

41. L. PALLA e F. LORETI. — **Misure di resistività e misure elettriche su di un campione di terreno.**

Riassunto. — Vengono descritte delle esperienze di laboratorio eseguite per determinare misure di resistività e di pH su di un campione di terreno in funzione della percentuale d'acqua contenuta nel terreno stesso.

Queste esperienze hanno messo in luce il fatto che le condizioni elettrochimiche del terreno variano da uno stato elettropositivo ad uno elettronegativo, a seconda della percentuale di acqua.

Riteniamo che questo fenomeno debba esser tenuto presente ai fini della protezione delle condotte metalliche interrate.

Résumé. — On décrit des expériences de laboratoire effectuées sur un échantillon de terrain dans le but de déterminer les mesures de résistivité et de pH par rapport au pourcentage d'eau contenue dans le terrain lui-même.

Ces expériences ont mis en évidence le fait que les conditions électrochimiques du terrain passent d'un état électropositif à un état électro-négatif selon le pourcentage d'eau.

Les auteurs pensent que ce phénomène soit à tenir présent dans le domaine de la protection des conduites métalliques enterrées.

Summary. — Laboratory experiments on the determination of the resistivity and pH of a soil sample as a function of its percentage water content, are described. The experiments showed that the electrochemical nature of the soil varied from an electropositive to an electro-negative state depending on the water content. It is considered that this phenomenon must be born in mind when considering the protection of buried metallic conductors.

Zusammenfassung. — Es werden Laboratoriumversuche geschildert die zur Messung der Resistivität und des pH eines Terrainmusters im Zusammenhang mit dem Wassergehalt des untersuchten Terrains durchgeführt wurden.

Diese Versuche haben erwiesen, dass die elektrochemischen Bedingungen, je nach dem Wassergehalt, vom einem elektropositiven auf einen elektronegativen Zustand übergehen können.

Die Verfasser sind der Ansicht, dass diese Erscheinung beim Schutz der in der Erde eingegrabenen Leitungen in Betracht genommen werden muss.

PREMESSA.

Le misure sono state eseguite su di un campione di terreno di natura calcarea e di origine alluvionale, prelevato nella Sicilia sud-orientale. Il fatto che le nostre esperienze siano state eseguite in laboratorio e non *in sito*, può dar luogo a qualche differenza nei risultati, dovuta a varie cause, tra cui, per esempio:

— diverso stato delle materie organiche contenute nel campione, rispetto alle condizioni naturali delle stesse;

— diverse condizioni di compattezza.

Non ci è stato possibile eliminare il primo inconveniente; quanto al secondo abbiamo cercato con la massima cura di raggiungere le condizioni sperimentali più vicine a quelle del terreno naturale.

Purtroppo, non è stata eseguita l'analisi chimica del terreno, la quale ci avrebbe permesso di dare un carattere più esteso ai risultati sperimentali.

TRATTAMENTO PRELIMINARE DEL TERRENO.

Il campione è stato anzitutto accuratamente essiccato sotto vuoto per circa sei ore, ad una temperatura costante di 120°C ; il vuoto è stato praticato mediante una pompa Leybold e con l'interposizione di una trappola a potassa caustica per trattenere l'umidità.

Il materiale essiccato è stato macinato entro un mortaio di pyrex e progressivamente vagliato in corrente d'aria, essiccata entro una trappola di potassa caustica ed immessa a velocità costante.

Si è potuto così lavorare con granelli di terra finissimi di dimensioni pressoché costanti.

MISURA DELLA RESISTIVITÀ.

E' stata eseguita con un ponte di Wheatstone a correnti alternate, onde evitare effetti di polarizzazione, ed adoperando in sostituzione del normale strumento per la verifica di azzeramento, un oscillografo per basse frequenze, Philips mod. GM 3156, con amplificazione 1 mV/cm.

(fig. 1). Si prevedevano resistività molto elevate e perciò correnti debolissime; gli strumenti rivelatori potevano quindi, data anche la loro sensibilità, venire influenzati da fenomeni esterni, per cui si sono dovute prendere particolari precauzioni, quali: schermaggio degli strumenti, dei circuiti, del tubo di saggio e messa a terra del dispositivo.

