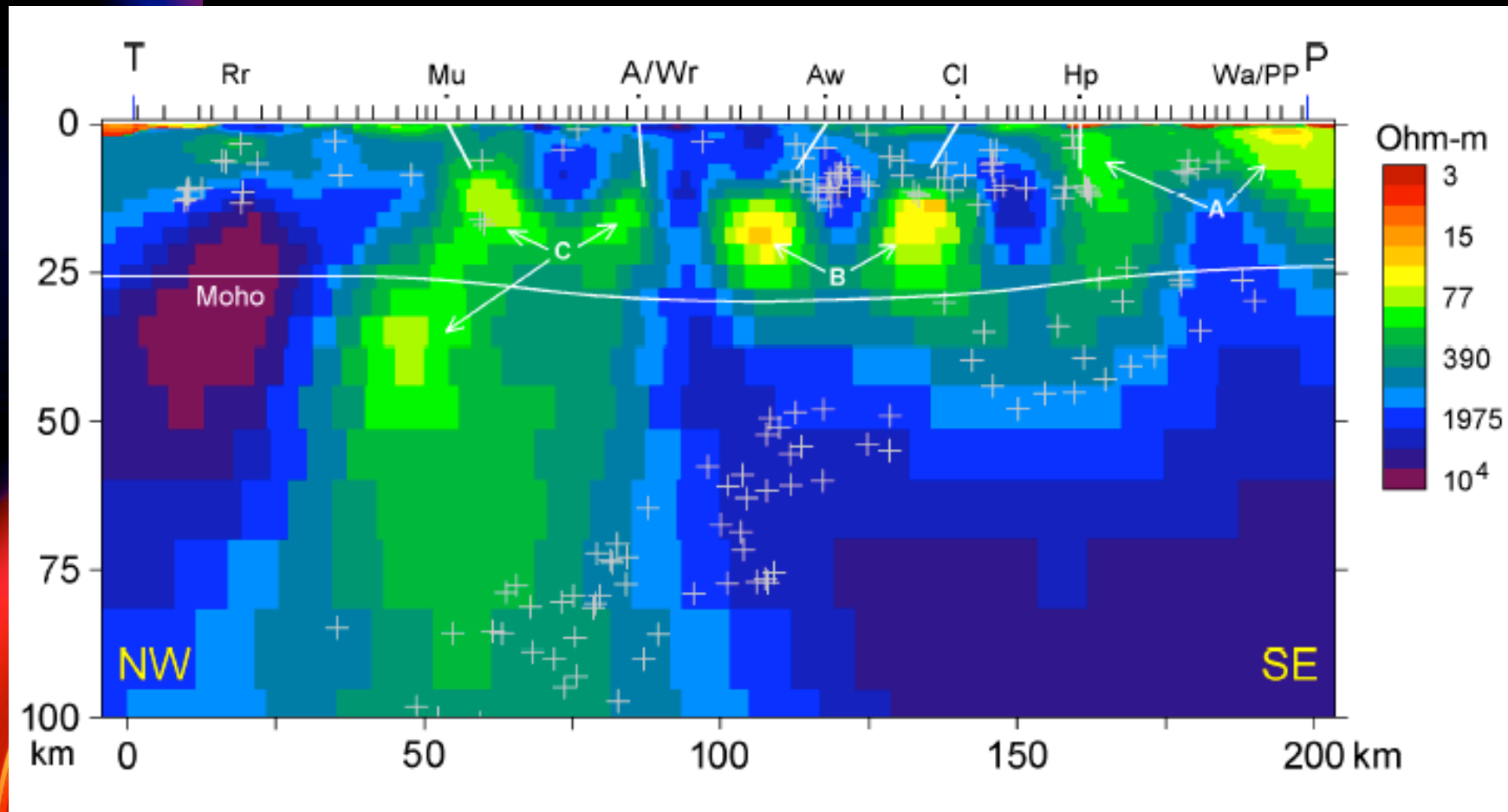
(Jiracek et al., 2007)

