

METODI ELETTRICI

Principio fondamentale:

Rilevamento effetti del flusso di una corrente elettrica nel terreno

CLASSIFICAZIONE:

Potenziali spontanei

Correnti telluriche e magnetotellurica

Resistività'

Elettromagnetismo

Polarizzazione indotta

POTENZIALI SPONTANEI (SP)

Principio fondamentale:

NON RICHIEDE L'INTRODUZIONE DI CORRENTE NEL TERRENO ED E' **BASATO SULLA MISURA DEI POTENZIALI NATURALI** (O SPONTANEI) DOVUTI A PROCESSI ELETTROCHIMICI TRA MINERALI E FLUIDI NEL SOTTOSUOLO O A PROCESSI ELETTROKINETICI LEGATI AL FLUSSO DI IONI NEL TERRENO

POTENZIALI SPONTANEI (SP)

Quattro meccanismi fondamentali (legati a presenza acqua nel terreno):

Potenziale elettrocinetico

Potenziale di diffusione

Potenziale di Nernst

Potenziale di Mineralizzazione

POTENZIALI SPONTANEI (SP)

Potenziale elettrocinetico:

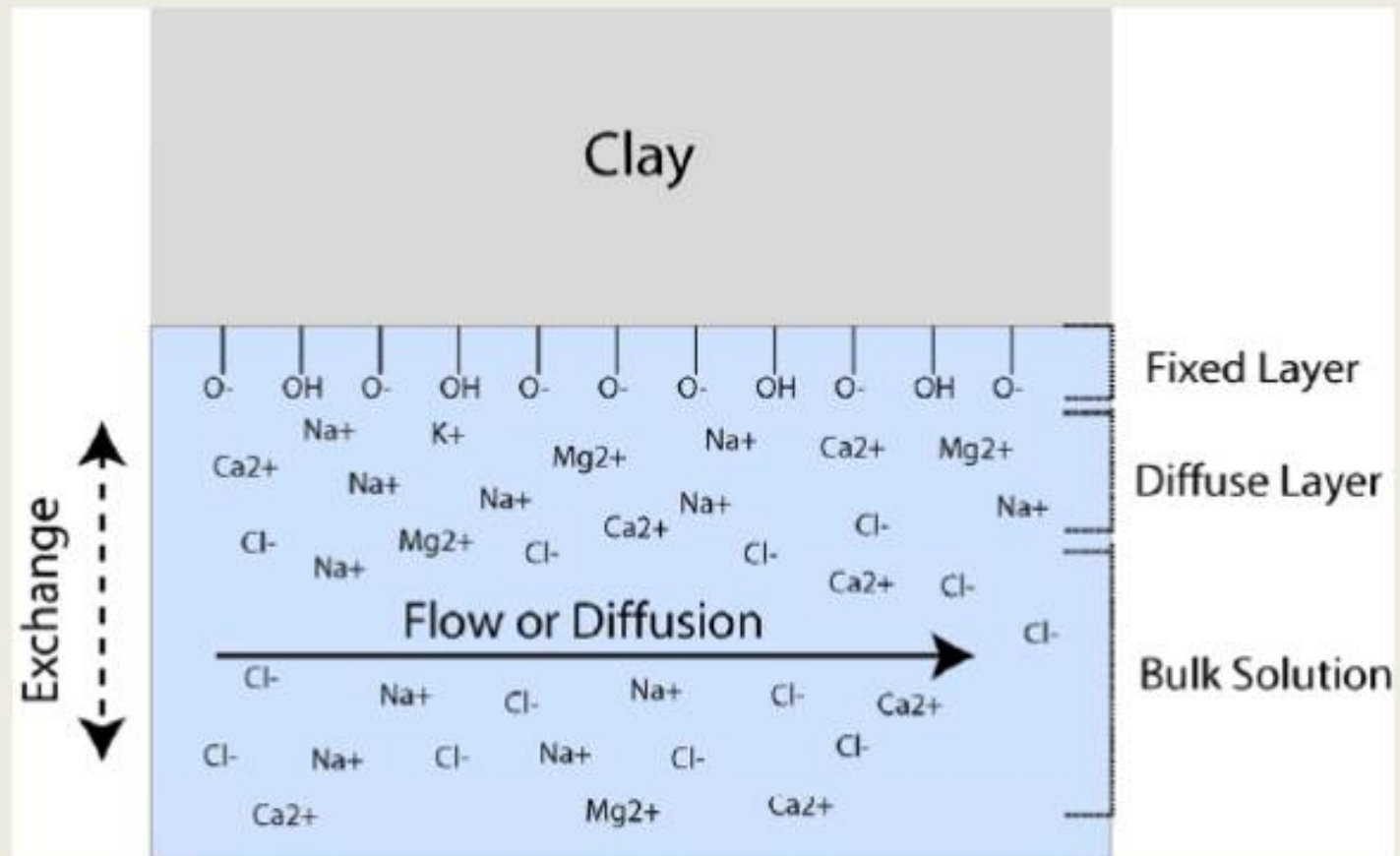
Si osserva quando soluzione con resistività ρ e viscosità η passa in un mezzo poroso

$$E_k = -\frac{\zeta \Delta P k \rho}{4\pi \eta}$$

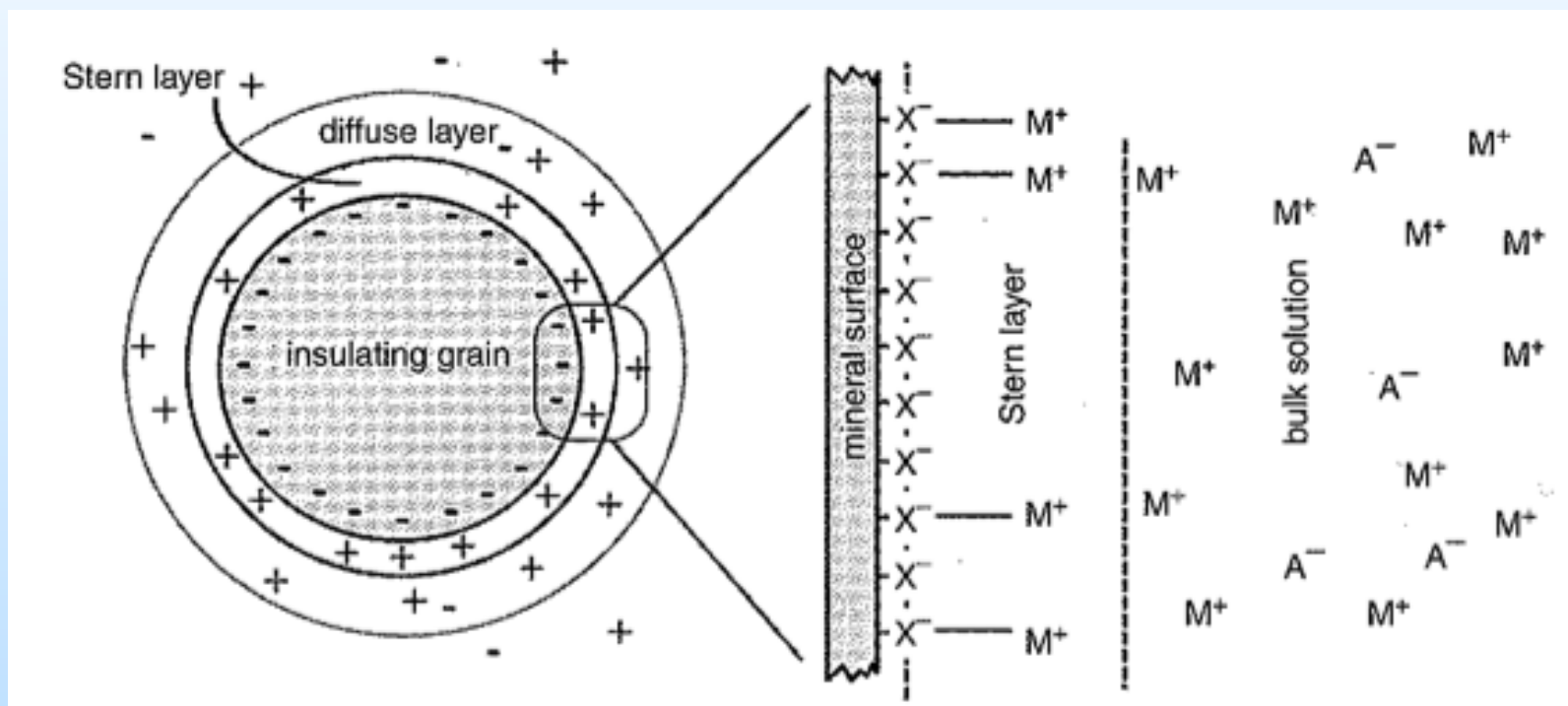
Dove E_k è la differenza di potenziale misurata agli estremi del passaggio, ζ è il potenziale di adsorbimento, ΔP è la differenza di pressione e k è la costante dielettrica della soluzione

POTENZIALI SPONTANEI (SP)

Schematic of Clay-Pore Interface



POTENZIALI SPONTANEI (SP)



POTENZIALI SPONTANEI (SP)

Potenziale di diffusione:

Dovuto a differente mobilita' ioni in soluzioni a differente concentrazione

$$E_d = - \frac{R\theta(I_a - I_c)}{Fn(I_a + I_c)} \ln\left(\frac{C_1}{C_2}\right)$$

Dove R=costante dei gas, F=costante di Faraday,
 θ =temperatura assoluta, n =valenza, $I_{a,c}$ =mobilita' anioni e cationi, $C_{1,2}$ =concentrazione soluzioni
[E_d]=mV

POTENZIALI SPONTANEI (SP)

Potenziale di Nernst:

Quando la concentrazione di una soluzione varia ai due elettrodi di misura

$$E_n = -\frac{R\theta}{Fn} \ln\left(\frac{C_1}{C_2}\right)$$

Il potenziale di Nernst e quello di diffusione insieme danno il **potenziale spontaneo elettrochimico (o statico)**

Anche $[E_n] = \text{mV}$

POTENZIALI SPONTANEI (SP)

Potenziale di Mineralizzazione:

Quando due elettrodi metallici differenti sono immersi in soluzione omogenea.

Questo **potenziale di contatto elettrolitico** può raggiungere diverse centinaia di mV e anche Volts ed ha valori di molto superiori ai precedenti.

