

CARATTERI PETROGRAFICI E STRUTTURALI DEL BASAMENTO METAMORFICO NEL SOTTOSUOLO DELL' AREA GEOTERMICA DI TRAVALE-RADICONDOLI (TOSCANA MERIDIONALE, ITALIA)

Riassunto

Abstract

1 - Introduzione

2 - Inquadramento geologico

3 - Il basamento nel sottosuolo nell'area di Travale-Radicondoli

3.1 - Caratteri litologici-petrografici

3.2 - Caratteri strutturali

4 - Discussione

5 - Conclusioni

Riferimenti bibliografici

RIASSUNTO

Sono stati esaminati da un punto di vista litologico-petrografico e strutturale le carote e i cuttings delle formazioni metamorfiche appartenenti all' Unità di Monticiano-Roccastrada, in diversi sondaggi profondi eseguiti dall' ENEL nel campo geotermico di Travale-Radicondoli. Tali formazioni sono interessate da due eventi tettono-metamorfici in facies di scisti verdi e da uno crenulante tardivo, riconducibili alle fasi deformative alpine. Cinque principali petrofacies sono state distinte nelle successioni esaminate: 1) breccie dolomitico-anidritiche e 2) alternanze dolomitico-filladico-anidritiche, probabilmente correlabili con unità triassiche quali la Formazione anidritica di Burano e la Formazione di Tocchi s.l.; 3) filladi e metarenarie grafitose con locali intercalazioni carbonatiche grafitose, 4) filladi e metarenarie cloritiche con locali livelli di metavulcaniti basiche e 5) micascisti a granato, che sono state tutte attribuite a successioni paleozoiche, in gran parte di età pre-sudetica. L' Unità di Monticiano-Roccastrada del sottosuolo di Travale-Radicondoli risulterebbe così strutturata in un insieme di scaglie tettoniche corrispondente a quello già descritto nel sottosuolo della vicina area geotermica di Larderello, nella regione mineraria di Massa M.ma, così come in altre aree della Toscana meridionale (es. sottosuolo del M.Amiata, Dorsale Monticiano-Roccastrada).

ABSTRACT

Lithological/petrographic and structural analyses were carried out on core samples and cuttings of the metamorphic formations, belonging to the Monticiano-Roccastrada Unit, in several geothermal deep wells of the Travale-Radicondoli field. These formations are affected by at least two tectono-metamorphic (Green-schist facies) events and by later weak crenulations that

are all related to the Alpine Orogeny. Five main petrofacies were distinguished in the studied successions: 1) dolostone-anhydrite breccia and 2) alternating dolostone-phyllite-anhydrite, that are related to Triassic units comparable to the Formazione anidritica di Burano and the Formazione di Tocchi s.l.; 3) graphite-rich phyllite and metasandstone with graphitic carbonate intercalations, 4) chlorite-rich phyllite and metasandstone with basic metavolcanite levels and 5) garnet-bearing micascist, that are all related to Paleozoic successions, mostly pre-Sudetic in age. In this hypothesis, the Monticiano-Roccastrada Unit of the Travale-Radicondoli subsurface represent a tectonic wedge complex similar to that described in the neighbouring Larderello geothermal field and in the Massa M.ma mining region and in other areas of the Southern Tuscany (i.e. the M.Amiata subsurface, the Monticiano-Roccastrada Ridge).

PAROLE CHIAVE: Appennino settentrionale, Unità Monticiano-Roccastrada, Paleozoico e Triassico, Petrografia, Geologia strutturale.

KEY WORDS: Northern Apennines, Monticiano-Roccastrada Unit, Paleozoic and Triassic, Petrography, Structural Geology.

1. INTRODUZIONE

Il campo geotermico di Travale-Radicondoli è posto pochi chilometri a SE dell' area boracifera di Larderello (Fig. 1). I numerosi sondaggi, effettuati fin dagli anni '50-'60 per la ricerca dei fluidi endogeni, hanno fornito preziosi dati per la ricostruzione stratigrafica e strutturale dell' intera regione boracifera (GIANELLI *et al.*, 1978; CASTELLUCCI *et al.*, 1983; ELTER & PANDELI, 1990 *cum bibl.*). Più in particolare, in quest' ultimo ventennio i sondaggi geotermici profondi eseguiti dall' ENEL si sono spinti a profondità di oltre 4000 m dal piano campagna penetrando così, per alcune migliaia di metri, all' interno delle successioni metamorfiche, prevalentemente filladico-quarzitiche, del "basamento"⁽¹⁾ cristallino regionale. Particolarmente interessanti sono i dati provenienti dal sottosuolo di Travale-Radicondoli ove la porzione superiore del "basamento" è costituita da successioni non fossilifere di natura prevalentemente filladico-quarzitica con orizzonti anidritico-dolomitici e metabasitici. Queste sono state attribuite alla Formazione filladica di Boccheggiano da CASTELLUCCI *et al.* (1983).