# Marlborough, New Zealand



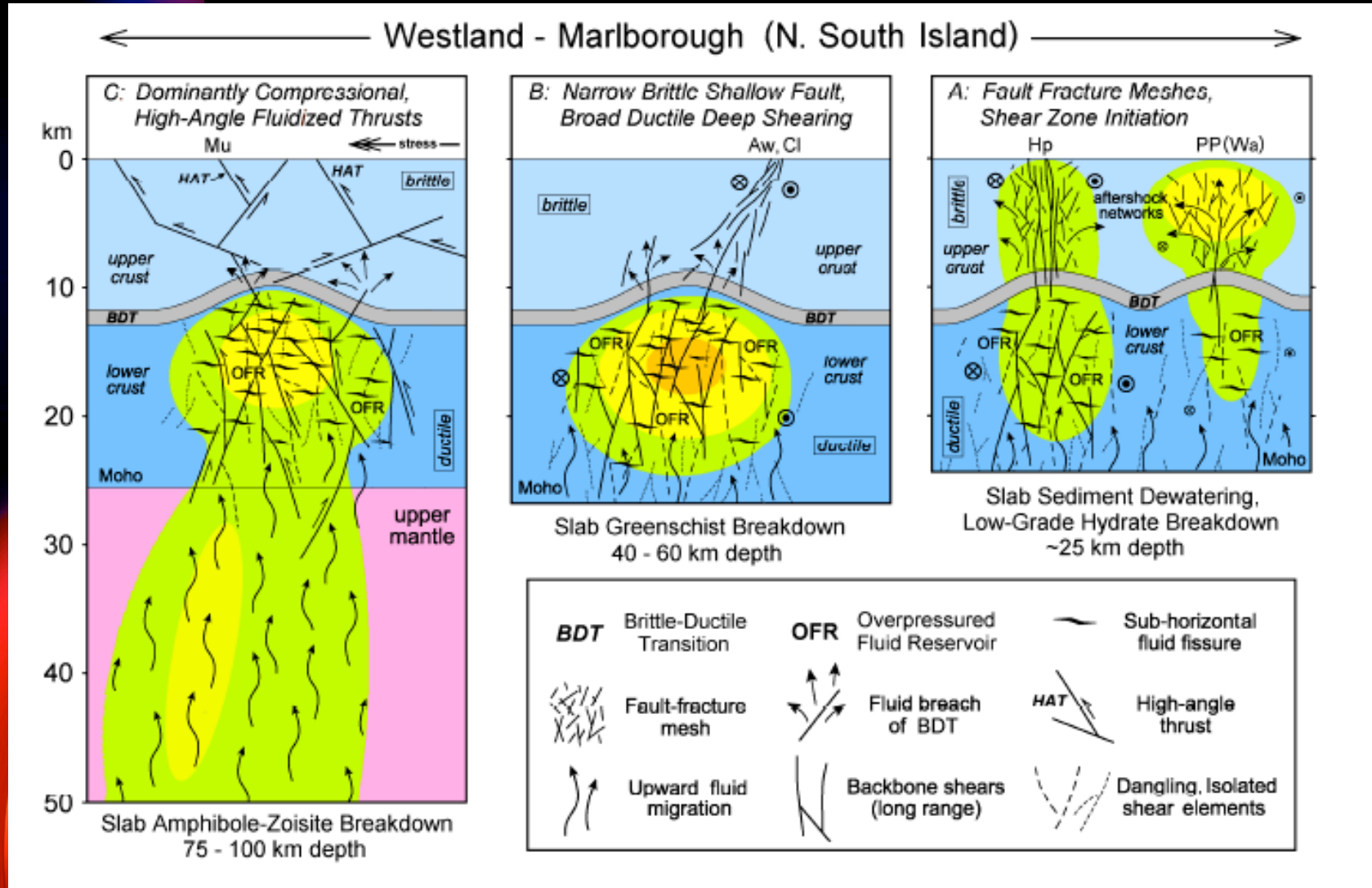
(Wannamaker et al., 2009)