Si osserva in zone mineralizzate (massimo in zone ove ci sia grafite)

Altri potenziali spontanei di rilievo:

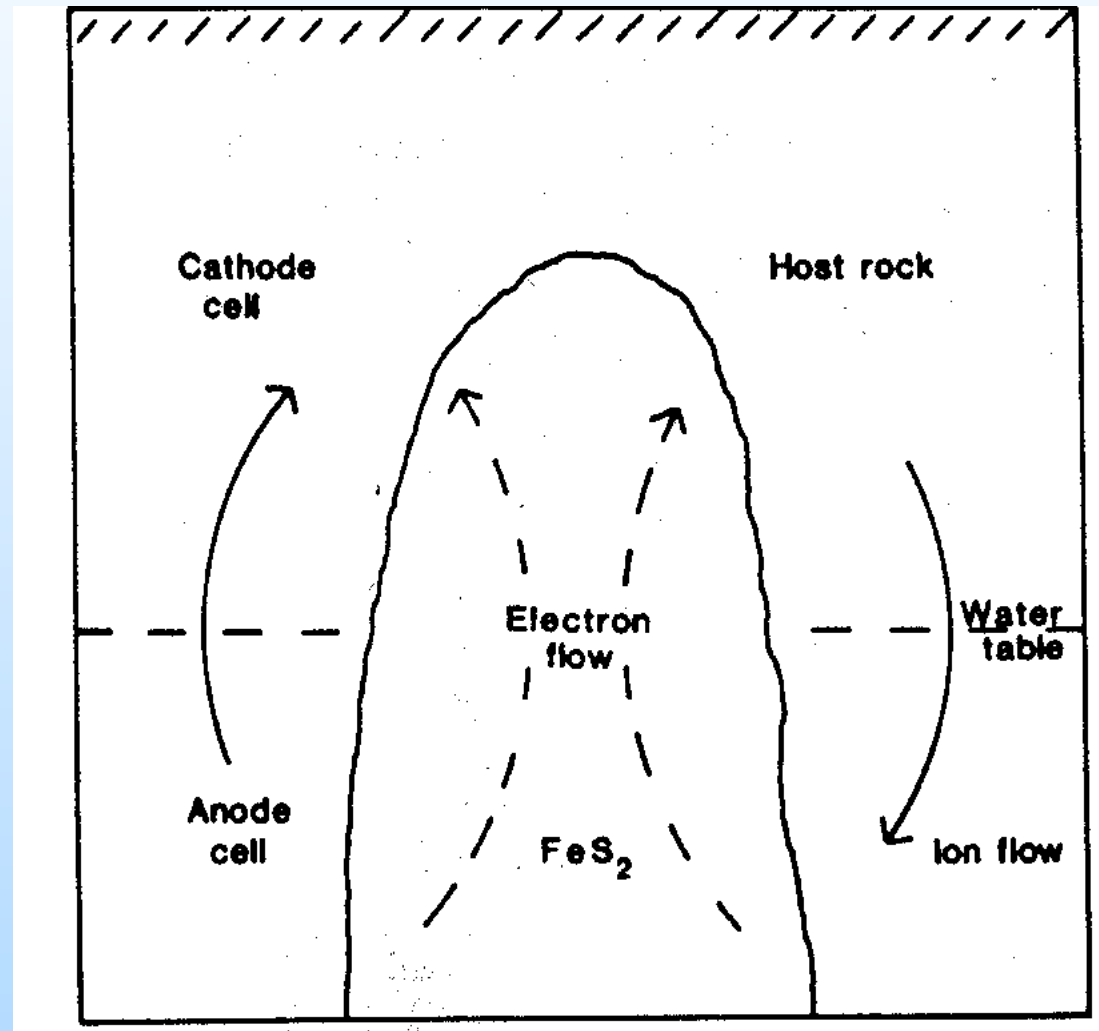
Potenziale termoelettrico

POTENZIALI SPONTANEI (SP)

Potenziale di Mineralizzazione:

Possibili
Meccanismi

(Sato & Mooney,
1960)

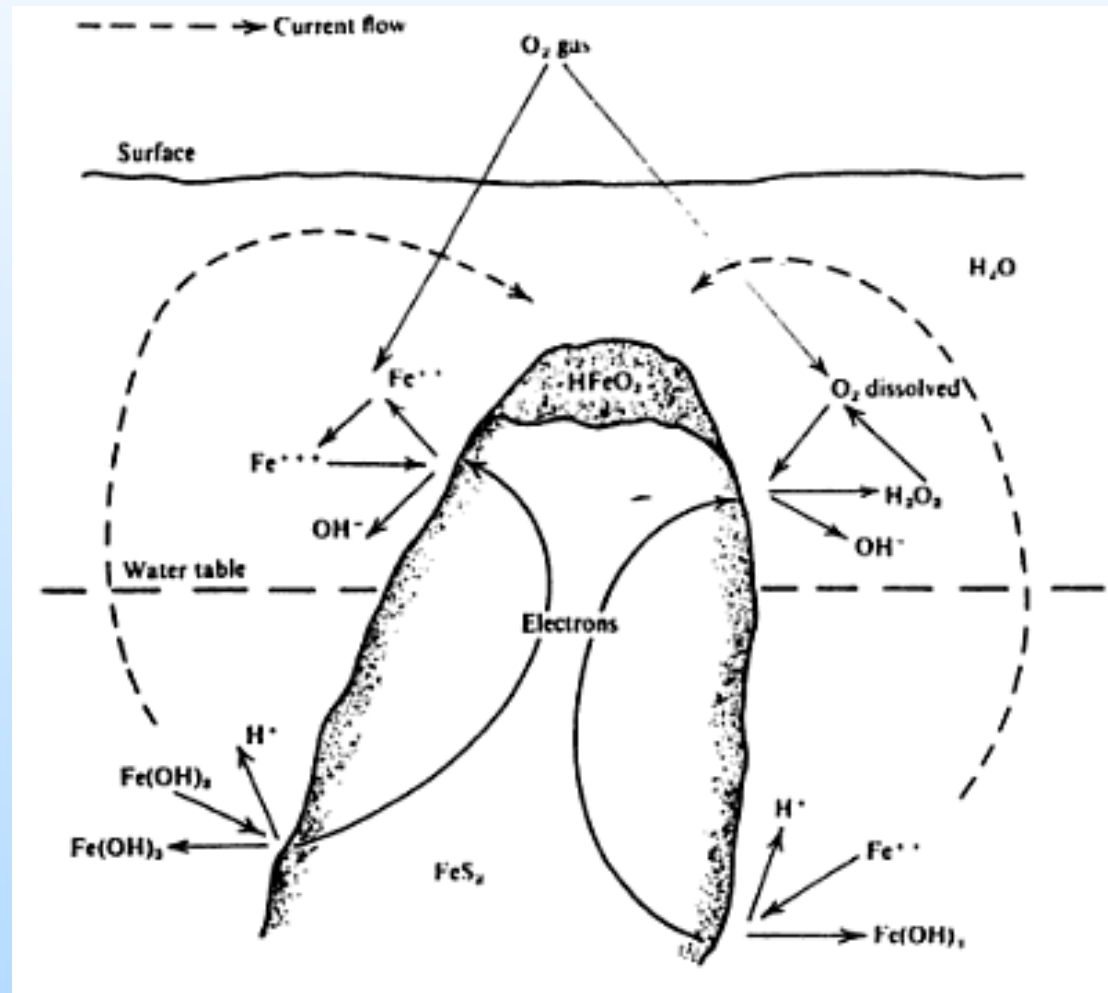


POTENZIALI SPONTANEI (SP)

Potenziale di Mineralizzazione:

Riduzione

Ossidazione



POTENZIALI SPONTANEI (SP)

Strumentazione:

- Coppia di elettrodi non-polarizzabili
(elettrodi metallici immersi in soluzione di un loro sale > ad es. Cu in CuSO_4 < contenuta in vaso poroso a contatto col terreno)
- Cavo isolato
- Millivoltmetro ad alta impedenza

POTENZIALI SPONTANEI (SP)

Configurazioni per l'acquisizione dati

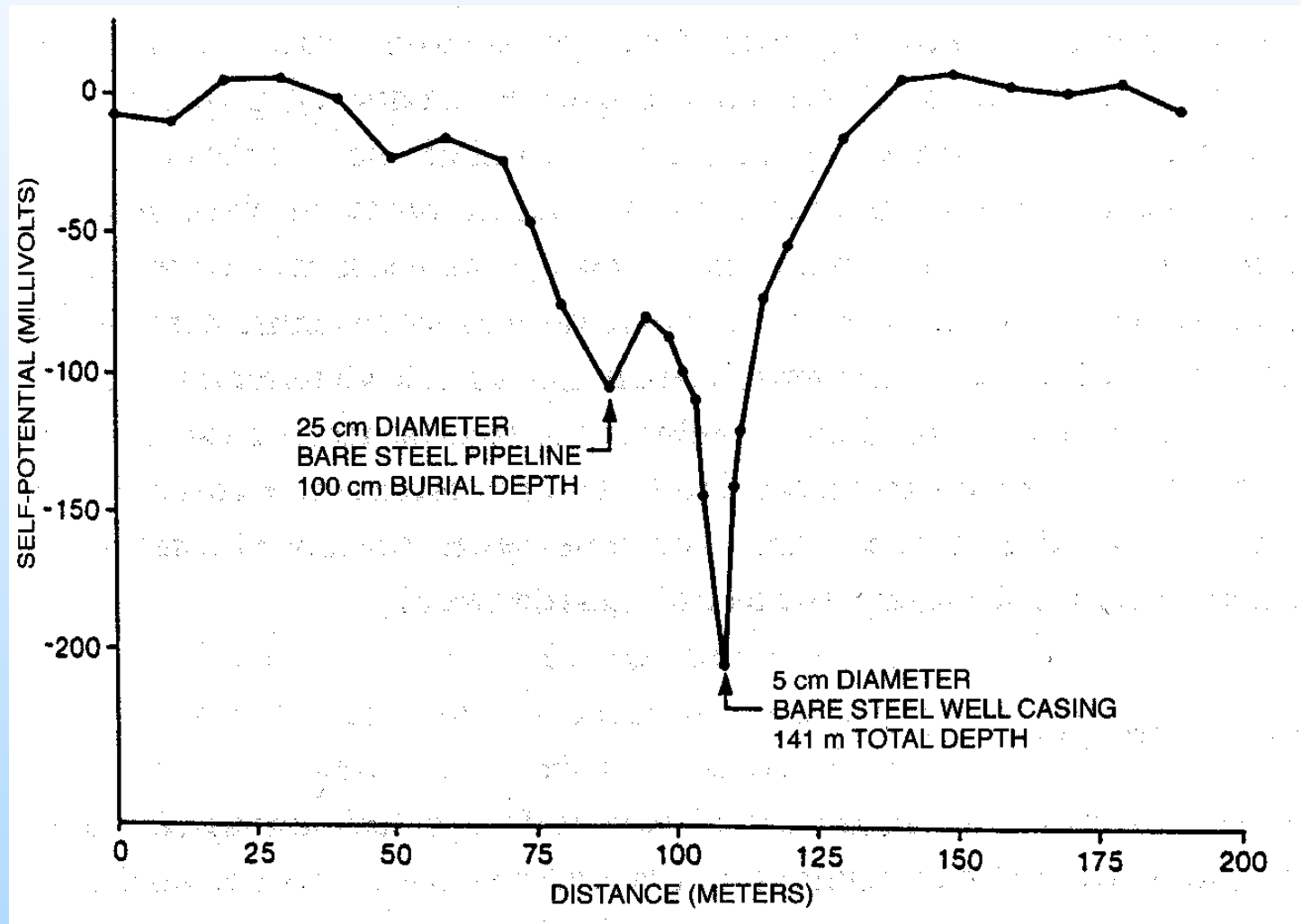
-Dipolare: due elettrodi a distanza costante, spostati in modo da occupare col secondo la posizione precedentemente occupata dal primo