* Dip. Scienze della Terra, Università di Siena - Via delle Cerchia, 3 (Siena)

** Dip. Scienze della Terra, Università di Firenze - Via G. La Pira, 4 (Firenze).

(1) - Il termine "basamento" viene normalmente utilizzato nelle aree minerarie delle Colline Metallifere per indicare le formazioni metamorfiche sottostanti le evaporiti triassiche della Falda toscana.

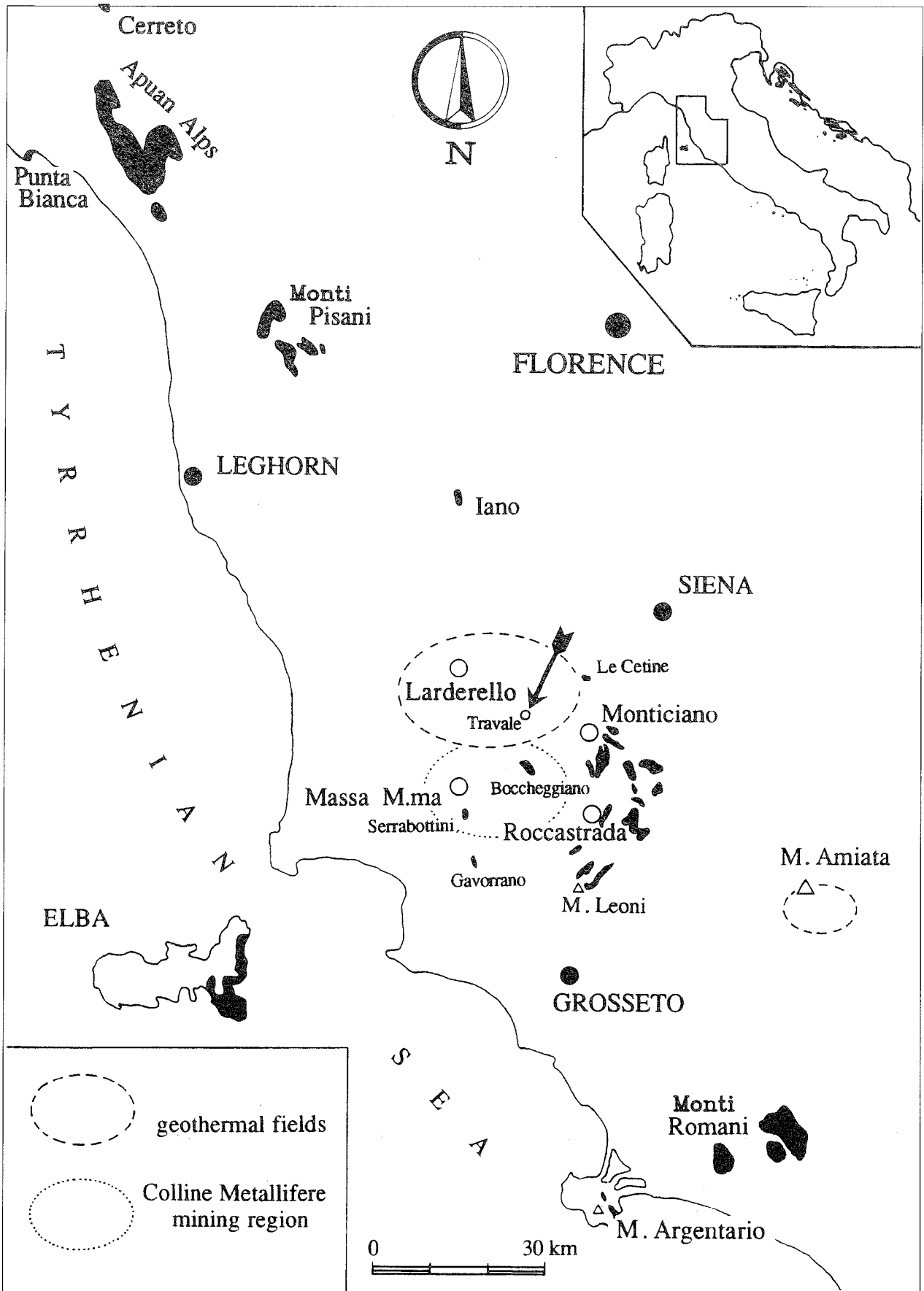


Fig. 1 - Affioramenti delle successioni paleozoiche (in nero) nell'Appennino Settentrionale e ubicazione (freccia) dell' area geotermica di Travale-Radicondoli. (da PANDELI *et al.*, 1993)

Proprio la presenza di tali orizzonti dolomitico-anidritici rende a tutt'oggi problematica la loro diretta correlazione con le altre successioni paleozoiche toscane e più in particolare con quelle del basamento della limitrofa area geotermica di Larderello, ove tali orizzonti risultano a tutt'oggi assenti.

