

#### COPERTURA DETRITICO-ELUVIALE

Nel plateau di Castel Giorgio affiora un'estesa coltre detritico-eluviale con suolo agrario di rilevante spessore. In alcune incisioni affiora il substrato in genere costituito da piroclastici stratificate, riferibili in buona parte alla formazione ( $\tau_4$ ).

#### BASE DELLE VULCANITI

Il letto delle vulcaniti è stato riconosciuto in base alle quote degli affioramenti e a tutte le informazioni stratigrafiche dei pozzi e pozzetti perforati. Per integrare i dati stratigrafici delle perforazioni, per lo più addensate nell'area di Torre Alfina, sono stati utilizzati anche i sondaggi elettrici (Buonasorte et al., 1988).

L'andamento morfologico del tetto del substrato delle vulcaniti presenta le massime quote nella parte settentrionale, in corrispondenza del margine dell'apparato vulcanico, e si deprime più o meno regolarmente verso Sud (Fig. 6).

La morfologia così ricostruita riflette solo in parte quella antecedente la deposizione delle prime vulcaniti. Infatti il substrato della coltre vulcanica, costituito da formazioni liguri, austroalpine e dai depositi argilloso-sabbiosi pliocenici, presenta attualmente una sensibile variazione altimetrica (da un massimo di 550 m sul l.m. nei pressi di Torre Alfina fino a quote inferiori ai 200 m sotto il l.m. in prossimità del Lago di Bolsena). Ciò è connesso all'attività tettonica che ha portato alla formazione della grande depressione vulcano-tettonica di Bolsena.

Per quanto concerne lo spessore complessivo della sequenza vulcanica nel settore settentrionale, i dati disponibili indicano che esso aumenta progressivamente procedendo dai margini dell'apparato vulcanico verso la depressione di Bolsena: è già di 270 m in corrispondenza del sondaggio A14 nei pressi di Castel Giorgio, e raggiunge i 400 m in corrispondenza dei rilievi che costituiscono il bordo settentrionale della depressione stessa.

### 3.5. TETTONICA

Due stili tettonici caratterizzano l'area di interesse (Buonasorte et al., 1988) come in tutto il versante occidentale dell'Appennino settentrionale: uno stile tettonico recente, distensivo, caratterizzato da dislocazioni rigide lungo faglie dirette; uno stile più antico, caratterizzato da motivi plicativi, faglie inverse e sovrascorrimenti.

Il primo stile è più manifestamente rilevabile dove affiorano i terreni neoautoctoni ed al contatto fra questi ed i terreni pre-neoautoctoni, ma è ovviamente presente anche all'interno di quest'ultimi.

Il secondo stile caratterizza invece i terreni preneoautoctoni.

Il complesso vulcanico è a sua volta interessato da un diastrofismo recente di stile rigido, in gran parte attribuibile a dislocazioni vulcano-tettoniche.

#### DISLOCAZIONI DI STILE RIGIDO DISTENSIVO

A prescindere, dalla dislocazione vulcano-tettonica, di cui si parlerà in seguito, questo stile ha ovviamente interessato sia i terreni neoautoctoni che quelli più antichi; tuttavia all'interno di questi ultimi non è facilmente rilevabile se non laddove si giustappongono formazioni di costituzione litologica completamente diversa. Il contatto fra i terreni preautoctoni e quelli neoautoctoni, sia sul versante occidentale che su quello orientale della dorsale, è spesso rappresentato da segmenti di faglie dirette, disposti secondo una scacchettatura molto articolata (Fig. 8).

Le direttrici appenninica e antiappenninica assumono in questa disposizione un ruolo predominante, ma non mancano le direzioni meridiane o submeridiane e quelle ad esse normali.

#### *Versante meridionale*

Fra il R. Tirolle e la zona a Sud di Torre Alfina, sul versante meridionale del M. Rufeno, i sedimenti pliocenici poggiano per lunghi tratti con contatto stratigrafico sul substrato preneoautoctono. Ciò in particolare si verifica fra il Pod. Casone ed il Pod. Paradisino. L'esistenza di una faglia importante trova conferma nel sondaggio RA1, in base al quale si è potuto valutarne un rigetto di circa 200 m (Fig. 9).

#### *Versante orientale*

Anche il bordo orientale del bacino neogenico della Val di Chiana è caratterizzato dalla presenza di numerose faglie soprattutto nella Tav. di Castel Viscardo. Più a Nord (Tav. S. Casciano dei Bagni) il contatto tra i terreni neoautoctoni e quelli più antichi risulta stratigrafico. Le direzioni delle faglie più importanti rientrano nel trend appenninico, ma non mancano faglie ad andamento meridiano ed Est-Ovest.

## SCHEMA TETTONICO

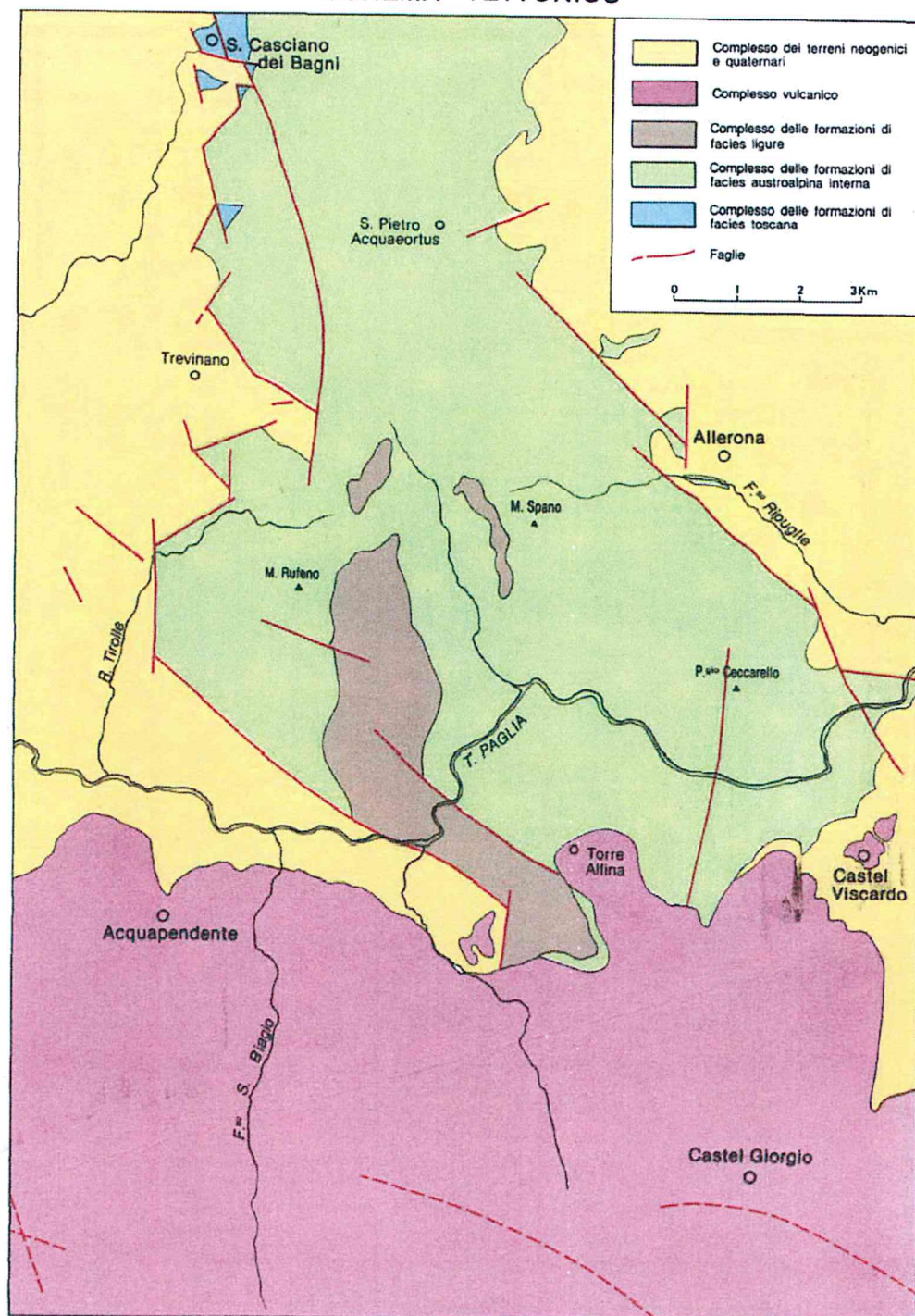


Fig. 8. Schema tettonico del settore compreso tra S.Casciano dei Bagni e Castel Giorgio nel quale si trova l'area geotermica di Torre Alfina-Castel Giorgio (da Costantini et. al., 1988).