Base fissa: un elettrodo di riferimento fisso (-) e un elettrodo di misura mobile (+)

In aree sommerse: elettrodo di misura trainato sul fondo, elettrodo base fisso

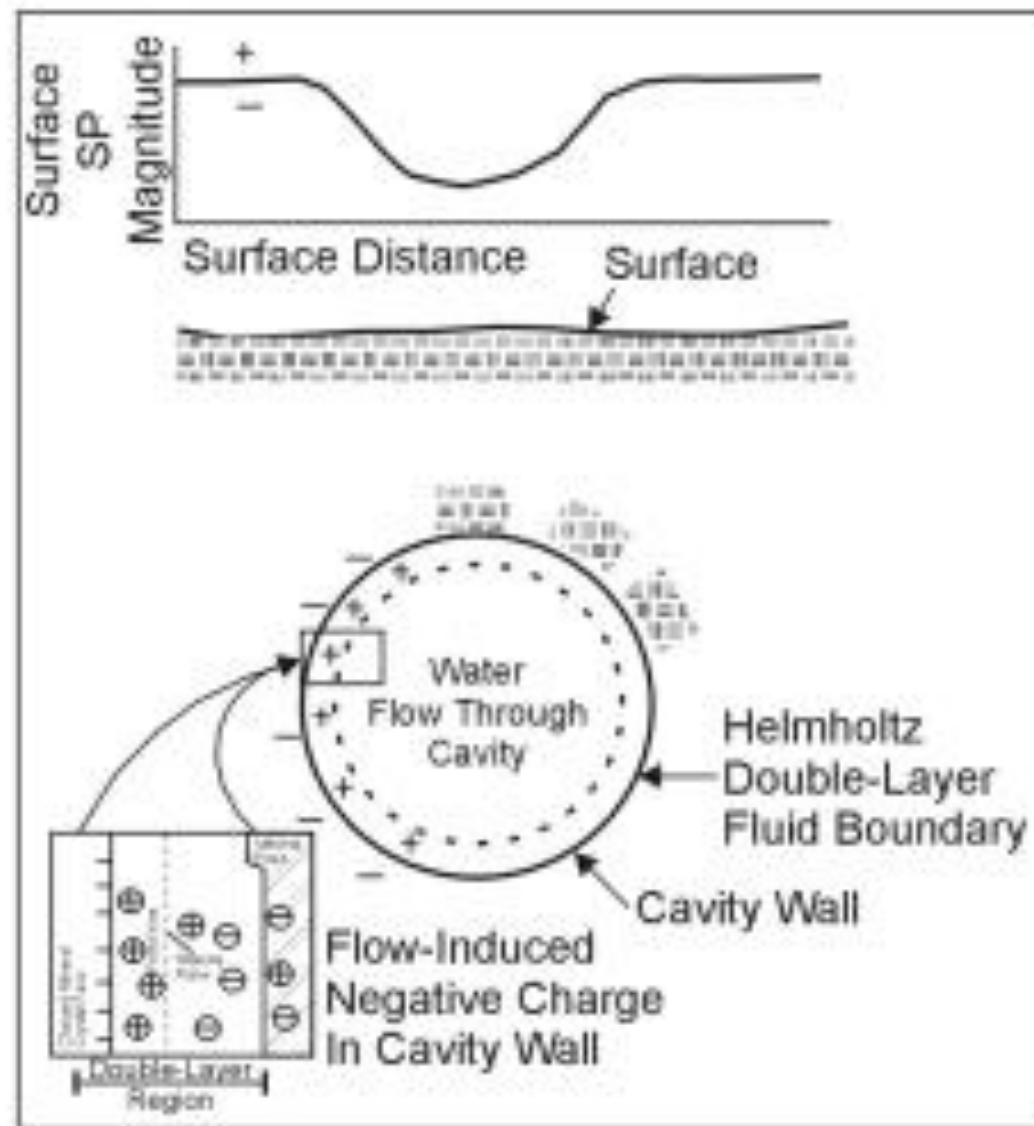
POTENZIALI SPONTANEI (SP)

Interpretazione



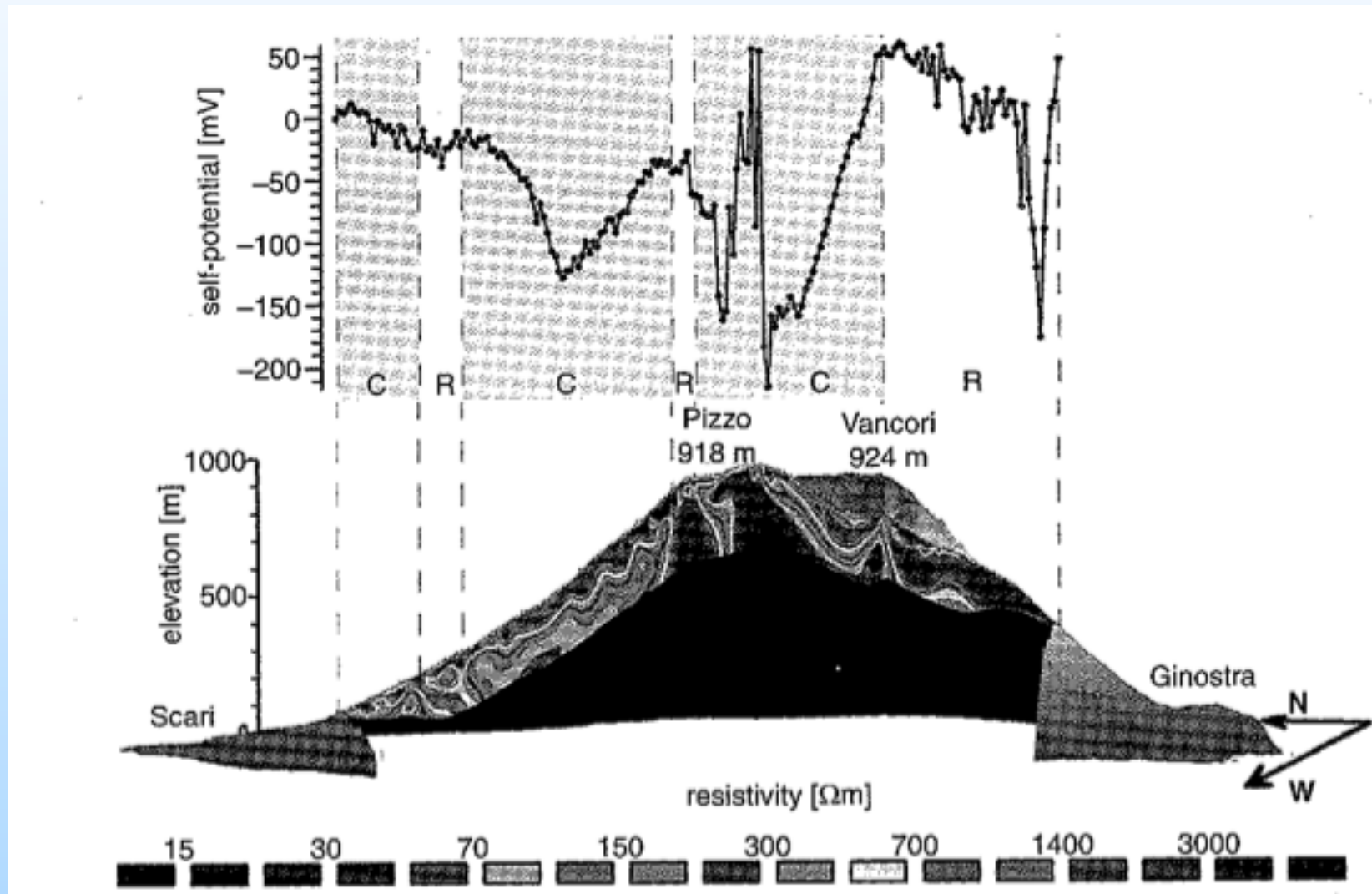
POTENZIALI SPONTANEI (SP)

