

L'impiego della spettroscopia ad impedenza per lo studio del contenuto idrico e di ghiaccio nei suoli: messa a punto di una strumentazione prototipale e di una metodologia d'acquisizione

VISITOR
PARKING
←



Tesista:
Giulia Ricciardi

Relatore:
Prof. Fabio Mantovani

Correlatore:
Prof. Marco Bittelli

DECAGON
DEVICES 

ANNO ACCADEMICO: 2007/2008

Summary

- Il contenuto di ghiaccio nei suoli: implicazioni geotecniche e climatiche su scala globale
- Concetti fisici di base: la permittività dielettrica e la spettroscopia ad impedenza
- Strumentazione utilizzata: lo spettrometro ad impedenza, la camera termica, la termocoppia
- Preparazione dei campioni ed esecuzione delle misure
- Risultati delle misure
- Il Dielectric Mixing Model: verso una stima del C_w (contenuto idrico) e C_{ice} (contenuto di ghiaccio)
- Conclusioni e prospettive

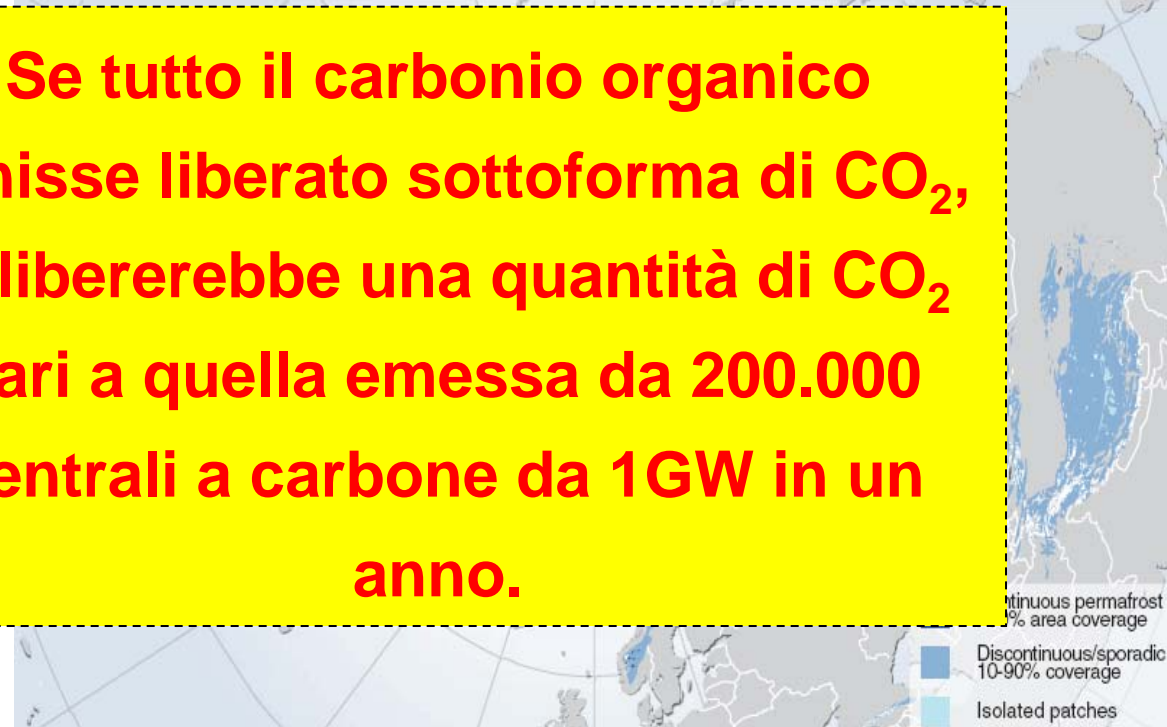
Il contenuto di ghiaccio nei suoli: il permafrost

- Il **24% delle terre emerse** nell'emisfero settentrionale sono coperte da permafrost.
- Lo scioglimento del permafrost, che contiene circa 900 gigatonnellate di carbonio organico, libererebbe metano e biossido di carbonio con **effetti climatici dirompenti** su scala globale



Effects of thermokarst on a railway track.
Photo: US Geological Survey

Se tutto il carbonio organico venisse liberato sottoforma di CO₂, si libererebbe una quantità di CO₂ pari a quella emessa da 200.000 centrali a carbone da 1GW in un anno.

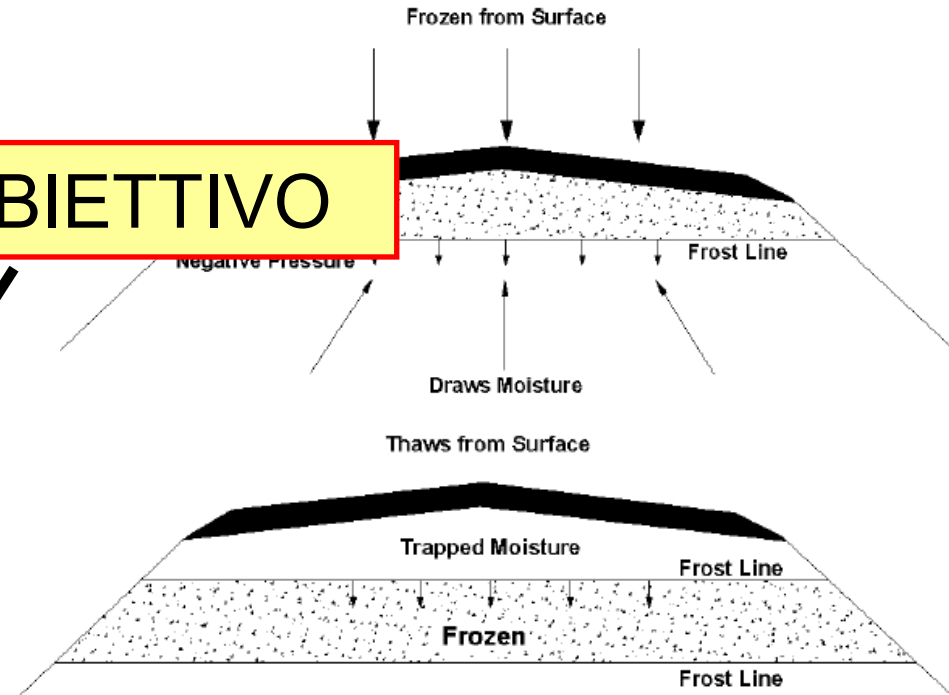


Effetti dello scioglimento del suolo ghiacciato: instabilità delle strutture stradali

- Stabilità stradale minacciata dal disgelo.
- I sensori termici posizionati nelle strade **NON** sono sufficienti per capire il C_{ice} .

