

NORME E RISULTATI NELL'USO DEL COMPENSATORE A CORRENTE ALTERNATA « BICARAM »

A. BELLUIGI

1. *Premessa.* — Con « Accoppiamenti resistivi di due bobine induttive nella prospezione elettrica a corrente alternata del sottosuolo » ⁽¹⁾, iniziai nel 1942 uno studio generale su tali accoppiamenti, deducendo i due casi capacitivi circuitali possibili, con capacità in parallelo o in serie (Bicaram), e come caso particolare ($c = \infty$) il compensatore Turam.

L'argomento venne da me ripreso e sviluppato quasi subito dopo (1943) in un'ampia Memoria apparsa nel Bollettino dell'Ufficio Geologico d'Italia ⁽¹⁾.

Nell'ultima parte di questa definii un nuovo strumento di misura a c.a. (corrente alternata) *Bicaram*, da preferirsi, per varie ragioni, ai precedenti in uso, (un accoppiamento resistivo-capacitivo di 2 bobine induttive) con esperimenti di Laboratorio confermantì la teoria data.

Nel 1944 apparve una mia prima Nota sull'« Impiego del compensatore a c.a. a bobine bilanciate, nelle misure in scala ridotta » ⁽¹⁾.

Col titolo « Bicaram » (Nuova apparecchiatura e.m., elettromagnetica, a sensibilità variabile) ⁽¹⁾, riassunsi poi gli studi fatti, mostrando come il Bicaram consenta, tra l'altro, la massima utilizzazione delle reazioni induttive del suolo, opportunamente energizzato a c.a., a differenza delle apparecchiature molto meno sensibili (com'è anche subito intuibile) australiane e svedesi. Nel riassunto ricordo questo motivo fondamentale-strumentale. Schemi e foto illustrano tale complesso strumentale con un « modello » di compensatore a c.a. pel confronto rapido, in grandezza e fase, dei campi m. alternativi di uguale frequenza, dovuti a suoli interessati da c.a. impressa induttivamente o galvanicamente.

Ho voluto completare, sia pure a distanza di tempo, (avendo in questo intervallo elaborato nuovi indirizzi d'indagine e.m. per cui lo stesso impiego del Bicaram ne è enormemente avvantaggiato) una serie d'esperienze in scala ridotta ⁽²⁾.

Devo a questo punto ricordare che i nuovi indirizzi di rilevamento e.m., da me introdotti, e che hanno rimosso i massimi impedi-

menti applicativi, (da cui la decadenza dell'impiego dei m. induttivi, quasi subito dopo il loro avvento), tendono ad eliminare, nelle misure, l'addendo più ingombrante, ai fini presenti, del c.e.m. totale terrestre, e cioè il c.m. primario dell'emittore H_1 , preponderante e che maschera le eventuali anomalie e.m. del suolo.

Migliorare il rapporto H_1/H_2 , (dove H_2 è il c.m. secondario relativo ad es. ad un suolo anomalo con forte predominanza in generale di H_1 su H_2), non si può certo agendo sul generatore col rinforzare H_1 , (H_1/H_2 rimane sostanzialmente costante), né agendo sulla sensibilità del ricettore (Bicaram), il cui aumento di sensibilità vale ovviamente sia per il c.m. primario che per il c.m. secondario. Non si otterrebbe con ciò un risultato migliore agli effetti delle possibilità di svelare la presenza di conduttori specie deboli o profondamente situati.

Da qui la necessità di attenuare o eliminare l'azione del c.m. primario, finalità che si può raggiungere in più modi, in particolare con un recente metodo, definibile delle « zone d'ombra elettromagnetiche », ottenuto con dispositivo che può dare tutt'intorno nello spazio circostante la somma: c.m.p. + c.m.s., ad eccezione che nella zona di misura ove trovasi il ricevitore (v. bibliografia) (2).

2. *Ratiometer Turam, Bicaram.* — La descrizione di un primo misuratore di rapporto di campi e. magnetici (c.e.m.) alternati di un suolo energizzato a c.a., in punti prossimi d'osservazione (« Ratiometer »), si trova già in Broughton Edge-Laby, I.G.E.S., Cambridge 1931. Commentando il « Ratiometer » gli autori inglesi osservano: il metodo rassomiglia sotto alcuni aspetti al sistema dei 2 telai equilibrati dovuto a Sundberg-Lundberg nei quali i 2 telai vengono collegati in opposizione (Turam).

Per la descrizione del « Bicaram », per il significato rigoroso dei simboli che qui appaiono, rimando ai miei lavori (1), ma perché si possa seguire facilmente quest'esposto è necessario che mi soffermi un poco sul compensatore a resistenze: 2 telai o bobine uguali, I, II, ad es. orizzontali, complanari, a breve distanza reciproca, in opposizione, con amplificatore e telefono nel circuito di equilibramento.

La bobina I è chiusa, in corto circuito, su una resistenza ohmica costante R ; un cursore mobile « scorrevole su R » permette di ricavare frazioni qualsiasi della f.e.m. indotta dal c.m. del suolo nella bobina I, con dispositivo potenziometrico. I diversi valori di R , (R_1 , R_2 ...), detti « resistenze di rapporto » si leggono sulle graduazioni di un cosiddetto quadrante di rapporto, in unità convenzionali, o con

preventiva taratura, in effettive resistenze in ohm corrispondenti alle divisioni del quadrante.

La bobina II è chiusa sopra una resistenza ohmica fissa T_0 e su una resistenza variabile S , « resistenza di fase »: i valori S_0, S_1, S_2, \dots di questa si desumono pure dalle divisioni di un quadrante di fase.

I due circuiti I, II, (qui come nel Bicaram), sono collegati attraverso i primari di due trasformatori d'isolamento allo scopo d'eliminare le correnti vaganti dovute a difetti d'isolamento o ad effetti capacitivi: accorgimento necessario in tutti gli strumenti del genere.

Rapidamente ricordo che nel Bicaram mentre la bobina I è in serie con una resistenza e un condensatore fissi, la bobina II è in serie con resistenze e condensatori variabili.

In « Messungen mit dem Schleifdraht-Wechselstrom-Kompensator », precisamente nel paragrafo: « Fehler durch Isolations und Kapazitätsströme », W. Geyger ⁽³⁾ così s'esprime: « facendo misure in c.a. possono notoriamente prodursi errori considerevoli per effetto di correnti d'isolamento e di capacità. Questi errori sono sopprimibili avendo cura che nel complesso delle misure e del dispositivo le parti in gioco non possiedano differenze di potenziale troppo grandi rispetto al mezzo circostante. Un modo adatto a ciò, in certi casi, è l'inserzione di trasformatori con avvolgimenti molto bene isolati tra loro e collegati con una terra messa in posizione opportuna. Il circuito di compensazione propriamente detto, incluso quello del galvanometro a vibrazione, (ovvero del telefono), deve isolarsi per mezzo di un trasformatore d'isolamento, che ha lo scopo d'impedire che tra la sorgente di corrente e il circuito di compensazione compaiano correnti d'isolamento o capacitive ».

I secondari vengono chiusi attraverso un amplificatore, su una cuffia telefonica, oppure su un galvanometro a vibrazione (es. Schreiering Schmidt) o a risonanza, che, com'è noto, rimane a zero se percorso da correnti di frequenza maggiori a quelle su cui è sintonizzato.

È opportuno disporre di un dispositivo di variazione che permette d'innalzare o di abbassare di tono le frequenze del galvanometro in modo facile e opportuno. In parecchi casi si collega il galvanometro (o il telefono), messo a terra, al circuito di compensazione attraverso un trasformatore isolato elettrostaticamente.

Le bobine I, II, complanari, convenientemente distanziate, immerse in 2 c.m. del suolo H_1, H_2 di ugual frequenza, (diversi in grandezza e fase), saranno sedi di due diverse f.e.m. indotte. Agendo opportunamente sulle resistenze variabili R, S , si « compensa » la corrente

nel circuito I con quella che circola in II, ciò che viene rivelato ad es. dal silenzio nel telefono: allora le f.e.m. si riterranno uguali.

Dalle letture dei 2 quadranti, (e dalle costanti strumentali), è immediato ricavare il rapporto tra le ampiezze dei campi H_1 e H_2 e la loro differenza di fase. La corrente i_1 in I è uguale al rapporto: e_1/Z_1 , (fra la f.e.m. indotta « e_1 » e l'impedenza Z_1), a sua volta: $e_1 = -d\phi_1/dt$, dove il flusso concatenato: $\phi_1 = h_1 S$ (S = area della bobina, $h_1 = H_1 \sin(\omega t - \varphi_1)$, intensità del campo H_1 all'istante t). Risulta che, a meno d'una costante « m », « e_1 » è proporzionale a H_1 infatti: $e_1 = m H_1$. Detta R_0 la resistenza complessiva del circuito I, (costante perché somma di quella della bobina con tutta la resistenza di rapporto), L il coefficiente di autoinduzione, la reattanza della bobina sarà: $X = 2\pi fL$, l'impedenza $Z_1 = (X^2 + R_0^2)^{1/2}$, perciò la corrente i_1 nella bobina I (posta nel campo H_1): $i_1 = m H_1 / (X^2 + R_0^2)^{1/2}$. La caduta di tensione: V_1 tra gli estremi della resistenza ohmica R_1 percorsa dalla c. i_1 sarà: $V_1 = R_1 i_1$.

Nel circuito II, quando si assegna alla resistenza di fase un valore $S = S_0$ (all'incirca a metà di S), la resistenza ohmica complessiva in serie con la bobina II è uguale a R_0 . Per ogni altro valore della S , S_1 , tale resistenza subisce un incremento, cioè diventa: $R_0 + S_1 - S_0$.

L'impedenza Z_2 del circuito II essendo: $[X^2 + (R_0 + S_1 - S_0)^2]^{1/2}$ la corrente è: $i_2 = e_2/Z_2$; a sua volta « e_2 » è proporzionale, con lo stesso fattore di proporzionalità, precedente al campo H_2 , quindi: $i_2 = m H_2/Z_2$.

La caduta di tensione V_2 agli estremi della resistenza T_0 , percorsa dalla corrente i_2 è: $V_2 = T_0 i_2$.