Interpretazione



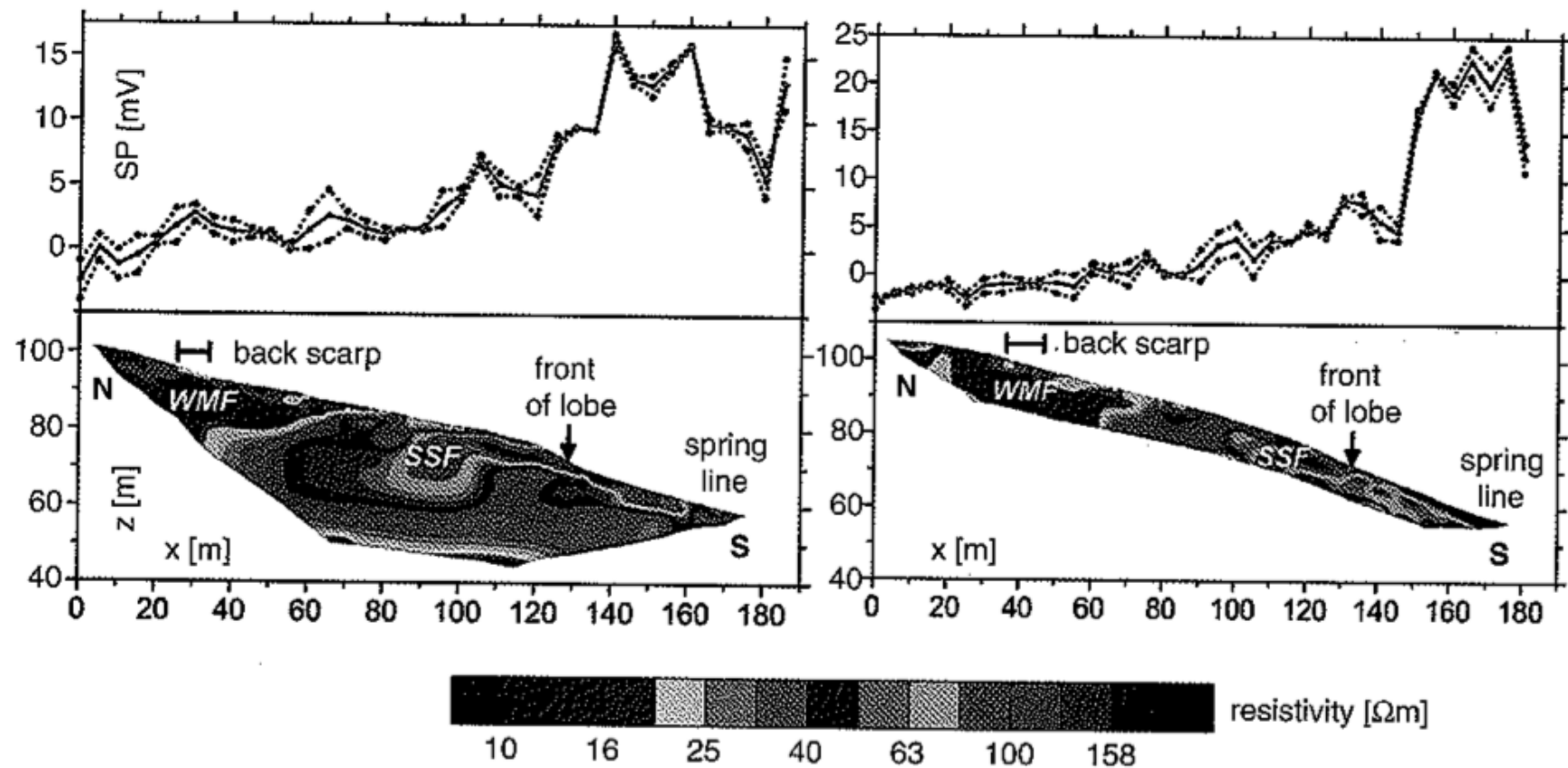
POTENZIALI SPONTANEI (SP)

Interpretazione



POTENZIALI SPONTANEI (SP)

Interpretazione



POTENZIALI SPONTANEI (SP)

Interpretazione

Massima profondità' stimata in base a modello sorgente puntuale

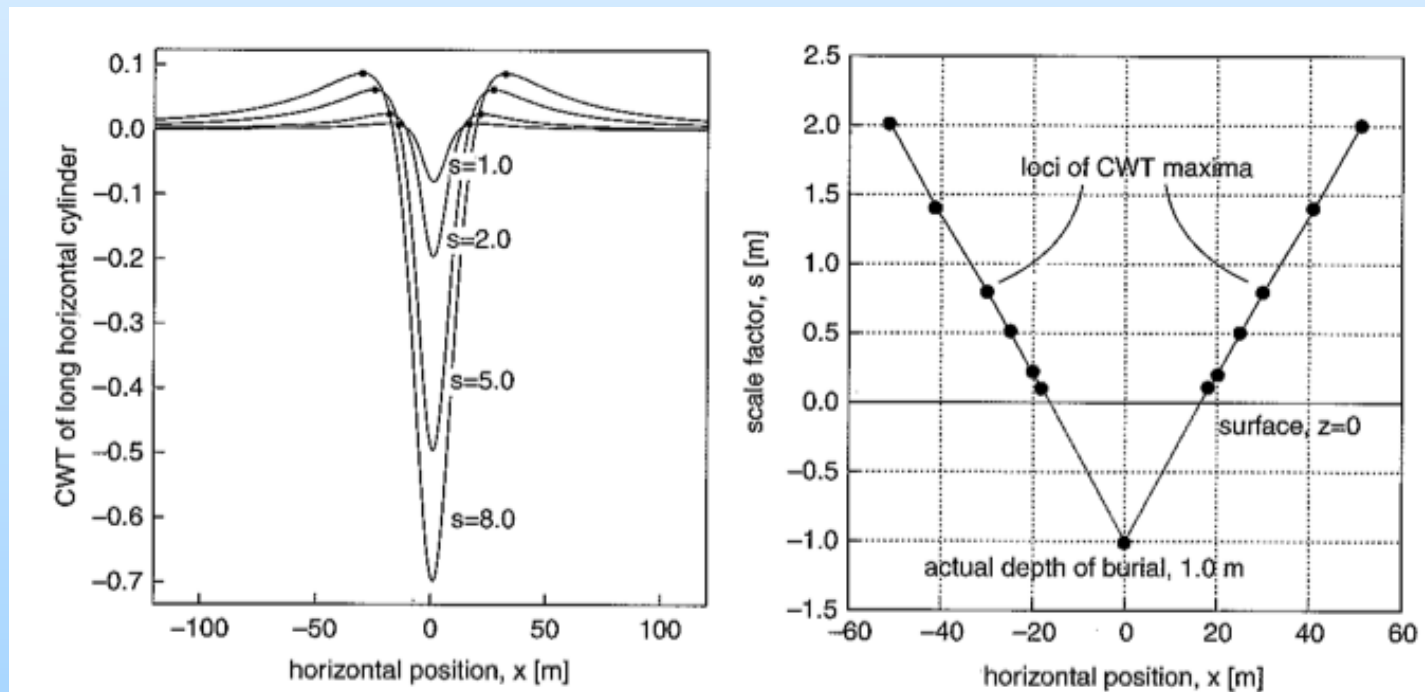
$$d = \frac{x_{1/2}}{\sqrt{3}}$$

POTENZIALI SPONTANEI (SP)

Profondita' stimata con metodi basati sulla Continuous Wavelet Transform (CWT)

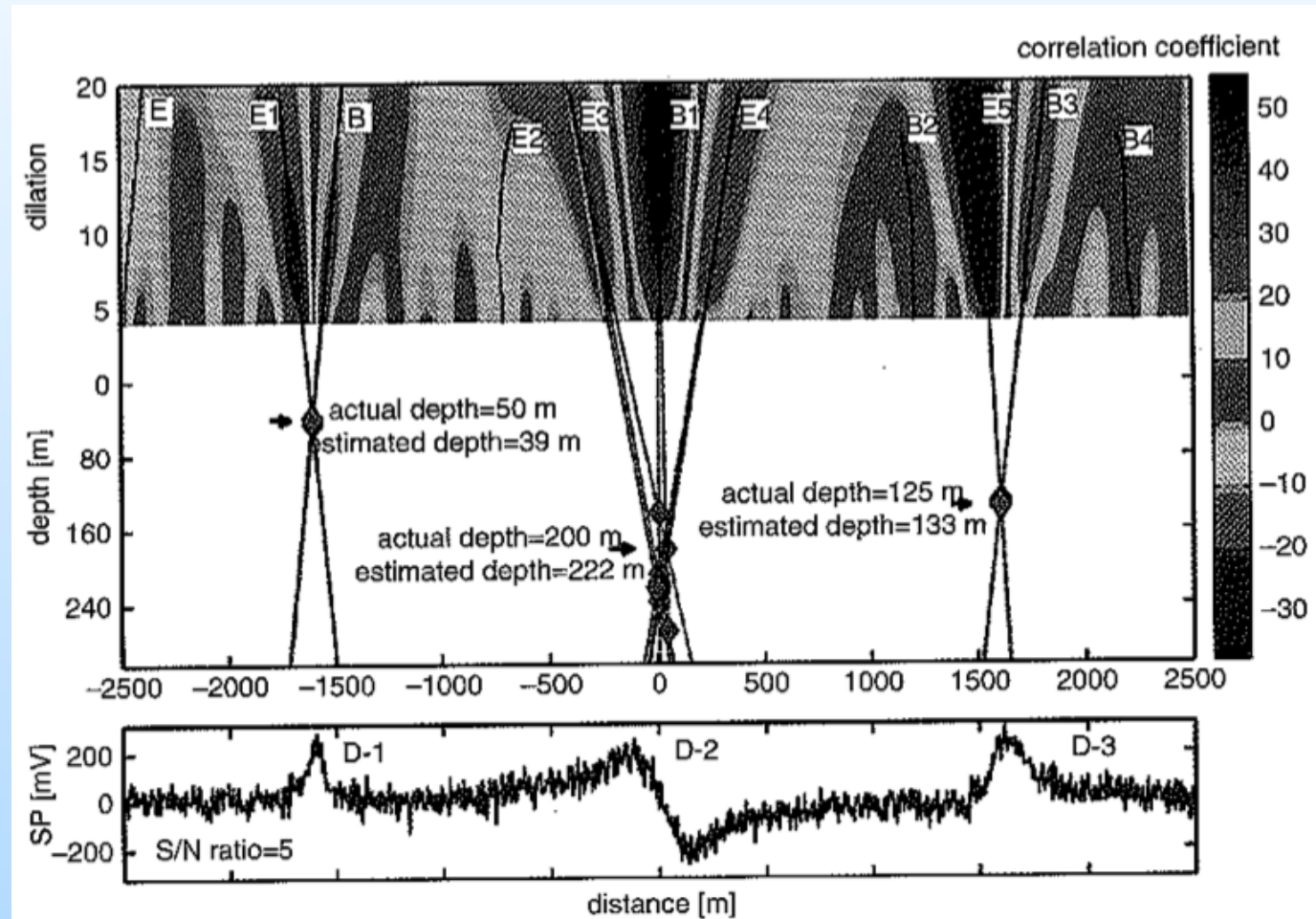
Regola generale (Moreau et al., 1997; 1999)