# Marlborough, New Zealand



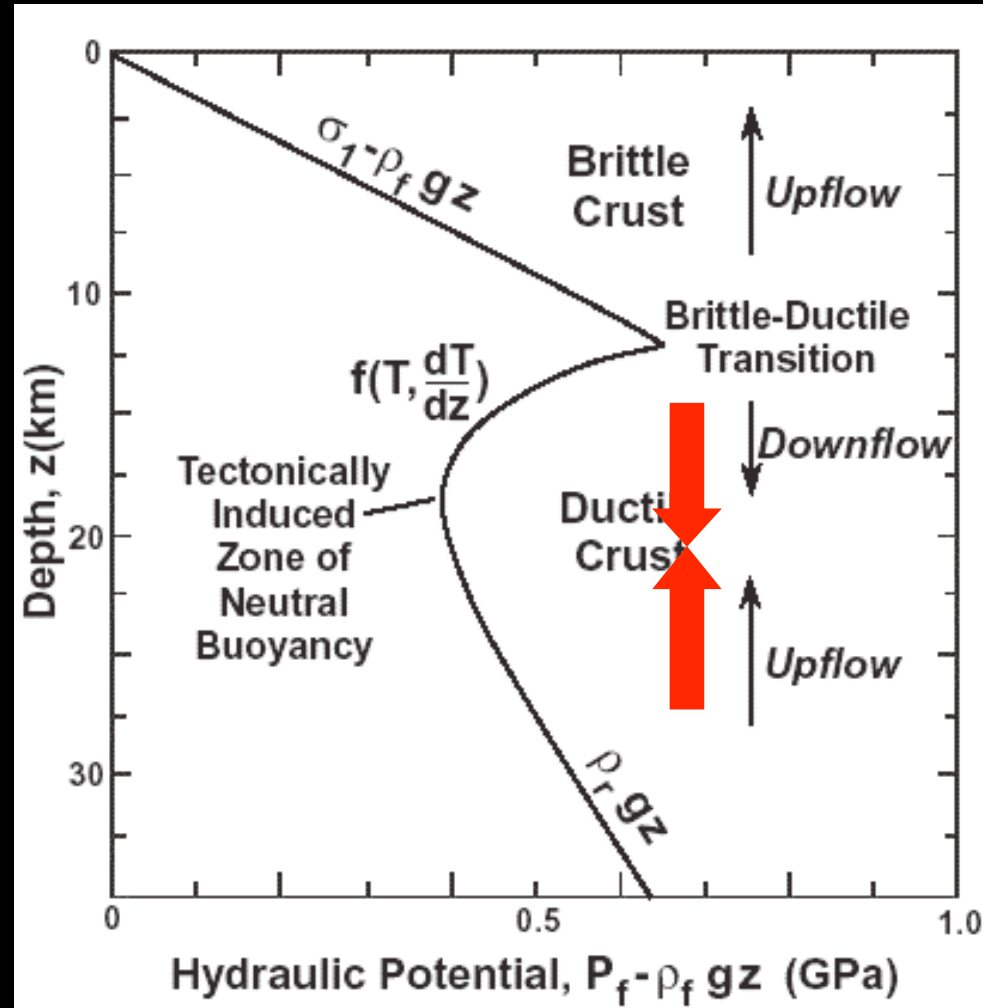
(Wannamaker et al., 2009)

# Marlborough, New Zealand



(Wannamaker et al., 2009)

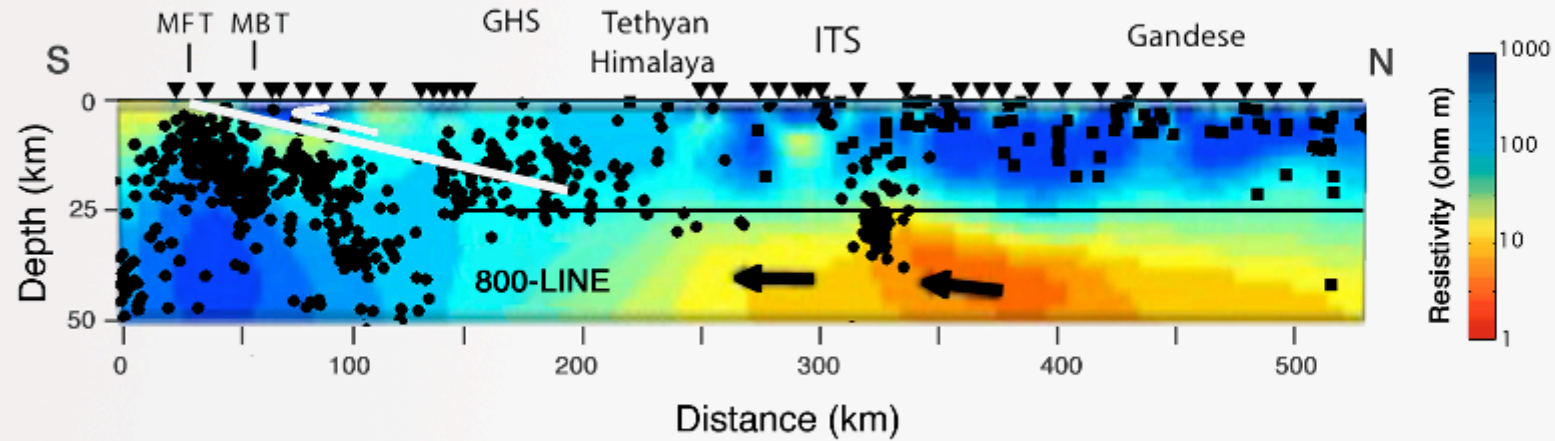
# Hydraulic Potential Versus Depth with Tectonically Induced Neutral Buoyancy