A compensazione ottenuta sarà $V_1 = V_2$, da cui:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{T_0}{R_1} \cdot (X^2 + R_0^2)^{1/2} \cdot [X^2 + (R_0 - S_0 + S_1)^2]^{-1/2}$$

Gli sfasamenti fra tensione e corrente nei circuiti I e II rispettivamente saranno: $\varphi_0 = \arctan X/R_0$, $\varphi_1 = \arctan X/(R_0 - S_0 + S_1)$, e lo sfasamento relativo delle 2 correnti, (e quindi dei 2 campi H_1 , H_2), $\alpha = \varphi_0 - \varphi_1$.

Le espressioni che danno H_1/H_2 , e α risolvono il problema in funzione delle costanti strumentali e di R e S variabili, conforme a quanto già dedussi come caso particolare nella mia teoria generale (1) del 1942.

3. Prime esperienze in scala ridotta con il compensatore a c.a.

Bicaram. — Le esperienze sono state condotte secondo i seguenti criteri generali:

a) produrre un campo magnetico primario alternativo, (di frequenza acustica $500 H_z$), mediante un « coppia energizzante », o un emittore galvanico-induttivo, studiare i vari emittori in relazione all'impiego del compensatore;

b) riconoscere e valutare mediante il Bicaram il campo magnetico (c.m.) risultante in superficie del suolo dalla somma dei campi m. agenti, tra cui quelli provocati dalle correnti indotte (vorticose) nella massa conduttrice di un modello;

c) riassumere e rappresentare, mediante tabelle, grafici, diagrammi, i risultati delle misure e ricavarne utili norme per la prospezione effettiva sul terreno.

Nel mio studio « Sulle prospezioni e.m. di alcune tipiche giaciture di solfuri misti in Sardegna » del 1948 ⁽¹⁾ ho discusso in particolare la modellometria elettromagnetica e un metodo di prospezione che potrebbe derivarne (Elmod), particolarmente idoneo per i giacimenti sardi o del tipo sardo.

La scelta del terreno per le esperienze non dovrebbe mai essere subordinata a ragioni di convenienze pratiche, e cioè prossimità ad es. degli Istituti attrezzati, con prese di energia elettrica dalle linee industriali, vasche di prova fisse, ecc., e questo perché, specie in centri urbani, la circolazione delle « correnti vaganti » nel suolo, è spesso abbastanza intensa per compromettere o falsare gli effetti da misurare.

In un primo tempo mi sono avvalso come generatore di un alternatore a frequenza $500 H_z$, $n = 20.000$ giri al primo, tensione ai morsetti: 200 volt, potenza 1 KvA circa, eccitazione mediante batteria di accumulatori (4 Volt-5 Amp.), con motore trifase da 160 Volt, $f = 42 H_z$, potenza 1 KvA circa, (e questo in mancanza d'un gruppo a motore a scoppio-alternatore).

Il doversi collegare ad una rete di distribuzione di energia ad uso industriale, (per alimentare l'alternatore e l'amplificatore), si rilevò, nel corso delle misure, un inconveniente abbastanza serio.

Per mantenere costante quanto più possibile la frequenza della corrente impiegata, e poter far fronte sufficientemente alle inevitabili oscillazioni della frequenza industriale usata nel motore, i due organi motore e alternatore furono accoppiati mediante cinghia scorrevole su 2 pulegge tronconiche. Una guidacinghia azionata da una vite a piccolo passo permetteva di apportare alla velocità angolare dell'alternatore variazioni anche piccole e ben regolabili. Un tachimetro conta-

giri solidamente montato sull'albero dell'alternatore permetteva di seguire e correggere agevolmente e prontamente gli scarti della frequenza: nel corso delle misure questi scarti non risultarono mai superiori all'1%.

Poiché l'equilibrio nel compensatore si giudica in genere e con sufficiente approssimazione in base ai minimi di suono nel telefono, si eliminarono fin da principio le armoniche di ordine superiore, interponendo fra il circuito di utilizzazione e il generatore un filtro « passa-basso ». La potenza disponibile ai morsetti di uscita del filtro, notevolmente inferiore a quella erogata dall'alternatore, risultò sempre

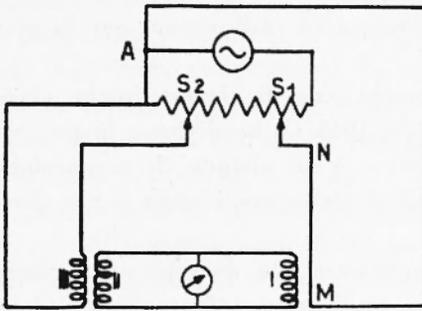


Fig. 1

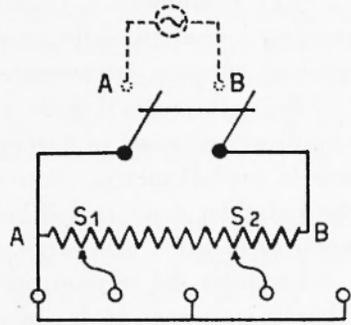


Fig. 2

però largamente sufficiente per alimentare i circuiti secondo i vari schemi adottati e le esigenze delle misure.

Circuiti di misura. — Nell'« Impiego del compensatore a c.a. Bicaram nelle misure a scala ridotta » (1) mostrai come sia opportuno un adattamento strumentale, ma non ben inteso come è previsto sul terreno: basta ad es. manovrare una sola bobina esploratrice I, mantenendo fissa e distanziata la bobina compensatrice II (v. Fig. 1).

Intensità e fase della corrente nella bobina I vengono riferite a quelle della corrente circolante nella bobina II, e ciò ottenni nel modo più semplice mediante l'inserimento di una bobina III (inducente) rigidamente collegata alla II (così da assicurare una mutua induzione costante), e alimentata dal circuito potenziometrico che chiude il generatore.

Un amplissimo anello di filo di rame rivestito (mm. 1,5) costituiva il circuito del cavo induttore $AMNS_1$; con un tratto sui 30 m, MN sopraelevato di 1 m dal suolo, rettilineo e orizzontale.

La regolazione della corrente in questo cavo e in quello induttore della bobina III avveniva mediante il dispositivo potenziometrico indicato in Fig. 2, realizzato montando su un pannello di bachelite un

interruttore generale della linea dell'alternatore, e tra i morsetti *A* e *B* una resistenza variabile costituita da un gruppo di bobine di varia resistenza, (ad avvolgimento antinduttivo), e da un reostato a cursore per complessivi 1100 Ohm; l'insieme dei circuiti e del reostato venne isolato dapprima dal suolo, con isolatori in « pyrex », appoggiando su carrucole di porcellana sia il gruppo generatore, che il resto.

Non appena s'inviò corrente però fu impossibile effettuare qualsiasi esatta misura, nonostante che il provacircuito desse indicazioni di

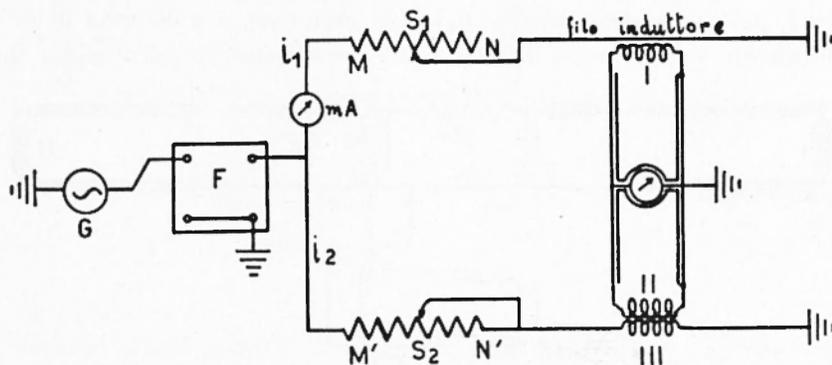


Fig. 3

resistenza verso terra dell'ordine di 20 Mohm e anche più. Si pensò ad effetti di correnti capacitive e ad inavvertiti difetti d'isolamento intercircuitali tali da prevalere e da mascherare ogni e qualsiasi altro disturbo. Lo stesso pannello di bachelite con le resistenze poteva diventare una sorgente sospetta e malsicura di f.e.m. estranee. Si preferì allora adottare il criterio di una razionale messa a terra dei vari organi e dei vari circuiti, nonché la schermatura degli apparecchi mediante un anello di guardia messo a sua volta a terra: non si era voluto fin da principio seguire questa via per timore che tali collegamenti al suolo potessero influire sulle misure: (v. Fig. 3), il che infatti avverrebbe senza un preliminare esame delle modalità più opportune delle stesse messe a terra.

Un polo dunque del generatore *G* al suolo; 2 circuiti derivati dall'altro polo pure a terra attraverso le 2 resistenze variabili antinduttive *MN* e *M'N'*. Il cursore *S*₁ regola l'intensità della corrente *i*₁ nel filo induttore della bobina *I* (esploratrice); il cursore *S*₂ quella della corrente *i*₂ nel circuito della bobina *III* accoppiata (in aria) alla bobina *II* (compensatrice).

Quanto al compensatore, la cassetta racchiudente i vari elementi di misura (condensatori fissi e variabili, resistenze, ecc.) venne fode-

rata con *Al* con morsetto di presa per terre, così le 2 bobine, l'armatura esterna del cavo schematico di collegamento bobine-compensatore, l'amplificatore schermato e il supporto della cuffia telefonica, il tutto al suolo. Lo schema del compensatore e quello dell'amplificatore appaiono in queste condizioni, in Fig. 4.