Il luogo dei massimi della CWT di campi di potenziale converge verso la sorgente della variazione osservata



POTENZIALI SPONTANEI (SP)

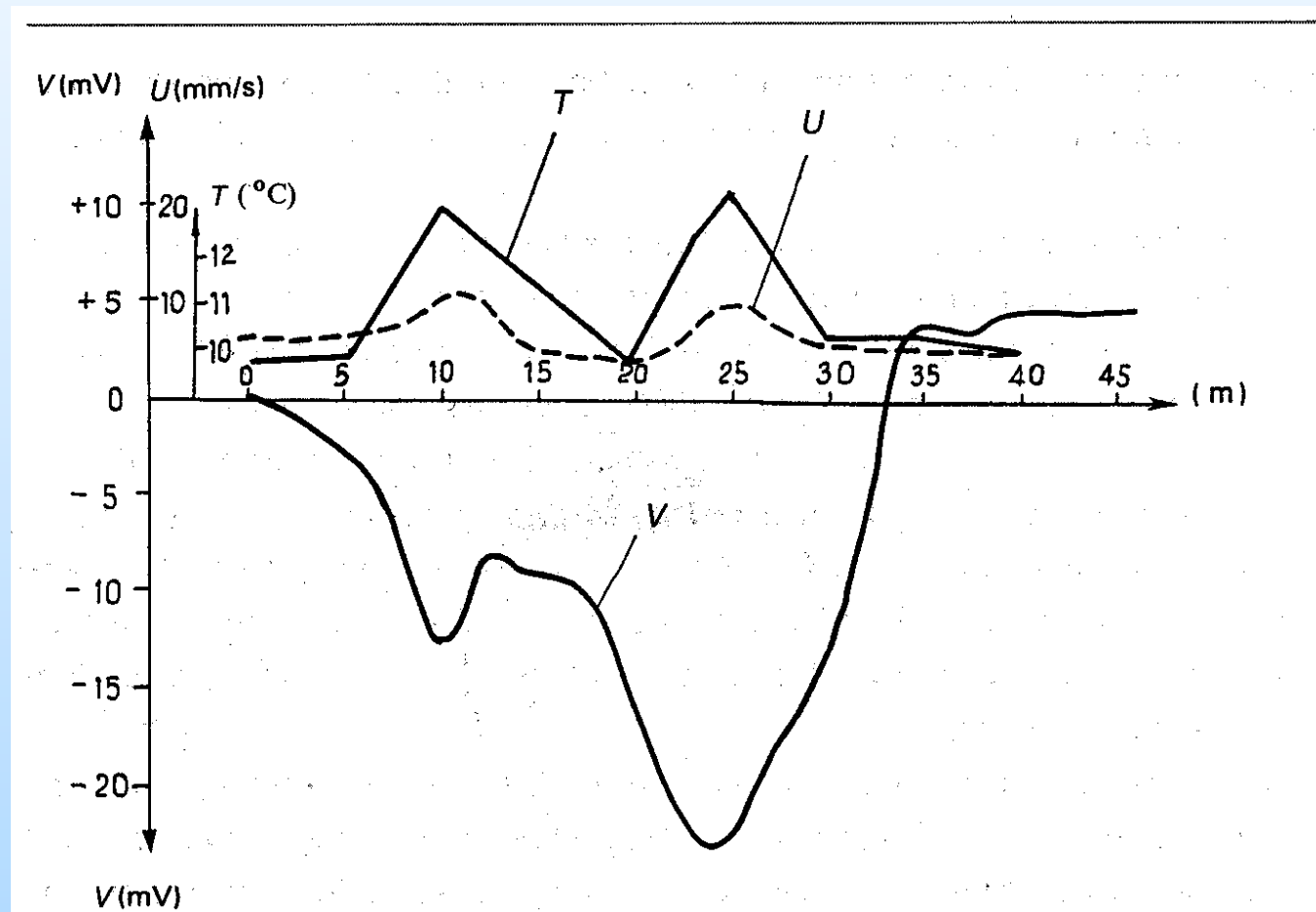
Profondita' stimata con metodi basati sulla Continuous Wavelet Transform (CWT)



POTENZIALI SPONTANEI (SP)

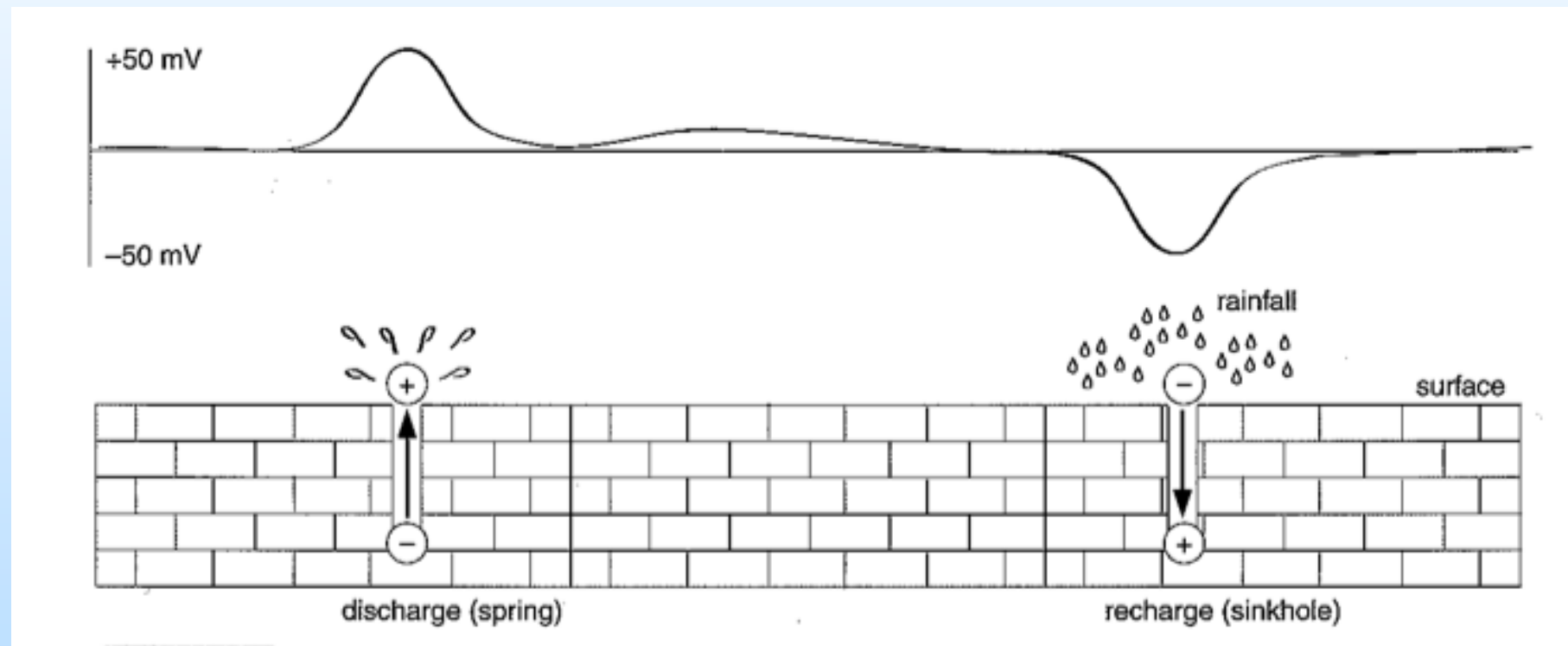
Interpretazione

Applicazioni in pozzo per idrogeologia



POTENZIALI SPONTANEI (SP)

