Geologia. — *Prospezione geoelettrica sul Promontorio Circeo (Lazio)* (*). Nota di CARLO F BONI, presentata (**) dal Corrisp. B. ACCORDI.

SUMMARY. — Some Authors consider the Circeo Promontory an autochthonous structure, others regard it as a " Klippe " of Mesozoic limestone overlying Cenozoic flysch.

From this geolectric study it appeared that under some ten meters of very resistive carbonate rocks lies a conductive formation characterized by a very low electric resistivity similar to the one of the flysch outcropping near by the Promontory.

On the other hand it is possible to exclude what was suggested by some Authors i.e. that the substrate low resistivity is due to the influence of sea water flowing inside the carbonate, because the contact plane between the carbonate and the underlying formation lies over the sea level.

It is therefore possible to conclude that Circeo Promontory is composed of allochthonous masses of Mesozoic carbonate rocks overlying Cenozoic flysch.

PREMESSE

I numerosi Autori che si sono occupati della geologia del Promontorio Circeo hanno espresso pareri diversi e a volte contrastanti. Il Foglio geologico 170 (Terracina), edito nel 1960 a cura del Servizio Geologico d'Italia, rispecchia questa diversità di vedute perché riporta due interpretazioni strutturali del Promontorio sostanzialmente diverse: una di A. G. Segre, che ha eseguito i rilevamenti, l'altra di E. Beneo, allora direttore del Servizio Geologico. In fig. 1 sono fedelmente riprodotte le interpretazioni fornite dai due Autori: il primo considera il rilievo come una « struttura con caratteri estrusivi » e la interpreta secondo i profili A e A'; il secondo ritiene che il promontorio sia formato da una coltre di terreni carbonatici liassici giacenti sul Flysch neogenico (fig. 1, B).

Conviene qui sottolineare che mentre le osservazioni dirette di terreno forniscono elementi scarsi e frammentari, comunque mai determinanti a favore di una delle due interpretazioni, dati molto significativi si possono ottenere con l'impiego della prospezione geofisica; già nel 1953 A. Manfredini aveva pubblicato i risultati di un accurato studio geoelettrico del promontorio dai quali risulta che le formazioni mesozoiche costituiscono solo un ricoprimento di spessore esiguo rispetto alle dimensioni del monte. Questa interpretazione, che corrisponde a quella proposta da E. Beneo, è dovuta al fatto che sotto l'esiguo spessore di terreni molto resistivi, riferibili a formazioni carbonatiche mesozoiche, si registrano basse resistività elettriche di valore analogo a quelle dei sedimenti di età terziaria affioranti nei pressi del rilievo.

Lavoro eseguito presso l'Istituto di Geologia e Paleontologia de niversità Roma on il contributo del C.N.R.

) Nella seduta del 10 maggio 1969.

È stato tuttavia giustamente osservato (Conforto, Di Ricco, Sappa 1962) che la caduta dei valori di resistività, che si registra sotto lo « strato » resistivo più superficiale affiorante sul Circeo, può essere riferita a due cause diverse:

– presenza di una formazione a bassa resistività elettrica prevalentemente argillosa, giacente sotto terreni carbonatici ad alta resistività;

– influenza dell'acqua marina molto conduttiva, circolante entro i calcari e le dolomie fratturate, che abbasserebbe la resistività media del mezzo.