Dopo questi esami e disposizioni strumentali s'iniziò a studiare il campo e.m. prodotto dal cavo percorso dalla corrente i_1 nella sola bobina I, (separata per il momento dal resto del compensatore). La I, posta alla stessa altezza dal cavo induttore, e a distanza di m 1 da questo, veniva messa in serie con l'amplificatore e col telefono che

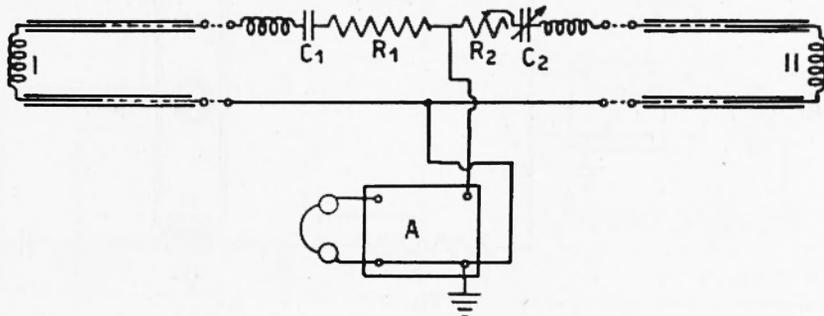


Fig. 4

accusava un suono fortissimo, tanto che per agevolare la ricerca preliminare dei minimi riuscì molto vantaggioso sostituire alla cuffia telefonica un misuratore di potenza d'uscita ad alta impedenza (40000 Ohm), con 6 diverse sensibilità, da usare come indicatore di zero. Finalmente si ottenne un'indicazione nitida e non influenzata dalla vicinanza dell'osservatore alla bobina, o alle manopole, o ai comandi dell'apparecchio. Ruotata la bobina di 90° , la deviazione nello strumento scompariva quasi completamente. La cuffia, nuovamente sostituita all'indicatore, confermò che si aveva una fortissima attenuazione, se non il silenzio perfetto. Si passò poi a compensare le correnti indotte nelle bobine I e II col mantenere fissa la posizione della I (in un campo di 10μ Oe.) e col variare l'intensità della corrente inducete i_2 nel reostato *M'N'*; dapprima le bobine erano chiuse in opposizione attraverso l'amplificatore e il misuratore secondo lo schema di Fig. 5, in seguito si usò il telefono, ottenendo un equilibrio approssimato dopo qualche tentativo di manovra.

A questo punto le 2 bobine venivano collegate al compensatore nel quale si era predisposta la lettura: $\varphi = 0^\circ$, $K = 1 = \frac{|Z_1|}{|Z_2|}$ (giac-

ché era da presumere che le correnti nelle bobine risultassero uguali in grandezza e concordi di fase). Senonché perdurando le misure non conformi alle previsioni, nonostante tutte le precauzioni prese per eliminare l'influenze previste, proprie del complesso strumentale, (il silenzio s'aveva con sensibili modificazioni nelle costanti strumentali, come se la risonanza per ciascuna bobina non si avesse già per $C = 67,55 \text{ m}\mu\text{F}$, secondo i risultati del calcolo, ma per valori alquanto

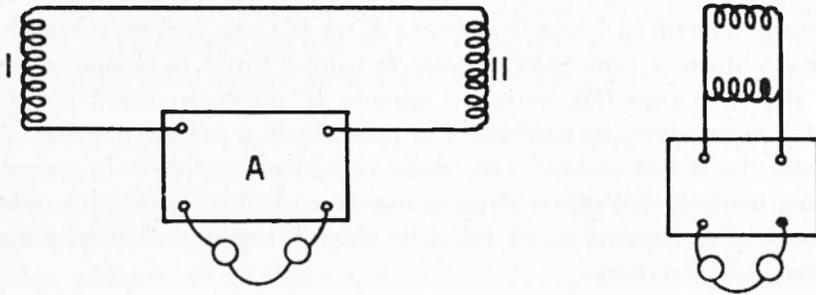


Fig. 5.

diversi; scambiando i collegamenti delle bobine col compensatore i valori di misura risultavano differenti, confermando che le correnti nelle bobine non concordavano in fase), si cercarono altre cause, perturbanti, quali ad es. il vincolo delle misure in località di sperimentazione con linee elettriche per uso industriale, ed altre.

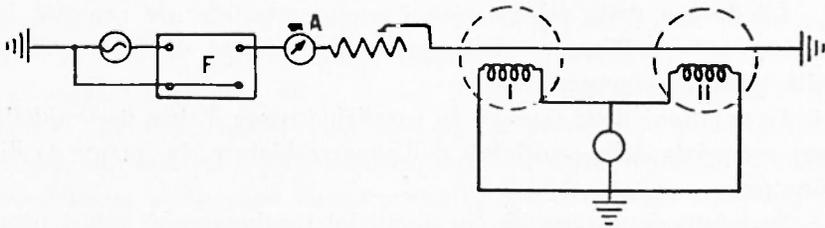


Fig. 6

Si volle insistere ancora nelle prove lasciando fissa la corrente i_2 e la bobina II (compensatrice), e allontanando la I dal filo in modo da provocare una diminuzione (in rapporto noto) della corrente nella I stessa, ma risultarono alterati in maniera affatto arbitraria e imprevedibile i rapporti e le fasi. Poiché l'accoppiamento induttivo tra le bobine II e III poteva sembrare troppo stretto in confronto a quello tra il filo i_1 e la bobina I (Fig. 3), rendendo malsicuro e disagiata l'esatta misura della corrente i_2 , si diminuì il numero delle spire co-

stituenti la III, sino a ridurle ad una sola, ma i miglioramenti furono inapprezzabili.

Un'ulteriore semplificazione del circuito induttore, per eliminare altre cause di « dispersione » si apportò immergendo la bobina compensatrice II nello stesso campo inducente della bobina I, sostituendo nello schema di Fig. 3 quello di Fig. 6.

Con ciò i campi inducenti nelle bobine dovevano certamente risultare concordi in fase e il rapporto K tra le f.e.m. indotte si sarebbe dovuto ottenere (una volta disposte le bobine I e II in risonanza con le rispettive capacità), variando soltanto le resistenze nei 2 circuiti del compensatore, in particolare disponendo le 2 bobine a ugual distanza dal filo, $K = 1$, $\varphi = 0^\circ$, anche scambiando i loro collegamenti con i morsetti dell'apparecchio, se non fossero intervenute però induzioni e.m. sconosciute e variabili delle correnti vaganti nel suolo, come venne poi accertato.

Capacità parassite introdotte. — Altro problema è l'influenza della schermatura sulle capacità del compensatore, ossia determinare le condizioni di risonanza del sistema formato da ciascuna bobina, dai condensatori in serie con esse, e in più dal cavo schermato di collegamento.

La schermatura del cavo, equivalendo ad un condensatore in parallelo con quelli montati nell'interno dello strumento non permette la risonanza pel valore prima calcolato, ma per $C = 63 \text{ m}\mu\text{F}$ circa.

L'influenza della schermatura è molto sensibile: le capacità in serie C_1 e C_2 nell'interno dell'apparecchio vennero diminuite allora dalla quantità corrispondente.

La questione delle capacità in parallelo investe d'altra parte quella pure essenziale della sensibilità dell'apparecchiatura, in quanto la diminuisce.

Se infatti dette capacità (in parallelo) raggiungessero valori prossimi alla risonanza dei circuiti, (ciò accade tanto più facilmente quanto maggiore è la frequenza, per $f = 500 \text{ Hz}$, $L = 1 \text{ H}$, $C = 10^{-7} \text{ F}$), la compensazione si otterrebbe con difficoltà, con enormi contrasti delle resistenze ohmiche di manovra. Per quanto qui si tratta di capacità in parallelo « equivalenti », con funzioni di semplici attenuazioni delle capacità in serie, tuttavia la taratura dei circuiti, (soprattutto per ciò che riguarda le capacità occorrenti per la sintonia e per la compensazione di fase), non può esser fatta soltanto in base ai dati costruttivi delle bobine impiegate.

La capacità propria dei cavi colleganti ciascuna bobina all'appa-

recchio richiede una compensazione particolare per la bobina a impedenza fissa, e per l'altra bobina una verifica con l'aiuto dell'oscillografo a raggi catodici. E ciò sempre dopo la messa a terra degli schermi delle bobine, (lamierino sottile di ottone con fenditure radiali), insieme con l'armatura dei cavi schermati, per attenuare, prima di estinguerli, sia pure con l'uso delle capacità « equivalenti », gli effetti capacitivi parassiti.

Disponendo le bobine a eguali distanze dal filo induttore (schema Fig. 6) l'equilibrio del compensatore non veniva alterato invertendo gli attacchi delle bobine ai morsetti del condensatore.

Riconoscimento della natura delle correnti vaganti. — Per spiegare i residui risultati anomali, nonostante i correttivi introdotti, bastò fermare il generatore di corrente e constatare che nelle bobine continuavano a circolare correnti d'intensità rilevante, capaci di produrre campi molto estesi e intensi. Queste correnti si potevano d'altra parte elidere (per opposizione), se stazionarie, dando alle bobine orientazioni qualsiasi, purché parallele tra loro e a distanza non grande (4 o 5 m).

Per riconoscerne la natura si adottò un circuito semplicissimo di esplorazione, costituito da una delle bobine dell'apparecchio, chiusa sulla cuffia telefonica attraverso l'amplificatore, mantenendo inattivo il generatore a 500 Hz. Risultò che le c.a. molto intense, circolanti nel suolo, non avevano la frequenza solo di 42 Hz (come si poteva prevedere per l'allacciamento del motore), ma anche molto più elevate, prossima a 250 Hz. Variando l'altezza della bobina dal suolo, (da m 0,50 a m 3), non si ebbero variazioni apprezzabili nell'intensità del segnale telefonico. Oltre al crepitio e al ronzio caratteristici dei motori elettrici (specie l'avviamento), si avvertirono « battimenti » fortemente marcati e prossimi alla frequenza 250. Segnali delle radio-trasmissioni risultarono altresì sensibili, ma eliminabili con condensatori appropriati. Ruotando per tentativi la bobina, si riuscì per una certa orientazione, ad ottenere silenzio quasi completo, con campo prevalente polarizzato ellitticamente in un piano verticale, campo non stazionario, perché ad intervalli di tempo molto irregolari (di primi o di secondi) ne variavano i caratteri, rendendo così incerta o impossibile una precisa determinazione.

Di questi caratteri alcuni si potevano interpretare senza difficoltà, soprattutto quelli relativi al « campo di fondo » di 42 Hz, di altri l'interpretazione riusciva più complicata, specie riguardo l'esistenza di campi ad alta frequenza e di battimenti nitidamente rilevati.

L'insieme delle correnti circolanti nel sottosuolo di una città specie industriale è, in genere, a diverse frequenze, estremamente complesso e non stazionario. Il c.m. complessivo relativo risulta d'intensità tale da falsare o mascherare le osservazioni del campo (precalcolato) del nostro induttore, come pure d'induttori analoghi.

Da qui l'opportunità per l'esecuzione delle misure di cercare zone meno perturbate, con ricognizioni preliminari sia pure con una sola bobina, amplificatore, cuffia telefonica, oltre relativo cavo schermato di collegamento e quello per gli allacciamenti dell'amplificatore.