OBIETTIVO

- Necessità di una nuova strumentazione per misurare **DIRETTAMENTE** C_{ice}
→ **DECAGON** → **BUSINESS**



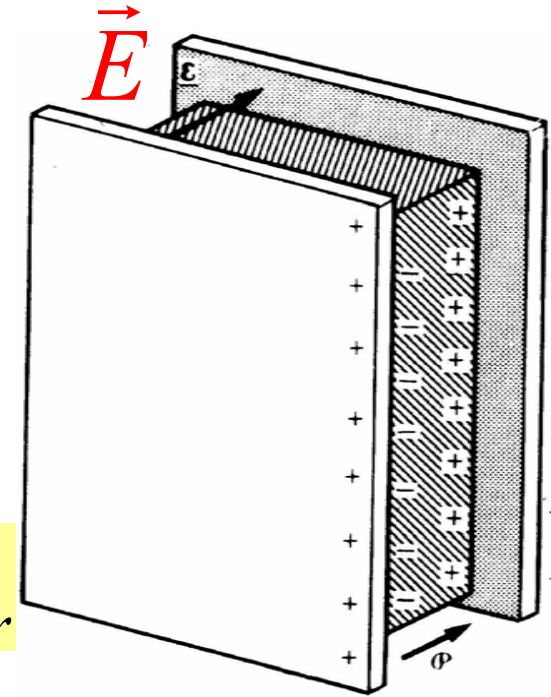
Il campo elettrico statico nella materia

Se la materia è attraversata da un campo elettrico \vec{E} , il vettore di spostamento elettrico:

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

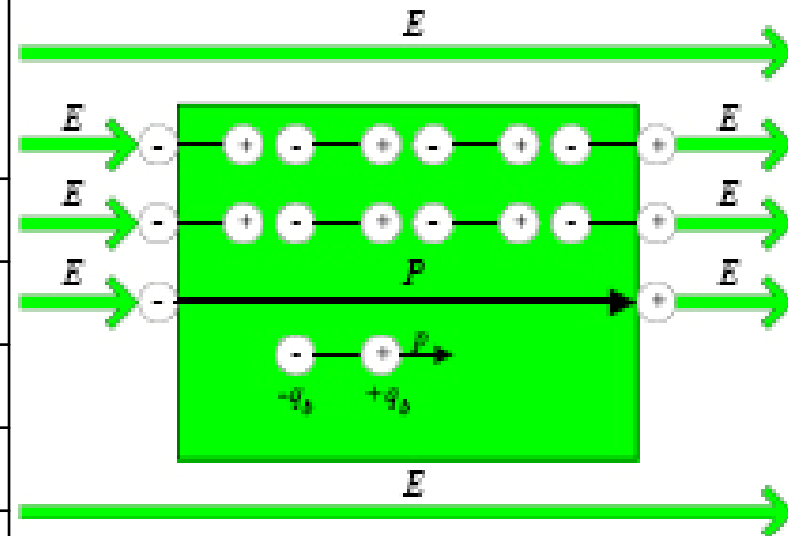
$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$$

dipende dal materiale $8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$.



Se controllo \vec{E} e misuro \vec{D} , posso dedurre ϵ_r

MEZZO	COSTANTE DIELETTICA RELATIVA
Vuoto ~ Aria	1
Sabbia silicea	2.5 - 3.5 [1]
Suolo	2 - 7
Ghiaccio ($\nu > 10\text{kHz}$)	3.2 [2]
Acqua ($\nu < 10\text{GHz}$)	80



[2]Physics of ice, [1]Von Hippel

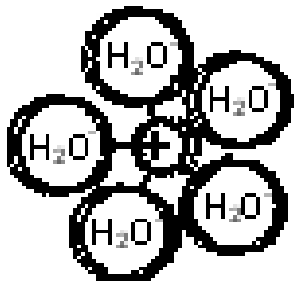
Processi di polarizzazione

Il comportamento dielettrico della materia dipende dalle strutture molecolari che la compongono:

$$\bar{D} = \varepsilon_0 \bar{E} + \bar{P}$$

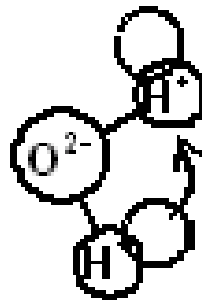
con \bar{P} vettore di polarizzazione

Ion-Dipole

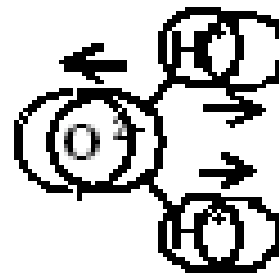


Processo di riconfigurazione molecolare

Orientation

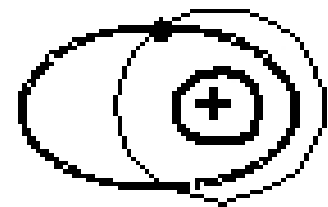


Processo di orientazione di dipolo



Atomic

Dislocazione delle strutture atomiche



Electronic

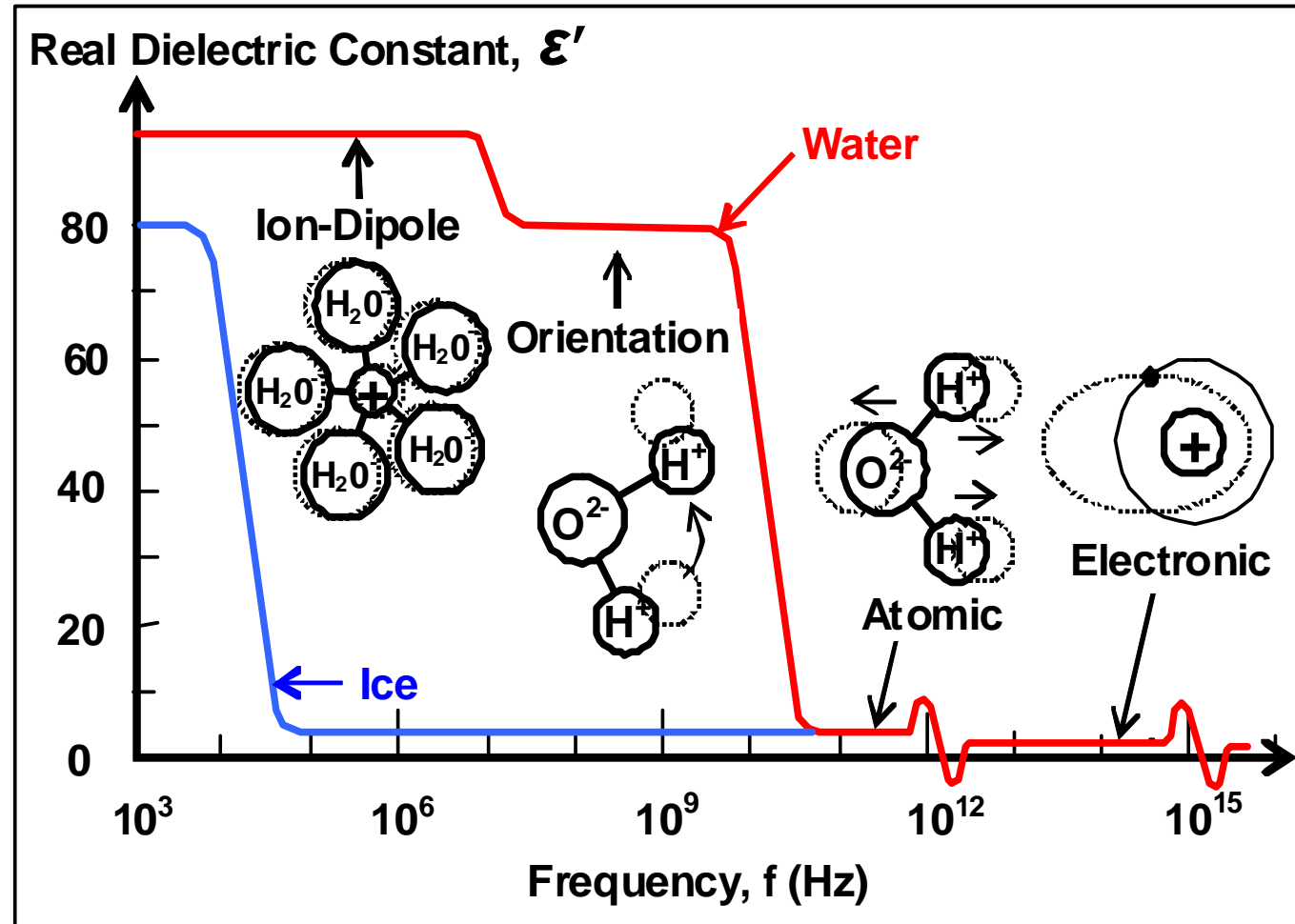
Dislocazione degli orbitali elettronici

Campo elettrico variabile nel tempo

Negli esperimenti di spettroscopia ad impedenza il campo elettrico esterno \bar{E} dipende dal tempo:

$$\bar{E}(\nu, x)$$

La permittività dielettrica varia in funzione della **frequenza**:
spettroscopia ad impedenza.
Quest'approccio permette di distinguere i diversi meccanismi di **polarizzazione**.



La permittività complessa

In presenza di campi elettrici variabili nel tempo la permittività è una funzione complessa:

$$\epsilon_R = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + \omega^2 \tau^2}$$

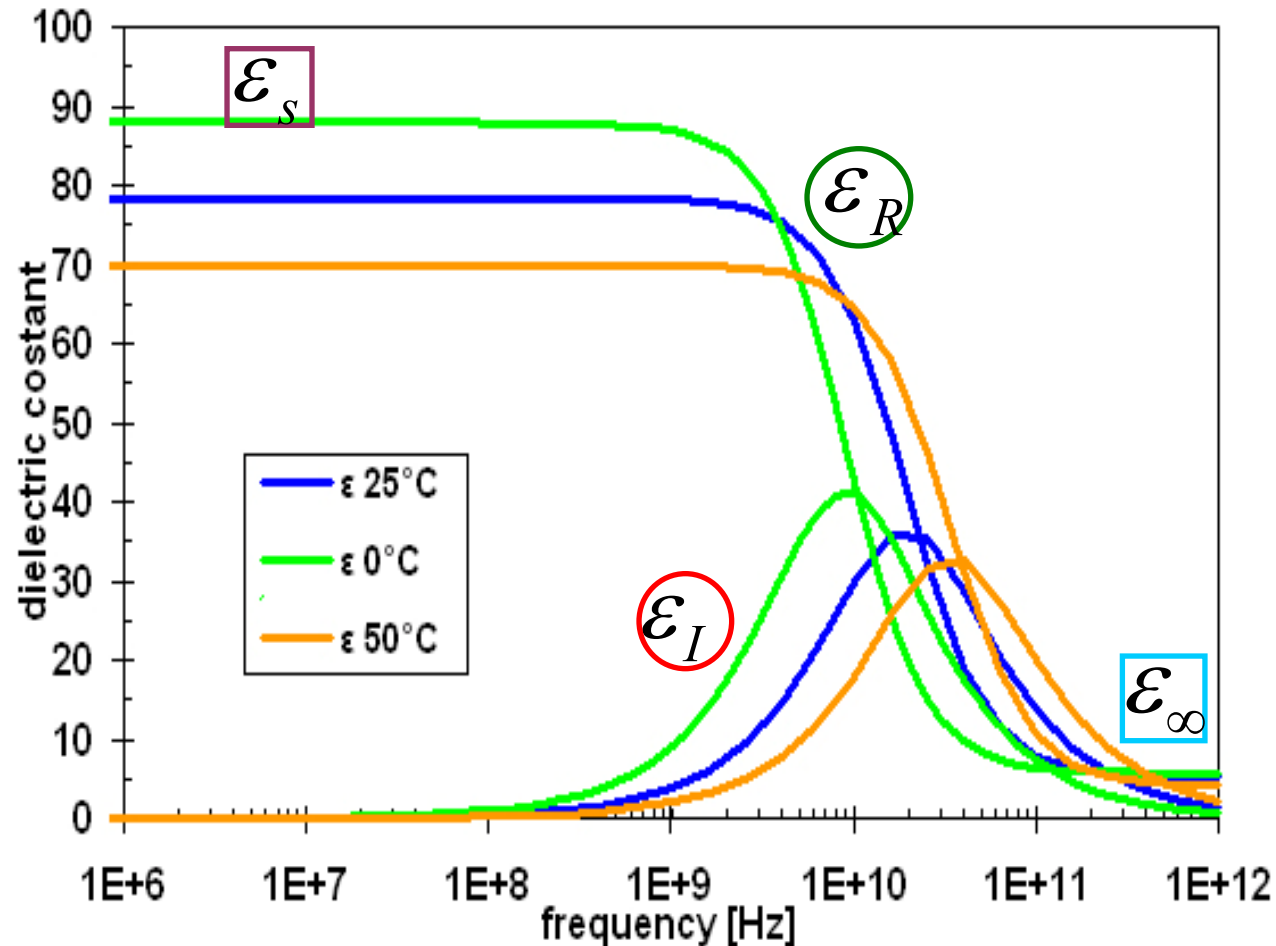
$$\epsilon_I = \frac{\omega \tau (\epsilon_s - \epsilon_\infty)}{1 + \omega^2 \tau^2}$$

ϵ_s = perm. diel. a basse frequenze

ϵ_∞ = perm. diel ad alte frequenze

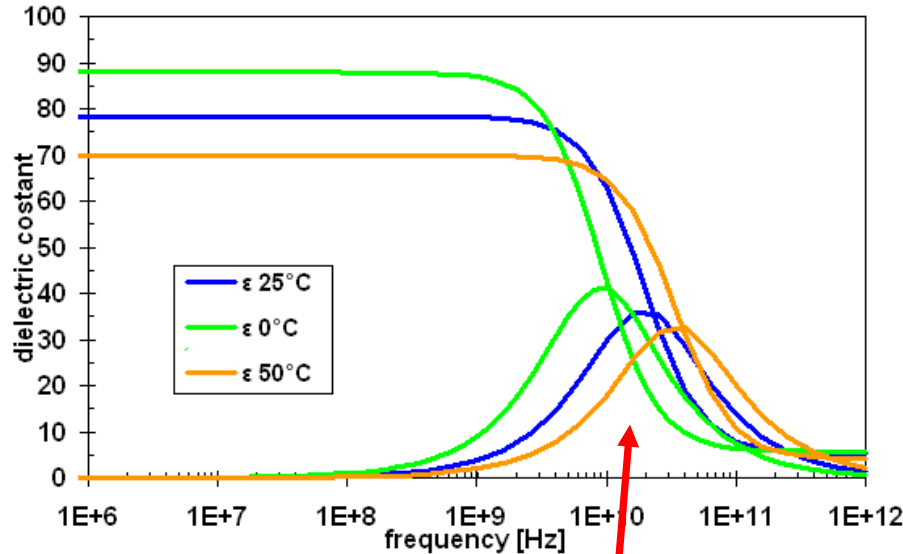
Misuro ϵ_R e ϵ_I ed ottengo ϵ_s e ϵ_∞ .