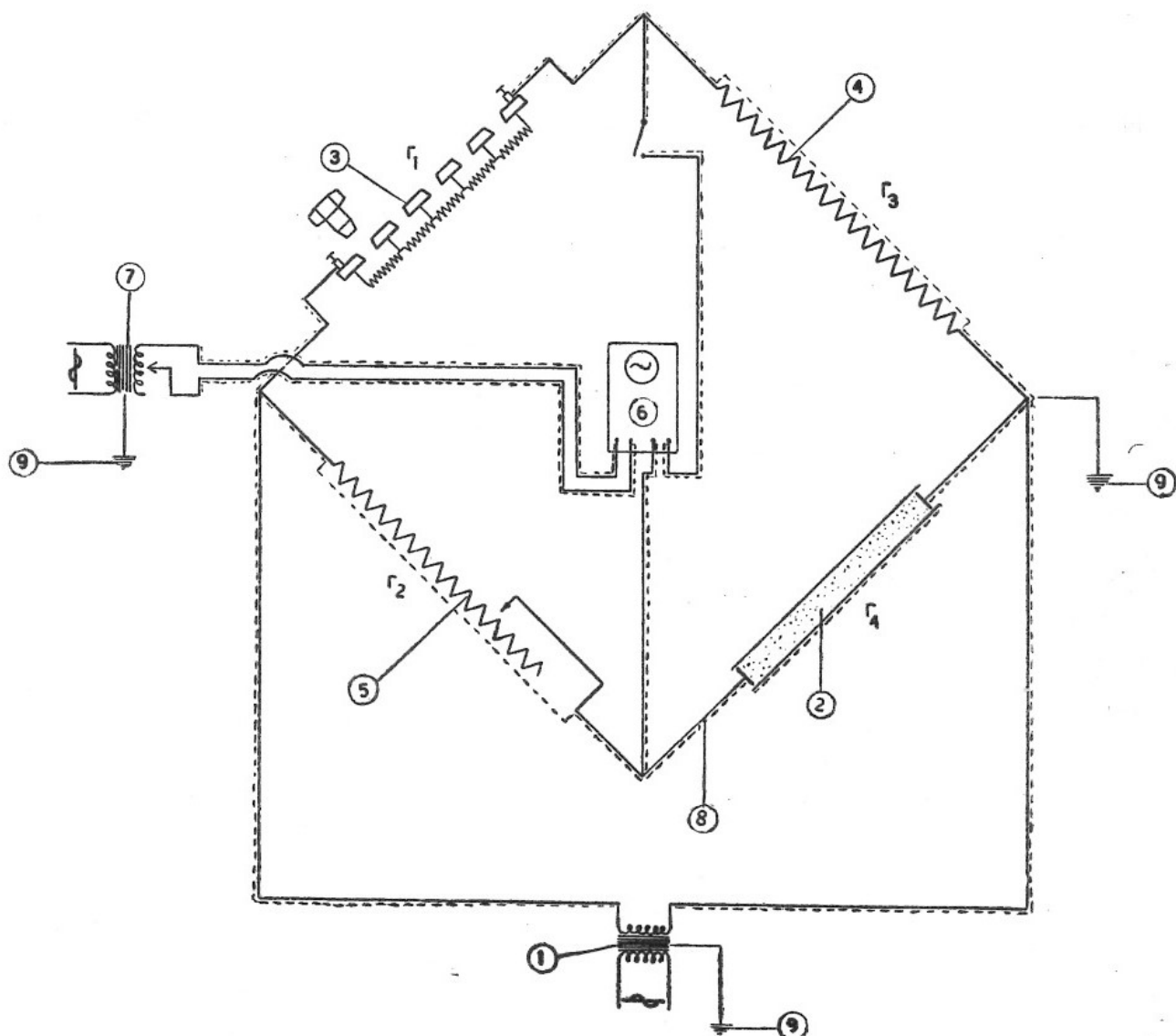


Fig. 1. - (1) Trasformatore - (2) Tubo di saggio - (3) Cassetta di resistenze - (4) Resistenza fissa da 100 Ohm - (5) Cassetta di resistenze - (6) Oscillografo per basse frequenze - (7) Trasformatore variabile - (8) Schermo elettrico - (9) Prese di terra.

Sono state altresì usate resistenze antinduttive, e, precisamente:

- cassetta di resistenze Runsdtrat, con avvolgimento antinduttivo ed anticapacitativo, classe 0,01;
- una resistenza fissa da 100 Ohm in costantana;
- una cassetta di resistenza Allocchio Bacchini, in manganina, con avvolgimento antinduttivo ed anticapacitativo.

Per evitare fenomeni di polarizzazione si è fatto uso di correnti alternate della frequenza di 50 Hz, accettabili in quanto le resistenze in gioco erano dell'ordine dei MOhm. Il filo usato nei collegamenti era di sezione grande rispetto alle correnti in circolazione, allo scopo di evitare fenomeni di autoinduzione.

Il campione di terra è stato introdotto in un tubo di pyrex del diametro di mm 15 e della lunghezza di m 0,24 tra i due elettrodi posti alle estremità rispettive (fig. 2).