Pertanto gli scriventi hanno intrapreso lo studio delle carote e dei cuttings delle successioni metamorfiche "sepolte" nel campo di Travale-Radicondoli per definirne i caratteri litologico-petrografici e strutturali alla meso- e micro-scala. In questa nota vengono presentati solo i dati preliminari relativi ai sondaggi più significativi (Anqua, R16, T8, T7, Scapernata e R14: Fig. 2) tra quelli esaminati fino a questo momento.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Pochi sono i lavori che fino ad oggi hanno preso in considerazione l'area in esame; oltre alla monografia sull'Alta Val di Cecina di LAZZAROTTO & MAZZANTI (1978), altri autori si sono occupati specificamente dell'assetto stratigrafico e strutturale del "basamento" (GIANELLI *et al.*, 1978; CASTELLUCCI *et al.*, 1983) e delle estese coperture sedimentarie neoaotone (BOSSIO *et al.*, 1978; 1991a, b; BOCCALETTI *et al.*, 1992; BONINI *et al.*, 1992). CATALDI *et al.* (1970) e BURGASSI *et al.* (1980) hanno riassunto, invece, i caratteri idrogeologici e geotermici di questa parte della regione boracifera. Per quanto riguarda le ricostruzioni geofisiche del sottosuolo sono da ricordare i lavori di BATINI *et al.* (1978, 1985), di BATINI & NICOLICH (1985) e quello di BERTINI *et al.* (1991).

L'elemento geologico più significativo dell'area di Travale-Radicondoli è rappresentato da una profonda depressione morfologico-strutturale: il Bacino di Chiusdino. Questa depressione, che rappresenta l'appendice meridionale del ben più esteso Bacino di Volterra, risulta orientata NNW-SSE ed è colmata dai sedimenti post-orogenici lacustri e marini del Miocene superiore, del Pliocene inferiore e del Pliocene medio. Tali sedimenti riposano in discordanza su di un substrato costituito dalle Unità liguri e subliguri (Complesso ofiolitifero, Complesso del Flysch calcareo-marnoso e Complesso di Canetolo) che si sono impilate sulle formazioni della Falda toscana durante gli eventi tettonici appenninici (Oligocene sup. - Miocene).

I dati del sottosuolo mostrano che al di sotto della Falda toscana, anche qui spesso estesamente laminata per i ben noti fenomeni tettonici legati alla "Serie toscana ridotta" (cfr. GIANNINI *et al.*, 1972; GIANNINI & LAZZAROTTO, 1975; BERTINI *et al.*, 1991), sono presenti le successioni filladico-quarzitiche del "basamento" che includono orizzonti anidritico-dolomitici e metabasitici. Queste successioni sono state inserite da BERTINI *et al.* (1991) nell'Unità di Monticiano-Roccastrada.

La peculiare presenza degli orizzonti dolomitico-anidritici, assenti nelle altre unità del "Basamento" toscano, e la mancanza di reperti fossiliferi ha contribuito alla

controversa attribuzione stratigrafica delle filladi alle quali questi orizzonti sono associati: Trias (TREVISAN, 1955; VIGHI, 1959, 1966; SIGNORINI, 1964, 1966), Permiano (COCOZZA *et al.*, 1974, 1978; AZZARO *et al.*, 1975; COCOZZA & VAI, 1978), Siluriano-Devoniano (BAGNOLI *et al.*, 1979; TONGIORGI & BAGNOLI, 1981; CASTELLUCCI *et al.*, 1983).

3. IL BASAMENTO NEL SOTTOSUOLO DELL'AREA DI TRAVALE-RADICONDOLI

Tra i sondaggi esaminati fino a questo momento vengono riportati in questa nota solo i sei sondaggi più significativi (ubicazione e colonne stratigrafiche in Fig. 2), scelti tra i più profondi del campo (fino ad oltre 2500 m di profondità dal piano campagna) e ubicati opportunamente da coprire gran parte dell'area in esame. Lo studio delle successioni metamorfiche attraversate da sondaggi è stato effettuato analizzando sia le numerose carote che i cuttings, relativi alle progressive non carotate, generalmente rappresentativi di tratti di 10-20 m.

I dati ottenuti con le osservazioni a scala mesoscopica delle carote sono stati poi integrati con analisi petrografiche e microstrutturali a mezzo di numerose sezioni sottili ottenute dalle stesse carote e da gran parte dei cuttings.

3.1 Caratteri litologico-petrografici

Le analisi hanno permesso di distinguere nel "basamento" di Travale-Radicondoli cinque associazioni litologico-petrografiche, in questa nota denominate petrofacies, gran parte delle quali possono variamente alternarsi all'interno dei sondaggi stessi (vedi Fig. 2).