$$\epsilon^* = \epsilon_R - i\epsilon_I$$



L'equazione di Debye

Un modello fisico semplificato è stato elaborato da Debye:



τ_D Tempo di rilassamento

k_B Costante di Boltzmann

η Viscosità

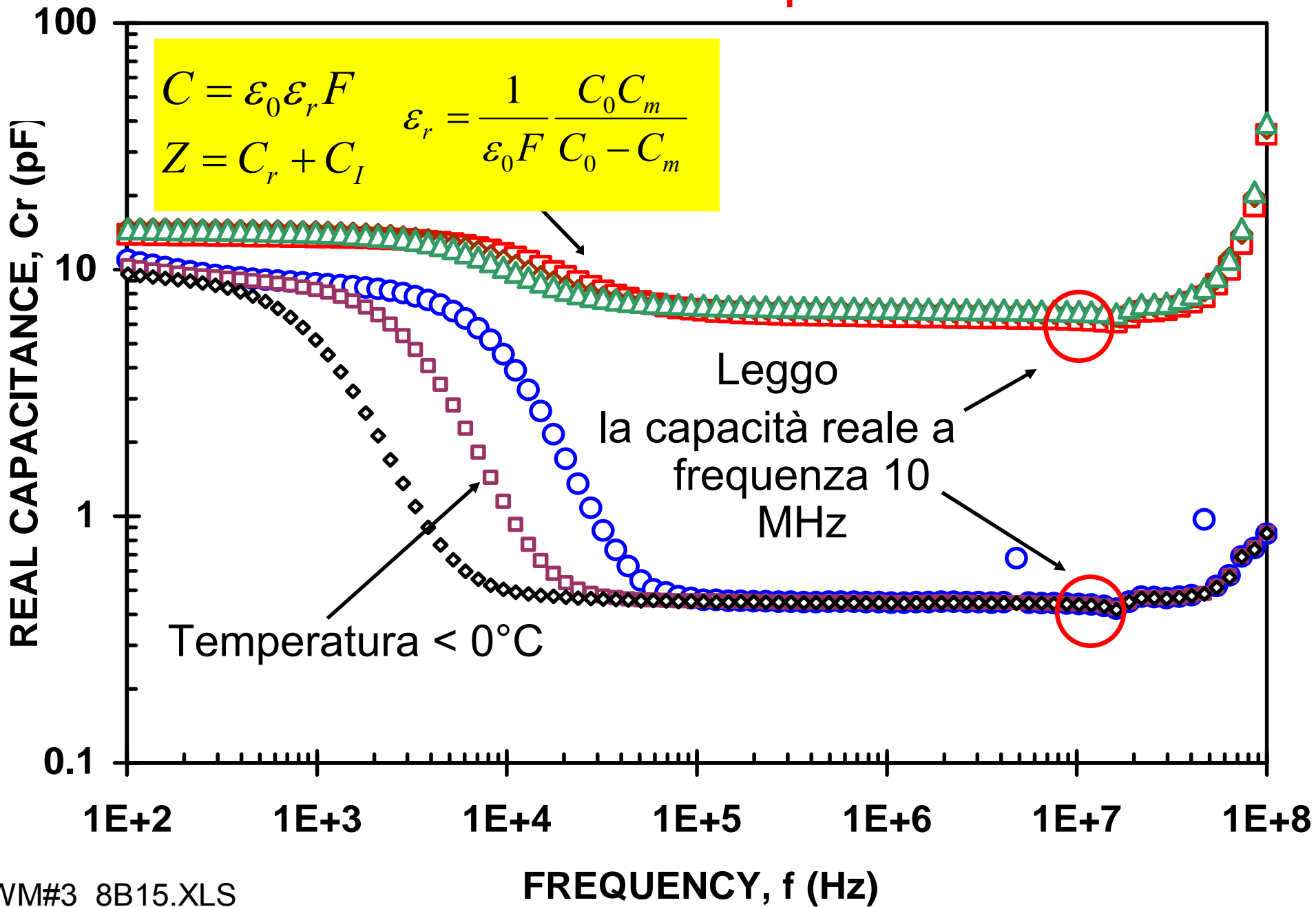
T Temperatura

V Volume della molecola

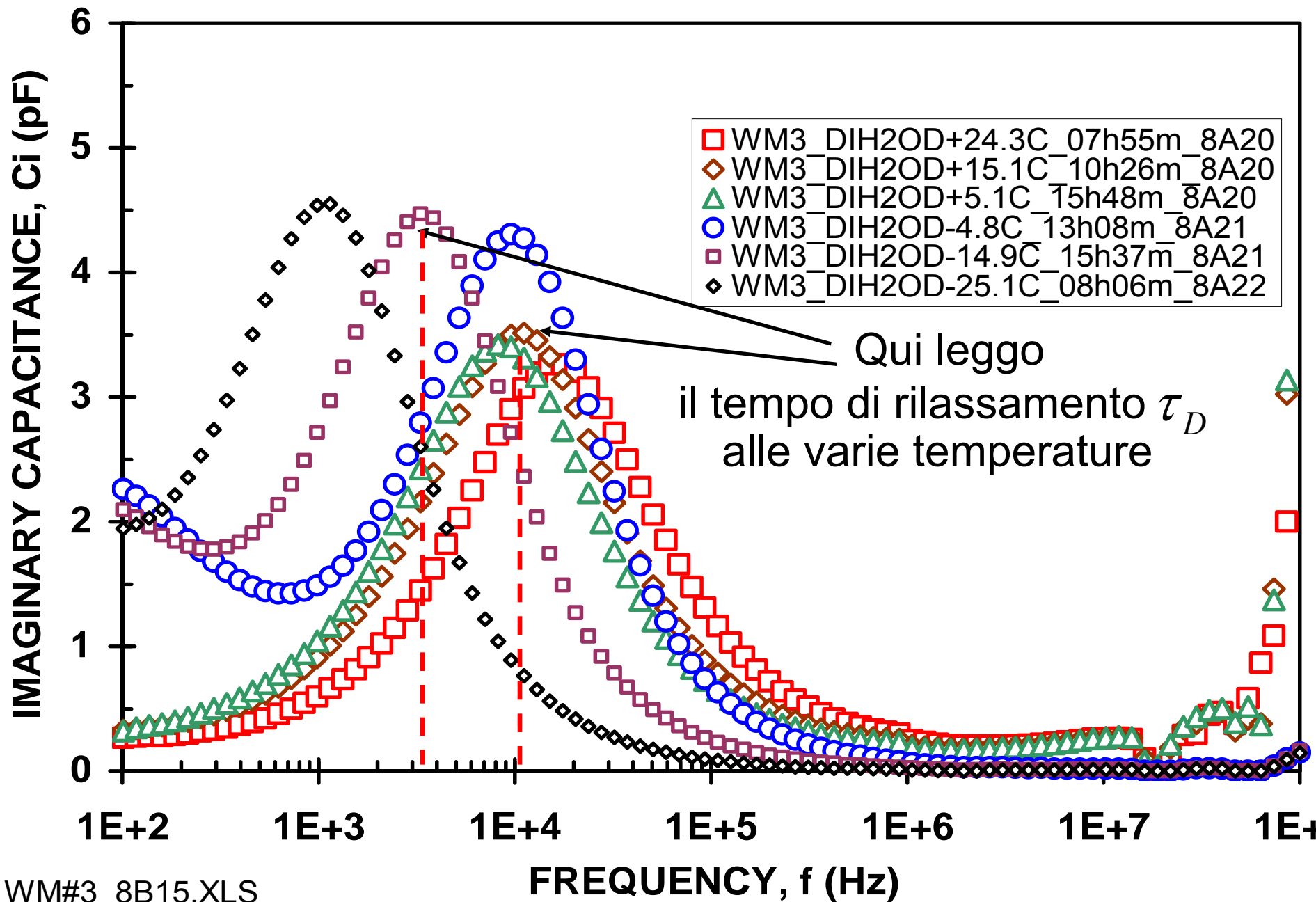
$$\tau_D = V \frac{3\eta}{k_B T}$$

Nelle ipotesi del modello di Debye, dal tempo di rilassamento possiamo ricavare informazioni circa la temperatura e la viscosità del materiale.