In una delle tante prove preliminari, lontano da centri urbani, (tenendo conto della esperienza acquisita), l'amplificatore venne allac-

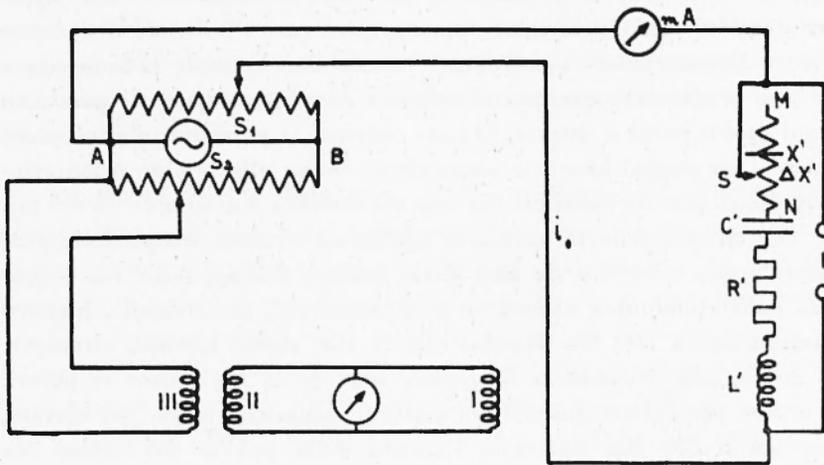


Fig. 7

ciato ad una rete luce a 42 Hz e 130 Volt. La bobina poliassiale fu collocata in diversi punti della zona, e in ciascuna posizione ruotata opportunamente fino ad ottenere il silenzio nel telefono: il suono del telefono rivelò che esisteva dappertutto un campo di fondo a 42 Hz, ma non un campo a frequenza più elevata. Ruotando la bobina di 360° intorno ad un asse orizzontale (normale al piano di silenzio) si trovarono 2 massimi e 2 minimi assai deboli, con l'asse minore (orizzontale) dell'ellisse di polarizzazione molto piccolo rispetto a quello verticale. Altri rumori a bassa frequenza vennero pure blandemente avvertiti (crepitii, avviamento di motori, forse per macchine utensili, di sollevamento d'acqua ecc.).

Queste esperienze comunque mi dettero il modo, non raggiungendo subito i fini propostimi, (sia pure per cause estranee), di studiare e

introdurre nel Bicaram «capacità equivalenti» per eliminare o attenuare quelle parassite distribuite, (notevole e indispensabile accorgimento a vantaggio della sicurezza strumentale), prima delle operazioni di «messa a terra», non implicanti perciò, per la tenuità degli effetti, ulteriori problemi.

4. *Adattamenti del Bicaram nelle misure in scala ridotta.* — Lo schema che risultò più idoneo, per le ragioni esposte, ai fini qui proposti, è il seguente (Fig. 7):

Nel circuito derivato tra il morsetto A del generatore e il cursore S_1 , si dispose in serie col cavo induttore una bobina di rame, campione di induttanza fissa: $L' = 1$ Henry, la resistenza ohmica fissa $R' = 160$ Ohm, un condensatore variabile C' , una resistenza ohmica X' , una chiave di corto circuito K , (derivata agli estremi di questa serie) simbolo da non confondere con il K dei rapporti.

È chiaro che chiudendo K tutta la serie precedente viene ad essere esclusa dal circuito, e si ritorna allo schema consueto, ma tenendo aperta K , si possono attribuire ad L' , C' , ed X' tali valori che l'induttanza del circuito assuma il valore: $M' = \omega L' - (\omega C')^{-1}$, provocando in esso uno sfasamento φ fra f.e.m. e corrente, dato da: $\tan \varphi = M' / (R' + X')$, (si trascura la resistenza propria del filo induttore). L'induttanza M' dunque può essere variata a piacere e precalcolata (almeno con approssimazione), mentre variando la posizione del cursore S_2 del reostato che chiude i morsetti del generatore, si può variare l'intensità della corrente nel cavo.

Dunque il dispositivo si presta ad apprezzare il comportamento e la sensibilità del compensatore per valutare il rapporto tra le f.e.m. indotte nelle bobine I e II e le relative differenze di fase.

Il valore di C' (frequenza di 500 Hz), corrispondente alla risonanza, è dato da: $\omega^2 L' C'_0 = 1$ ossia: $C'_0 = 101,3 \cdot 10^{-9}$ F per cui risulta naturalmente: $\varphi = 0$; variando X' si potrà valutare la sensibilità dello strumento come misuratore di rapporti K d'intensità. Attribuendo a C' valori minori di C'_0 , la resistenza del circuito è capacitativa e φ risulta negativo; ad es. ponendo $C' = 95 \cdot 10^{-9}$ F. $< C'_0$ risulta: $M' = -210$ Ohm.

Dalla: $\tan \varphi = M' \cdot (R' + X')^{-1}$, conviene ricavare i valori di X' che corrispondono a valori opportuni di φ : $X' = M' [\tan(-\varphi)]^{-1} - R'$.

Attribuendo invece a C' valori maggiori di C'_0 , la reattanza è induttiva e M' risulta positiva: così per $C' = 110$ m μ F., è: $M' = 248$ Ohm, $X' = 248 / \tan \varphi - 160$, da cui la tabellina:

$\varphi < 0^\circ$	X'	$\varphi > 0^\circ$	X'
— 2°	5854 Ω	+ 2°	6942 Ω
— 3°	3847 »	+ 3°	4572 »
— 4°	2843 »	+ 4°	3395 »
— 5°	2241 »	+ 5°	2674 »
— 10°	1031 »	+ 10°	1246 »
— 15°	623,7 »	+ 15°	765 »
— 20°	417,0 »	+ 20°	521 »
— 30°	203,7 »	+ 30°	269 »
— 40°	190,3 »	+ 40°	135 »
— 50°	16,2 »	+ 50°	48 »
— 61°	0,0 »	+ 57°	0 »

Ordine di grandezza delle correnti da impiegare nei circuiti induttori. — Le misure di prospezione sul terreno col metodo del cappio induttore si eseguono abitualmente alimentando il cappio con 3-4 Amp., e date le dimensioni comunemente attribuite a questo cappio nelle ricerche, l'intensità del campo m. nella regione centrale del cappio risulta di 50-100 μO_0 . Infatti nel centro geometrico di un cappio induttore rettangolare di lati: a e b , si ottiene per il c.m.:

$$H_0 = \frac{4}{5} I a^{-1} [1 + b^2 a^{-2}]^{1/2}; \quad \lim_{b \rightarrow \infty} \bar{H}_0 = \frac{4}{5} I a^{-1}$$

dove H_0 si valuta in Oersted; a , b , in cm, I in Amp. Se $a = 400$ m, $b = 1000$ m, $b/a = \frac{5}{2}$, il radicale: $[1 + b^2 a^{-2}]^{1/2} = 1,08$, perciò $H_0 = 2,15 \cdot 10^{-5} \cdot I$, e per $I = 3$ Amp., $H_0 = 65 \cdot 10^{-6}$ Oersted.

Adottando per le lunghezze la scala 1:500 (dimensioni del cappio in miniatura cm^2 (5×2), basta che la corrente nel filo si riduca a $3/500 = 0,006$ Amp. Si deve perciò prevedere una regolazione della corrente erogata dal generatore a pochi mA: è preferibile per questo un dispositivo potenziometrico ad alta resistenza, che comprenda un amperometro in serie col generatore e con una resistenza antinduttiva.

Il generatore e il reostato si porranno lontani il più possibile dall'area dove si effettuano le misure: il filo del cappio sarà rivestito e bene isolato, di sezione sufficiente per assicurare la rigidità delle tesate.

Taratura del compensatore. — Si tende un cavo, (induttore orizzontale), sul suolo omogeneo prescelto per l'esecuzione delle misure, sollevato a 1 m circa da terra, e lo si alimenta tra il morsetto A del

generatore e il cursore S_1 , dopo aver chiuso la chiave di c.c.K.

Si dispone la bobina I, (esploratrice), del compensatore orizzontale e complanare al cavo con la retta di graduazione azimutale 0° - 180° normale al filo stesso, vedi Fig. 8.

Si pone dapprima $00' = m$ l, e si regola la corrente i_0 nel filo induttore, spostando il cursore S_1 , fin quando il campo m . in $0'$ assuma un valore prefissato unitario (ad es. $H_0 = 50$ oppure 100μ Oe.);

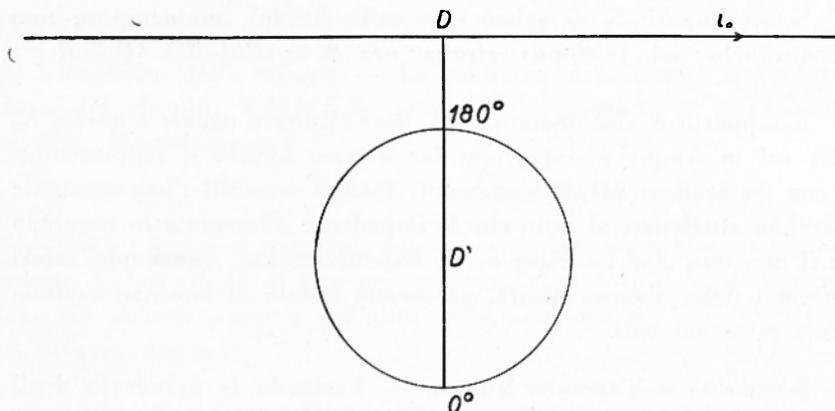


Fig. 8

la corrente i_0 letta sul millimetro, dovrà segnare rispettivamente, in valore efficace, 25 o 50 mA.

Nel compensatore variabile si porta $C_2 = C_{02}$ (valore di risonanza), si regola $R + R_1 = R + R_2$, per cui risulta $K = 1$, $q = 0$, ricordando [1] le semplici formole:

$$K = (R + R_1) [(R + R_2)^2 + M_2^2]^{-1/2},$$

$$t_n q = M_2 \cdot (R + R_2)^{-1}, \quad M_2 = \omega L - (\omega C_2)^{-1}$$

Allora si sposta il cursore S_2 fino ad ottenere silenzio nel telefono e fino a quando non saranno più toccati i cursori S_1 e S_2 lo strumento risulterà « tarato » in grandezza e fase rispetto al campo m . fondamentale H_0 .