Petrofacies 1 - Breccie ad elementi eterometrici di dolomie grigie e nerastre con legante anidritico biancastro-grigio chiaro, talora largamente prevalente sui clasti (Fig. 3a). Gli elementi dolomitici sono ricristallizzati in un omogeneo mosaico xenoblastico a grana fine nel quale sono dispersi piccoli cristalli di pirite e possono essere presenti plaghette di anidrite. Frequenti anche le vene di anidrite e anidrite±dolomite. L'anidrite della massa di fondo tende talora ad invadere la struttura cristallina dolomitica infiltrandosi nelle giunzioni interblastiche e localmente sostituendola, determinando così la sua progressiva disgregazione. La massa anidritica che include i clasti presenta una grana da media a fine ed un tipico aspetto saccaroide; localmente sono osservabili fenomeni di gessificazione. Raramente possono essere presenti, come elementi della breccia, anche filladi sericitiche e sericitico-cloritiche di colore verdastro, grigio e grigio chiaro-madreperlaceo.

Il contatto con le altre petrofacies (fatta eccezione per la Petrofacies 2) è netto e talora marcato da livelli cataclastici ove ai litotipi anidritico-dolomitici si associano elementi filladico-quarzitici e metabasitici.

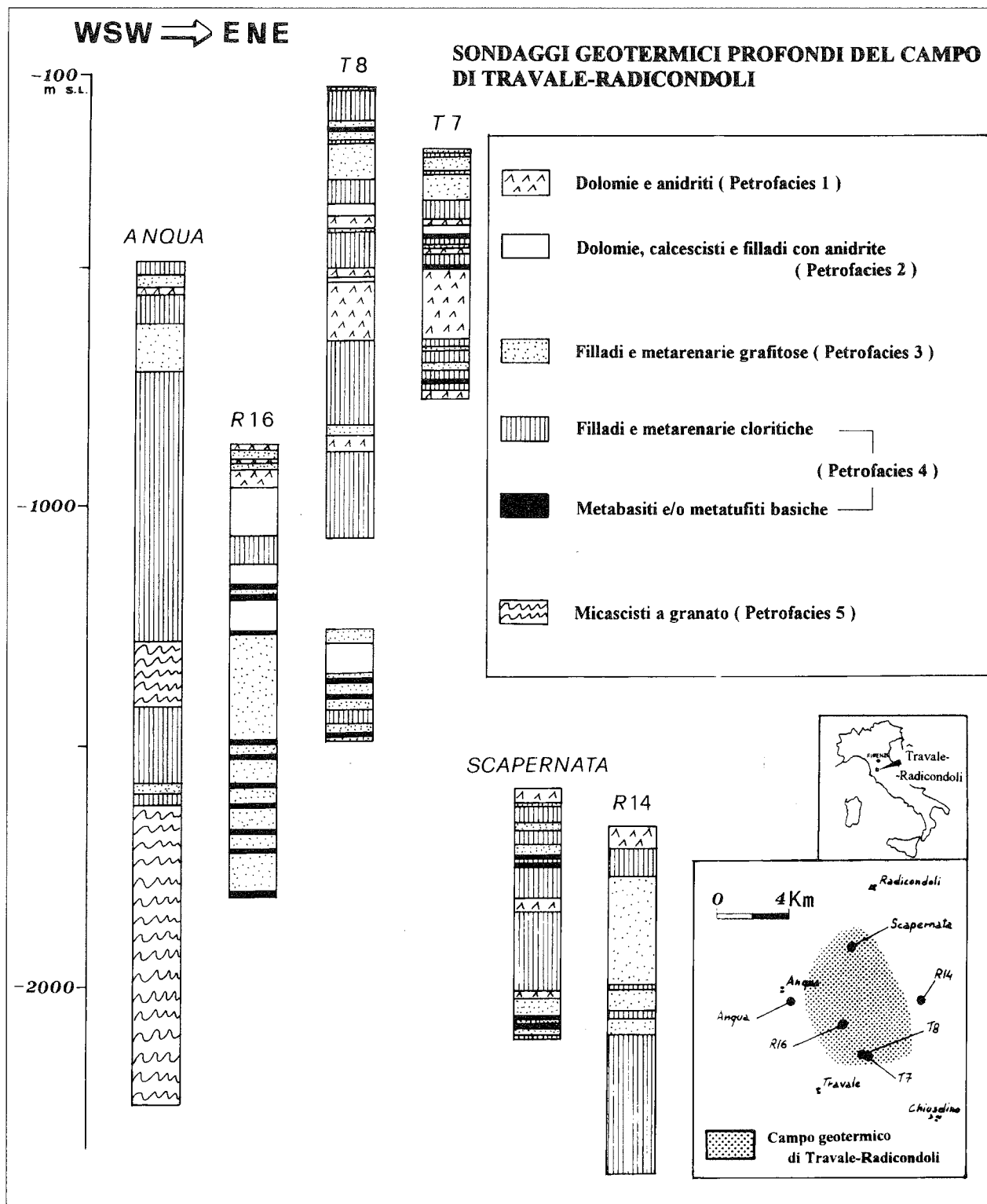


Fig. 2 - Successioni stratigrafiche del basamento attraversate da alcuni sondaggi del Campo di Travale-Radicondoli (ubicazione dei sondaggi nel riquadro in basso a destra).