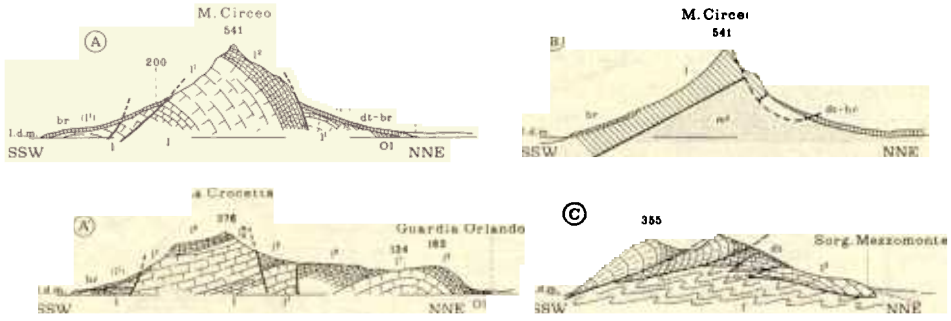

Fig. 1. – Profili geologici. Vengono riprodotti i profili geologici che figurano nel Foglio 170 (Terracina) II Edizione 1960, di A. G. Segre (A e A'); il profilo schematico di E. Beneo tratto dallo stesso Foglio (B); un profilo (C) di B. Accordi (1966).

l e l^1: calcari e dolomie del Lias mf.; l^2: calcari e marne con selce del Lias medio; f: materiali flyschioidi di età terziaria; m^2: flysch neogenico (secondo Beneo); ol: facies calcareo–brecciosa–arenacea del Paleogene (secondo Segre); dt–br: terreni della coltre superficiale quaternaria.

I profili mostrano le diverse interpretazioni strutturali fornite da alcuni Autori; dell'indagine geoelettrica descritta in questo lavoro si è tenuto conto nella esecuzione del profilo C.

Nel primo caso la caduta di resistività sarebbe dovuta sostanzialmente a motivi strutturali, nel secondo sarebbe invece imputabile esclusivamente a cause idrogeologiche: i dati geofisici sembrano perdere in ogni caso il loro significato.

Di fronte a tale ambiguità il prof. B. Accordi invitava il dr. A. Praturlon a controllare i dati geologici di terreno e successivamente mi incaricava di condurre una nuova campagna di prospezione geoelettrica, per verificare se i dati geofisici avessero valore ai fini di una interpretazione strutturale e per acquisire nuove conoscenze sul substrato del promontorio.

In questa Nota vengono pubblicati e commentati i grafici di resistività, ancora inediti, ottenuti nella campagna di prospezione geoelettrica.

SITUAZIONE GEOLOGICA

Poiché l'interpretazione dei grafici di resistività risulta assai difficoltosa, e forse poco significativa, se non si tengono in chiara evidenza i problemi geologici che l'indagine ha lo scopo di chiarire, prima di commentare i

risultati della prospezione geoelettrica è necessario esporre almeno sinteticamente la situazione geologica (1).

Sul versante a mare del rilievo, (fig. 2) e in parte sulle colline di Peretto e Monticchio, affiorano terreni del Lias inferiore (coperti sui bassi versanti