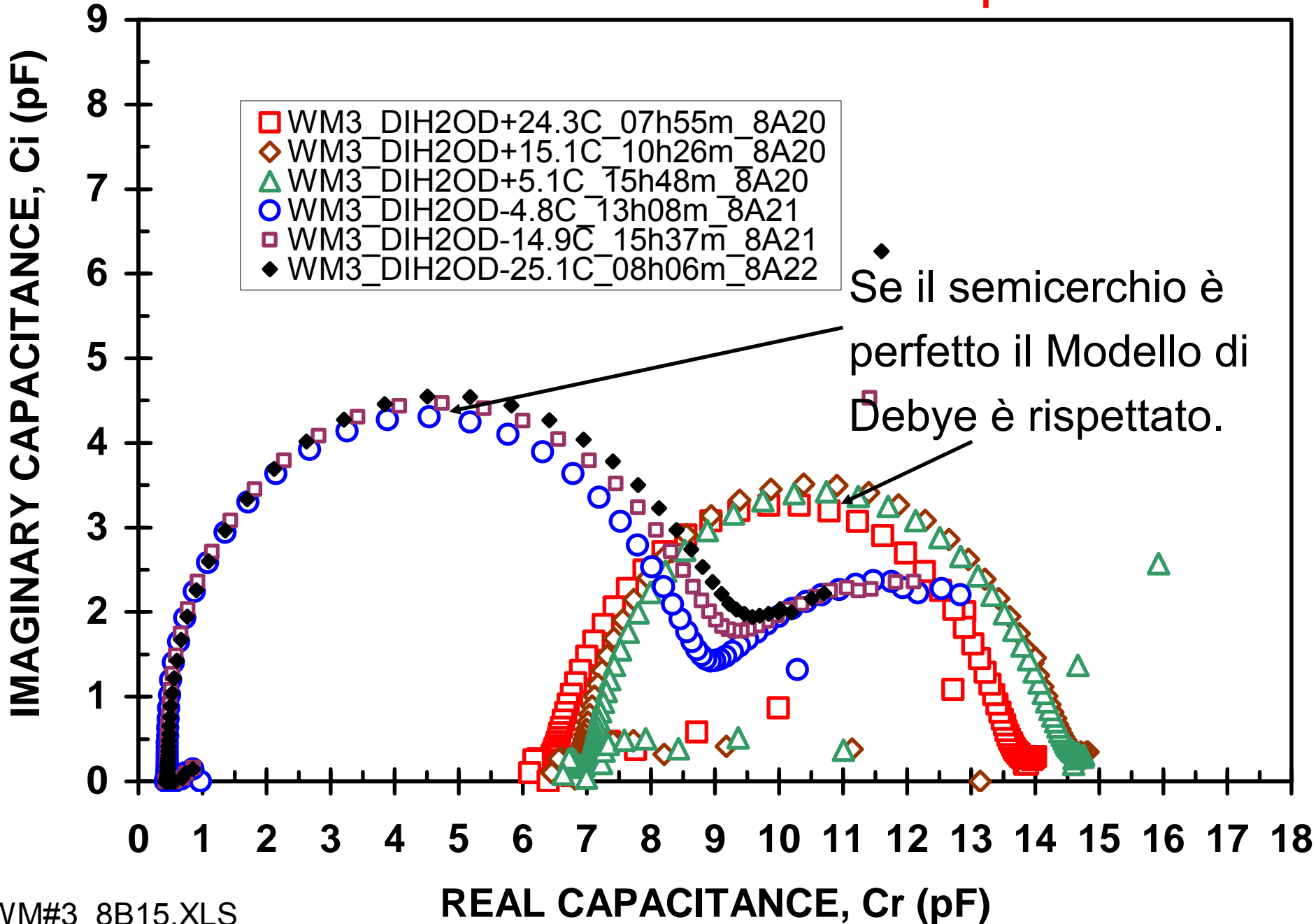
Cosa misuriamo? Capacità reale



Cosa misuriamo? Capacità immaginaria

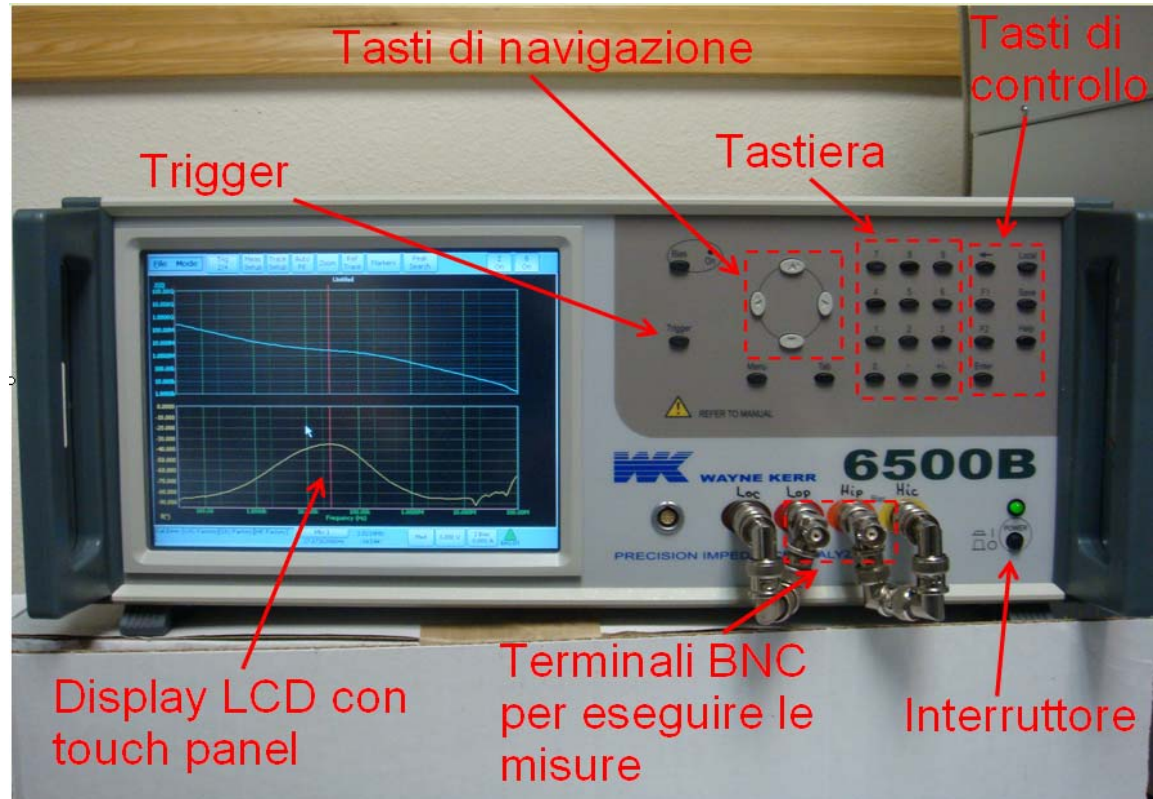


Cosa misuriamo? Cole-Cole plot



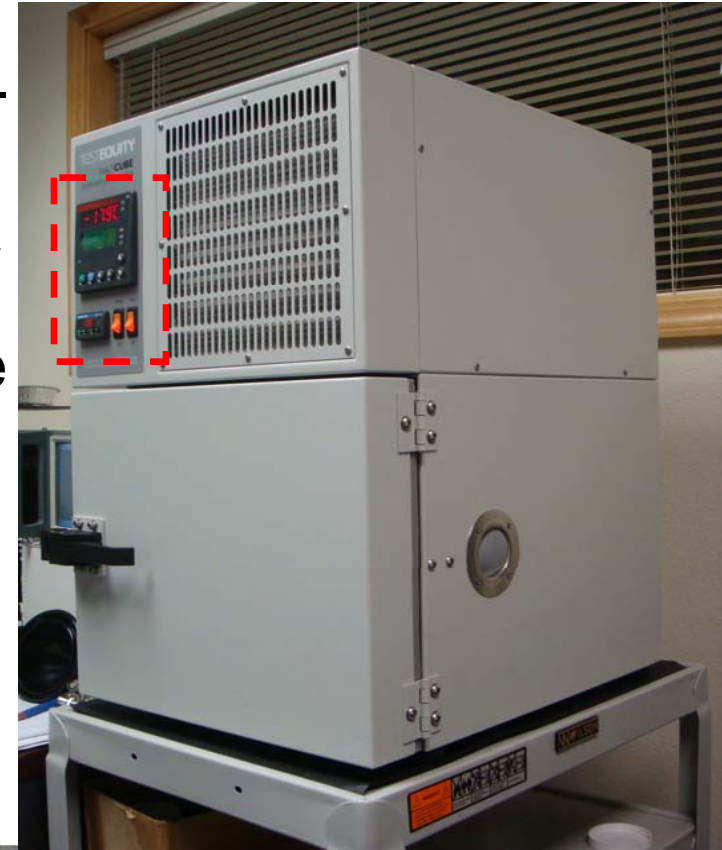
Spettrometro ad impedenza: Wayne Kerr

- Misure in range di frequenza 20 Hz a 120 MHz
- Analysis Mode
- Ogni misura 100 data points
- Parametri misurati:
Angolo di fase θ ,
Impedenza Z .
- Parametri derivati:
 - capacità reale C_r ,
 - capacità immaginaria C_i ,
 - tempo di rilassamento τ .