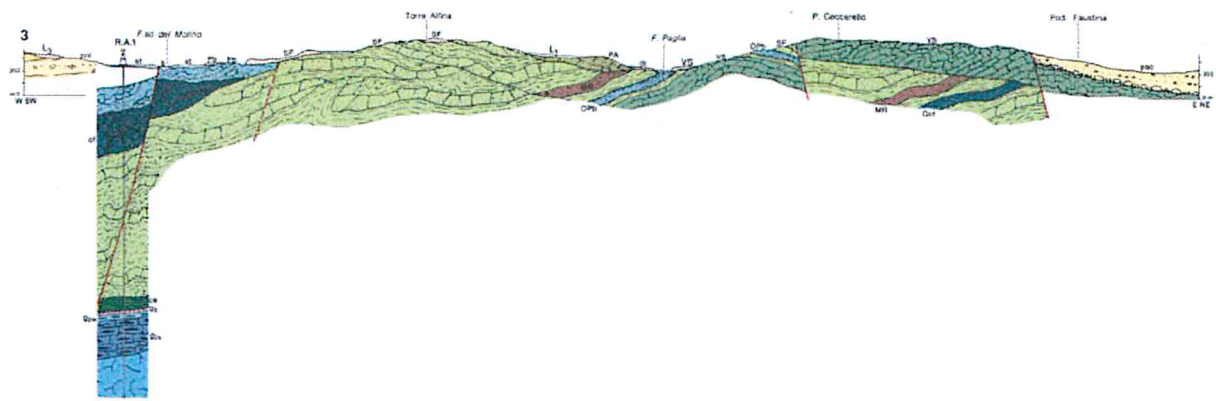


Fig. 9. Sezione geologica n.3 (vedi Fig. 3 per l'ubicazione) con riportata la colonna stratigrafica del pozzo RA1 (da Costantini et. al., 1988)

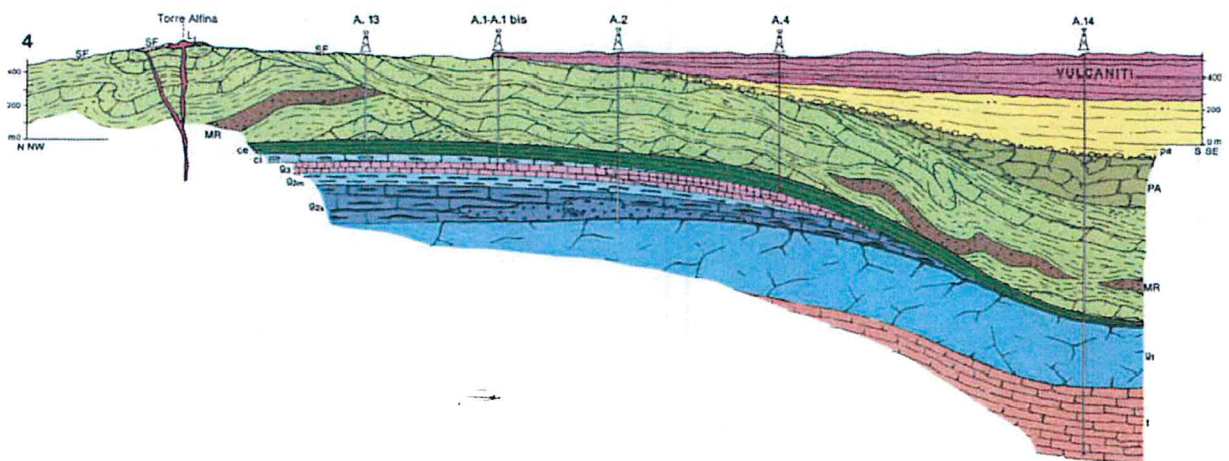


Fig. 10. Sezione geologica n.4 (vedi Fig. 3 per l'ubicazione) con riportata la colonna stratigrafica dei pozzi geotermici (da Costantini et. al., 1988)

## LINEAZIONI

Come si può osservare nella Fig. 11 esistono due principali direttrici: una NNO-SSE, più sviluppata nella parte settentrionale dell'area e una ONO-ESE prevalente invece nella parte meridionale; quest'ultima interessa anche il Complesso vulcanico. Altre lineazioni paiono disposte concentricamente attorno all'apparato di Torre Alfina, ma sono osservabili solo a Nord di esso, in corrispondenza degli affioramenti di rocce sedimentarie. A sud quest'ultimo tipo di lineazioni si interrompe bruscamente in corrispondenza del margine settentrionale del plateau vulcanico dell'apparato Vulsino. In questo settore è invece evidente una serie di lineazioni che tendono a disporsi in maniera concentrica intorno alla depressione del Lago di Bolsena.

Il vulcano di Torre Alfina si è impostato, in età quaternaria basale, su una struttura in sollevamento, in corrispondenza della quale i sedimenti pliocenici sono stati dislocati fin oltre 500 m sul livello del mare.

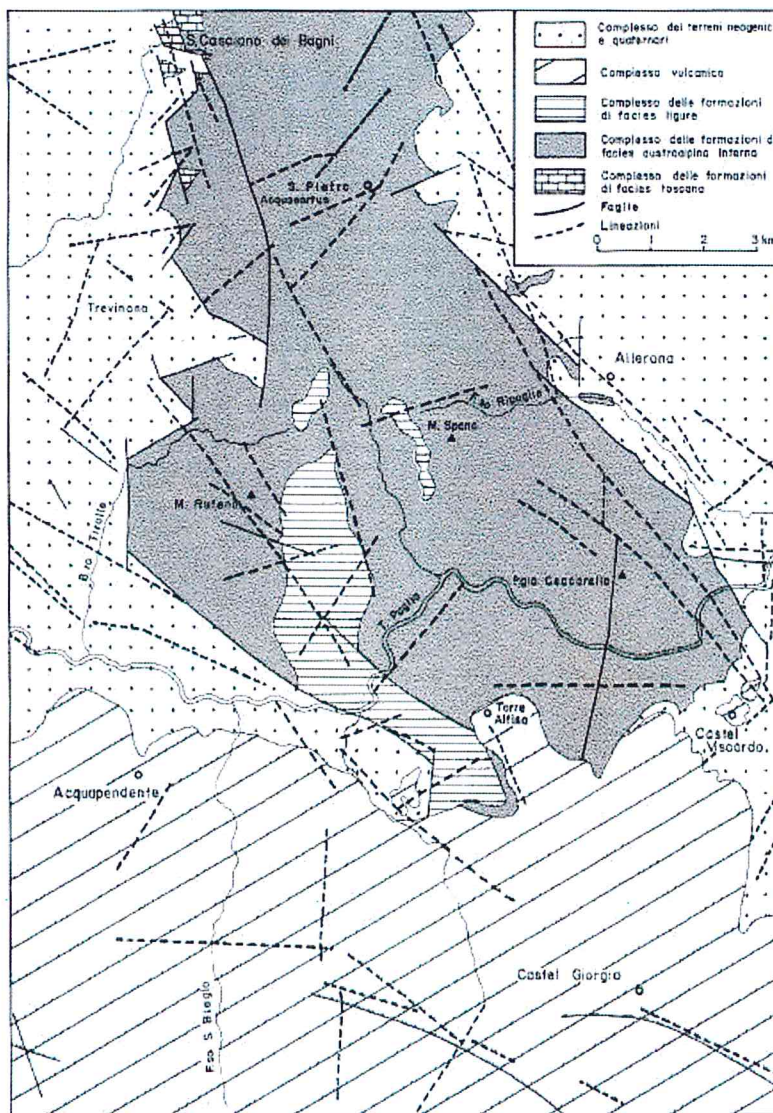


Fig. 11. Carta delle faglie e delle lineazioni nell'area geotermica di T. Alfina-Castel Giorgio (da Buonasorte et al., 1988).