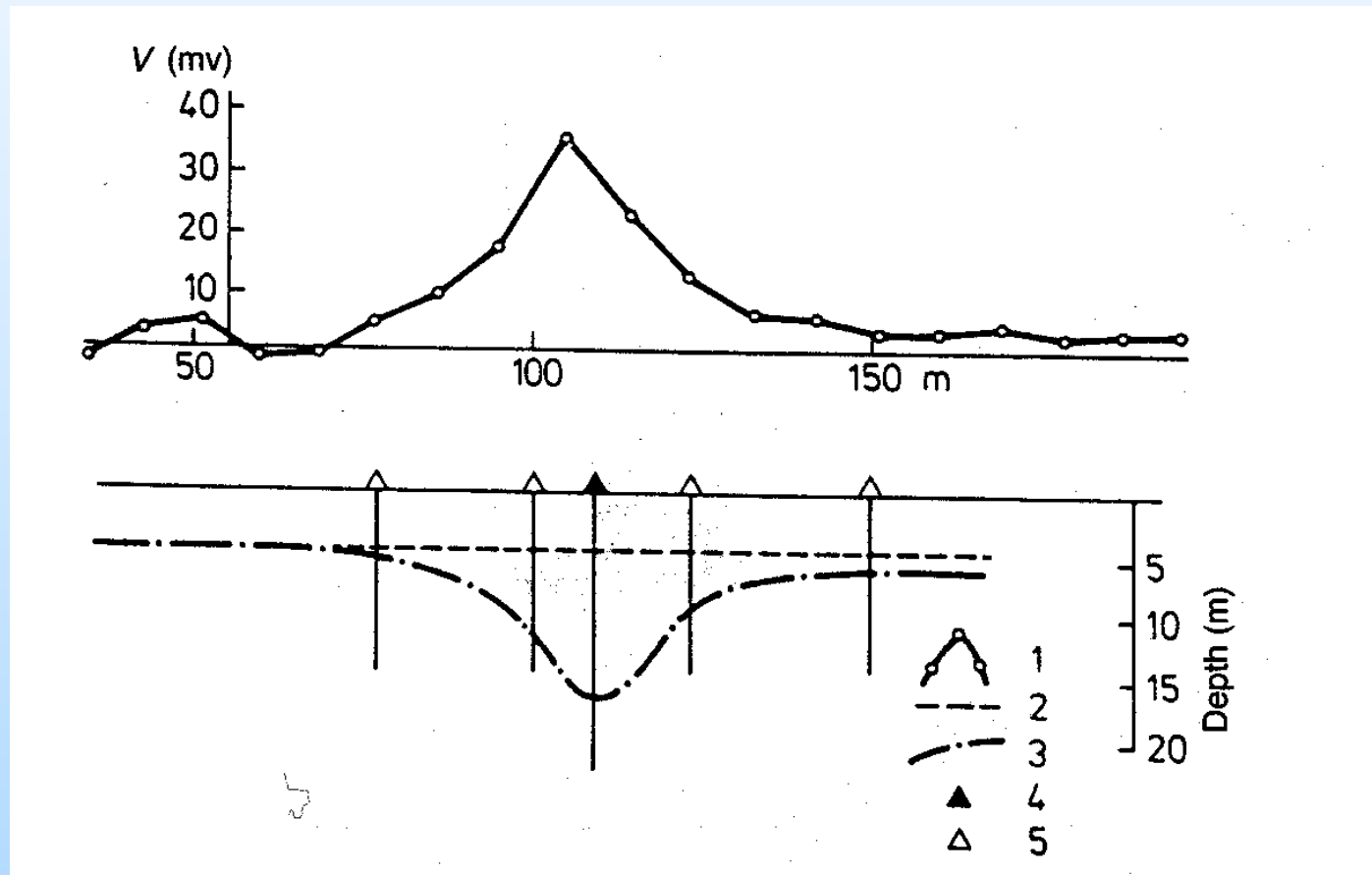
Interpretazione



POTENZIALI SPONTANEI (SP)

Interpretazione

Applicazioni in superficie per idrogeologia



RESISTIVITA'

Leggi e parametri fondamentali

OHM

$$\Delta V / I = R$$

Formulazione generale

$$\frac{\partial V}{\partial r} = E$$

$$j = \text{densita' corrente} = \frac{I}{s}$$

$$\rho = \text{resistivita'}$$

$$\frac{\partial V}{\partial r} = j\rho = \frac{I}{s} \rho$$

RESISTIVITA'

Leggi e parametri fondamentali

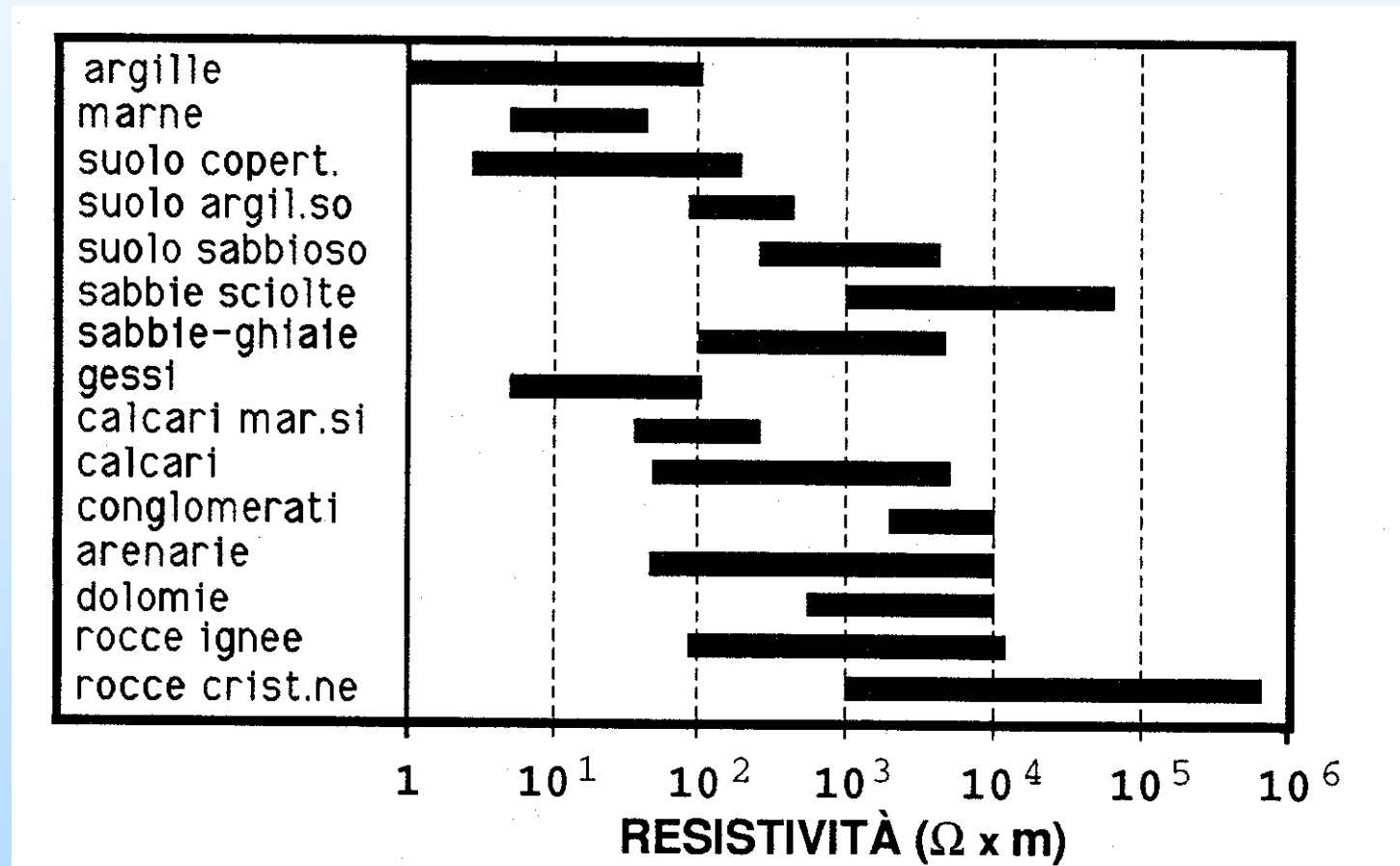
$$\Delta V = \frac{I}{s} \rho \int_0^l \partial r = \frac{I}{s} \rho l$$

$$\frac{\Delta V}{I} = R = \frac{\rho l}{s} = \rho K$$

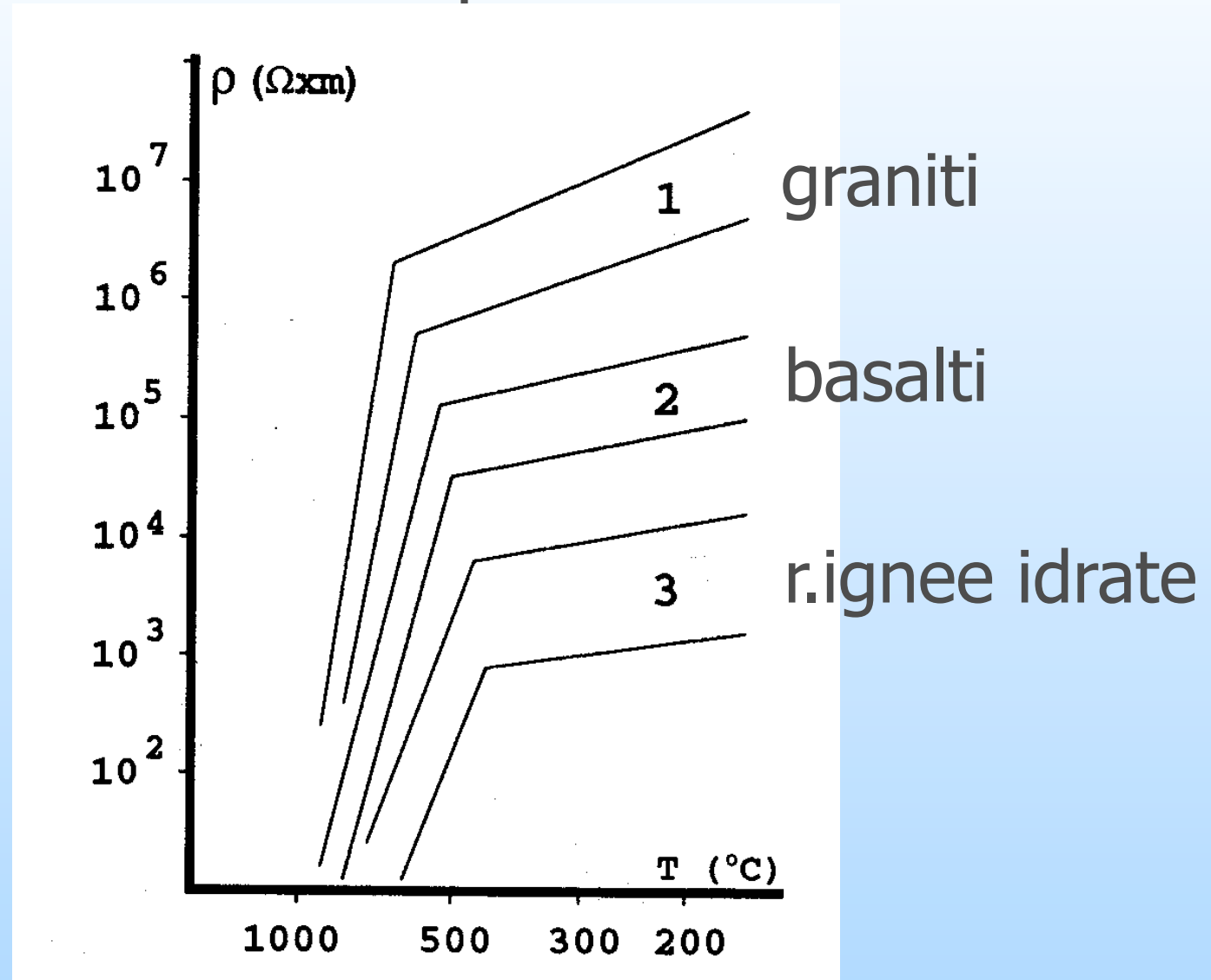
RESISTIVITA': valori medi per materiali geologici