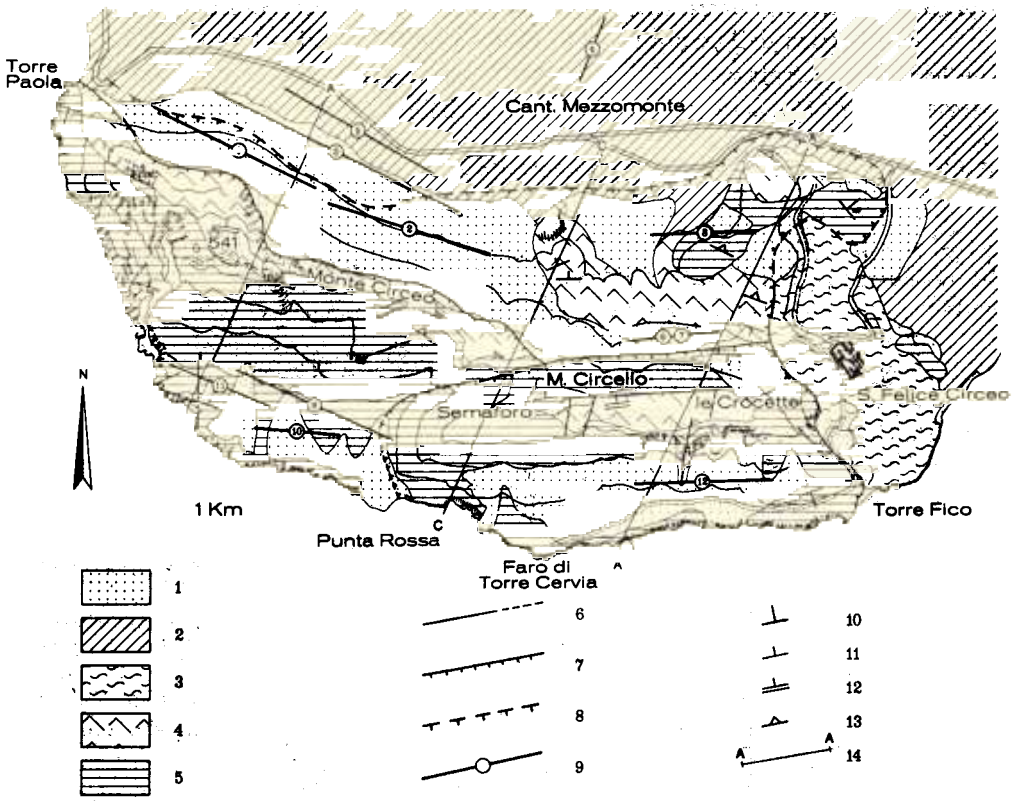

Fig. 2. – Carta geologica del Promontorio Circeo (da B. Accordi 1966, in base a rilievi inediti di A. Praturlon, ridisegnata con l'aggiunta dei terreni di copertura recente).

1) «terre rosse», detriti di falda e conoidi, brecce di pendio e depositi litorali (Quaternario); 2) Sabbie eoliche continentali, sedimenti limno palustri (Quaternario); 3) Flysch di S. Felice: ammasso caotico di argille, marne, arenarie e brecce calcaree (terziario); 4) Calcari e marne con selce ben stratificati (Lias medio); 5) Calcari e dolomie in strati e banchi (Lias inf.); 6) Faglie; 7) Limiti di ricoprimento; 8)Probabile limite di ricoprimento sepolto, ricavato da dati geoelettrici; 10–13) Immersione degli strati da 0°–20°; 20°–45°; 45°–70°; 70°–90°; 14) Traccia dei profili geologici di fig. 1.

Il Promontorio risulta formato da tre unità carbonatiche, parzialmente sovrapposte, tutte giacenti su flysch terziario.

meridionali da un mantello irregolare, prevalentemente detritico, di età recente): sono bancate di calcare dolomitizzato e brecciato che mostra notevoli affinità con il «Calcare massiccio» umbro, per caratteristiche litologiche e paleontologiche. Segue in continuità il Lias medio–superiore che affiora lungo la cresta

(1) Per una analisi critica della letteratura geologica sul Circeo si rimanda ad Accordi (1966), che con l'aiuto di Praturlon fornisce un quadro completo e aggiornato degli studi finora pubblicati e avanza una nuova interpretazione basata su dati geologici e geofisici (fig. 1, C).

del rilievo e in parte sulle colline di Guardia di Orlando, Peretto e Mezzomonte: si tratta di una serie di terreni prevalentemente calcareo–marnosi riferibili ad un ambiente di sedimentazione pelagico, probabilmente « di transizione » alla serie umbra, intesa in senso lato.

Sui bassi versanti settentrionali una coltre detritica, coperta da fitta e tipica macchia mediterranea, si appoggia a monte sui terreni del Lias medio–superiore e a valle su terreni quaternari prevalentemente sabbiosi che bordano il rilievo.

All'estremo limite orientale, presso San Felice, affiorano terreni caotici sicuramente terziari (non è stata fin qui possibile una determinazione cronologica più precisa) costituiti da un ammasso di argille, marne, arenarie e brecciole calcaree intensamente piegate che sono state indicate, da vari Autori precedenti, genericamente, come flysch. L'affioramento borda il rilievo carbonatico ad est e il contatto si può seguire da Torre Fico fino a quota 200 circa, a monte del Cimitero di San Felice. Su questo complesso poggiano formazioni continentali e salmastre recenti. Un altro esiguo ma significativo affioramento di flysch si trova un centinaio di metri ad est dell'Albergo Punta Rossa, in una grotta al livello del mare dove è possibile vedere un contatto tettonico inverso fra calcari liassici e serie terrigena terziaria.