Gli elettrodi, costituiti da una piastrina metallica in lega al 50% di argento, avente il diametro di mm 15 (e cioè pari a quello interno del

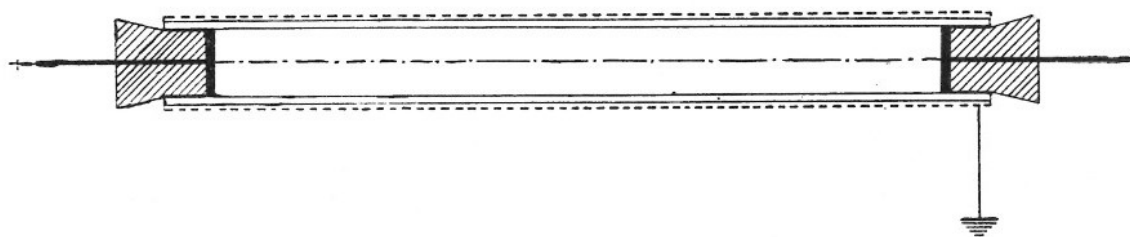


Fig. 2. - Tubo da saggio.

tubo) e collegata ad un terminale anch'esso in lega d'argento, erano fissati al tubo mediante due tappi di gomma forati per lasciar passare i terminali.

L'asse dei tempi dell'oscillografo è stato alimentato con la frequenza fissa di 50 Hz, usando la sincronizzazione esterna; allora, inviando attraverso il ponte corrente alle placche di deviazione verticale del tubo catodico, se il ponte stesso non è equilibrato, appaiono sullo schermo *due sottili linee* parallele leggermente inclinate (le due tensioni alternate non sono in fase) che si avvicinano fra loro e tendono a diventare orizzontali quando il ponte tende all'equilibrio. Il segnale del raggiungimento di zero è dato dall'apparire di un'unica riga orizzontale; in tal modo l'azzeramento riesce facile e preciso. Diversamente, cioè nel caso della sola alimentazione delle placche di deviazione verticale, si sarebbe avuto, ad equilibrio raggiunto, un *punto*, le cui dimensioni non sono mai trascurabili, dipendendo dalla larghezza minima dello spot.

Il ponte è stato regolato e tarato per una precisione di 0,01 Ohm.

I valori della resistività sono dati, com'è noto, dalla formula:

$$\rho = r \frac{s}{L} \quad (1)$$

in cui r è il valore delle resistenze misurato col ponte, L è la lunghezza in m del campione (cioè la distanza fra le facce contrapposte degli elet-

trodi) e s la sezione retta del campione(coincidente con quella del tubo di pyrez) in mm².

Si ha, nel nostro caso:

$$q = r \frac{\frac{15^2}{4}}{0,24} = 735,83 \text{ r}$$

Allo scopo di dare al terreno la massima compattezza possibile, il campione è stato, prima di ogni misura, sottoposto al seguente trattamento meccanico: 1) vibrazioni longitudinali per rendere compatto, o, per meglio dire, per intasare il materiale; 2) vibrazioni in senso trasversale per facilitare l'eliminazione delle discontinuità verificatesi durante la prima operazione. Così facendo, il materiale si assestava e quindi bisognava eseguire delle aggiunte di terra e ripetere il trattamento. Quando si osservava che il materiale era ben intasato e che il peso specifico — che veniva misurato ad ogni ciclo di vibrazioni — non cresceva ulteriormente, allora si poteva ritenere di aver raggiunto le condizioni di costipamento più vicine a quelle naturali.

Nei riguardi della vibrazione si è operato con varie frequenze, mediante un generatore B. F. Philips mod. GM 2307, un amplificatore B. F. e dei captatori reversibili di vibrazioni, del tipo elettromagnetico. Si è visto che si ottenevano risultati analoghi, eseguendo la vibrazione mediante un comune cancellatore per nastri magnetici, inserito sulla rete. Si è perciò preferito usare tale dispositivo, per semplificare i circuiti.

Le esperienze sono state eseguite inizialmente con materiale perfettamente essiccato; si è progressivamente aumentata la percentuale d'acqua, impastando la terra con acqua distillata (assimilabile all'acqua piovana), secondo la formula:

$$P = \frac{A}{M + A} \cdot 100 \quad (2)$$

dove:

- P è la percentuale d'acqua
- A il peso d'acqua (in g)
- M il peso della terra (in g).

Con percentuali d'acqua fino al 21% si formavano grumi che occorreva rompere mediante vibrazione, mentre al disopra del 21% era necessario eliminare anche persistenti bolle d'aria ed alveoli sia ricorrendo alla vibrazione che alla costipazione meccanica ed espellendo l'aria per mezzo di un tubo sottile introdotto nell'impasto.