(Modified after Connolly and Podladchikov, 2004)

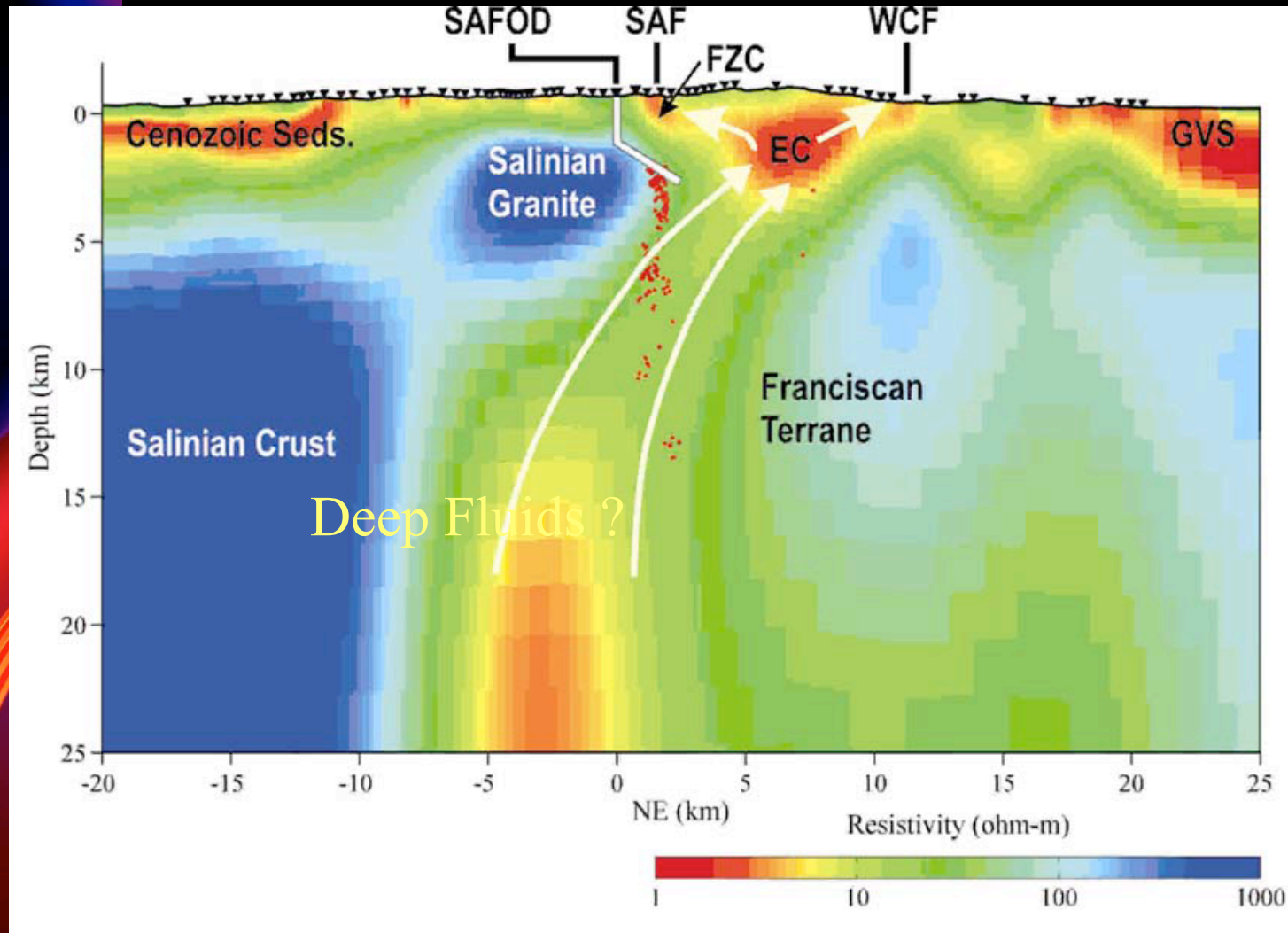


# Himalaya Range



(Unsworth et al., 2005 and Jiracek et al., 2007)