L'indagine geofisica ha lo scopo di chiarire i rapporti fra il flysch e la serie carbonatica e particolarmente di stabilire se il flysch di San Felice si estende al di sotto del rilievo carbonatico o se lo borda solo sul fianco orientale.

PROSPEZIONE GEOELETTRICA.

Il metodo geoelettrico per la misura della resistività dei terreni, con l'impiego di corrente continua, è molto noto e non ritengo necessario illustrarlo; va tuttavia precisato che, mentre A. Manfredini nella precedente indagine (1953) ha adottato il dispositivo elettrodico di Wenner (MN pari a 1/3 di AB), io ho preferito impiegare il dispositivo ABMN simmetrico di Schlumberger (2). Le due campagne hanno ottenuto risultati sostanzialmente analoghi e confrontabili.

Nonostante le difficili condizioni ambientali in cui si è operato, già messe in evidenza da A. Manfredini, la qualità delle curve di resistività (fig. 4) è generalmente tale da consentire una attendibile valutazione quantitativa con gli abachi di interpretazione della C.G.G. (1963).

In buon accordo con i dati di A. Manfredini (trascurando le coltri superficiali di esiguo spessore e di resistività variabile) i terreni interessati dai sondaggi possono essere suddivisi in tre diversi tipi, in base alle loro resistività.

– Resistività superiore a 1000 $ohm \times m$: sono riferibili esclusivamente lle formazioni carbonatiche del Lias.

(2) Per la descrizione del metodo e il tipo dei dispositivi si può vedere Lasfargues 1957 Keller–Frischkneht 1966.

– Resistività compresa fra 150 e 50 *ohm*×*m*: si trovano solo sui bassi versanti settentrionali e nella pianura adiacente; sono riferibili a formazioni recenti prevalentemente sabbiose.

– Resistività inferiori a 50 *ohm*×*m*: si sono trovate, in tutti i sondaggi, sotto le formazioni liassiche. Resistività intorno a 30 *ohm*×*m* sono state inoltre misurate direttamente sul flysch di San Felice, in sondaggi di taratura.

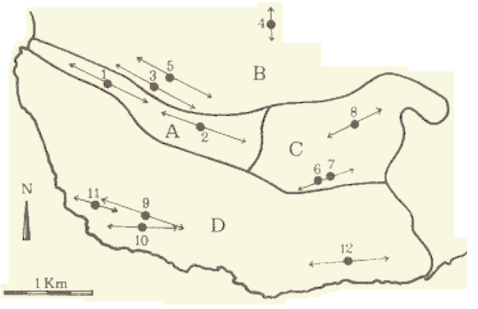

Fig. 3. Vengono indicate le quattro zone che hanno fornito grafici di resistività analoghi; può dedurre che in ciascuna zona le condizioni geologiche sono omogenee.

I sondaggi elettrici sono stati eseguiti in quattro zone distinte, (fig. 3) in ciascuna delle quali si sono ottenute curve di resistività dello stesso tipo (fig. 4); ciò conferma che nell'ambito di ciascuna zona le condizioni geologiche sono risultate omogenee.

Versante settentrionale ad ovest della collina di Mezzomonte

Sondaggio n. 1 – quota 125, AB 1000 m
Sondaggio n. 2 – quota 95, AB 1000 m

Sotto una copertura superficiale di modesto spessore (10–20 m) riferibile a brecce di pendio, si nota un forte rialzo di resistività che tende asintoticamente ad un valore di 2000 *ohm*×*m*, riferibile a rocce carbonatiche mesozoiche. Segue un mezzo di resistività inferiore a 50 *ohm*×*m* che si spinge a notevole profondità. Risulta difficile definire lo spessore dell'orizzonte resistivo perché non è possibile valutare fino a che punto giochi sul rialzo di resistività un possibile « effetto laterale » esercitato dalla massa carbonatica che affiora a monte; in altre parole, considerata la situazione geologica, rimane il dubbio che i calcari interessati dal sondaggio non giacciano sotto l'allineamento elettrodico, ma piuttosto lateralmente verso monte. È comunque certo che a circa 100 m di profondità si trova un substrato conduttivo che non risente di eventuali effetti laterali.