Ogni misura è stata eseguita quando l'impasto raggiungeva la massima densità, rilevabile mediante bilancia di precisione.

* * *

Dopo ogni misura elettrica il tubo di pyrex veniva accuratamente vuotato e lavato con acqua distillata; l'impasto contenuto veniva recuperato di volta in volta e quindi riunito all'eccedenza precedente che si trovava già alla stessa percentuale d'acqua; ciò per agire su quantità di materiale maggiori di quelle contenute nel tubetto e quindi per attenuare gli errori di misura. Il totale veniva pesato accuratamente e veniva aggiunta acqua sino ad ottenere la nuova percentuale p' . In proposito, si è trovata la formula:

$$G = T \left(\frac{1 - p}{1 - p'} p' - p \right) \frac{1}{100} \quad (3)$$

dove:

- G è il peso d'acqua (in g) che occorre aggiungere al miscuglio per passare dalla percentuale p alla percentuale p' .
- T è il peso totale (in g) della quantità di miscuglio che si sta manipolando e che si trova alla percentuale p .
- p è la percentuale d'acqua, ultima, alla quale già si trova l'impasto.
- p' è la nuova percentuale d'acqua che si desidera.

Fino a valori $p = 12\%$, la resistività ρ del terreno è risultata superiore a 80 MOhm; indi ρ è andata via via decrescendo al crescere di p , fino a raggiungere, con $p = 24\%$ circa, un valore costante pari a circa $\rho = 11$ MOhm.

Diamo nella seguente tabella i risultati delle esperienze (temperatura ambiente: 20°C).

% acqua	peso specifico kg/m ³	valori misurati di r Ohm	valori di $\rho = r \times 375,83$ MOhm
2	1211	110.000	80
12	1302	108.878	80
15	1742	33.330	24,5
17	—	17.770	13
20	2075	—	—
21	—	16.609	12
24	1978	15.220	11
27	—	15.287	11
30	1871	15.098	11
45	1407	15.900	11,7

Le misure non sono state ulteriormente continuate, dopo aver verificato la quasi-costanza del valore di ρ .

Misura del pH.

E' stato usato l'acidometro elettronico « Jonosis » tipo pH-QL della S.I.S. con elettrodo di vetro ad altissima resistenza, ed elettrodo di riferimento al calomelano.

I valori ottenuti sono stati, al solito, riferiti alla percentuale d'acqua, determinata con la (2).

Ad ogni nuova misura, gli elettrodi sono stati accuratamente lavati con acqua distillata, lasciandoli indi riposare per circa tre ore sempre in acqua distillata; lo strumento è stato ritarato ad ogni nuova determinazione. Le misure sono state fatte contemporaneamente a quelle di resistività, prelevando il materiale dagli stessi impasti e quindi procedendo come detto prima.

I valori del pH sono stati riportati nella tabella seguente.

% acqua	pH
5	5,5
8	6,7
11	7,1
13	7,2
18	7,6
25	7,9
30	8
35	7,9
40	7,8
45	7,8

CONCLUSIONI.

I risultati delle esperienze sono stati riportati nella fig. 3. Notiamo subito un particolare: la linea che rappresenta la variazione del peso specifico del terreno in funzione della percentuale d'acqua, ha un andamento caratteristico e può essere considerata composta da tre tratti. Precisamente: tratto A-B, a lieve pendenza, tratto B-C, a forte pendenza positiva, tratto C-D a pendenza negativa. E' evidente che questo strano andamento risponde a fenomeni differenti.

Volendo dare un'interpretazione a questi fatti, pensiamo che il tratto A-B rappresenti l'idratazione dei granuli secchi di terra; cessata brusca-

mente questa idratazione, l'acqua va ad occupare progressivamente gli interstizi tra granello e granello, senonché, a un certo punto, interviene anche qui una saturazione. Gli interstizi al punto C sono già tutti riempiti e quindi, aumentando ancora la percentuale di acqua, il terreno comincia ad entrare in soluzione o, per meglio dire a spappolarsi nell'acqua, cioè, a formare fango. Da questo punto il peso specifico, che ha raggiunto il massimo in C, comincia a decrescere.