Camera termica & termocoppia

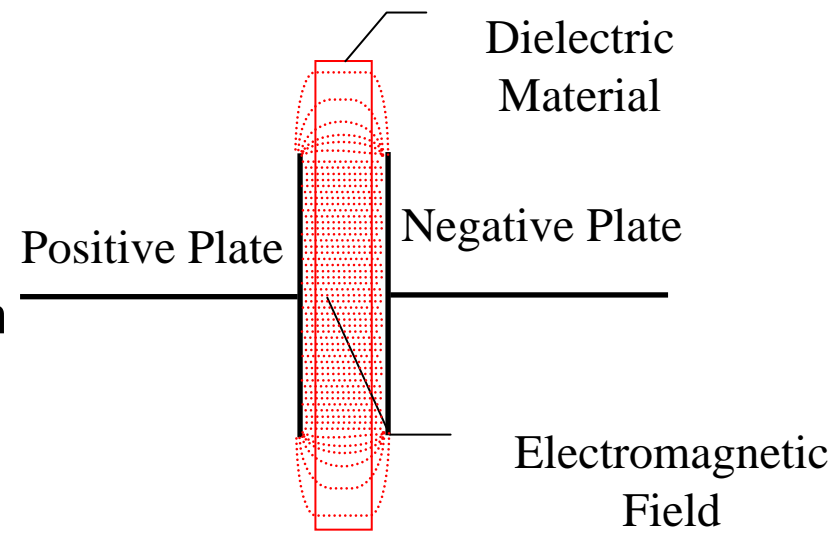
- Misure eseguite a $\sim 25^{\circ}\text{C}$, 15°C , 5°C , -5°C , -15°C , -25°C .
- Range di temperature camera termica $+140^{\circ}\text{C}$ -40°C .
- **Termocoppia** installata nel contenitore del campione.
- Gap temperatura **camera termica**-lettura termocoppia = $\sim 3^{\circ}\text{C}$.



Sonda

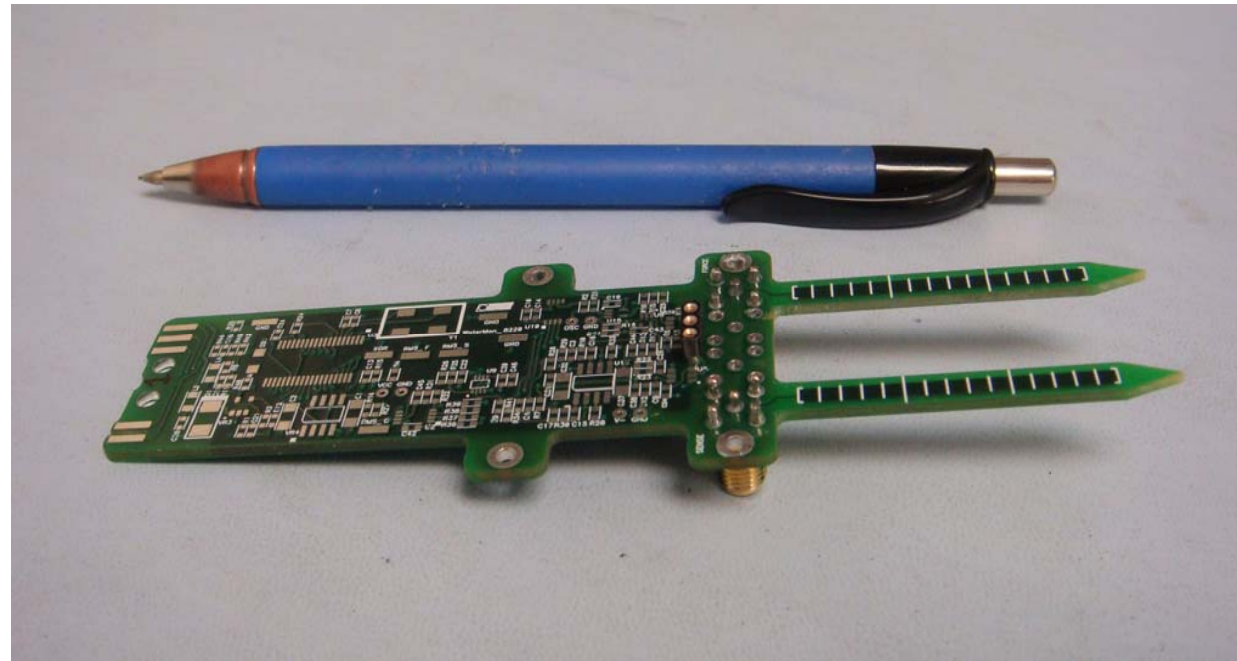
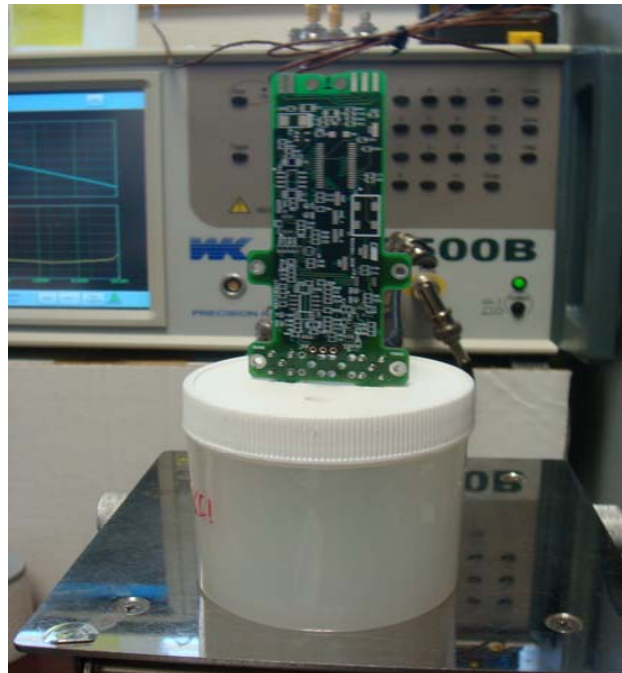
La sonda funziona come un condensatore