# San Andreas Fault, Parkfield, California



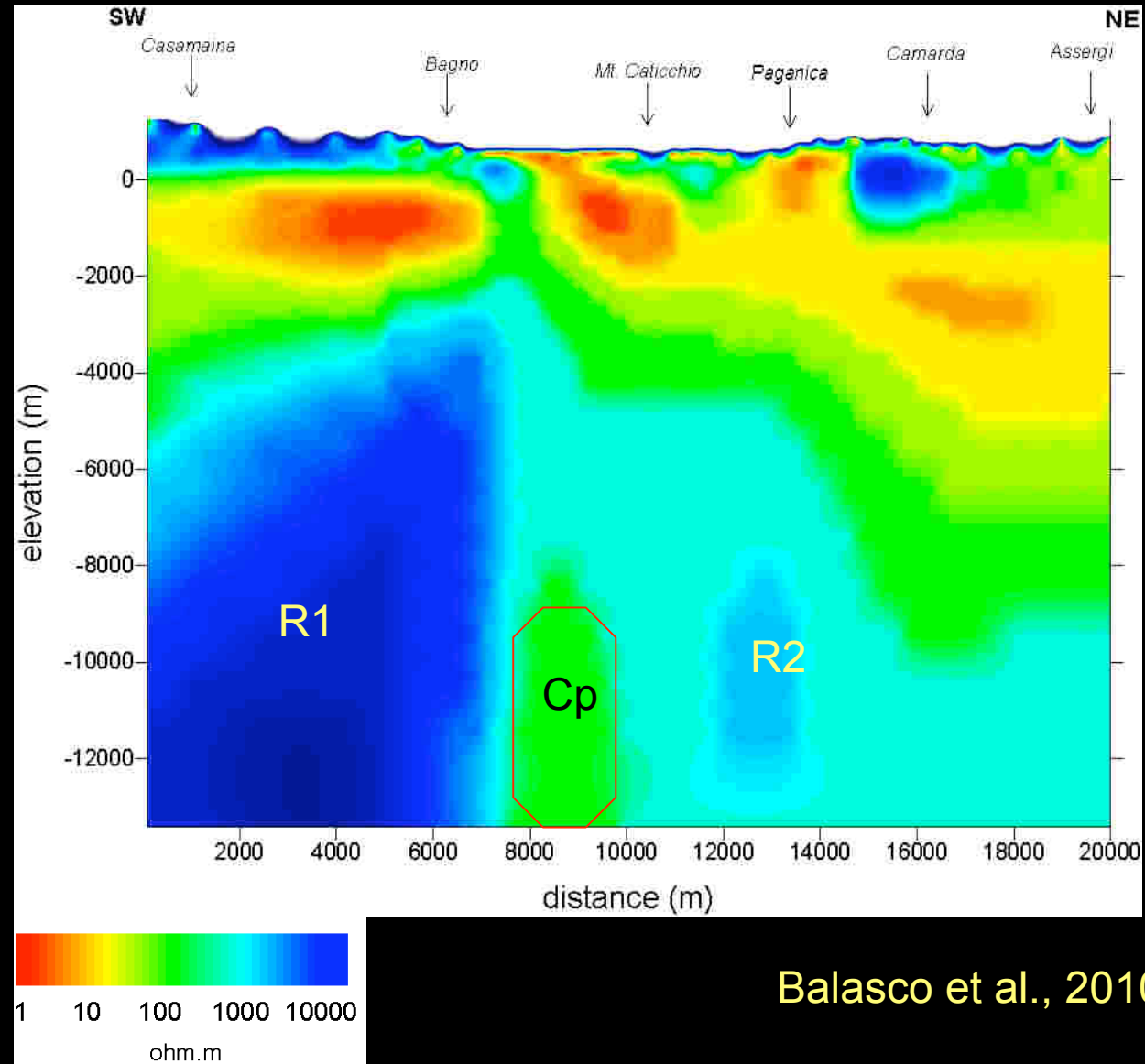
(Becken et al., 2008)