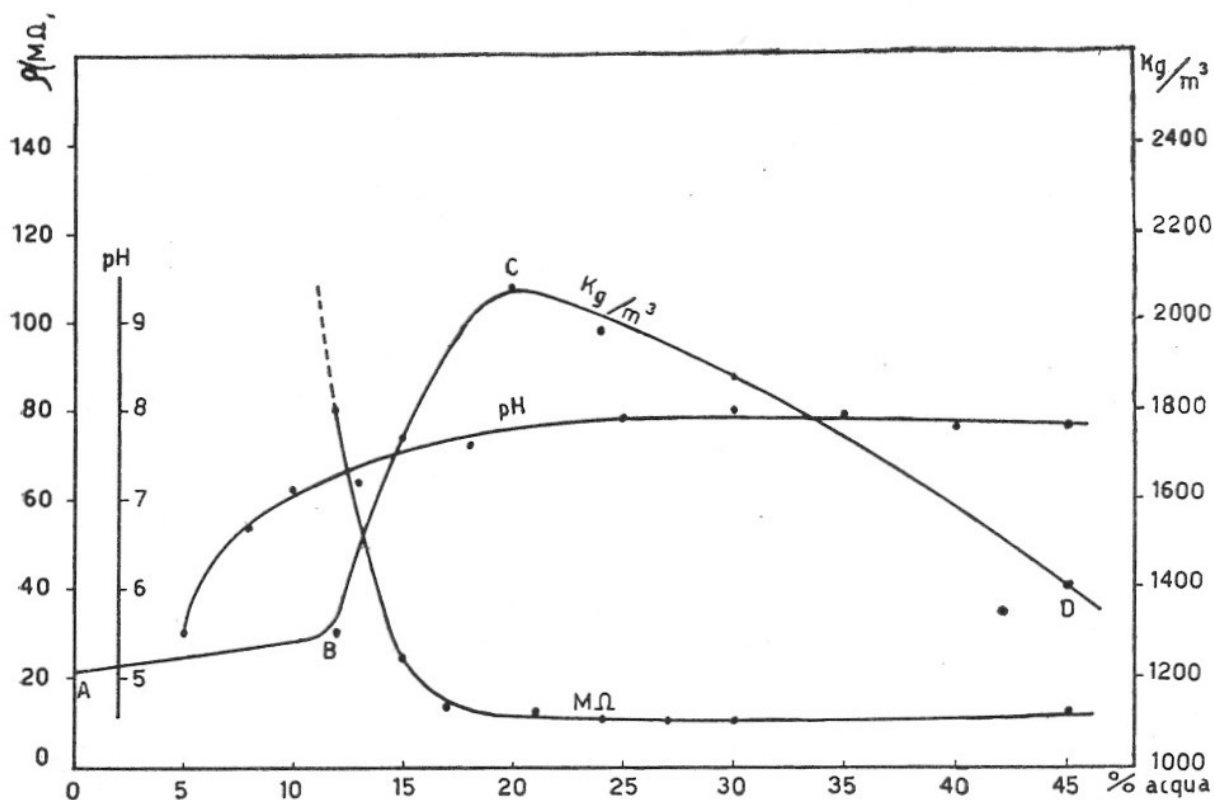


Fig. 3. - Variazione del peso specifico, della resistività e del pH in funzione della percentuale di acqua.

Vediamo ora che succede col pH. In corrispondenza al tratto A-B della curva del peso specifico, si ha un rapido aumento del pH e il terreno, in origine debolmente acido ($\text{pH} = 5,5$), diviene neutro presso a poco in corrispondenza del punto in cui cessa l'idratazione. Quindi, crescendo ancora la percentuale d'acqua, esso diviene debolmente alcalino, e, a saturazione raggiunta, anche il pH diviene praticamente costante. A rigore, esso, crescendo il tenore d'acqua, tende nuovamente a divenire neutro e ritornerà al valore $\text{pH} = 7$ col 100% d'acqua, come del resto è intuibile. L'andamento della curva conferma l'ipotesi.

Per questo particolare tipo di terreno, si ha dunque una variazione dello stato elettrochimico in funzione della percentuale di acqua contenutavi. Non abbiamo fatto esperienze con altri terreni; tuttavia, possia-

mo ritenere che il fatto non sia eccezionale e che, comunque, debba esser tenuto presente quando si studiano le mutue azioni tra condotte metalliche e terreni da esse attraversati.

Anche nei riguardi della resistività, si può dire che, raggiunta la saturazione del terreno, essa diviene pressoché costante.

Da quanto esposto si deduce che la concentrazione in ioni di idrogeno varia da 10^{-5} grammi equiv./litro (pH in corrispondenza a percentuali d'acqua inferiori al 5%) a 10^{-8} grammi equiv./litro.

In sostanza, dal punto di vista elettrochimico, questo terreno *non deve essere considerato aggressivo*.

Roma. — Istituto Superiore di Sanità - Laboratorio di Ingegneria.