- I due denti del probe sono le piastre di un condensatore
- Il mezzo che lo circonda è il materiale dielettrico
- Un campo elettromagnetico (EM) è prodotto tra le piastre positiva e negativa



Condensatore

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r F$$



Preparazione campioni

- Peso della sabbia e volume del contenitore campioni
- Misura della porosità delle sabbie
- Distribuzione omogenea contenuto idrico
- Utilizzo dello stesso quantitativo di sabbia per la preparazione dei campioni

Tipo di sabbia silicea	Granulometria	Porosità
SSF30	↓ + ↓ -	0.40
SSF50		0.38
SSF70		0.37



Misure eseguite

- 17 set di misura che comprendono **104 misure**.
- Per ogni tipo di sabbia silicea SSF30, SSF50, SSF70.
- Per ogni campione di acqua o soluzione acquosa
- Solo sabbia silicea SSF70

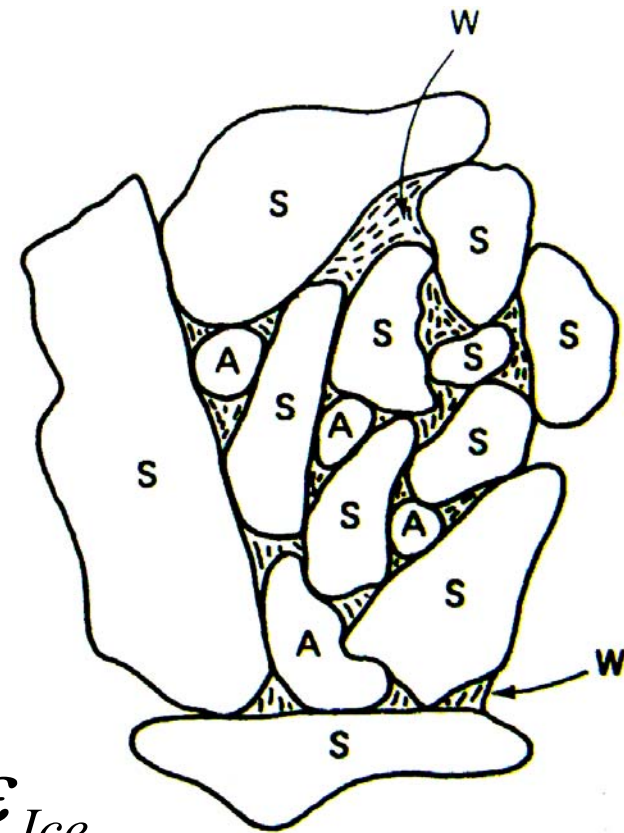
Sabbia	C _w (5%, 10%, 15%)	Temperatura [°C]
SSF30	Fissato	25
		15
		5
		-5
		-15
		-25

Sabbia	Temperatura [°C]	Cicli di seccamento [minuti]
SSF70	Fissato	1
		2
		5
		10
		20
	60

Mezzo	Concentrazione KCl (0, 1, 10 mM)	Temperatura [°C]
Acqua filtrata e distillata	Fissato	25
		15
		5
		-5
		-15
		-25

Dielectric mixing model

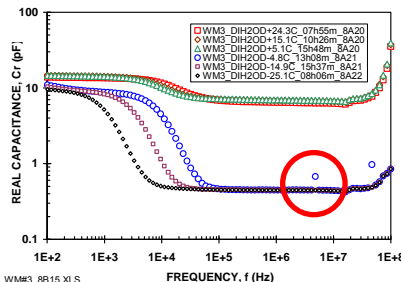
- In un mezzo eterogeneo:
 - La permittività di un composto dipende dalle frazioni volumetriche delle componenti e dalle loro permittività pure
 - Il cambiamento di volume di un costituente cambia la permittività totale



$$\epsilon_{mis} = f_m \epsilon_m + f_A \epsilon_A + f_W \epsilon_W + f_{Ice} \epsilon_{Ice}$$

misurate

incognita



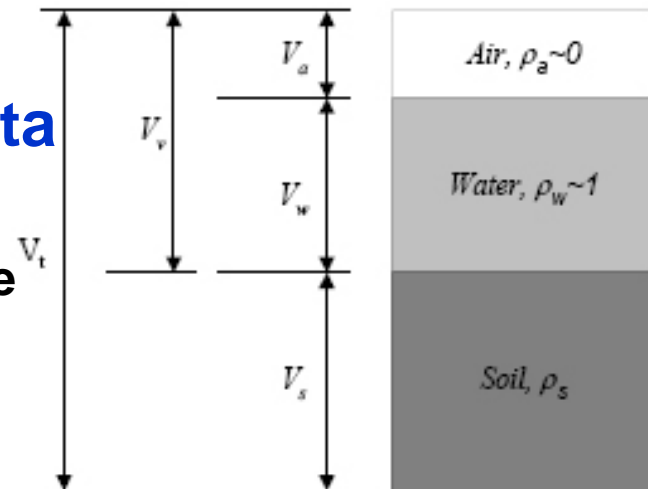
f = frazione della componente ^{V_t}

m = matrice

A = aria

W = acqua

Ice = ghiaccio



Calcolo della costante dielettrica della matrice sabbiosa

Calcolo della costante dielettrica delle sabbie silicee con 0% contenuto idrico.

$$\varepsilon_{mis} = f_A \varepsilon_A + f_m \varepsilon_m$$

Diagramma di annotazione: "misurato" (in rosso) ha quattro frecce che puntano a ε_{mis} , f_A , ε_A e f_m . "incognita" (in blu) ha una freccia che punta a ε_m .

Sostituiamo ad ε_r il valore misurato, le frazioni f_A e f_m risolviamo in funzione di ε_m .