Petrofacies 2 - E' costituita da una variata alternanza, anche a scala millimetrica, di litotipi carbonatici, filladici e anidritici (Fig. 3b):

a) Calcari dolomitici e dolomie cristalline a grana da media a fine di colore grigio chiaro-biancastro. Entro la massa carbonatica xenoblastica sono disperse quantità

variabili di quarzo, miche chiare e talora anche albite (a geminazione semplice e spesso sub-idiomorfa)(Fig. 3c); il pigmento ematitico, talora presente, può impartire a questi litotipi delle sfumature cromatiche rosate/giallastre. Le miche chiare possono localmente dar luogo a sottili letti sericitico-cloritici che, alternandosi a quelli carbonatici,

caratterizzano litotipi calcescistosi. Più raramente sono state riconosciute anche plaghette e livelli millimetrici di anidrite. Per aumento in componenti silicatiche questi litotipi carbonatici possono sfumare in quarziti carbonatiche.

b) Filladi sericitiche e sericitico-cloritiche, talora quarzose, di colore verdastro e grigio chiaro. I minerali accessori sono rappresentati da opachi titaniferi, rutilo, pirite e tormalina. Raramente possono essere presenti anche discontinui livelletti quarzosi a tessitura blastopsammitica.

c) Breccie dolomitico-solfatiche (analoghe a quelle della Petrofacies 1) e alternanze di anidrite e dolomie microcristalline che, talora, possono contenere basse percentuali di miche chiare e quarzo. Potrebbe così essere ipotizzato un passaggio di tipo graduale tra le Petrofacies 1 e 2. Sempre netto è risultato, invece, il contatto con le altre petrofacies, talvolta con evidenze di brecciatura tettonica.

Petrofacies 3 - Filladi, filladi quarzose e metarenarie grafitose di colore da grigio a nero costituite da quarzo, muscovite/sericite, clorite (spesso di tipo penninitico) e pigmento grafitoso che, localmente, risulta molto abbondante. Presente anche la calcite (generalmente in plaghe secondarie) e, talora, anche l'albite, di regola geminata. Tra i minerali accessori, oltre alla grafite, sono presenti opachi titaniferi, pirite, rutilo, tormalina e zirconio. A questi litotipi possono intercalarsi dei livelli calcareo-dolomitici cristallini grigi e grigi scuri grafitosi a grana da media a fine includenti percentuali variabili di quarzo e miche chiare. Nei litotipi filladici è da segnalare localmente la presenza di piccoli "occhi" di albite sin-cinematica, talvolta a geminazione semplice, spesso recanti inclusioni elicistiche grafitose.

Il passaggio alla Petrofacies 4 risulta talvolta graduale per diminuzione del contenuto in grafite.

Petrofacies 4 - Filladi, spesso quarzose, e metarenarie/metagrovacche cloritiche di colore da grigio-verdastro a verde. I componenti sono quarzo, muscovite/sericite, clorite (di colore verde talora molto acceso, probabilmente ricca in Fe), calcite e, come accessori, opachi titaniferi, tormalina, pirite, zirconio, epidoto e localmente anche grafite. Le metagrovacche sono caratterizzate da un discreto contenuto in plagioclasti acidi, spesso con geminazioni multiple.

Localmente ai suddetti litotipi possono intercalarsi dei livelli carbonatici impuri ricristallizzati.

A questa petrofacies sono inoltre associati tipici livelli granoblastici di colore verde scuro costituiti da albite/oligoclasio (spesso con geminazioni semplici e multiple), clorite, tremolite-actinolite, e con quarzo e calcite subordinati; tipica è l'abbondanza di epidoto e titanite, spesso smistati parallelamente alla scistosità principale. In qualche caso, al di là della forte ricristallizzazione, sono ancora riconoscibili relitti di tessiture magmatiche di tipo blastofitico (Fig. 3d) che permettono di attribuire almeno parte di questi litotipi a metavulcaniti basiche. GIANELLI &

PUXEDDU (1979) & PUXEDDU *et al.* (1984), in base ai dati geochemici, attribuiscono tali metavulcaniti, assieme quelle presenti nel sottosuolo di Niccioleta (presso Massa M.ma), a basalti intraplacca debolmente alcalini.