Ricerca di eventuali conduttori accidentali sul suolo scelto per le misure. — Allo stesso modo che si è reso indispensabile esaminare il comportamento del gruppo di misura senza eccitare il suolo con l'alternatore, prima d'iniziare le misure previste, si dovrà controllare, almeno in prossimità dell'induttore, che non si abbiano masse con-

duttrici ed importanti invisibili da provocare un campo m. secondario perturbatore: $h_0'' = H_0'' \cos(\omega t - \alpha)$, dovuto alle correnti indotte in esse dal campo m. primario H_0 , e a tale scopo si può procedere in diversi ben noti modi.

Accertata l'omogeneità del suolo si modifica l'intensità della i_0 variando la posizione del cursore S_1 , e se ne legge il nuovo valore, $K_0 i_0$ sul milliammetro mA.

Senza toccare S_2 si agisce solo sulla R_2 del compensatore fino all'equilibrio nel telefono: risulta ora $K = (R + R_1) \cdot (R + R_2)^{-1}$; $\tan \varphi = 0$.

Il rapporto K così dedotto, $\neq 1$, deve risultare uguale a quello K_0 letto sul m Amp.; è opportuno far diverse letture e rappresentarle con un grafico; se gli scostamenti fossero sensibili l'inconveniente dovrebbe attribuirsi al fatto che le impedenze alimentate in parallelo tra il morsetto A e i cursori S_1, S_2 rispettivamente, assumendo valori differenti nelle diverse misure, provocano cadute di tensione e sfasamenti pure notevoli.

Sensibilità dell'apparecchiatura. — Variando la grandezza degli elementi costituenti il circuito $AMNLS_1$ del cavo induttore, si è in grado di variare, entro limiti abbastanza estesi, la grandezza e la fase di i_0 che lo percorre (senza modificare la grandezza e la fase della f.e.m. « e_0 », applicata tra A e S_1) e quindi anche del flusso concatenato con la bobina I del compensatore.

Prefissato come prima un campo m. fondamentale H_0 , si potrà determinare i valori da attribuire agli elementi del circuito induttore in modo tale che il nuovo flusso concatenato con I stia in rapporto noto di grandezza e di fase con H_0 . Il compensatore dovrà far ritrovare questi valori così prestabiliti e noti a priori, rendendo agevole lo studio della sensibilità strumentale nelle più diverse condizioni di misura.

Si procede in modo sostanzialmente simile a quello per la scelta di H_0 e la taratura dello strumento: si porrà $C' = C'_0$ la bobina orizzontale e complanare al filo induttore a distanza di 100 cm; alla resistenza MN si attribuirà un certo valore X' prescelto con criterio di opportunità, tra cui il tener conto dell'influenza della temperatura sulla resistenza della bobina L' . A questo scopo si dispone in serie con L' una resistenza variabile a seconda le temperature, e tale che la somma di essa e della resistenza della bobina L' sia costante, ed uguale a 180 Ohm ($R' = 180$ Ohm, $X' = 180$ Ohm, oppure $X' = 2 \cdot 180$

Ohm a seconda i valori che si vorrà attribuire a K). Poi si sposterà il cursore S_1 fino a che la corrente i_0 letta sul mA raggiunga il valore voluto (25 o 50 mA, a seconda che si vuole che sia $H_0 = 50$ oppure $100 \mu \text{Oe.}$).

Si tara il compensatore su questo campo nel modo già visto; nel seguito tenendo fissi i cursori S_1, S_2 (nei limiti di approssimazione voluta) si potrà ritenere che le f.e.m. e_0, e_1 , applicate tra AS_1, AS_2 , si mantengano costanti e sempre concordi in fase.

Esecuzione delle misure. — La reattanza complessiva e l'impedenza del circuito $AMNL S_1$, saranno (trascurando la resistenza del filo) rispettivamente:

$$M' = \omega L' - (\omega C')^{-1} \quad ; \quad Z' = R' + X' + \Delta X' + j M' \quad ; \quad j^2 = -1$$

dove $\Delta X'$, positiva o negativa, denota la variazione subita dalla resistenza X' per effetto di uno spostamento del cursore S lungo il reostato MN da una parte o dall'altra della posizione X' .

Si avrà dunque:

$$|Z'| = [(R' + X' + \Delta X')^2 + M'^2]^{1/2} \quad ; \quad i_0 = e_0 \cdot (R' + X')^{-1} \quad ; \quad |i| = \frac{e_0}{|Z'|}$$

$$K = \frac{|i|}{i_0} = \frac{R' + X'}{|Z'|} \quad ; \quad t_n \varphi = M' \cdot [R' + X' + \Delta X']^{-1}$$

Anche i campi magnetici dovuti alle correnti i e i_0 staranno nel rapporto K (tra le ampiezze) e φ (differenza delle fasi).

Orbene, lasciando invariata la posizione della bobina esploratrice I , il compensatore dovrebbe misurare gli stessi valori K e φ suscritti.

Risolvendo rispetto a $X' + \Delta X'$ e a M' le 2 ultime equazioni che danno K e φ , si ottiene facilmente:

$$X' + \Delta X' = K^{-1} (R' + X') \cos \varphi - R' \quad ; \quad M' = K^{-1} (R' + X') \sin \varphi$$

formole che permettono di predeterminare quali valori si debbano attribuire a $X' + \Delta X'$ e a C' nel circuito del filo induttore, affinché il campo da esso prodotto stia nel rapporto K (fra le ampiezze) e φ (di differenza di fase) rispetto a H_0 .

In queste esperienze K e φ si assegnarono ad arbitrio; p. es.:

$$K = 0,4 \quad ; \quad 0,5 \quad ; \quad 1; 1,1; 1,2 \quad ; \quad 1,9 \quad ; \quad 2 \cdot \varphi = \pm 0^\circ, \pm 5^\circ, \pm 10^\circ, \dots \pm 45^\circ \dots \pm 60^\circ$$

Dai grafici già costruiti per l'uso del compensatore si ricavano i valori di R_2 e C_2 che corrispondono a tali valori di K e φ . Qualora nella effettiva esecuzione delle misure, si ottenga l'equilibrio nel com-

pensatore con valori R_2' , C_2' , sensibilmente diversi da quelli « previsti col calcolo », sarebbero anebe diversi i valori K' e φ' forniti dallo strumento.

I rapporti: $(K - K')/K$; $(\varphi - \varphi')/\varphi$, danno un'idea dell'errore relativo inerente all'uso dello strumento nelle diverse regioni di misura.

Assumendo, come si è detto, $R = 180 \Omega$, $x = 180 \Omega$, oppure: $R = 180 \Omega$, $x = 2 \cdot 180 \Omega$ le espressioni precedenti (a parte gli apici) diventano, nel 1° caso:

$$X + \Delta X = 180(2 \cos \varphi / K - 1) \quad , \quad M = 360 \cdot \frac{2 \operatorname{sen} \varphi}{K} \quad ,$$

formole adatte per piccoli valori di K , tra 0,4 e 1,2; oppure:

$$X + \Delta X = 180(3 \cos \varphi / K - 1) \quad , \quad M = 3 \cdot 180 \frac{\operatorname{sen} \varphi}{K} \quad ,$$

formole adatte per valori di K compresi tra 1 e 2,5-3, nel 2° caso.

Dal valore di M si deve ricavare quello di C ; per $L = 1$ Henry, $\omega = \pi \cdot 10^3$, $M = 10^3 (\pi - 318,31/C)$, M espresso in Ohm, C in $m \mu F$.

Il calcolo riesce più spedito, (e sufficientemente approssimato), se si costruisce la curva: $M = M(C)$ per un numero sufficiente di valori di C .

Ma in luogo del calcolo diretto mediante le formole che danno $X + \Delta X$, M , si può eseguire la determinazione degli stessi elementi per via puramente grafica, osservando che dette formole sono assolutamente simili a quelle che stanno alla base dell'impiego del compensatore. Si potranno dunque costruire nomogrammi di coordinate cartesiane ortogonali col solito criterio: in ascisse i valori di M corrispondenti ai diversi valori di C (e si quoteranno le ascisse con i valori stessi di C), in ordinate i diversi valori di $X + \Delta X$, aggiunti a quelli di R .

Poi si tracceranno i diversi cerchi di rapporto, col centro nell'origine e raggi uguali a: $(R + X)/K$.

Infine si può aggiungere una graduazione goniometrica (limitata a raggi di 5° in 5°) per rendere più spedite le letture occorrenti in queste determinazioni.

5. *Descrizione e dispositivi degli apparecchi sul campo sperimentale.* — Prima di passare in rassegna i tipi di induttori impiegati (chiuso, aperto simmetrico, asimmetrico ecc.), completamente isolati dal suolo o no, dò una sommaria descrizione degli apparecchi impiegati (la maggior parte dei quali forniti temporaneamente da Istituti scientifici e Enti costruttori di apparecchi elettrici):

1) generatore a diapason mod. 1649; frequenza 500 Hz; impedenza di uscita 250 Ohm; potenza d'uscita 25 mW; alimentazione con c.c. per mezzo di un survoltore di cui alla lettera 2);

2) survoltore mod. AC14; tensione anodica fornita al generatore a diapason a regime 270 Volt, con c. di 42 mA; tensione di alimentazione 6 V; corrente assorbita 8,2 Amp.;

3) amplificatore mod. D30P collegato all'uscita del generatore a diapason per l'amplificazione del segnale fornito dal medesimo; impedenza d'uscita 250 Ohm; potenza d'uscita 1,7 Watt indistorti; alimentazione con c.c. fornita da un survoltore di cui a lettera (4);

4) survoltore mod. AC14; tensione anodica generata per l'alimentazione dell'amplificatore D30P a regime 230 Volt; con c. di 54 mA; tensione di alimentazione 6 Volt; corrente assorbita a regime 10,5 Amp.;

5) batteria 5 + 5 accumulatori al $F_c - N_1$ collegati in parallelo; capacità 70 Ah; tensione 6 Volt; corrente erogata (alimentazione degli apparecchi di cui a lettera 1), 2), 3), 4); 18,7 Amp.;

6) bobina esploratrice I , su rocchetto di legno; diametro medio avvolgimento 18 cm; 2600 spire di filo di rame da $\varnothing = 0,3$ mm smaltato; induttanza 1,5 Henry; resistenza a 20 °C, 312 Ohm; capacità distribuita 140 pF.