## ATTIVITÀ VULCANICA ED EVOLUZIONE NEOTETTONICA

Nel Pliocene inferiore si sono verificati movimenti di sprofondamento a carattere regionale, con i quali è connessa una estesa ingressione marina. A tale sprofondamento si accompagnò l'attivazione o riattivazione di faglie dirette e la formazione di un sistema di depressioni tettoniche ed alti strutturali allungati in direzione NNO-SSE; seguì un sollevamento regionale che portò, nel settore in esame, all'emersione prima del bacino occidentale (Bacino di Radicofani) alla fine del Pliocene inferiore e successivamente del bacino orientale (Bacino del Tevere) nel Pliocene medio-superiore. All'inizio dell'attività vulcanica i principali elementi tettonico-strutturali erano già delineati e la situazione paleomorfologica era sostanzialmente caratterizzata dalla presenza delle dorsali di Castell'Azzara-M. Razzano e del M. Cetona; due vaste depressioni strutturali, poste a lato di quest'ultima, confluivano a sud di Torre Alfina in un'unica vasta depressione pianeggiante nella quale sui sedimenti pliocenici si depositavano localmente sedimenti fluvio-lacustri continentali.

~ 0.80 M.a. – L'inizio dell'attività vulcanica è segnato dal piccolo apparato di Torre Alfina, ubicato all'estremità meridionale della dorsale del M. Cetona. Questo apparato è collocato su un alto strutturale. Va ricordato che contemporaneamente si ha nella zona di Latera (in corrispondenza della dorsale Castell'Azzara-Monte Razzano) la messa in posto di intrusioni sienitiche (Barberi et al., 1984) e l'emissione di vulcaniti trachitiche.

L'ubicazione dei centri magmatici corrisponde con alti strutturali, legati alla tettonica rigida tardo e postorogenica.

Successivamente ha inizio una intensa attività effusiva, lavica e soprattutto piroclastica fissurale (tufi stratificati e ignimbriti della formazione ( $\tau_1$ )).

Si forma in questa fase una potente successione vulcano-sedimentaria ( $\tau_1$ ), tipica dei livelli basali dell'intero complesso vulcanico ed ha inizio una forte subsidenza dell'area interessata dal vulcanismo.

Questi primi episodi effusivi sono probabilmente da ricollegarsi ad una ripresa dell'attività tettonica per riattivazione dei sistemi di faglie NO-SE e N-S, che delimitano il bacino di Radicofani, e forse anche di faglie trasversali antiappenniniche: ciò ha determinato tra l'altro la formazione di modeste depressioni morfologiche negli stessi sedimenti pliocenici.

Successivamente (0,60-0,30 M.a.) l'attività effusiva dà luogo ad una sequenza di colate laviche talora accompagnate da prodotti piroclastici con locali intercalazioni lacustri.

Nei settori occidentali l'andamento delle faglie e l'ubicazione dei centri effusivi è mascherata in gran parte dai prodotti dell'attività dell'apparato di Latera.

0,30-0,15 M.a. – l'area della caldera di Latera è sede principale di attività che dà luogo a numerose coltri ignimbriche pre-sin e postcalderiche, a depositi di piroclastici di ricaduta, a depositi di "pyroclastic surge" con locali intercalazioni lacustri (per es. nella zona di Acquapendente) ed a numerosi piccoli apparati lavici. Le fasi conclusive dell'attività dell'apparato di Latera, impostato sulla dorsale Castell'Azzara-M. Razzano, sembrano collegate a faglie trasversali antiappenniniche ed alla loro interferenza con direttrici orogeniche appenniniche.

#### DISLOCAZIONI DI STILE PLICATIVO

Questo tipo di deformazioni interessa essenzialmente i complessi preneoautoctoni ed è caratterizzato da motivi plicativi, faglie inverse e sovrascorrimenti, che sono l'espressione di un regime di compressione. Esso costituisce il risultato di più fasi tettoniche che nell'Appennino settentrionale si sono succedute dal Cretaceo al Miocene superiore (vedi Buonasorte et al., 1988).

Le formazioni interessate da questo stile deformativo possono essere assegnate a più unità tettoniche che così si succedono nell'ordine geometrico dall'alto al basso:

- 1) Unità ofiolitefera delle "argille con calcari palombini"
- 2) Unità S. Fiora
- 3) Unità della serie toscana.

Dall'una all'altra di queste unità variano le caratteristiche e l'intensità delle deformazioni, per cui si passa da assetti non eccessivamente disturbati ed in ogni caso geometricamente ricostruibili alla scala del rilevamento (Unità 2 e 3), ad un assetto completamente caotico quale quello dell'Unità 1; quest'ultima è costituita da una matrice argillosa che ingloba in maniera disordinata e caotica blocchi di palombini e di rocce verdi. Lo stesso grado di tettonizzazione interessa gli olistotromi, imballati nell'Unità di S. Fiora, costituiti dallo stesso materiale che caratterizza l'unità ofiolitefera.

L'assetto strutturale dell'Unità di S. Fiora risulta complesso e differenziato nelle sue componenti formazionali: (vedi Buonasorte et al., 1988).

Poco si può dire sulle formazioni dell'Unità della serie toscana, comparendo questa in affioramenti estremamente limitati sul margine settentrionale dell'area. Maggiori indicazioni emergono dai sondaggi, alcuni dei quali hanno messo in evidenza imponenti fenomeni di laminazione tettonica soprattutto al tetto della serie. Già si è detto della discontinuità del Macigno, osservato solo in affioramento per potenze estremamente ridotte e mai attraversato dai sondaggi, e della Scaglia toscana, presente normalmente con spessori limitati talvolta di poche decine di metri; ma il fenomeno di riduzione più imponente è messo in evidenza dal sondaggio A14 dove la formazione della Scaglia toscana poggia direttamente sul Calcare massiccio, mancando di conseguenza tutti i termini carbonatico-silicei dal Lias inferiore al Cretaceo.

Una prima ipotesi per spiegare tale anomalia è che siano riprodotti anche in quest'area, seppure con intensità minore, quei fenomeni di riduzione tettonica ben conosciuti in Maremma con il nome di "Serie



toscana ridotta”; questa interpretazione è stata adottata nell’esecuzione della sezione 4 della carta geologica (Fig. 10). tuttavia, proprio nel caso del sondaggio A14 , non si può escludere che la mancanza dei termini mesozoici possa essere ascritta alla “tettonica sinsedimentaria mesozoica” della quale esistono nell’area in esame sicure testimonianze nella presenza quasi costante di breccie sedimentarie, con clasti derivanti dai termini carbonatici mesozoici, nella frazione terziaria della Formazione della Scaglia toscana (Dallan et al., 1979).

#### 4. GEOFISICA

Nella Fig. 12 è riprodotta la carta geofisica di sintesi prodotta da Enel nel corso dell’esplorazione geotermica dell’area di Torre Alfina – Castel Giorgio, i cui risultati, di seguito riassunti, sono tratti da Buonasorte et al., (1988).