## Magnetotellurica MT per la caratterizzazione nell'area sorgente

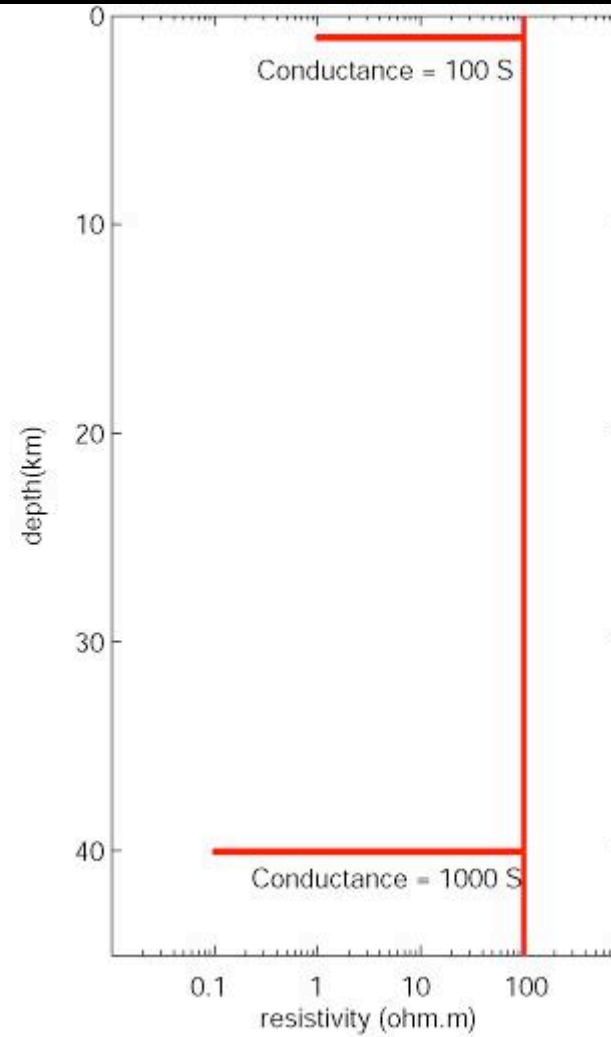
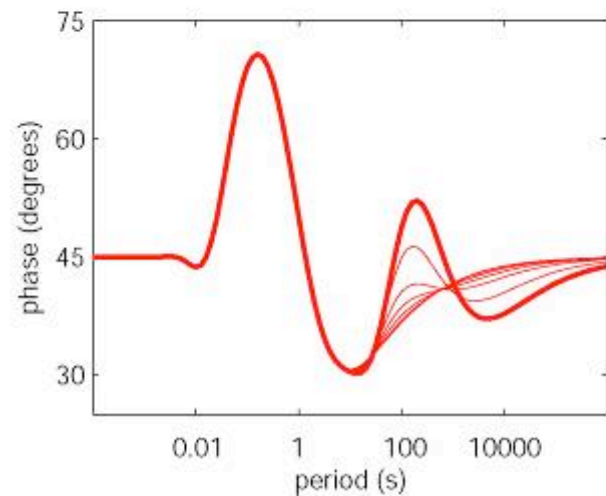
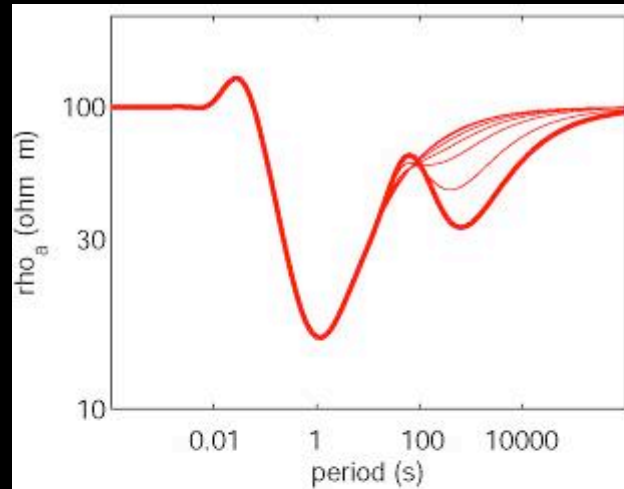
- Identificazione di fluidi
- Forte corrispondenza tra gli ipocentri dei terremoti e il limite dei corpi conduttivi
- I fuochi dei terremoti sono spesso localizzati in zone relativamente resistive o al confine tra zone resistive e conduttive.