Zona B Basso versante settentrionale e pianura adiacente

Sondaggio n. 3 – quota 50, AB = 1600 m
Sondaggio n. 4 – quota 24, AB = 400 m
Sondaggio n. 5 – quota 26, AB = 1000 m.

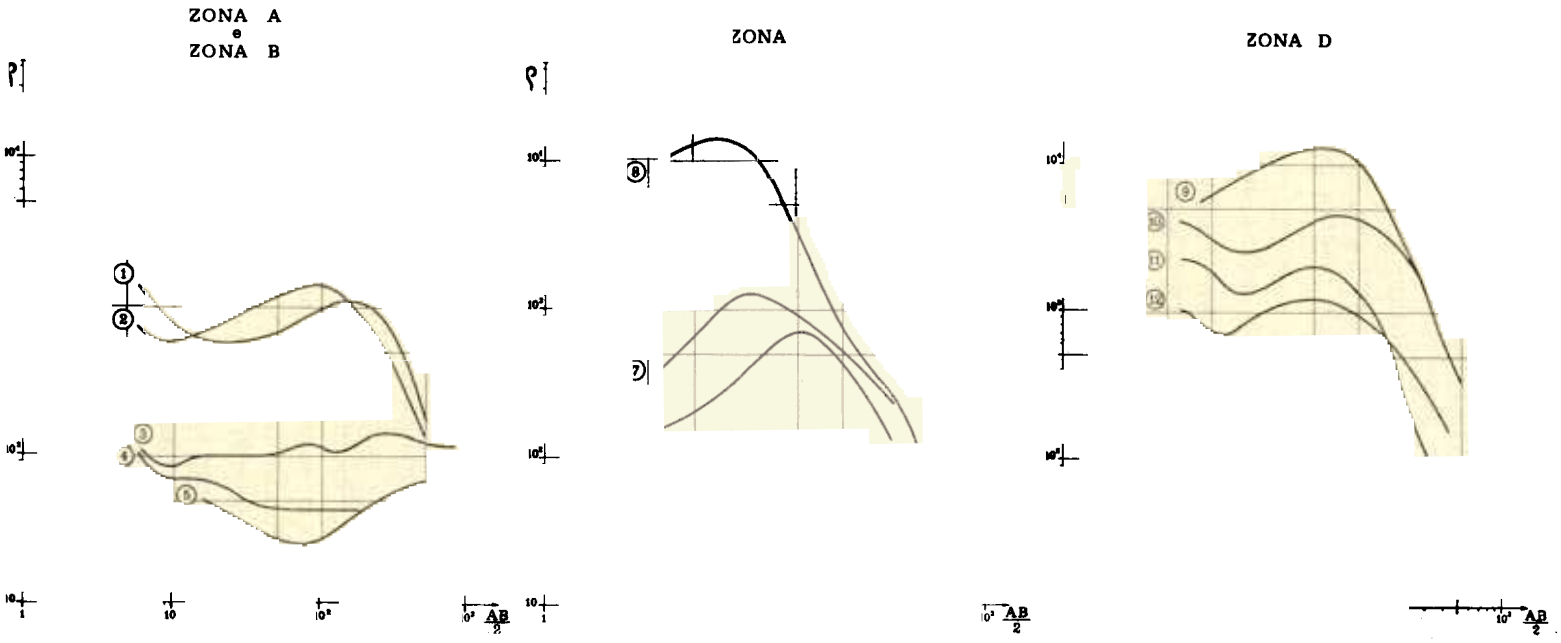

Fig. 4. – Grafici di resistività elettrica ottenuti dalla campagna geoelettrica.