Mineral	Formula	Resistivity (Ωm)	
		Range	Average
Bismuthinite	Bi_2S_3	18-570	
Covellite	CuS	$3 \times 10^{-7} - 8 \times 10^{-5}$	2×10^{-5}
Chalcocite	Cu_2S	$3 \times 10^{-5} - 0.6$	10^{-4}
Chalcopyrite	$CuFeS_2$	$1.2 \times 10^{-5} - 0.3$	4×10^{-3}
Bornite	Cu_5FeS_4	$2.5 \times 10^{-5} - 0.5$	3×10^{-3}
Pyrite	FeS_2	$2.9 \times 10^{-5} - 1.5$	3×10^{-1}
Pyrrhotite	$Fe_{7-9}S_{10}$	$6.5 \times 10^{-6} - 5 \times 10^{-2}$	10^{-4}
Cinnabar	HgS		2×10^7
Molybdenite	MoS_2	$10^{-3} - 10^6$	10
Galena	PbS	$3 \times 10^{-5} - 3 \times 10^2$	2×10^{-3}
Millerite	NiS		3×10^{-7}
Stannite	Cu_2FeSnS_4	$10^{-3} - 6 \times 10^3$	
Stibnite	Sb_2S_3	$10^5 - 10^{12}$	5×10^6
Sphalerite	ZnS	$1.5 - 10^7$	10^2
Cobaltite	$CoAsS$	$3.5 \times 10^{-4} - 10^{-1}$	
Arsenopyrite	$FeAsS$	$2 \times 10^{-5} - 15$	10^{-3}
Nickel	$NiAs$	$10^{-7} - 2 \times 10^{-3}$	2×10^{-5}
Bauxite	$Al_2O_3 \cdot nH_2O$	$2 \times 10^2 - 6 \times 10^3$	
Cuprite	Cu_2O	$10^{-3} - 300$	30
Chromite	$FeCr_2O_4$	$1 - 10^6$	
Specularite	Fe_2O_3		6×10^{-3}
Hematite	Fe_2O_3	$3.5 \times 10^{-3} - 10^7$	
Limonite	$2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$	$10^3 - 10^7$	
Magnetite	Fe_3O_4	$5 \times 10^{-5} - 5.7 \times 10^3$	
Ilmenite	$FeTiO_3$	$10^{-3} - 50$	
Wolframite	Fe, Mn, WO_4	$10 - 10^5$	
Pyrolusite	MnO_2	$5 \times 10^{-3} - 10$	
Quartz	SiO_2	$4 \times 10^{10} - 2 \times 10^{14}$	
Cassiterite	SnO_2	$4 \times 10^{-4} - 10^4$	0.2
Rutile	TiO_2	30-1000	500
Uraninite			
(pitchblende)	UO_2	1-200	
Anhydrite	$CaSO_4$		10^9
Calcite	$CaCO_3$		2×10^{12}
Fluorite	CaF_2		8×10^{13}
Siderite	$Fe_2(CO_3)_3$		70
Rock salt	$NaCl$	$30 - 10^{13}$	
Sylvite	KCl	$10^{11} - 10^{12}$	
Diamond	C	$10 - 10^{14}$	
Serpentine		$2 \times 10^2 - 3 \times 10^3$	
Hornblende		$2 \times 10^2 - 10^6$	
Mica		$9 \times 10^2 - 10^{14}$	
Biotite		$2 \times 10^2 - 10^6$	
Bitum. coal		$0.6 - 10^5$	
Anthracite		$10^{-3} - 2 \times 10^5$	
Lignite		9-200	
Fire clay			30
Meteoric waters		$30 - 10^3$	
Surface waters			
(ign. rocks)		$0.1 - 3 \times 10^3$	
Surface waters			
(sediments)		10-100	
Soil waters			100
Natural waters			
(ign. rocks)		0.5-150	9
Natural waters			
(sediments)		1-100	3
Sea water			0.2
Saline waters, 3%			0.15
Saline waters, 20%			0.05

RESISTIVITA': valori medi per materiali geologici



RESISTIVITA': dipendenza dalla temperatura



RESISTIVITA': dipendenza dal contenuto in acqua

Se $H_2O > 0.1 H_{2O_{max}}$

$$\rho = F \rho_w$$

F = fattore di formazione (adimensionale,
caratteristico della roccia/terreno)

ρ_w = resistività acqua

RESISTIVITA': dipendenza dalla porosit 

LEGGE DI ARCHIE

In condizioni di totale saturazione

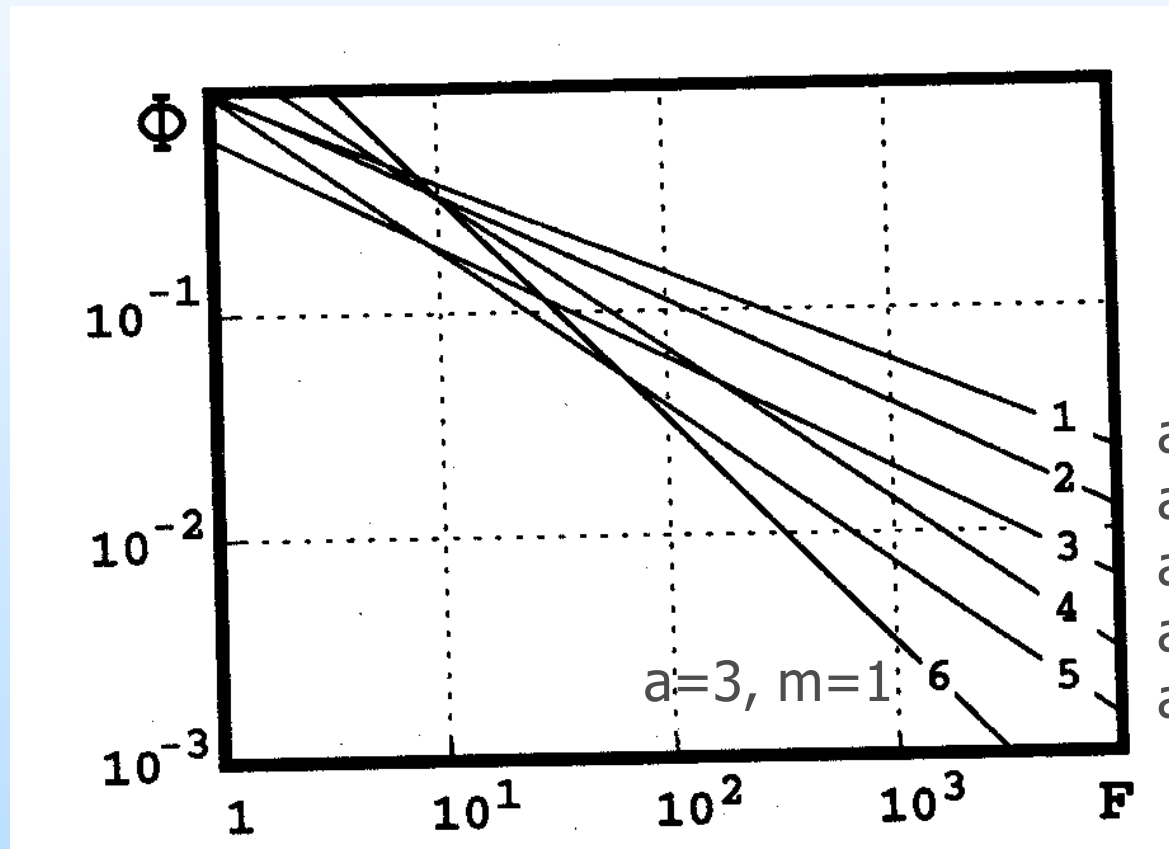
$$\rho = a \Phi^{-m} \rho_w$$

o, in forma piu' generale:

$$\rho = F \rho_w = (a \Phi^{-m} S^{-k}) \rho_w$$

Dove Φ =porosit , S = grado saturazione (da 0.1 a 1),
 a =fattore di tortuosita', m =fattore di cementazione,
 $k=2$ (se $H_2O > H_{2O_{min}}$, altrimenti fino a 5)

RESISTIVITA': legame tra fattore formazione e porosità'



1 $a=1, m=2.3$

2 $a=1, m=2$

3 $a=.62, m=1.9$

4 $a=1.4, m=1.4$

5 $a=1, m=1.4$

6 $a=3, m=1$

RESISTIVITA' e POROSITA'

Litotipo	($\Omega \cdot m$)	Φ (%)
acqua	10 - 100	-
acqua di mare	2 - 3	-
arenarie	200 - 5000	7 - 30
argille	1 - 50	40 - 70
calcari	300 - 10000	2 - 30
detrito alluv.	50 - 1000	15 - 60
dolomie	500 - 10000	2 - 20
ghiaia e sabbia	70 - 700	30 - 60
graniti	1000 - 20000	0.2 - 0.8
marne	100 - 500	8 - 15
piroclastiti	50 - 600	15 - 60
rocce ignee	100 - 10000	3 - 10
suolo di copertura	10 - 200	60 - 90
tufi	150 - 900	10 - 40

RESISTIVITA': FATTORI **a** ED **m**

Litotipo	a	m
sabbie sciolte	1.0	1.3
sabbie scarsamente cementate	0.7	0.9
arenarie moderatamente cementate	0.5	2.2
calcari compatti	0.5	1.8
calcari microcristallini	0.8	2.3
piroclastiti sciolte a porosità medio-alta	2.8	1.7
rioliti	4.5	1.7