Petrofacies 5 - Micascisti di colore da grigio verde a grigio-bruno a struttura da granoblastica (con quarzo, muscovite, albite, clorite, e, talora, biotite cloritizzata/scolorita), ma spesso tipicamente porfiroblastica per la presenza di "occhi" di albite e di granato almandino. I porfiroblasti albitici, spesso geminati e con inclusioni elicistiche di opachi grafitosi \pm quarzo, risultano in genere sin-tettonici agli eventi alpini. Gli "occhi" di granato (anch'essi con inclusioni elicistiche, talora di tipo rotazionale) sono invece riconducibili a due eventi blastici distinti: uno post-cinematico statico (con porfiroblasti idiomorfi/sub-idiomorfi non alterati e che si sovrappongono alla tessitura tettono-metamorfica) (Fig. 3e), l'altro probabilmente pre-alpino (con granati fratturati, cloritizzati e avvolti dalla scistosità alpina) (Fig. 3f).

Gli accessori sono rappresentati da grafite, minerali titaniferi (opachi, titanite, ilmenite) tormalina, rutilo e pirite.

Questa petrofacies è stata riconosciuta nelle porzioni più profonde del sondaggio Anqua (Fig. 2) ed anche in altri più recenti sondaggi (R 26 e R 30) ancora in fase di studio.

3.2 Caratteri strutturali

Tutte le rocce esaminate si presentano strutturate da più eventi tettono-metamorfici. Più in particolare sono stati distinti due eventi tettono-metamorfici (D_1 e D_2) ed un blando evento deformativo duttile tardivo (D_3).

All'evento D_1 è associata una scistosità continua molto penetrativa (S_1) verosimilmente legata a pieghe di tipo isoclinale, talora osservabili anche alla scala delle carote. La S_1 nei litotipi filladico-quarzitici è costituita da quarzo+sericite (\pm muscovite) \pm clorite \pm albite \pm opachi (grafite, opachi titaniferi). Nei livelli metabasitici è tipico l'allineamento dell'epidoto e della titanite in "treni" lungo i piani dell' S_1 . I litotipi carbonatici, invece, presentano solo raramente l'isorientazione dei blasti probabilmente a causa degli intensi fenomeni di ricristallizzazione tardiva. La blastesi di albite e localmente anche di quarzo è proseguita dopo lo sviluppo della S_1 in condizioni statiche, come dimostrano i porfiroblasti che includono la scistosità di prima fase, ma che vengono, assieme a questa, deformati dalle strutture D_2 . Comune nei litotipi filladici anche la blastesi statica post- D_1 /pre- D_2 di cloritoide.

All'evento D_2 sono associati sistemi di crenulazioni spaziate (C_2) che spesso evolvono in una vera e propria scistosità penetrativa (S_2), la quale può arrivare a trasporre quasi completamente le precedenti strutture.

Lungo le crenulazioni C_2 tendono spesso ad allinearsi gli opachi (grafitosi e di titanio), così come può concentrarsi il rutilo; nel caso della scistosità S_2 ai suddetti componenti si aggiunge la blastesi orientata di