La bobina, provvista di goniometro è montata su un sostegno di legno, tale da consentire qualsiasi orientamento poliassiale.

Modelli ancor più ridotti (es.: qualche cm di diametro), dovendo possedere un'autoinduzione apprezzabile, occorre che abbiano molti avvolgimenti finissimi, il che comporta un enorme aumento della resistenza ohmica, quindi un « coefficiente di merito », bassissimo, con conseguenti perdite di nitidezza nella risonanza e nella sensibilità. Per poter apprezzare allora piccole variazioni di K e φ , occorre apportare forti variazioni di R_2 e C_2 nel circuito del compensatore, con sensibilità così piccola da rendere pressoché impossibile ogni sicura determinazione.

Le dimensioni delle bobine devono essere in scala con quelle del modello di conduttore interrato da rilevare, e dei campi m. secondari provocati dalle reazioni e.m. del conduttore: d'altra parte bobine troppo grandi abbraccerebbero un valore medio di flusso m. risultante tale che in esso si annullano o si confondono le rapide variazioni locali.

7) quadretto di manovra del circuito I , montato sull'incastellatura di legno della bobina:

8) bobina *II* uguale alla precedente, di cui a lettera (6);

9) cassetta di manovra del circuito *II*, che deve rimanere in prossimità della bobina compensatrice *II*, (con capacità di risonanza), per introdurre il meno possibile, a causa del cavo di collegamento, capacità distribuite, oltremodo dannose;

10) amplificatore speciale a 3 valvole sintonizzato sulla frequenza di 500 Hz, per l'amplificazione del segnale risultante nel compensatore: amplificazione a 500 Hz intorno al valore 17000 (85 db.);

11) misuratore d'uscita con portata: 3 - 15 - 30 - 75 - 150 Volt, impedenza costante 40.000 Ohm;

12) cuffia telefonica 4000 Ω . Come previsto quale strumento di zero venne usato o un telefono alimentato attraverso ad un ampli-

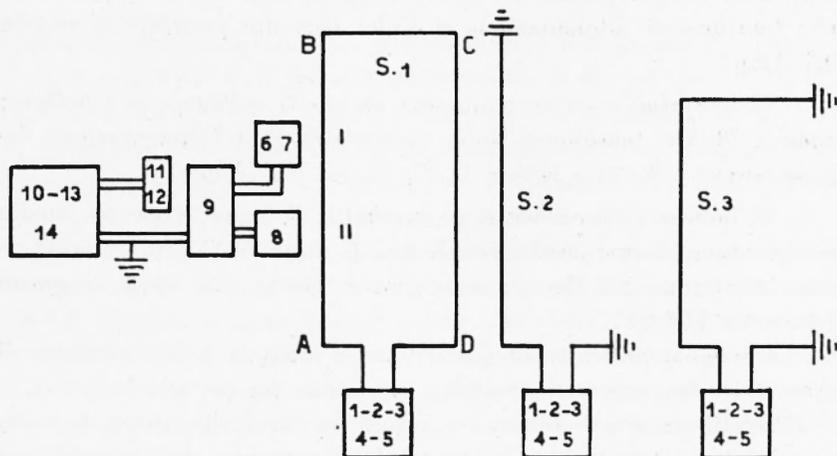


Fig. 9

catore-filtro con elevato fattore d'amplificazione, o uno strumento a lettura diretta, con varie sensibilità, ad impedenza costante, il quale facilita le prime approssimazioni nella ricerca dell'opposizione;

13) batteria di accumulatori per l'alimentazione dell'amplificatore di cui alla lettera (10); corrente erogata a regime 4 Amp;

14) survoltore mod. AC14 per l'alimentazione anodica dell'amplificatore sintonizzato e alimentato a sua volta dalla precedente batteria di accumulatori; tensione anodica generata a regime 280 Volt, corrente 18 mA.

L'alimentazione dell'apparecchiatura fatta con i survoltori, alimentati a loro volta da 2 batterie di accumulatori, offre l'inconveniente che dopo poche ore di funzionamento le batterie si scaricano.

Passando ora alla disposizione degli apparecchi e circuiti sul

campo, riporto gli schemi principali (alcuni ne ho omessi, non appor- tando sostanzialmente nulla di nuovo): essi si riducono, in fondo, a tre schemi d'induttori: il 1° (S.1) induttore puramente induttivo; il 2° induttore galvanico-induttivo asimmetrico, tale che riducendo il tratto della presa di terra *D* si riduce ad un induttore rettilineo; il 3° galvanico-induttivo simmetrico (Fig. 9).

Lo schema: S.1, consta di un cappio-induttore, cavo teso *AB* (lun- go m. 48 circa) a m 0,50 sollevato dal suolo, completamente isolato dal terreno: la chiusura ha $BC = AD = m$ 19 circa. Ponendo la bobina I nell'interno del rettangolo alla di- stanza di 1 m dal filo teso *AB*, e la bobina II esternamente al cappio, alla distanza pure di 1 m dal tratto *AB*, si legge sul compensatore un rapporto: $K = 450/400 = 1,125$, in- vece di uno ($\epsilon \% = +12,5\%$).

L'influenza del cavo di ritorno *CD*, anche alla distanza di 19 m, da *AB*, permane notevole; infatti ponendo entrambe le bobine ester- namente al cappio, alla distanza di 1 m si legge il rapporto: $395/400 = 0,9775$ ($\epsilon \% = -2,25$).

Per tentare d'eliminare l'inconveniente si sperimentò con S.2 in cui l'estremo *B* del filo teso va a terra, e così l'estremo *D*. In queste condizioni, con la bobina II fissa, alla distanza di m 1 dal filo teso,

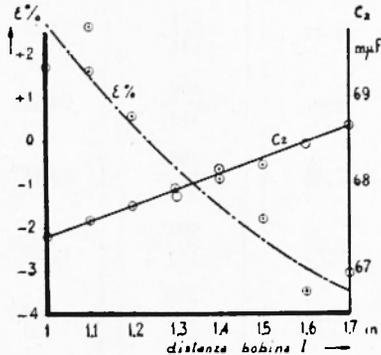


Fig. 10

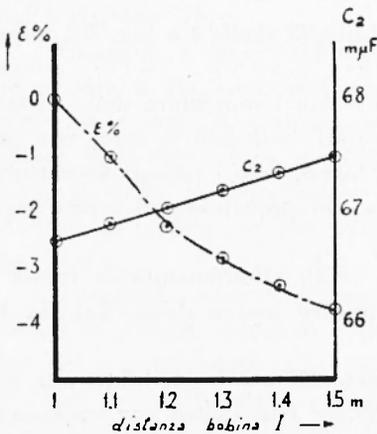


Fig. 11

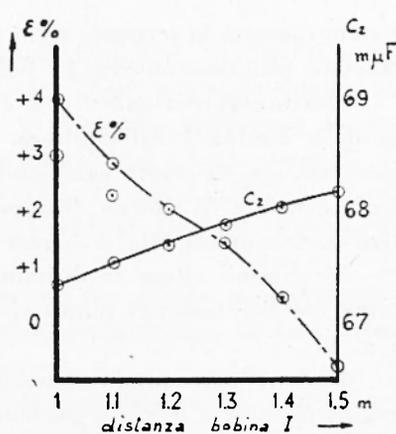


Fig. 12

TABELLA I

Bob I distanza m	$\frac{R + R_1}{R + R_2}$	K teorico	K' letto	$\varepsilon \%$	C_2 m/ μ F
1	$\frac{400}{392}$	1	1,017	+ 1,7	67,40
1	$\frac{624}{614}$	1	1,013	+ 1,3	67,40
1,05	$\frac{400}{411}$	0,952	0,977	+ 2,03	67,48
1,10	$\frac{400}{433}$	0,909	0,924	+ 1,05	67,58
1,20	$\frac{400}{478}$	0,833	0,838	+ 0,60	67,75
1,30	$\frac{400}{528}$	0,769	0,759	- 1,30	67,96
1,40	$\frac{400}{564}$	0,714	0,709	- 0,7	68,05
1,50	$\frac{400}{612}$	0,666	0,654	- 1,8	68,22
1,60	$\frac{400}{662}$	0,625	0,603	- 3,5	68,46
1,70	$\frac{400}{702}$	0,588	0,570	- 3,06	68,68

è stata eseguita la seguente serie di misure (Tabella I e Fig. 10), allontanando progressivamente la bobina I:

L'errore percentuale: $\varepsilon \%$ decresce con l'aumentare della distanza della bobina I dall'emittore, da valori > 0 fino a zero, per poi incrementarsi di nuovo cambiando di segno, errori causati soprattutto dalla corrente di ritorno disimmetrica con prevalenza di segno negativo avvicinandosi alla diagonale *BD*.

Si eliminò allora la disimmetria (S.3), allontanando la messa a terra del filo teso nel punto *C*. Le misure hanno dato (Tabella II, Fig. 11).

L'errore percentuale segue una determinata legge tanto che i 2 profili di $\varepsilon \%$ e di C_2 si possono ottenere l'un l'altro per traslazione lungo le ordinate.

TABELLA II

Bob I distanza m	$\frac{R + R_1}{R + R_2}$	K teorico	K' letto	ε %	C ₂ m/uF
1	$\frac{400}{400}$	1	1	—	66,72
1	$\frac{624}{627}$	1	0,999	— 0,1	66,41
1,10	$\frac{400}{445}$	0,909	0,900	— 1,01	66,90
1,10	$\frac{624}{695}$	0,909	0,900	— 1,01	66,46
1,20	$\frac{400}{492}$	0,833	0,814	— 2,28	67,03
1,30	$\frac{400}{537}$	0,769	0,747	— 2,86	67,19
1,40	$\frac{400}{580}$	0,714	0,690	— 3,36	67,32
1,50	$\frac{400}{624}$	0,666	0,641	— 3,76	67,47

Lo schema S.4 ripete il cappio puramente induttivo, salvo l'allontanamento in DC del complesso 1-2-3-4-5 dall'emittore AB (Tabella III, Fig. 12):

Abolendo i complessi survoltori-accumulatori, riallacciando nel generatore a diapason, nell'amplificatore D30P nell'amplificatore sintonizzato i circuiti d'alimentazione in c.a., già predisposti internamente negli apparecchi, e collegando i medesimi ad una presa di corrente normale di distribuzione d'energia elettrica a 160 Volt, si sono ripetute le misure con S.3 ottenendo i seguenti risultati (Tabella IV, fig. 13):

Il seguente schema è stato adoperato per misure di differenze di fase, con diversi valori di resistenza e di capacità, calcolate e lette poi nel compensatore (Fig. 14).