Le indagini geofisiche avevano i seguenti obiettivi principali:

- 1) definizione dell’assetto strutturale con riferimento soprattutto alla profondità e geometria delle formazioni prevalentemente carbonatiche della serie toscano e/o umbra, che, in linea di ipotesi, dovevano costituire il potenziale serbatoio geotermico;
- 2) individuazione dei rapporti tra corpi magmatici superficiali ed eventualmente profondi e le strutture delle formazioni sedimentarie;
- 3) ricostruzione del presumibile andamento delle temperature in corrispondenza del tetto del potenziale serbatoio.

Al conseguimento dei primi due obiettivi hanno contribuito sostanzialmente la prospezione gravimetrica che ha permesso di individuare i lineamenti strutturali della zona, quella geoelettrica che di questi lineamenti ha fornito ulteriori precisazioni sia qualitative che quantitative ed infine quella aeromagnetica che ha permesso di discriminare le strutture magmatiche da quelle sedimentarie.

Il terzo obiettivo è stato raggiunto per mezzo di una serie di misure di gradiente e di conducibilità termica in pozzetti perforati in tutta la zona dei Vulsini.

Vengono riassunte le principali indicazioni fornite dalle varie prospezioni e dei logs geofisici in pozzo; questi ultimi hanno permesso di definire i parametri fisici delle formazioni che costituiscono la zona e di tarare le prospezioni di superficie.

##### 4.1. GRAVIMETRIA

Nell’ara di Torra Alfina-Castel Giorgio i rilievi gravimetrici furono eseguiti in due fasi distinte (1970 e 1975), consentendo di ricoprire l’intera zona con densità di punti di misura di circa 1 stazione/km<sup>2</sup>.

Dai rilievi è stato possibile costruire una carta delle anomalie di Bouguer con densità di 2,3 g/cm<sup>3</sup>.



Al fine di evidenziare gli effetti e quindi la presenza di strutture geologiche a profondità comprese tra 2 e 3 km dalla superficie, è stata ricavata dalla carta delle anomalie di Bouguer quella dell'anomalia regionale con  $R=1v5$  con  $1=1$  km che, sottratta alla Bouguer, ha consentito la costruzione della carta delle anomalie residue sempre per  $R=1v5$  con  $1=1$  km.

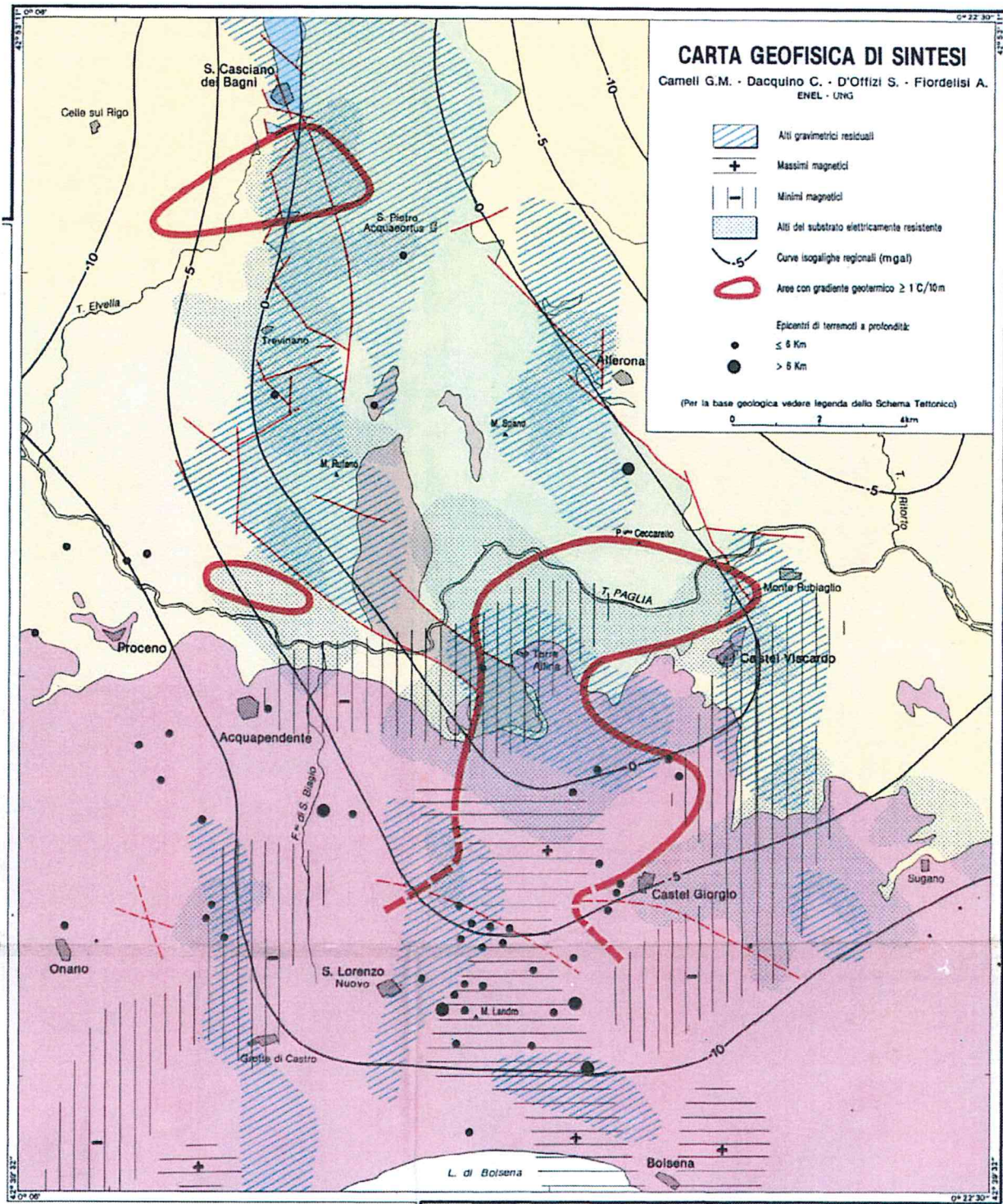


Fig. 12. Carta geofisica di sintesi dell'area geotermica di Torre Alfina - Castel Giorgio (da Cameli et al., 1988).



### *Carta dell'anomalia regionale*

In Fig. 13 è rappresentata la carta dell'anomalia gravimetrica regionale il cui elemento principale è la presenza di una vasta e profonda struttura positiva che si collega a Nord con quella del M. Cetona e che presenta i massimi valori di anomalia a circa 7 km a NO di Torre Alfina. Tale struttura evidenzia un trend N-S fino all'altezza di M. Rufeno, ruotando in direzione NO-SE da quest'ultimo fino a Castel Giorgio. Inoltre la struttura è bordata sui lati orientale ed occidentale da elevati gradienti gravimetrici orizzontali che individuano altrettante depressioni ai suoi margini. In modo più graduale anche il lato meridionale della struttura è caratterizzato da una diminuzione dei valori con le isogaliche orientate circa E-O.

### *Carta delle anomalie gravimetriche residuali*

Nella Fig. 14 è rappresentata la carta della anomalie gravimetriche residuali per  $R=1V5$  con  $1=1$  km.

Tale carta mette in evidenza le anomalie causate da corpi più superficiali (2-3 km) e può fornire quindi un panorama qualitativo sull'andamento di strutture riferibili anche alle formazioni carbonatiche mesozoiche. Per tale motivo si ha un quadro gravimetrico molto più tormentato.

In particolare l'area corrispondente all'alto strutturale regionale risulta caratterizzata da numerose anomalie positive. Queste, variamente distribuite, evidenziano elementi strutturali locali.

Le anomalie positive residue mostrano un generale allineamento secondo direttrici N-S, ma si evidenzia anche un trend NO-SE che comprende le anomalie di M. Rufeno, di Torre Alfina e di quella ad E di Castel Giorgio. Anche il campo residuale evidenzia dei marcati minimi gravimetrici ai margini orientale ed occidentale dell'area. Tali minimi fiancheggiano e delimitano il settore centrale delle anomalie positive con trend rispettivamente N-S ad occidente e NO-SE ad oriente.