RESISTIVITA' e TEMPERATURA

$$\rho_T = \frac{\rho_{18}}{1 + \alpha(T - 18)}$$

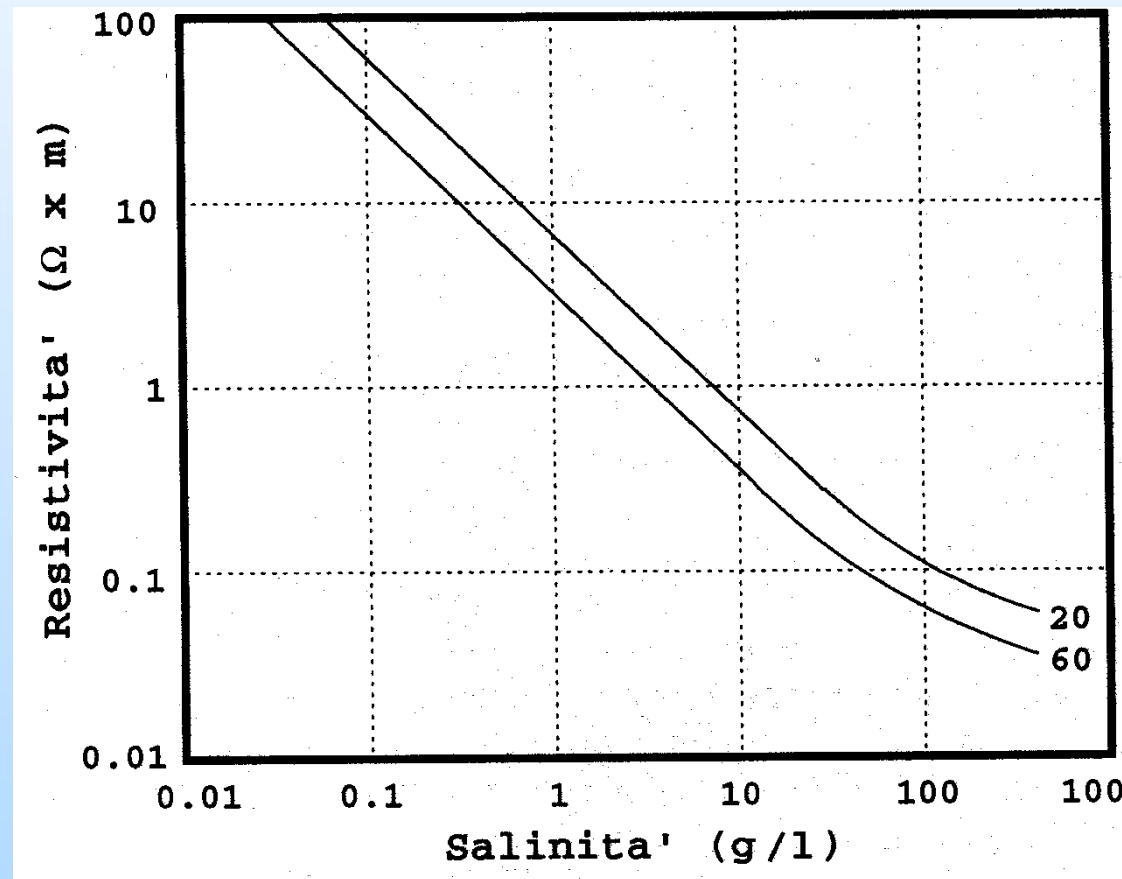
Dove α = coefficiente di temperatura per resistività elettroliti

(in media = 0.025/°C)

RESISTIVITA' e SALINITA'

Salinita' equivalente= salinita' soluzione

NaCl con resistivita' identica a soluzione in esame



RESISTIVITA' e PERMEABILITA'

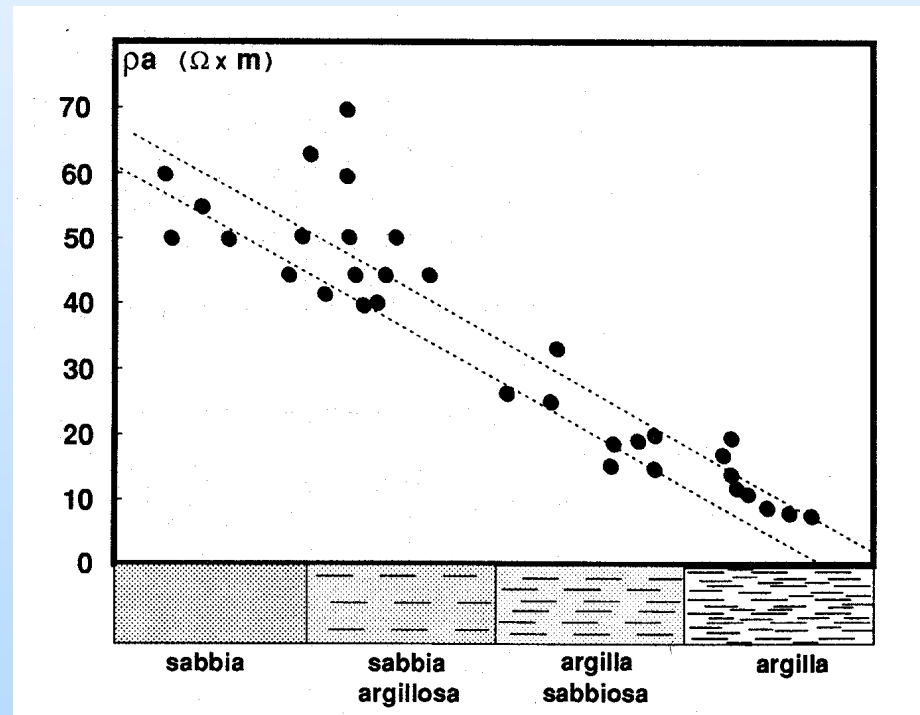
Se K compresa tra $5 \cdot 10^{-4}$ e $1 \cdot 10^{-2}$ m/sec

$$K = 3.86 \cdot 10^{-1.3} \cdot \rho_a^{3.86}$$

$$v = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x}$$

$$[v] = m/s; [k] = m^2;$$

$$[\mu] = Pa \cdot s; [\Delta P] = Pa$$



Conduttanza longitudinale (S) e Resistenza Trasversale (T)

Se corrente normale a stratificazione, resistenza I-esimo strato e'

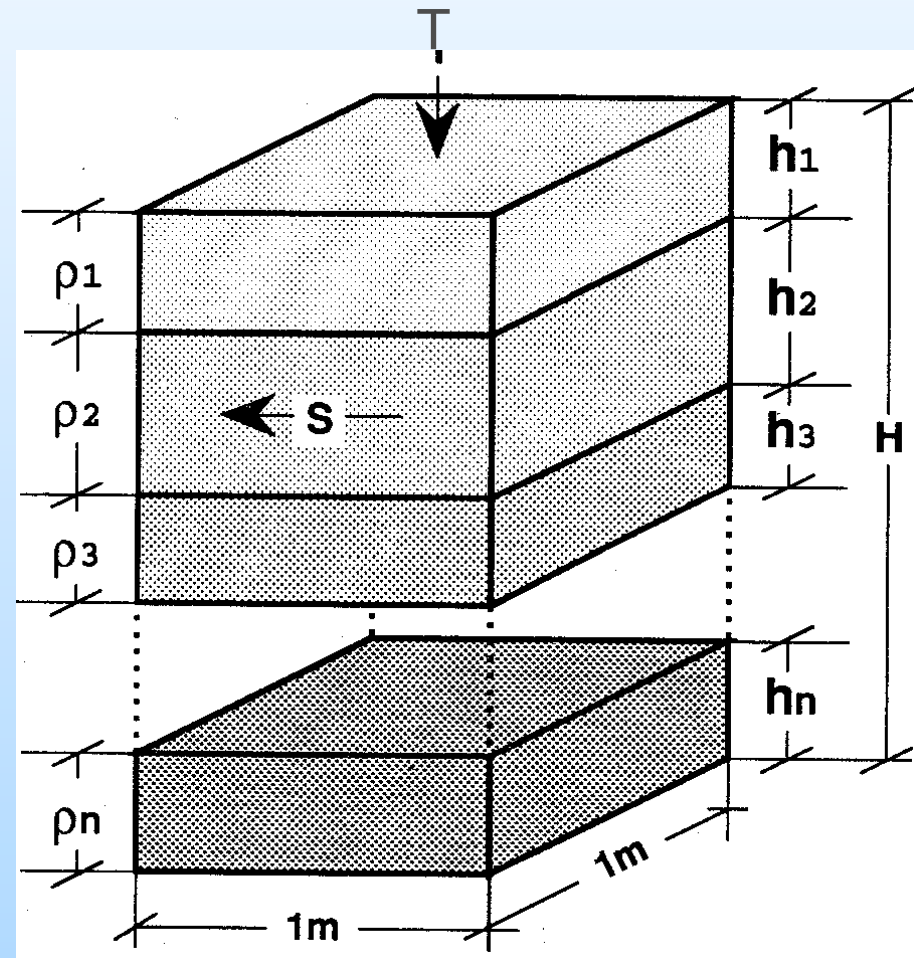
$$R_i = \rho_i h_i / A$$

Se $A=1$

$$R_i = \rho_i h_i =$$

Resistenza trasversale

$$\text{Unitaria} = T_i$$



Conduttanza longitudinale (S) e Resistenza Trasversale (T)

Resistenza trasversale totale (T) sara'

$$T = \sum_{i=1}^n \rho_i h_i$$

Se flusso corrente parallelo a stratificazione, si avra'

$$R_i^1 = \rho_i \frac{1}{h_i \cdot 1} = \frac{\rho_i}{h_i}$$

Conduttanza longitudinale (S) e Resistenza Trasversale (T)

Si considera il reciproco della resistenza longitudinale unitaria (S_i) definito come **conduttanza longitudinale unitaria**

$$\frac{1}{R_i^1} = \frac{h_i}{\rho_i} = S_i$$

La conduttanza longitudinale totale sara'

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\rho_i}$$

Resistività media trasversale ($\rho_{\perp}$) e
Resistività media longitudinale (ρ_{II})

$$\rho_{\perp} = \frac{T}{H}$$

$$\rho_{II} = \frac{H}{S}$$

Dipendenza resistività da direzione flusso corrente =
anisotropia elettrica

Resistività media trasversale ($\rho_{\perp}$),
Resistività media longitudinale (ρ_{II}) e
coefficiente di anisotropia

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_{\perp}}{\rho_{II}}} = \sqrt{\frac{ST}{H^2}}$$

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{\perp} \cdot \rho_{II}}$$

$$\begin{cases} \rho_{\perp} = \lambda \rho_m \\ \rho_{II} = \frac{\rho_m}{\lambda} \end{cases}$$

Caratteristiche elettriche di mezzo stratificato

1. In mezzo a stratificazione piana-parallela strati di differente spessore e resistività sono elettricamente equivalenti se hanno uguale conduttanza o resistenza trasversale (a seconda di direzione flusso corrente)
2. N elettrostrati possono essere sostituiti con singolo strato fittizio caratterizzato da valore di S e T uguale a quello di sequenza considerata. Perché ciò avvenga dovrà avere resistività ρ_m e spessore fittizio λH .

$$T = \rho_{\perp} H = H \lambda \rho_m = H_f \rho_m$$

$$S = \frac{H}{\rho_{II}} = \frac{H \lambda}{\rho_m} = \frac{H_f}{\rho_m}$$