## Modello preliminare di resistività per l'area de L'Aquila



Balasco et al., 2010

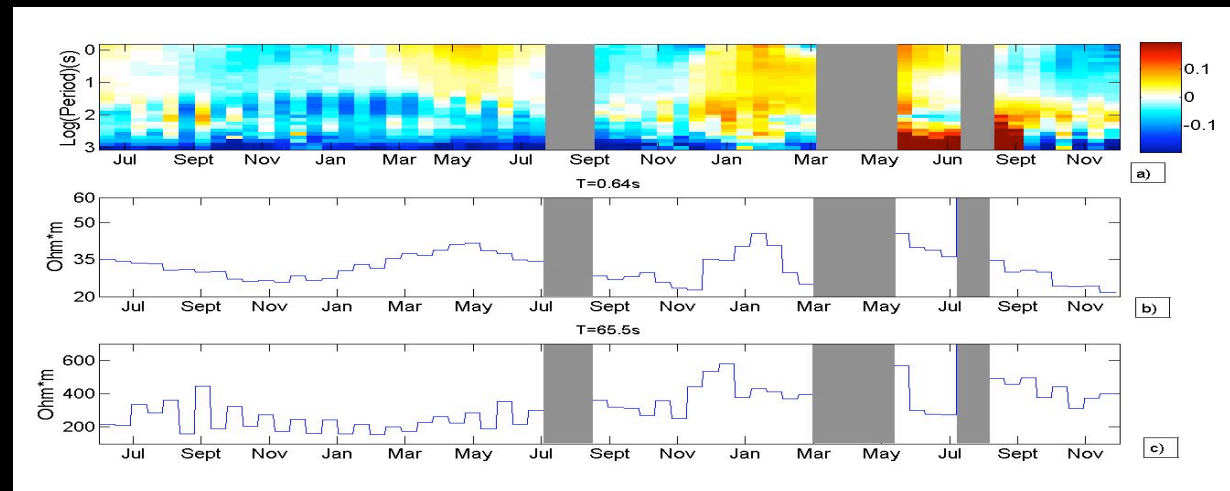
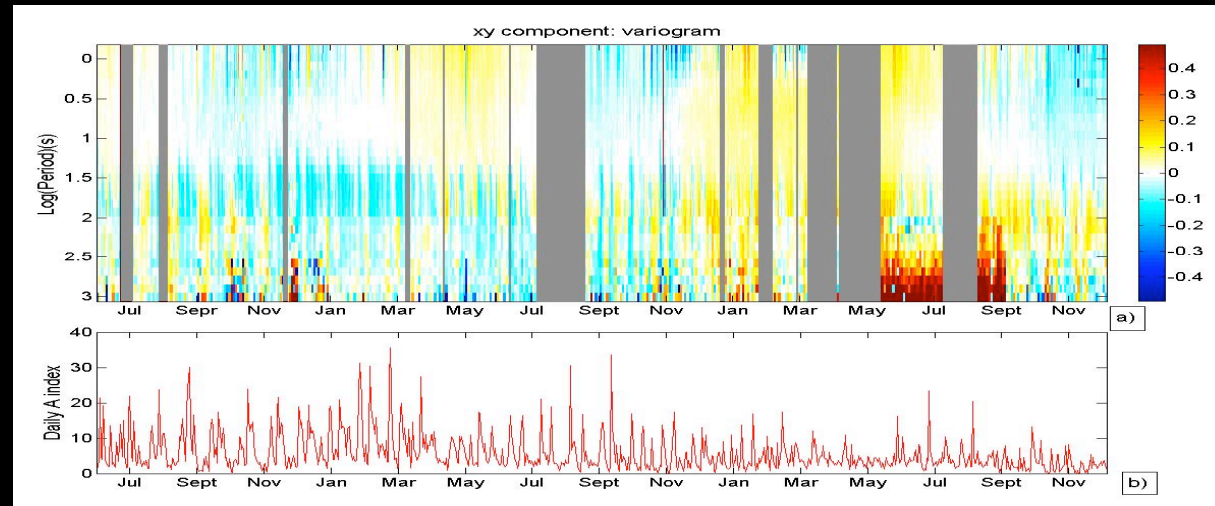
# Modificazioni sensibili della risposta MT all'aumentare della conduttanza