## 4.2. GEOELETRICA

Nell'area di Torre Alfina –Castel Giorgio sono state seguite da Enel varie prospezioni geoelettriche con oltre 500 S.E. a configurazione elettrodica di tipo Schlumberger prevalentemente con  $AB \max = 6000$  m. il rilievo geoelettrico ha permesso l'individuazione di una serie elettrostratigrafica costituita principalmente da tre orizzonti elettricamente differenziati:

- un ricoprimento resistente con resistività variabili da 50 a 3000  $\text{ohm} \cdot \text{m}$ ;
- un complesso conduttore con resistività di 3-30  $\text{ohm} \cdot \text{m}$ ;
- un substrato resistente profondo con resistività maggiore di 100  $\text{ohm} \cdot \text{m}$ .

### *Carta dello spessore del ricoprimento resistente*

Nella Fig. 15 sono riportate le isopache relative allo spessore del ricoprimento resistente.

Tale ricoprimento risulta presente in modo discontinuo nella metà settentrionale dell'area dove i terreni di copertura sono in massima parte rappresentati dalle unità alloctone in facies di flysch (Unità ligure e



austroalpina interna). Gli orizzonti resistivi di tali unità, caratterizzati da range di resistività di 50-200 ohm\*m, sono riferibili alle facies più calcaree o arenacee del flysch stesso. Pertanto la mancanza in alcune zone di questo settore di ricoprimento resistente è dovuta alla natura litologica delle unità flyschoidi, di facies prevalentemente argilloso-marnosa, caratterizzate quindi da un comportamento elettrico conduttivo (resistività 3 ohm\*m). La parte meridionale dell'area invece è uniformemente ricoperta da terreni vulcanici. Il ricoprimento resistente quindi, con valori compresi tra 300 e 3000 ohm\*m, corrisponde in questo caso a formazioni vulcaniche permeabili asciutte, o imbibite da acqua dolce, e comunque non interessate da fenomeni di argillificazione per alterazione.

In conclusione, quindi, la carta in questione mostra nella parte settentrionale la presenza di alcuni nuclei di un flysch più calcareo e precisamente:

- nella zona di S. Casciano dei Bagni con un trend circa N-S in continuità con la struttura del M. Cetona;
- tra M. Rufeno e M. Rubiaglio lungo una fascia orientata E-O;
- un grosso nucleo isolato a sud di M. Rubiaglio.

Nella parte meridionale si evidenzia un progressivo ispessimento verso Sud dei terreni vulcanici di copertura, peraltro confermato dai risultati dei sondaggi (vedi Fig. 10).

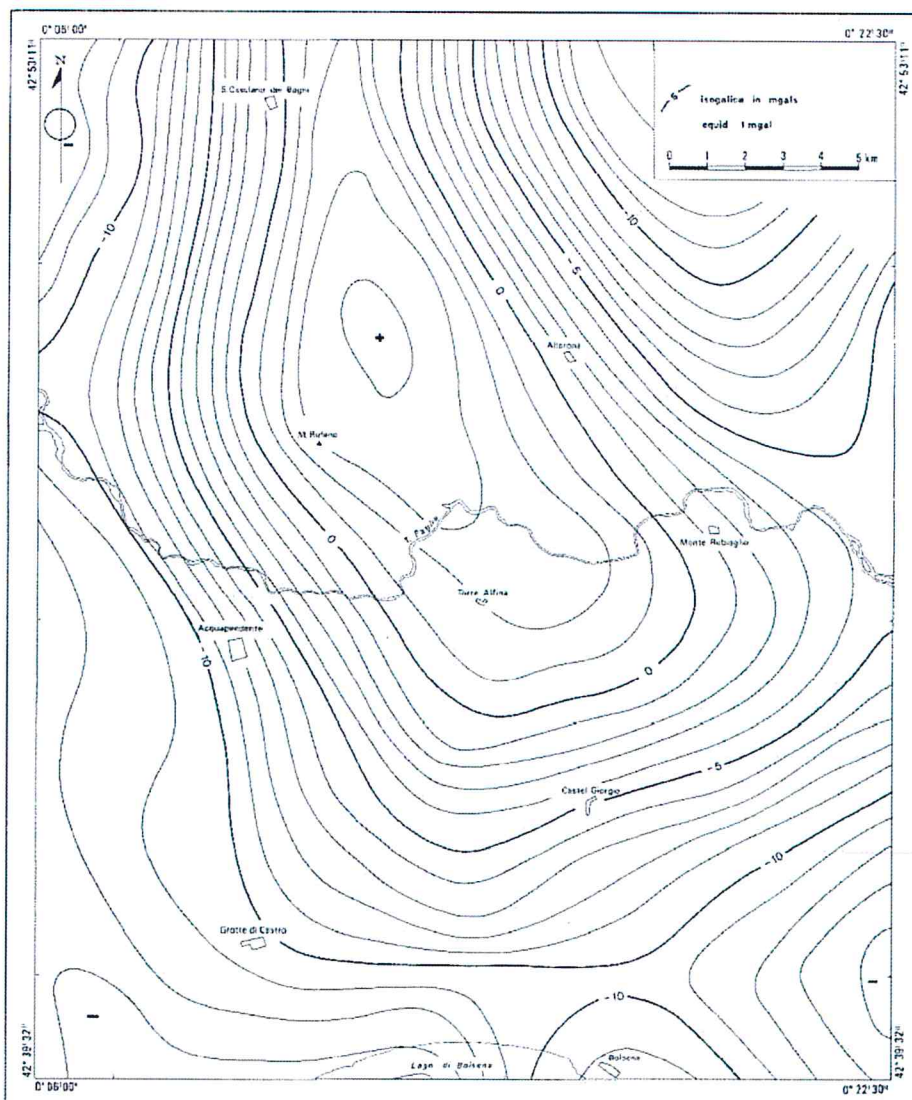


Fig. 13. Carta delle anomalie gravimetriche regionali (raggio di regionalizzazione  $R=1\sqrt{5}$  con  $1 = 1$  km) (da Buonasorte et al., 1988).