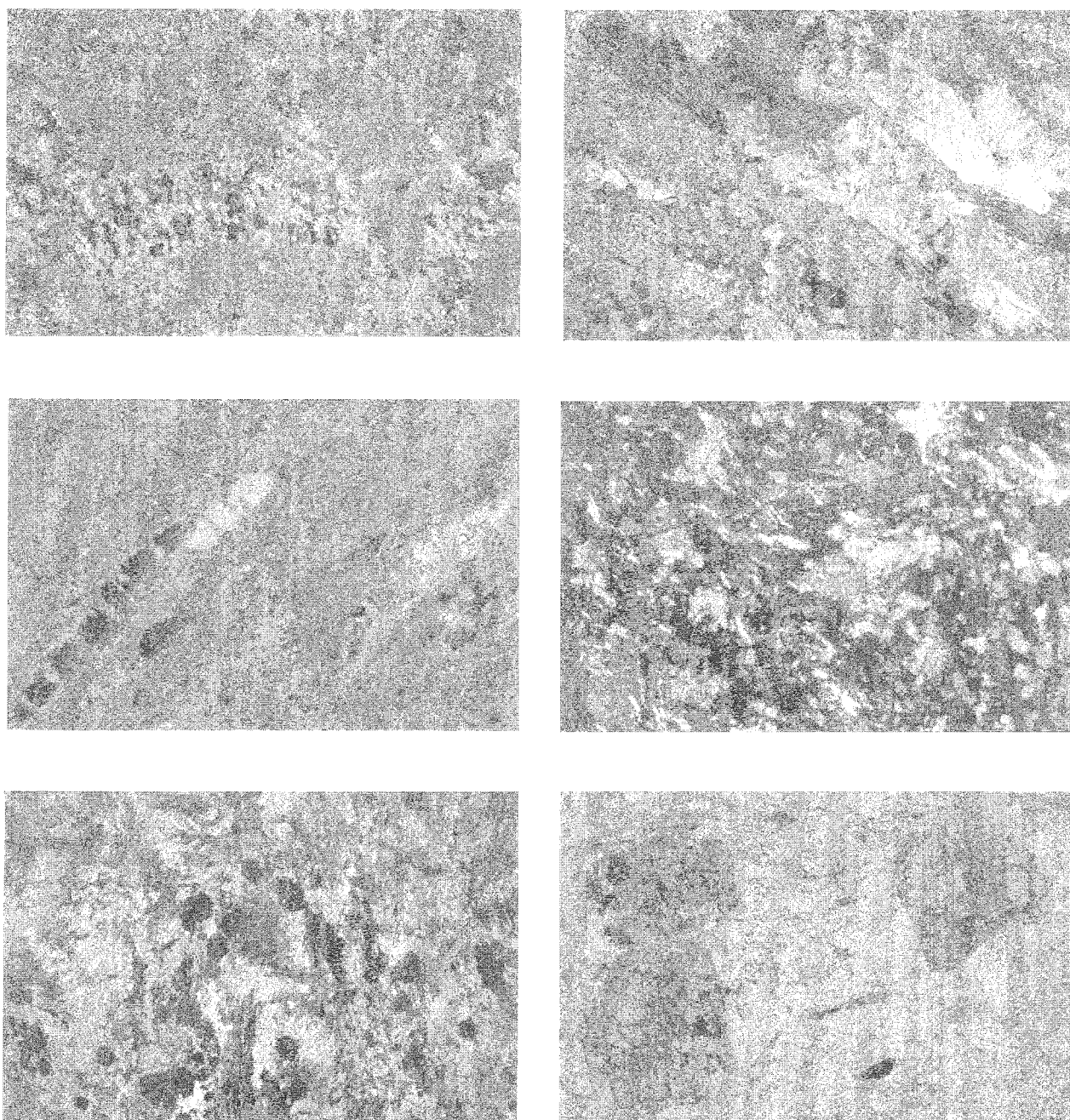


Fig. 3 - Microfotografie di litotipi del basamento di Travale-Radicondoli. a) Breccia ad elementi dolomitici microcristallini con legante anidritico (Petrofacies 1). Sondaggio R19 m 2540. Nicols incrociati: 13x; b) alternanza di livelli dolomitici microcristallini, anidrite e filladi sericitico-cloritiche (Petrofacies 2). Sondaggio R19 m 2770. Nicols incrociati: 13x; c) calcari dolomitici con quarzo, albite e muscovite (Petrofacies 2). Sondaggio Chiusdino 1 m 2198. Nicols incrociati: 25x; d) metabasiti (Petrofacies 4). Sondaggio T8 m 1057: Nicols incrociati: 25x; e) Granato statico post-tettonico (Petrofacies 5). Sondaggio Anqua m 2155. Nicols incrociati: 13x. f) Granato relitto (Ercinico?) fratturato ed avvolto dalle scistosità alpine (Petrofacies 5). Sondaggio R26 m 3026. Nicols paralleli: 30x.

sericite, talora accompagnata da quarzo e clorite. Nei litotipi metavulcanici è comune anche la riorientazione di epidoto e titanite lungo i piani S_2 .

All'evento deformativo D_3 corrispondono blandi clivaggi di crenulazione e kink parallelamente ai quali talvolta può essere osservata una certa isorientazione dei componenti opachi.

A questi eventi segue una fase di ricristallizzazione statica con blastesi di biotite verde e bruna, in qualche caso

accompagnata da muscovite. Nei litotipi carbonatici impuri e nelle metavulcaniti si nota anche la neoformazione di tremolite, epidoto e titanite, mentre nei Micascisti è tipico il granato.

Tali eventi blastico-deformativi ben si inquadrano nell'evoluzione tettono-metamorfica alpina già delineata da precedenti autori in altre successioni metamorfiche toscane (cfr. BOCCALETTI *et al.*, 1983; CARMIGNANI & KLIGFIELD, 1990; COSTANTINI *et al.*, 1987/88; ELTER &

PANDELI, 1990, 1991, 1993; CONTI *et al.*, 1991a,b).

Inoltre è di particolare interesse, per la collocazione stratigrafica di almeno parte delle successioni delle Petrofacies 3 e 4, il locale rinvenimento nei litotipi filladico-metarenacei di foliazioni relitte disposte circa ortogonalmente alla S_1 e costituiti da muscovite \pm clorite \pm grafite \pm quarzo \pm albite. Tali relitti intrafoliari sono stati riconosciuti anche in molte altre unità pre-carbonifere del basamento toscano e attribuiti all'evento tettono-metamorfico sudetico dell'orogenesi ercinica (ELTER & PANDELI, 1990, 1991; CONTI *et al.*, 1991a,b; PANDELI *et al.*, 1993). Gli stessi relitti strutturali sono stati osservati anche nei Micascisti della Petrofacies 5, assieme ai porfiroblasti pre- S_1 di granato almandino (fratturato e alterato in clorite \pm epidoto \pm calcite \pm sericite e avvolto dalla S_1) (Fig. 3f), analogamente a quanto è stato riconosciuto nei corrispondenti Micascisti del sottosuolo di Larderello (ELTER & PANDELI, 1990). Nei litotipi filladici delle Petrofacies 1 e 2 non è stato, invece, finora osservato alcun relitto strutturale o di blastesi precedente all'evento D_1 .