Prospettive  
per il  
monitoraggio  
MT



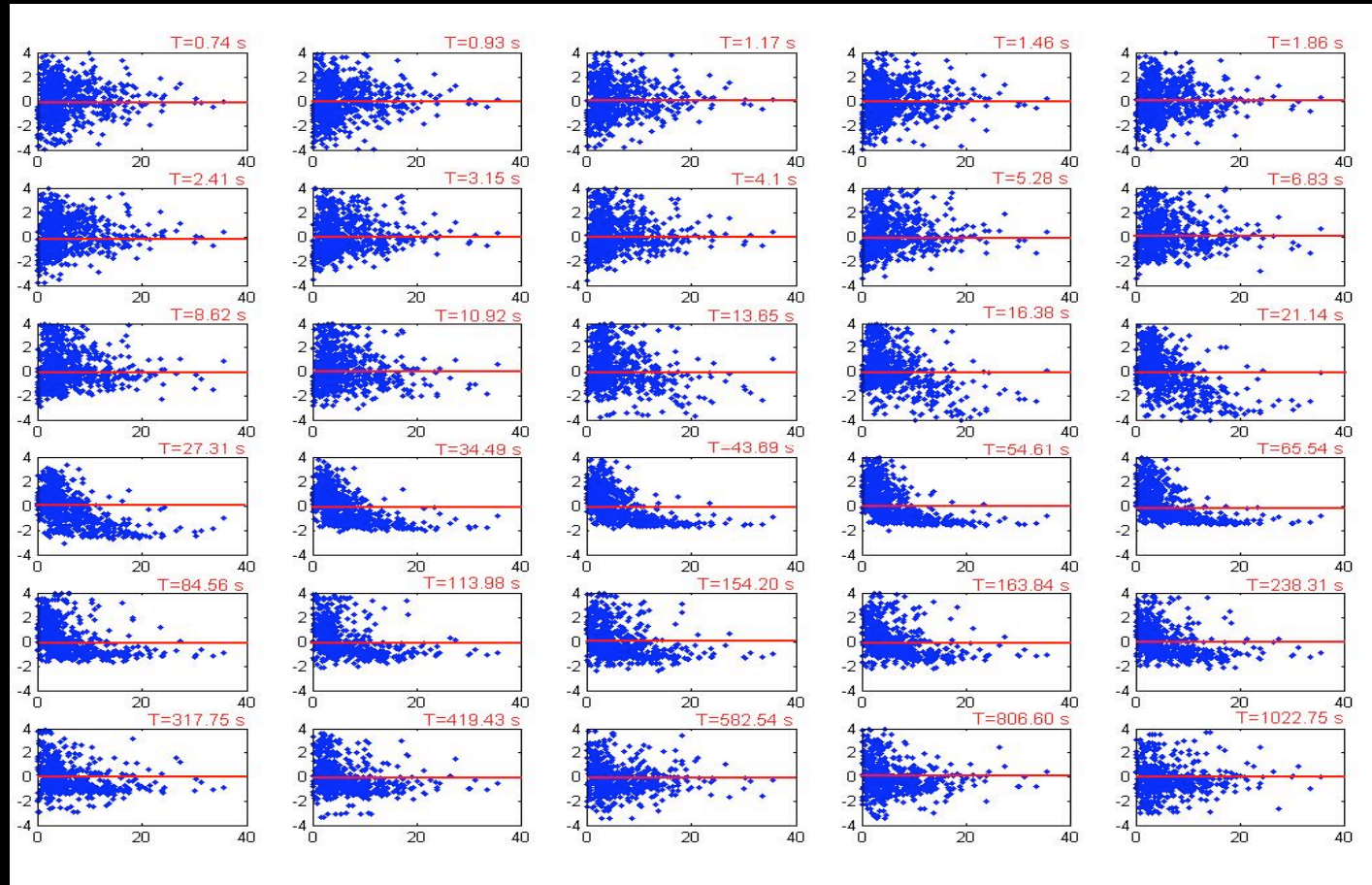
## Risultati del Monitoraggio MT in Val d'Agri



Variazioni stagionali  
ad alta frequenza

Variazioni legate alla  
sorgente di campo  
esterno nella banda  
ULF

## Stime di resistività in funzione degli indici geomagnetici: Bias nella banda ULF





## Monitoraggio MT Parkfield

“Further long-term monitoring is necessary to characterize and understand ‘normal background’ variations before truly ‘anomalous’ tectonically related signals can be reliably identified.”

Kappler et al., 2010