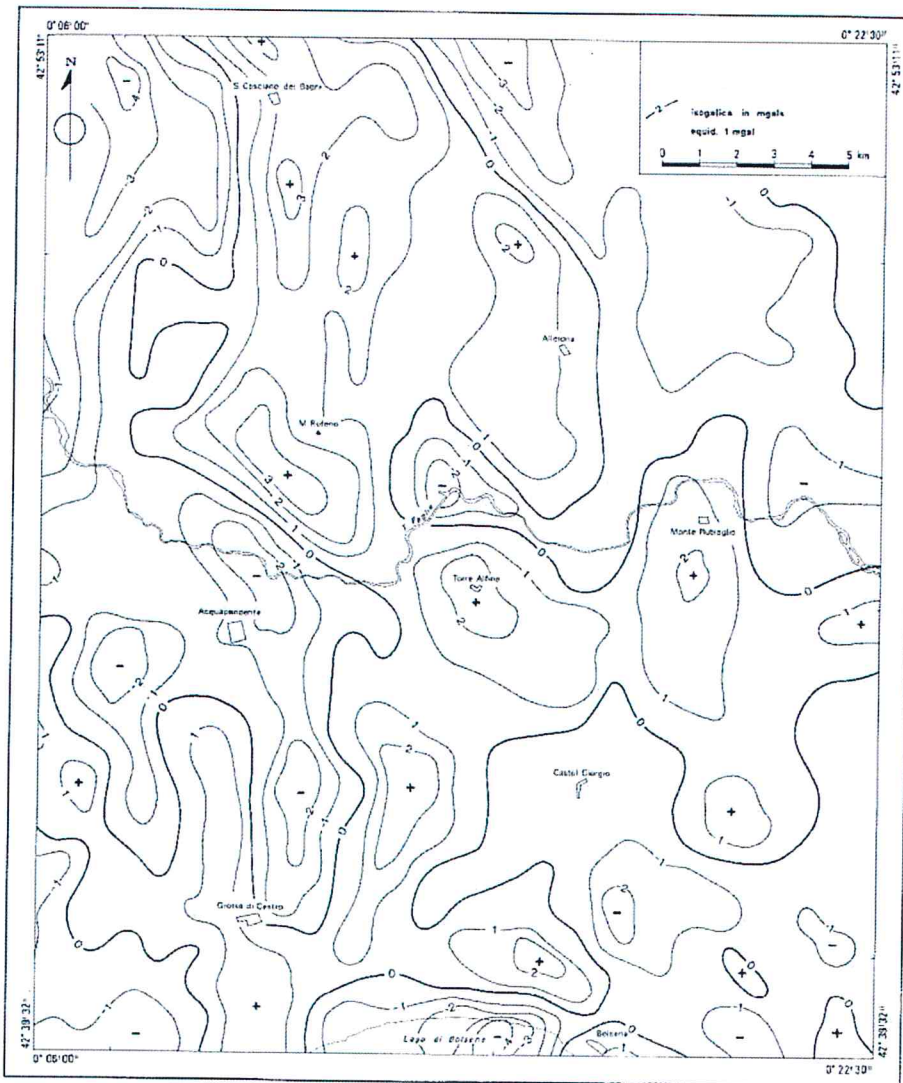


Fig. 14. Carta dell'anomalia residuale ( $R=1\sqrt{5}$  con  $1 = 1$  km) (da Buonasorte et al., 1988).

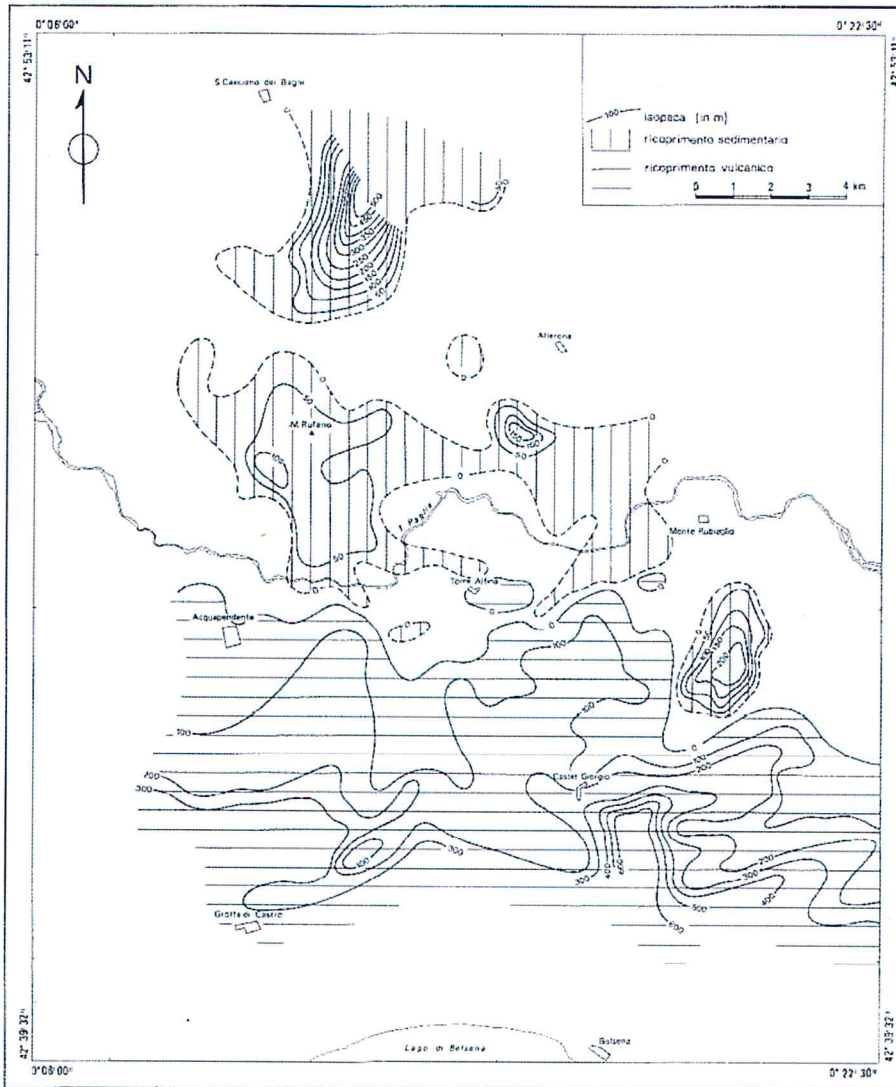


Fig. 15. Carta dello spessore del ricoprimento resistente (da Buonasorte et al., 1988).



### *Carta del tetto del substrato resistivo*

La Fig. 16 rappresenta le isobate in metri sul l.m. del tetto del complesso resistente profondo.

Tale complesso, ovunque presente al di sotto di quello conduttore che corrisponde alle vulcaniti basali argillificate, ai sedimenti argillosi quaternari e pliocenici, nonché al flysch argilloso-marnoso, è rappresentato indifferentemente da pacchi carbonatici inglobati nel flysch e dalle formazioni carbonatiche mesozoiche della serie toscana.

Per tale motivo il quadro che se ne ricava è quello di un orizzonte elettrico resistente non corrispondente ad una superficie geologica continua e definita. Da ciò ne deriva una notevole complessità geometrica con sensibili dislocazioni verticali ed il conseguente intrecciarsi di discontinuità elettriche.

Un elemento di indeterminatezza nella stima della profondità del complesso resistente consiste nella estrema eteropia elettrica del complesso conduttore e quindi nell'impossibilità di determinare un valore univoco di resistività dello stesso.

Comunque, relativamente all'ampio alto elettrico incentrato sul paese di Torre Alfina si può ritenere, anche sulla base dei dati dei pozzi, che l'andamento del complesso resistivo profondo corrisponda con buona approssimazione a quello del top delle formazioni carbonatiche. Gli alti elettrici del substrato resistente mostrano due principali trends strutturali: uno N-S e l'altro, comprendente quello di Torre Alfina, NO-SE.

Circa le dislocazioni associabili alle discontinuità elettriche, si evidenzia una orientazione predominante NE-SO e subordinariamente N-S, E-O e NO-SE. Tra le prime si segnalano quelle dell'area compresa tra Castel Giorgio e Torre Alfina (Fig. 16).

### 4.3. AEROMAGNETOMETRIA

L'area dei Monti Vulsini è stata interessata da un rilievo aeromagnetometrico fatto eseguire da Enel che, sulla zona di Torre Alfina è stato eseguito infittendo le linee di volo.

Tale rilievo ha consentito la costruzione di una carta delle anomalie magnetiche totali, dalla quale si è ricavata quella delle anomalie residue ridotte al polo.

I principali lineamenti di entrambe le carte sono riprodotti nella Fig. 17.

Come si può notare il campo totale mostra un graduale aumento verso N, interrotto, tra il Lago di Bolsena ed il Fiume Paglia, da più bassi valori di anomalia. Conseguentemente, in tale settore, anche il campo residuale ridotto al polo è dominato da minimi relativi di anomalia, probabilmente connessi all'assottigliamento verso Nord delle vulcaniti. Anomalie positive di limitata estensione sono evidenziate tra Grotte di Castro e Castel Giorgio e traducono l'effetto di corpi magmatici superficiali.