Tipo di sabbia	Costante dielettrica della matrice sabbiosa ε_m ($\nu = 10$ MHz)
SSF30	3.30
SSF50	3.25
SSF70	2.90

2.5-3.5 permittività dielettrica delle sabbie silicee da bibliografia.

Dielectric mixing model con il parametro empirico α

Materiali non omogenei (campioni di sabbia) → parametro α che corregge l'equazione:

se $\alpha = 1$ sistema perfettamente omogeneo

se $\alpha \neq 1$ sistema è disomogeneo,

per la maggior parte dei suoli $\alpha = 0.5$

$$\varepsilon_{mis}^{\alpha} = f_m \varepsilon_m^{\alpha} + f_A \varepsilon_A^{\alpha} + f_W \varepsilon_W^{\alpha}$$

$$\varepsilon_{mis}^{\alpha} = (1 - \phi) \varepsilon_m^{\alpha} + a \varepsilon_A^{\alpha} + \theta_V \varepsilon_W^{\alpha}$$

Tutti i parametri sono noti: da questa seconda fase di esperimenti possiamo stimare il parametro empirico α .

Studio del parametro α

Dal confronto della permittività dielettrica misurata e quella calcolata possiamo porre dei vincoli al parametro α

$\Delta\%$ esprime la differenza percentuale tra il valore misurato e quello calcolato della permittività dielettrica.

$$\Delta\% = \left(\frac{\epsilon_{calc} - \epsilon_{mis}}{\epsilon_{calc}} \right) * 100$$

- $\epsilon_{calc} > \epsilon_{mis}$: errore sistematico nella stima di ϵ_{calc} dovuto ad α
- $\Delta\% <$ per campione con porosità minore (SSF70).
- $\Delta\% >$ con contenuto idrico maggiore
- No trend con variazione temperatura

		SSF30		
Water content	T [°C]	ϵ mis.	ϵ calc.	$\Delta\%$
5%	25	2.02	2.16	6.3
	15	2.09	2.19	4.7
	5	2.11	2.21	4.7
10%	25	2.35	2.84	17.2
	15	2.51	2.92	13.9
	5	2.55	2.95	13.5
15%	25	3.20	3.52	9.1
	15	3.16	3.64	13.2
	5	3.13	3.69	15.1

Calcolo delle frazioni volumetriche di ghiaccio

Valutazione dell'efficacia della spettroscopia ad impedenza per la misura del contenuto di ghiaccio dei suoli.

$$\varepsilon_{mis}^{\alpha} = \underbrace{\varepsilon_m (1 - \phi)^{\alpha}}_A + \underbrace{(\phi - f_{Water})}_B + \underbrace{(f_{Water} - f_{Ice})}_{C} \varepsilon_w^{\alpha} + f_{Ice} \varepsilon_{Ice}^{\alpha}$$

Assunzione:

il modello non tiene conto dell'espansione volumetrica dell'acqua durante la formazione del ghiaccio, (~8%).

- Sostituendo i termini noti:

$$\varepsilon_{mis}^{\alpha} = A + B + C - 6.94 f_{Ice}$$

$$f_{Ice} = \frac{\varepsilon_{mis}^{\alpha} - (A + B + C)}{-6.94} = \text{frazione di ghiaccio}$$

Calcolo delle frazioni volumetriche di ghiaccio

T = - 25° C

Tipo di sabbia	Contenuto idrico	$\epsilon^{\alpha}_{\text{mis.}}$	f_{Ice}	f_W	$f_{\text{Ice}}/f_{\text{water}}$ (%)
SSF30	5%	1.58	0.083	0.086	96
	10%	1.67	0.168	0.173	97
	15%	3.69	0.230	0.261	88
SSF50	5%	1.6	0.077	0.082	93
	10%	1.7	0.157	0.167	94
	15%	1.9	0.225	0.252	89
SSF70	5%	1.56	0.071	0.078	90
	10%	1.67	0.148	0.162	91
	15%	1.78	0.227	0.246	92

Più dell'88% dell'acqua presente in tutti i campioni risulta essere ghiacciata.

Porosità è un fattore determinante per comprendere i fenomeni di ghiacciamento.

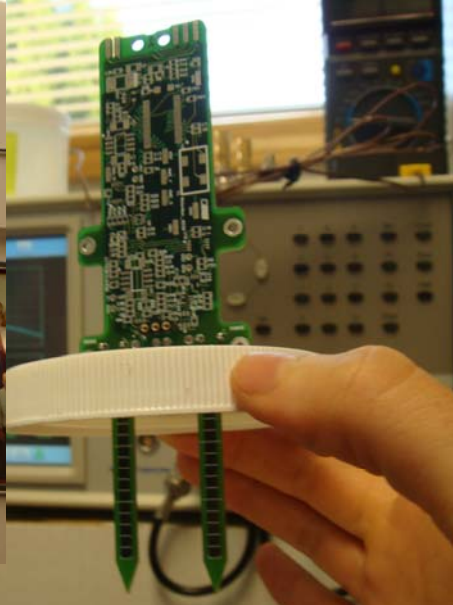
Da queste misure sulle sabbie, la spettroscopia ad impedenza risulta essere un approccio corretto per misurare il contenuto di ghiaccio: l'obiettivo è stato raggiunto!!!

Conclusioni e prospettive

- E' stata messa a punto una metodologia di misura sequenziale che permette di **controllare** i principali parametri fisici (porosità, T, C_w , massa...) e di rendere **ripetibili** le misure
- Sono stati riconosciuti nel range di frequenza considerato i principali **meccanismi di polarizzazione** (ion-dipole, orientation polarization)
- È studiato il **parametro empirico α** per il D.M.M. disomogeneo
- È stata misurata la **costante dielettrica** dei diverse matrici sabbiose ϵ_m e sono stati confrontati i risultati con il D.M.M.

La spettroscopia ad impedenza è risultata essere un metodo efficace per la determinazione delle frazioni volumetriche di **acqua** e **ghiaccio** presenti nei campioni di suolo analizzati

Prospettive: calibrazione del parametro α , perfezionamento del D.M.M., miglior controllo della porosità, miglior comprensione di fenomeni di polarizzazione, esperimenti su nuovi campioni...



to Outer Space

Introduction

In support of the Mars Science Laboratory (MSL) Project for the Mars Phoenix 2007 Scout Mission, we (Decagon Devices) have developed an instrument to measure physical properties of the Martian regolith in situ. This probe, the Thermal and Electrical Conductivity Probe (TECP), will measure regolith thermal and electrical properties, an important geologic and atmospheric, water vapor.

Specific Properties to be Measured:

- Regolith Thermal Properties
 - Temperature
 - Thermal Conductivity
 - Thermal Expansion Coefficient
 - Thermal Diffusivity
- Regolith Electrical Properties
 - Electrical Conductivity
 - Electrical Resistivity
 - Dielectric Constant
 - Dielectric Loss

Mounting and Deployment

The TECP is a small, rugged, and reliable instrument. The probe will be used to measure the thermal and electrical properties of the regolith in situ. The probe is designed to be used in a variety of regolith types and will be able to measure the thermal and electrical properties of the regolith in situ. The probe is designed to be used in a variety of regolith types and will be able to measure the thermal and electrical properties of the regolith in situ.



Grazie per l'attenzione!!!



Meccanismi di polarizzazione