Per la verifica delle condizioni di risonanza con l'oscillografo a raggi catodici (accennato a § 3) il controllo è stato eseguito introdu-

TABELLA III

Bob I distanza m	$\frac{R + R_1}{R + R_2}$	K teorico	K' letto	ε ‰	C ₂ m/μF
1	$\frac{400}{334}$	1	1,04	+ 4	67,39
1	$\frac{604}{606}$	1	1,03	+ 3	67,37
1,10	$\frac{400}{429}$	0,909	0,935	+ 2,86	67,56
1,10	$\frac{624}{674}$	0,909	0,930	+ 2,3	67,56
1,20	$\frac{400}{470}$	0,833	0,850	+ 2,04	67,7
1,30	$\frac{400}{514}$	0,769	0,780	+ 1,43	67,91
1,40	$\frac{400}{558}$	0,714	0,717	+ 0,42	68,08
1,50	$\frac{400}{604}$	0,667	0,662	- 0,75	68,16

cendo volta per volta nel circuito in prova una bobina tipo « Curtiss » particolarmente studiata per ridurre l'induttanza e la capacità distribuita dell'avvolgimento.

All'asse x dell'oscillografo si è collegato la caduta di tensione ai capi della bobina « Curtiss » e all'asse y la tensione di uscita dell'amplificatore. Se nel tubo si disegna un'ellisse (in genere molto schiacciata), ciò dimostra che la corrente nel circuito non è in fase con la tensione applicata. Il rifasamento si può ottenere, per i circuiti delle bobine di esplorazione, agendo sui condensatori di correzione, già predisposti nei circuiti di compensazione.

Risultati ottenuti con modello pane di P_b interrato. — Tenendo fissa la bobina orizzontale (500 Hz, 150 mA) II, alla distanza di m 2 dall'emittore, cavo teso, a m 0,21 di altezza dal terreno discosta da un blocco di piombo (conduttore perturbante posto nel suolo, parallelepipedo di dimensioni: m 0,64 × 0,11 × 0,055, peso kg 44,5), gli apparecchi di-

sposti secondo lo schema S.3, la bobina mobile I allontanandosi progressivamente dall'induttore complanare di cui si vede traccia in Fig. 15 fino ad oltrepassare il piombo, ho ottenuto risultati di misure riassunti nella Tabella V e nel grafico stesso Fig. 15 (diagrammi relativi alle misure eseguite su modello di piombo con bobine schermate).

I comportamenti relativi di K e φ , che, come si osserva nella Fig. 15, rendono possibile la localizzazione accurata del conduttore perturbante, permettono altresì la determinazione di una scala delle indicazioni, a seconda l'entità della conduttività elettrica dei conduttori stessi.

A secondo i valori relativi $\Delta\varphi$, K , si può risalire in altri termini alla precisazione della conduttività del conduttore sepolto nel suolo, e quindi, (equivalenze a parte), alla sua consistenza mineraria.

È ben noto ai prospettori che non solo i problemi ubicazionali, di tonnellaggio, interessano la ricerca geofisica dei minerali nel sottosuolo, spesso questi passano in seconda linea di fronte a quello della determinazione della natura fisica dei minerali stessi, a meno che non

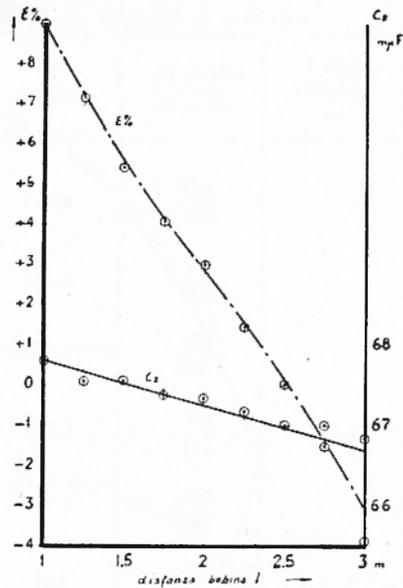


Fig. 13

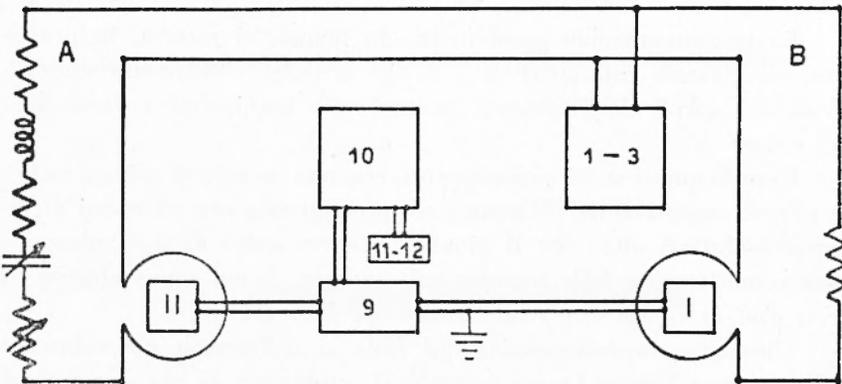


Fig. 14

TABELLA IV

Bob I distanza m	$\frac{R + R_1}{R + R_2}$	K teorico	K' letto	$\varepsilon\%$	C ₂ m/uF
3	$\frac{400}{625}$	0,666	0,640	- 3,9	66,84
2,75	$\frac{400}{556}$	0,727	0,720	- 0,96	66,75
2,5	$\frac{400}{500}$	0,800	0,800	0	67
2,25	$\frac{400}{444}$	0,888	0,901	+ 1,46	67,21
2	$\frac{400}{388}$	1 —	1,03	+ 3	67,36
1,75	$\frac{624}{522}$	1,143	1,190	+ 4,1	67,4
1,50	$\frac{624}{444}$	1,333	1,405	+ 5,4	67,56
1,25	$\frac{936}{546}$	1,600	1,715	+ 7,2	67,56
1	$\frac{936}{428}$	2 —	2,180	+ 9	67,80

intervengano concomitanti indicazioni geologiche di una certa probabilità.

La sperimentazione geoelettrica, da tempo, ci mostra, in proposito, correlazioni caratteristiche (ai fini di poter risalire alle conduttività dei corpi elettricamente perturbanti) tra isofasi e isodiname dei c.e.m.

Usando questi stessi procedimenti, con una tecnica di misura (e.m.) la più efficace possibile (Bicaram), sto proseguendo con gli esami di diversi conduttori oltre che il piombo, mentre spero di dare una giustificazione teorica delle correlazioni scoperte, di cui sopra almeno in certi casi di conduttori geometricamente ben definibili.

L'indagine modellometrica qui fatta si differenzia notevolmente dalle scarse e incerte finora apparse: il conduttore da rintracciare col Bicaram non è un cosiddetto « asse elettrico » (cavo percorso da c.e.