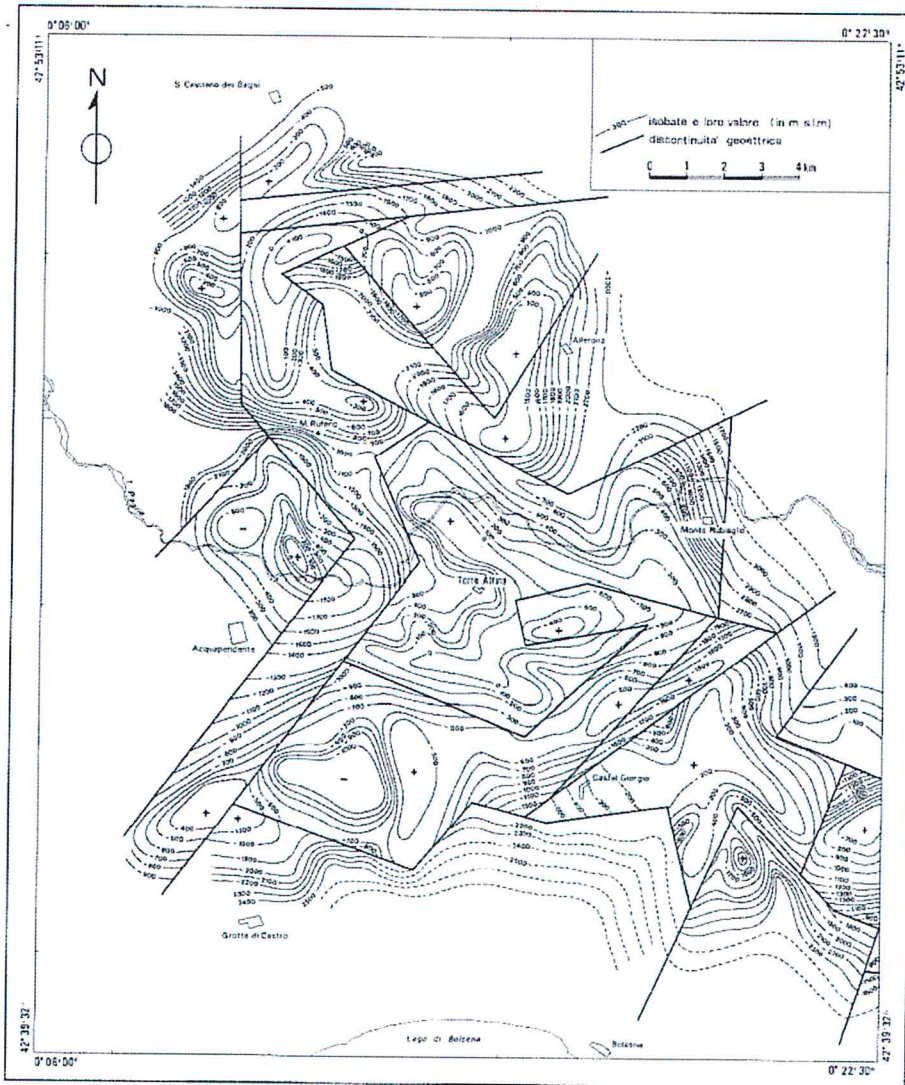


Fig. 16. Carta del tetto del substrato resistivo (da Buonasorte et al., 1988).

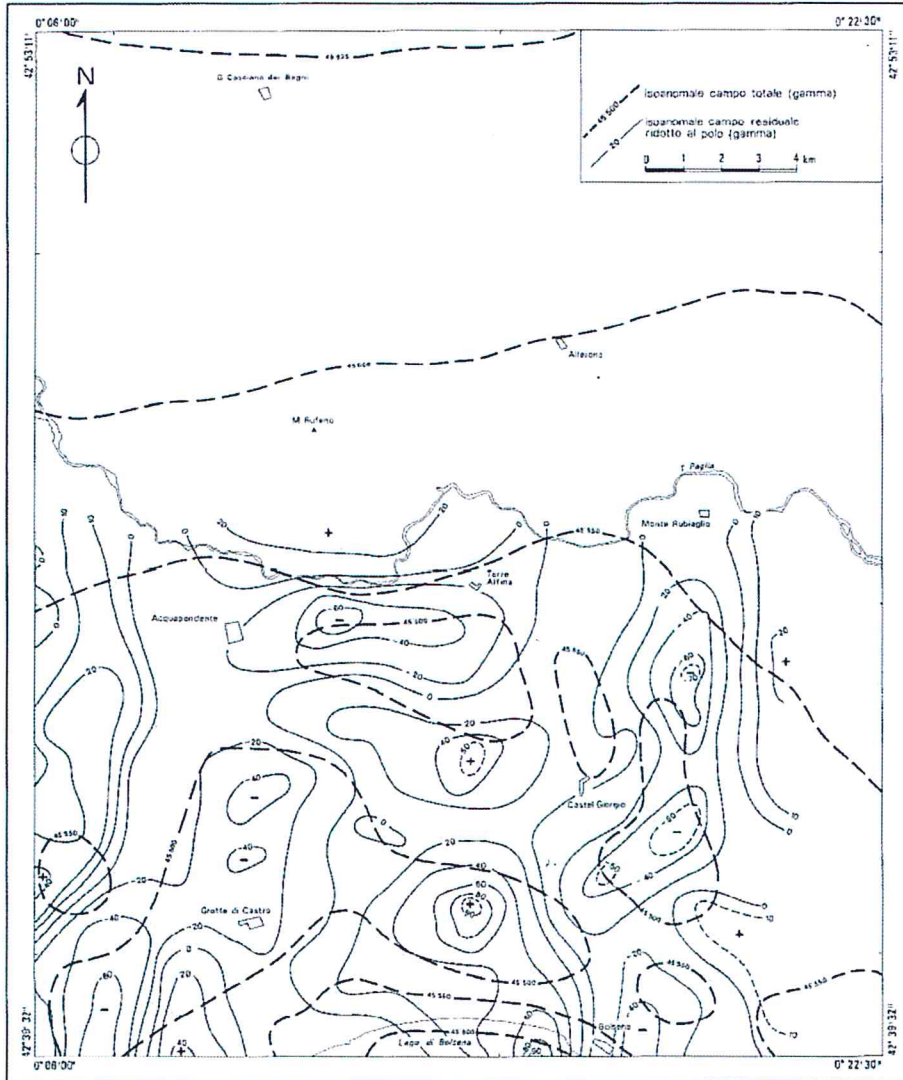


Fig. 17. Carta aeromagnetica dell'area tra Torre Alfina e Castel Giorgio (da Buonasorte et al., 1988)