La scala è bilogaritmica; in ascisse la semi-lunghezza della stesa elettrodica AB in metri; in ordinate le relative resistività medie registrate. I grafici sono stati corretti e riprodotti nella forma in cui sono stati interpretati. Sondaggi eseguiti nella stessa zona (fig. 3) hanno fornito curve di resistività molto simili e confrontabili; ciò indica che le condizioni geologiche sono omogenee nella singola area. Ad eccezione della zona B (al di fuori del rilievo), in tutti i sondaggi dopo un marcato rialzo di resistività che tende asintoticamente a valori di alcune migliaia di *ohm*×*m*, si nota una spiccata caduta che tende verso valori inferiori a 50 *ohm*×*m*.

I grafici sono stati interpretati con abachi della C.G.G. (1963); i risultati della interpretazione vengono commentati nel testo.

Sotto terreni di copertura, di spessore variabile, la resistività del substrato tende più o meno regolarmente, a seconda dei casi, a un valore di poco superiore a 100 *ohm*×*m*, senza mostrare incrementi tali da indicare la presenza di masse carbonatiche sepolte. Resistività intorno a 100 *ohm*×*m* sono superiori a quelle del substrato incontrato in tutte le altre zone esaminate e si possono riferire, in buon accordo con i dati geologici, a formazioni quaternarie prevalentemente sabbiose che colmano la pianura pontina.

Zona C Versante settentrionale ad est della collina di Mezzomonte

Sond	quota 210, AB	400 m
Sond	quota 210, AB	400 m
Sond	quota 90, AB	640 m

I sondaggi 6 e 7 sono stati eseguiti (lungo lo stesso allineamento, alla stessa quota e parzialmente sovrapposti) sulla fascia detritica che separa il rilievo delle Crocette dalla collina di Peretto. Sotto una copertura detritica di esiguo spessore si registra un sensibile incremento di resistività riferibile a un orizzonte calcareo. Lo spessore di questo livello cresce da est ad ovest, ma non supera i 40 m. Al di sotto si registra una decisa caduta di resistività verso valori inferiori ai 50 *ohm*×*m*. Il Sondaggio 8 direttamente impostato su calcari della collina di Peretto registra immediatamente valori di resistività elevati; lo strato resistivo non supera tuttavia 15 m di spessore. Al di sotto si trova un substrato conduttivo di resistività confrontabile con quella rilevata alla base dei sondaggi eseguiti più a monte.

Zona D Versante meridionale.

Sondaggio n. 9	quota 90, AB	1000 m
Sondaggio n. 10	quota 65, AB	500 m
Sondaggio n. 11	quota 75, AB	640 m
Sondaggio n. 12	quota 110, AB	800 m

I grafici, fra loro simili, indicano che le condizioni sono sufficientemente omogenee nell'intera zona. Sotto una copertura detritica irregolarmente distribuita a colmare le depressioni (fa eccezione il n. 9 direttamente impostato su calcari) si registra un netto incremento di resistività verso valori elevatissimi, anche superiori a 10.000 *ohm*×*m*; segue una marcata caduta di resistività che in tutti i sondaggi tende uniformemente verso valori inferiori a 50 *ohm*×*m*.

Per i sondaggi 9, 11 e 12, eseguiti ad una quota compresa fra 65 e 110 m, lo spessore valutabile dell'orizzonte resistivo non supera i 50/60 m. Solo nel numero 10 lo strato resistivo si spinge in profondità a sfiorare la quota 0.

È stato inoltre eseguito un sondaggio di taratura, a monte del Cimitero di San Felice, dal quale risulta che i valori di resistività del flysch non si discostano molto da 30 *ohm*×*m*; analoghi valori aveva ottenuto Manfredini sugli stessi terreni a quote inferiori.