Diagrammi relativi alle misure eseguite su modello di piombo

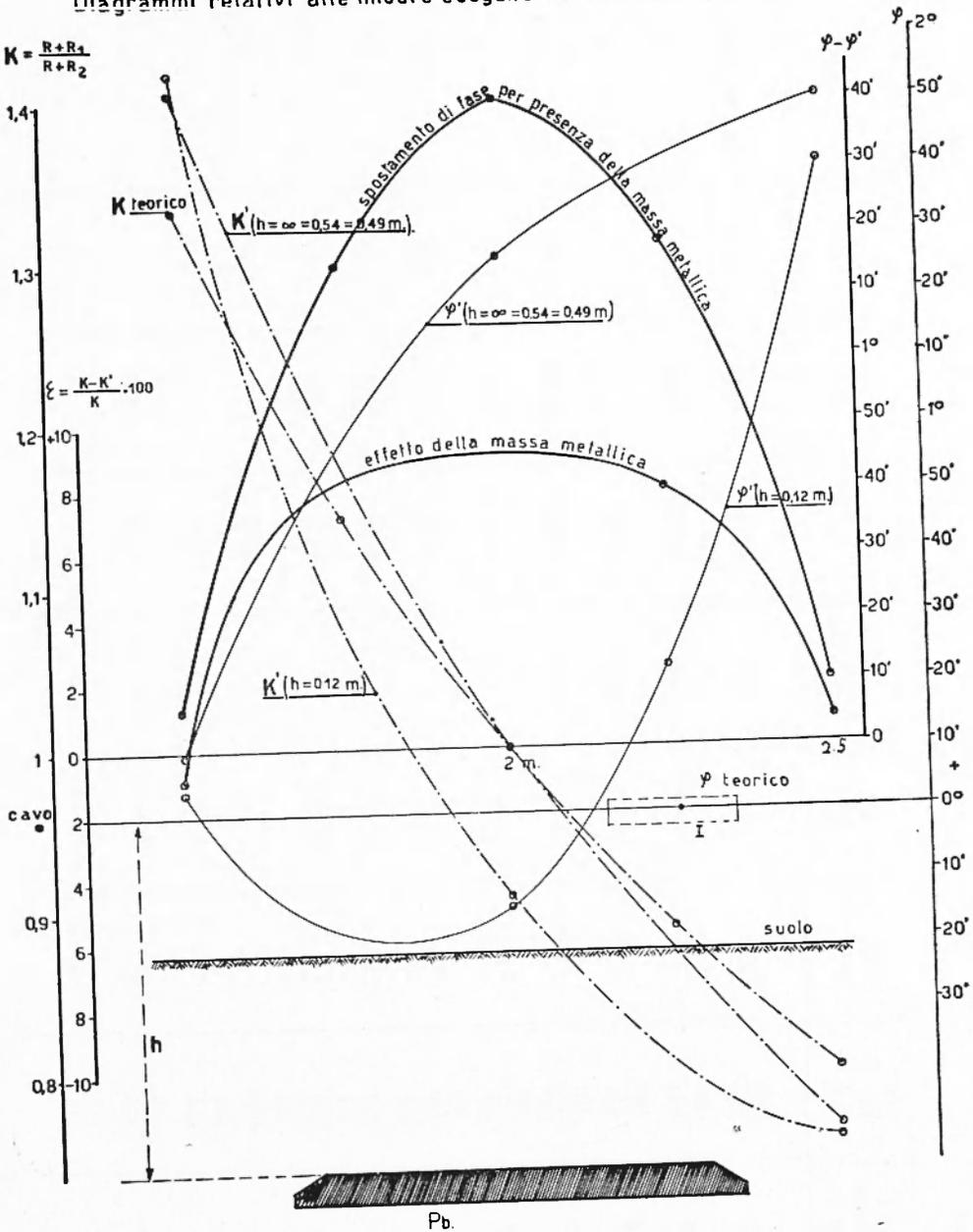


Fig. 15

TABELLA V

Bob I distanza m	$\frac{R + R_1}{R + R_2}$	K teorico	K' letto	$\frac{\varepsilon \%}{K - K'} 100$	C_{α} m/ \sqrt{F}	tg φ'	φ'	Note
2	$\frac{400}{400}$	1	1	—	67,7	0,025	1°26'	Pane Pb distan. ∞
1,50	$\frac{624}{444}$	1,333	1,405	— 5,4	67,58	0,0043	14'5"	» » »
1,50	$\frac{936}{674}$	1,333	1,388	— 4,1	67,58			» » »
2,25	$\frac{400}{458}$	0,888	0,873	1,69	67,76	0,0305	1°45'	» » »
2,50	$\frac{400}{523}$	0,800	0,764	4,5	67,8	0,032	1°50'	» » »
2	$\frac{400}{400}$	1	1	—	67,69	0,023	1°21'	» » m 0,545
2	$\frac{400}{400}$	1	1	—	67,69	0,023	1°21'	» » 0,495
2	$\frac{400}{402}$	1	0,995	+ 0,5	67,72	0,0284	1°37',5"	» » 0,390
2	$\frac{400}{407,5}$	1	0,981	+ 1,9	67,72	0,028	1°36'	» » 0,285
2	$\frac{624}{634}$	1	0,984	+ 1,6	67,72	0,0179	1°1',5"	» » »
2	$\frac{400}{416}$	1	0,961	+ 3,9	67,71	0,0257	1°28',5"	» » 0,190
2	$\frac{624}{649}$	1	0,961	+ 3,9	67,71			» » »

Bob I distanza m	$\frac{R + R_1}{R + R_2}$	K teorico	K' letto	$\frac{\epsilon \%}{K - K'} \cdot 100$ K	C ₂ m/uF	tg q'	φ'	Note
1,75	$\frac{624}{551,5}$	1,142	1,131	0,97	67,66	0,0132	45'	Pane Pb m 0,190
1,50	$\frac{624}{442}$	1,333	1,411	- 5,86	67,58	0,0043	14',5	» » »
2,25	$\frac{624}{732,5}$	0,888	0,851	+ 4,16	67,79	0,0218	1°15'	» » »
2,25	$\frac{400}{476}$	0,888	0,840	+ 5,4	67,79	0,0337	1°56'	» » »
2,50	$\frac{400}{522}$	0,800	0,766	+ 4,25	67,82	0,035	2°	» » »
2	$\frac{400}{446}$	1	0,896	10,4	67,52	0,0043	-14',5	» » 0,120
2	$\frac{624}{686}$	1	0,909	9,1	67,52			» » »
1,75	$\frac{624}{582}$	1,142	1,072	6,13	67,50	0,0055	-18',5	» » »
1,50	$\frac{624}{440}$	1,333	1,418	- 6,4	67,56	0,0011	+ 3',5	» » »
2,25	$\frac{400}{498}$	0,888	0,803	+ 9,6	67,60	0,0066	22',5	» » »
2,50	$\frac{400}{528}$	0,800	0,757	+ 5,38	67,78	0,029	1°40'	» » »

senza alcun riferimento col suolo), esso è invece un ottimo conduttore massivo (P_b) immerso nel cattivo o medio conduttore suolo incassante.

Le sue reazioni e.m. specifiche, K e φ , sono ottenute infatti come differenze:

$$K (P_b + \text{suolo}) - K (\text{suolo}) \equiv K' (h = m 0,12) - K' (h = \infty)$$

dove h è la distanza verticale (o profondità) variabile tra la bobina e il piombo interrato.

La semplice idea di sostituire ad una tesata di cavetto metallico nell'aria (ottima per semplificare le indagini modellometriche di massima) un blocco di piombo interrato può non esser stata attuata in precedenza per più motivi: la sottovalutazione delle reazioni e.m. dei suoli omogenei incassanti, (il cui importante contributo fu studiato soprattutto da A. Graf), e la difficoltà di realizzazioni modellometriche (strumenti, grandezze fisiche, ecc.) nel senso voluto.

La fig. 15 con i profili K , sia pure molto estrapolati, evidenzia un andamento di K teorico prossimo al $K' (\infty)$ del suolo omogeneo, con scostamenti seguenti una determinata legge, (allontanandosi la bobina rilevatrice I dall'emittore), attenuantesi a distanza.

Si deve tener presente che l'esperienze vennero condotte, (perché non pronti), senza l'inserimento nel Bicaram dei necessari trasformatori d'isolamento, quindi in condizioni non ottime.

Caratteristici i profili d'anomalia K' , φ' , ($h = 0,12$ m), in relazione all'ubicazione e morfologia del conduttore e l'effetto K' , φ' del terreno ($h = \infty$). Si comprende subito, esaminando la figura, come una copertura conduttiva, (caso frequente alle nostre latitudini), possa provocare una sola coppia K' , φ' , come se il conduttore P_b , (anche a piccola profondità), non esistesse, riducendosi a zero l'area compresa tra i 2 profili $K' (\infty)$, $K' (0,12)$. Le diagrafie della Fig. 15, danno in definitiva il modo di constatare risultati sperimentali nettamente positivi, distinti e convergenti per l'individuazione di masse conduttrici sepolte, irraggiungibile, nelle stesse condizioni, con altri compensatori. Si è al massimo possibile perfezionamento strumentale dei geocompensatori a c.a. a bobine bilanciate, l'impiego dei quali tuttavia rimarrà positivo solo se essi, (specie in condizioni difficili di rilevamento ad es. di solfuri misti sardi di P_b e Z_n) saranno inseriti nei dispositivi tribobinici (Trib) da me introdotte (geoinduttore, schermi di c.m. primario, detector geocompensatore Bicaram).

RIASSUNTO

L'A., nella « Premessa », ricorda i suoi precedenti Studi che hanno portato alla realizzazione d'un nuovo compensatore a c.a. denominato Bicaram.

Con la presente Nota completa una serie d'esperienze a scala ridotta, permettenti ulteriori affinamenti strumentali, con copioso materiale di sperimentazione.

I risultati ottenuti con esperienze su modello di P_b interrato, riassunti in apposito grafico, mostrano profili di campo e.m. e di fase cospiranti a localizzare il buon conduttore, e definirne il grado di conduttività; rivelano la notevole influenza dei suoli incassanti, delle coperture conduttive di mascheramento.

Riferendosi a precedenti suoi lavori sull'argomento, l'A. accenna al razionale e più redditizio impiego di tali compensatori in genere, nelle zone di eliminazione del c.e.m. primario, ottenute con diversi procedimenti dell'A. stesso.

SUMMARY

The author, in « Premessa » summarizes his previous studies which have lead to a new type of AC compensator called Bicaram.

With the present note, the description of a series of experiments on a reduced scale is completed; giving further instrumental refinements and including a large amount of experimental data.

The results obtained from experiments using buried P_b models are summarized in an appropriate graph which shows profiles of the e.m. field and the phase which together serve to locate a good conductor and to define for it the degree of conductivity, revealing the notable influence of packed soils and the masking effect of conducting layers.

Referring to his previous works on this question, the author calls attention to the possibility of using this compensator for the elimination of the primary e.m. field, as has been done in various ways by the author himself.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ARNALDO BELLUIGI: *Accoppiamenti resistivi di bobine induttive nella prospezione elettrica del sottosuolo*. La Ricerca Scientifica, Roma 1942, pag. 770.
- A. B.: *Accoppiamenti resistivi di bobine induttive ecc.* (Teoria, Esperimenti di Laboratorio). Boll. Uff. Geologico d'Italia, Roma 1943, pag. 43.
- A. B.: *Impiego del compensatore a c. a., a bobine bilanciate, nelle misure in scala ridotta*. Rend. del Seminario della Facoltà di Scienze, Cagliari, 1946.
- A. B.: *Bicaram*. (Nuova apparecchiatura e m., a sensibilità variabile). Boll. Uff. geologico d'Italia, Roma 1947, pag. 17.
- A. B.: *Sulle prospezioni elettromagnetiche di alcune tipiche giaciture di solfuri misti in Sardegna, ecc.* Atti del Congresso Minerario Italiano, 1948.
- (-) A. B.: *La misura diretta dei c.e.m secondari dei suoli; il Mind, il Trib.* Rend. Seminario delle Facoltà di Scienze, Cagliari 1946.
- A. B.: *Fondamenti di una nuova prospezione geoelettrica del 1947*. Pubbl. della Facoltà d'Ingegneria di Cagliari.
- A. B.: *L'impiego della geoelettrica in Miniera*. Experientia Basel 1948.
- A. B.: *Problemi fondamentali concernenti l'impiego dei metodi induttivi ecc.* Rendiconti Seminario Facoltà di Scienze, Cagliari 1948.
- A. B.: *Su una nuova prassi geoelettrica induttiva per ricerche di conduttori nel sottosuolo*. Boll. Servizio Geologico d'Italia, 1947.
- (3) GEYER W.: *Die Anwendung des Komplexen Wechselstromkompensators bei geol. Untersuchungen*. Archiv für Elektr. 1929, H. «Messungen mit dem Schleifdraht-Wechselstrokkomp.» E.T.Z., 1930.
- GIARO JOSEPH A.: *Compensateur double à courant alternatif*. Leemann S.A., Zurich 1949.
- BARBAGELATA ANGELO: *Misure elettriche*. Libreria Editrice Politecnica, Milano, volume II pag. 180 e seg.