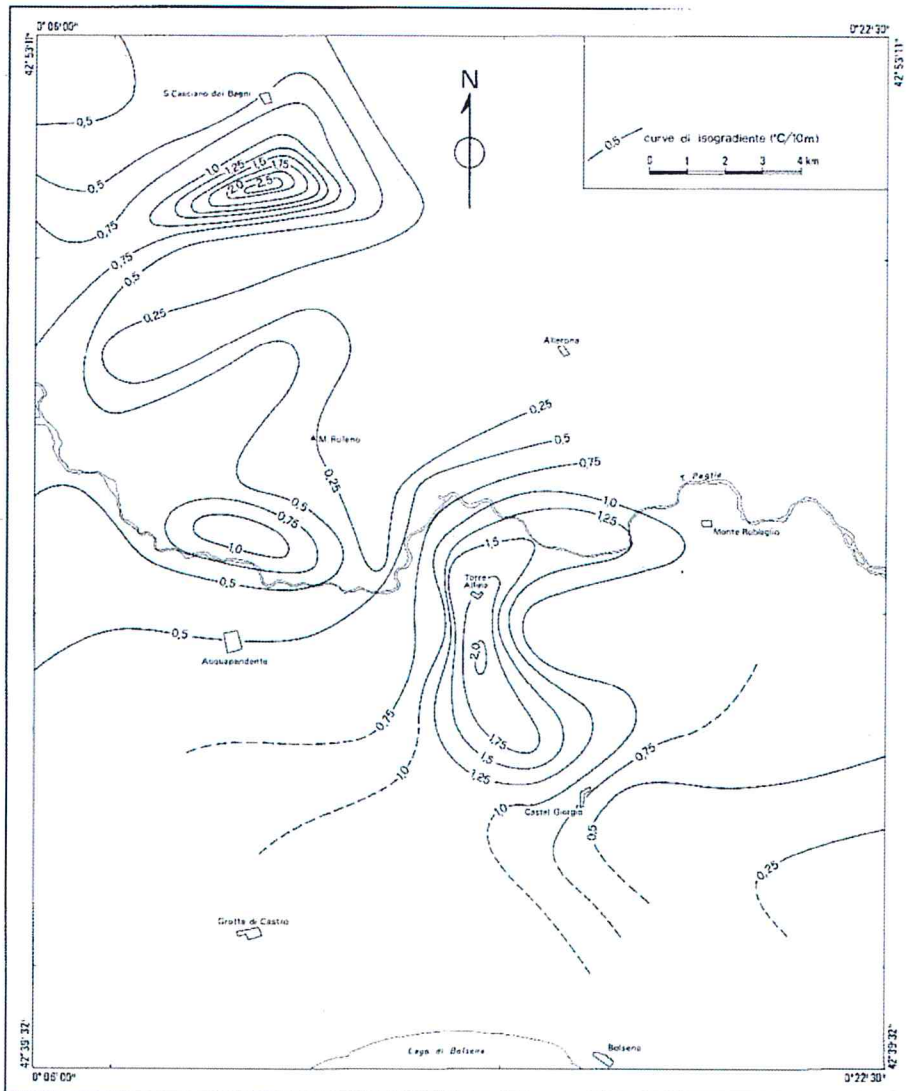


Fig. 18. Carta del gradiente geotermico verticale. (da Buonasorte et al., 1988).

#### 4.4. GRADIENTE GEOTERMICO VERTICALE

L'andamento del gradiente geotermico verticale (Fig. 18) è stato ricostruito da Enel con i dati termici rilevati nei pozzetti geotermometrici e nei pozzi esplorativi eseguiti nell'area in esame. Le curve di isogradiante evidenziano tre anomalie termiche principali. La prima, a Sud di San Casciano dei Bagni, dove si raggiungono valori massimi di 2,5 °C/10 m, è associata alla presenza a debole profondità di acque termali con temperature prossime a 45 °C, ospitate nelle formazioni carbonatiche mesozoiche subaffioranti. Tale anomalia è comunque estremamente localizzata con l'isogradiante 1 °C/10 m che delimita un'area di circa 4 km<sup>2</sup>. Ancora più localizzata, e meno intensa, è la seconda anomalia, evidenziata a N di Acquapendente, che raggiunge i valori massimi di 1 °C/10 m. L'anomalia termica più interessante è quella di Torre Alfina. Essa raggiunge valori massimi di 2 °C/10 m ed è caratterizzata dall'isogradiante 1 °C/10 m che delimita un'area parecchio più ampia delle precedenti; tale curva di isogradiante rimane aperta verso Sud comprendendo al suo interno il Lago di Bolsena. Il lago stesso, quindi, appare al centro di una più ampia e profonda anomalia termica regionale.

In questo quadro, quella di Torre Alfina-Castel Giorgio risulta essere la sovrapposizione di un'anomalia termica locale a quella più ampia regionale. Ciò è dovuto all'effetto di una circolazione di fluidi caldi in una struttura sollevata delle formazioni carbonatiche mesozoiche che costituiscono, in tutta la regione tosco-laziale, il serbatoio geotermico.

#### 4.5. LOGS GEOFISICI IN POZZO

In quasi tutti i pozzi perforati da Enel nell'area di Torre Alfina sono stati eseguiti alcuni logs geofisici al fine di reperire dati sulle caratteristiche fisiche delle formazioni attraversate, utili per la taratura delle prospezioni di superficie e per ottenere ulteriori elementi per la definizione stratigrafica dei pozzi stessi (Buonasorte et al., 1988). Nella Fig. 4 sono riportate, unitamente alle stratigrafie, le rappresentazioni schematiche dei principali logs eseguiti. Come si può notare questi sono stati essenzialmente di tipo sonico per le misure della velocità; solo nei pozzi A14 e RA1 è stato eseguito il *Gamma Ray* per una stima del contenuto radioattivo naturale. Per motivi connessi alla perforazione non è stato possibile investigare i terreni vulcanici di copertura.

Dai logs appare chiaro che i terreni carbonatici della serie toscana rappresentano un complesso a resistività e velocità sonica nettamente differenziato dalle formazioni sovrastanti, con valori compresi rispettivamente tra 100-1000 ohm×m e 5-6 km/s. anche il *Gamma Ray* caratterizza i calcari mesozoici con un crollo del contenuto radioattivo (10 unità Api) rispetto a quello delle formazioni flyschoidi (50-80 unità Api). I terreni costituenti la Formazione della Scaglia rappresentano un orizzonte di transizione caratterizzato da velocità di 4-5 km/s e da resistività di 10-30 ohm×m.

Dal punto di vista elettrico, sia i sedimenti argillosi pliocenici, che i terreni alloctoni in facies di flysch rappresentano un importante complesso conduttore con valori di resistività generalmente compresi tra 3 e 10  $\text{ohm}\times\text{m}$ , fatta eccezione dei più resistivi livelli ofiolitiferi.

La velocità sonica invece sembra differenziare la formazione del flysch in due orizzonti: uno superiore con 2,7 km/s, l'altro inferiore con 3,8 km/s. Questo dualismo di risposta sonica appare localizzato nelle zone di basso strutturale del substrato carbonatico (pozzi RA1 e A5), laddove cioè il flysch è più spesso. Nelle zone di alto strutturale invece (pozzi A4 e A2) il flysch è abbastanza univocamente caratterizzato da una velocità di circa 2,7 km/s. È ipotizzabile quindi che, nella zona di studio, la formazione del flysch sia costituita da una parte superiore più argillosa, sempre presente, e da una parte inferiore, più calcarea, individuabile solo nei bassi strutturali.

#### 4.6. CORRELAZIONE DEI DATI GEOFISICI

Al fine di evidenziare elementi interpretativi di convergenza tra tutti i dati geofisici acquisiti da Enel, è stata costruita una carta geofisica di sintesi (Fig. 12). In tale carta sono riportati l'andamento del campo gravimetrico regionale, le aree caratterizzate da alti delle anomalie gravimetriche residuali e del substrato resistivo elettrico, i massimi e minimi magnetici residuali, le zone delimitate dall'isogradiante termica  $1^\circ\text{C}/10\text{ m}$ .

#### 4.7. SISMICITÀ DELL'AREA DI TORRE ALFINA – CASTEL GIORGIO

In Fig. 12 sono indicati gli epicentri, differenziati per profondità focale, di microterremoti registrati nell'area di Torre Alfina-Castel Giorgio, tra il 1977 e il 1981 da una rete di controllo microsismico installata da Enel e per i quali è stata possibile la localizzazione epicentrale. Gli epicentri sono in relazione con la struttura gravimetrica regionale in quanto disposti lungo i suoi margini. La microsismicità rilevata, caratterizzata da valori di magnitudo sempre minori di 2, ha confermato i centri sismici storici di Castel Giorgio e S. Lorenzo Nuovo. In particolare gli eventi microsismici vicini a Castel Giorgio sono caratterizzati da una profondità anche maggiore di 6 km e ricadono in corrispondenza dell'anomalia positiva del campo magnetico residuale, denotando una possibile connessione con fenomeni vulcano-tettonici.

In Fig. 19 è riportata la mappa degli epicentri dei terremoti registrati nell'area tra il 1983 e il 2011, tratta dalla banca dati dell'INGV e i cui parametri essenziali (data e tempo di occorrenza, coordinate geografiche, profondità ipocentrale, magnitudo) sono riportati in calce alla presente relazione. In questo intervallo temporale sono state registrate 38 scosse con  $M>2.0$  e una sola scossa con  $M>3.0$  (3.2).

Molte delle scosse sono allineate in direzione NO-SE e delineano una struttura sismogenetica tra Castel Giorgio e San Lorenzo Nuovo. Analoga struttura sembra passare a sud di Castel Viscardo.