ONCLUSION

L'indagine geoelettrica ha confermato la presenza di un substrato conduttivo sotto tutti gli affioramenti di Lias carbonatico ad alta resistività. La superficie di contatto fra terreni a diversa resistività passa approssimativamente per quota 180 sotto i punti 6 e 7 (fig. 2); per quota 50 sotto il punto 12, per quota 30 sotto i punti 9 e 11, per quota 0 sotto il punto 10. Correlando le varie quote di contatto così ricavate ne risulta, sul versante a mare, una superficie piuttosto regolare, diretta circa est–ovest, approssimativamente parallela alla superficie topografica inclinata di circa 10° verso sud; è significativo che su questo piano vengano a cadere perfettamente sia il limite tra flysch e formazioni carbonatiche, che corre lungo il versante orientale, sia l'analogo contatto tettonico visibile in una grotta posta ad est di Punta Rossa, a cui si è già fatto cenno precedentemente. Ad eccezione del punto 10 la superficie di contatto fra i due terreni a diversa resistività risulta sempre al di sopra del livello marino; viene quindi a cadere la validità dell'ipotesi che le basse resistività elettriche del substrato possano essere dovute alla circolazione di acqua marina entro calcari fratturati, perché l'acqua salata non può certamente influenzare la resistività di un terreno permeabilissimo posto anche solo pochi metri sopra il livello del mare.

Sciolto questo dubbio sostanziale i risultati delle indagini geoelettriche tornano ad assumere il loro significato. Si possono quindi attribuire le basse resistività elettriche registrate sotto gli affioramenti carbonatici ad un substrato conduttivo che, data la situazione geologica, è riferibile con ogni probabilità al flysch di S. Felice, la sola formazione con resistività elettrica inferiore a 50 $ohm \times m$, affiorante nella zona. Sui versanti settentrionali la situazione è analoga ma più complessa: il substrato conduttivo risulta sempre presente sotto gli affioramenti carbonatici; non è invece stato raggiunto dalla prospezione geoelettrica sui bassi versanti del rilievo e nella pianura adiacente dove una coltre di terreni quaternari si spinge a notevole profondità.

I risultati che è stato possibile trarre da questo studio, visti in un quadro più vasto, confrontati e integrati da indagini di diversa natura, hanno contribuito a formulare una nuova interpretazione strutturale del Promontorio Circeo (Accordi 1966) dalla quale risulta che il rilievo è formato da tre unità carbonatiche di età liassica, parzialmente sovrapposte fra loro, giacenti sul flysch terziario (fig. 1, C).

BIBLIOGRAFIA.

Per la bibliografia geologica si rimanda a ACCORDI B., *La* *bonente traslativa nella* *tettonica dell'Appennino laziale–abruzzese*, « Geologica Romana », V, pp. 355–306, ff. 33, 1 carta tettonica, Roma 1966.

Sono stati inoltre consultati:

COMPAGNIE GENERAL DE GEOPHYSIQUE, *Abaques de sondage* *ectrique* tavv. 34, E. J. Brill Edit., Leiden 1963.

CONFORTO B., DI RICCO G. e SAPPA M., *Indagine sulle acque sotte e dell'agro roman pontino*, Parte seconda, « Cassa per il Mezzogiorno », docum. n)p. 45, ff. 32, tav. Roma 1962.

KELLER G. V. e FRISCHKNECHT F. C., *Electrical methods in geophy al prospecting*, pp. ff. 283, Pergamon Press., London 1966.

KUNETZ G., *Principles of direct current resistivity prospecting*, pp. 103, ff. 58, Gerbüder Borm Traeger, Berlin 1966.

LASFARGUES P., *Prospection électrique par courants continus*, pp. 290; ff. 162. Masson e Edit., Paris 1957.

MANFREDINI A., *Studio geofisico del Circeo*, « Boll. Serv. Geol. d'It. ». Vc 5, pp. 318–328, ff. 6, tav. 1, Roma 1953.

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, *Carta Geologica d'Italia scala 1 : 10 'lio 170 (Terr cina)* a cura di A. G. Segre, Roma 1960.

SOLAINI L., *Considerazioni interpretative sopra un rilievo gravimetrico*, « R di Geofi applicata ». Anno XV, N. 2, pp. 93–104, ff. 2, tav. 6, Milano 1954.