4. DISCUSSIONE

Dai dati esposti nei precedenti paragrafi risulta evidente la variabilità litologica e di petrofacies delle successioni del "basamento" di Travale-Radicondoli, come già era stato messo in evidenza da CASTELLUCCI *et al.* (1983). Rispetto a questi ultimi autori, però, le nuove suddivisioni in cinque Petrofacies e lo studio meso- e microstrutturale offrono nuovi spunti per l'interpretazione stratigrafico-strutturale dei litotipi metamorfici del sottosuolo di quest'area e, più in generale, dell'intera area delle Colline Metallifere.

Le Petrofacies filladico-quarzitiche 3 e 4, così come i sottostanti Micascisti (Petrofacies 5), presentano caratteri petrografici e strutturali (vedi i probabili relitti di scistosità pre-alpina) che le farebbero attribuire a successioni paleozoiche almeno in gran parte pre-sudetiche. Più in particolare la presenza di successioni con metarenarie/metagrovacche cloritiche e livelli di metabasiti (Petrofacies 4) che poggiano su Micascisti a granato renderebbe verosimile una loro correlazione con il "Gruppo filladico-quarzitico" del sottosuolo di Larderello (cfr. ELTER & PANDELI, 1990), corrispondente alle "Quarziti e filladi inferiori" delle Alpi Apuane, di età probabilmente Cambriano superiore-Ordoviciano inferiore (CONTI *et al.*, 1991a,b). D'altra parte la presenza anche di successioni filladico-metarenacee grafitose con intercalazioni carbonatico-grafitose potrebbe suggerire l'attribuzione di almeno una parte della Petrofacies 3 ad unità del Siluriano-Devoniano inferiore, quali le "Dolomie scistose ad *Orthoceras*" delle Alpi Apuane (cfr. CONTI *et al.*, 1991a,b) e la Formazione di Risanguigno affiorante nell'area di Monticiano (cfr. COSTANTINI *et al.*, 1987/88). Non sarebbe da scartare inoltre la possibilità che le filladi e metarenarie/metagrovacche (con clorite ricca in ferro) della Petrofacies 4 possano essere correlate con simili litofacies di unità

metamorfiche attribuite al Devoniano presenti nel sottosuolo del M. Amiata (Formazione B: PANDELI *et al.*, 1988; ELTER & PANDELI, 1991) e affioranti sui M. Romani (Calcescisti, cloritoscisti e dolomie di Valle Tegolaie: MORETTI *et al.*, 1990). In tal caso le metavulcaniti associate potrebbero rappresentare la testimonianza di un evento magmatico Devoniano-Carbonifero inferiore conosciuto nelle successioni paleozoiche della Sardegna centrale (DI PISA *et al.*, 1992).

L'attribuzione al Paleozoico delle Petrofacies 1 e 2, alle quali sono associati i livelli anidritici, è per noi, invece, discutibile. Innanzitutto sono spesso molto evidenti le analogie tra le breccie dolomitico-solfatiche con i corrispondenti litotipi della Formazione anidritica di Burano del Trias superiore (cfr. MARTINI *et al.*, 1989). Il graduale passaggio alla Petrofacies 2 propenderebbe per una collocazione nel Trias anche di quest'ultima unità che presenta tra l'altro affinità con certi litotipi delle successioni di passaggio tra la sedimentazione silicoclastica continentale del Verrucano (Ladinico?-Carnico) e quella carbonatica e carbonatico-solfatica del Trias sup. nei sondaggi di Larderello (PANDELI, dati inediti) e in affioramento lungo la dorsale Monticiano-Roccastrada (Formazione di Tocchi: COSTANTINI *et al.*, 1980, 1987/88).

L'alternarsi di successioni paleozoiche e probabilmente triassiche nel sottosuolo di Travale-Radicondoli ricorderebbe così molto da vicino il "Complesso a scaglie tettoniche" descritto da ELTER & PANDELI (1990) e da PANDELI *et al.* (1991) nei sondaggi di Larderello. Tutte le petrofacies qui descritte sono state inserite da BERTINI *et al.* (1991) nell'Unità di Monticiano-Roccastrada la cui struttura è caratterizzata dalla sovrapposizione di scaglie tettoniche frequentemente separate dai livelli anidritico-dolomitici del Trias superiore.

Il locale riconoscimento di superfici tettoniche, segnate da orizzonti cataclastico/milonitici, al passaggio tra le prime due Petrofacies e quelle filladico-metarenacee rende ancora più verosimile tale interpretazione. Nel sondaggio Anqua (Fig. 2) la ripetizione del contatto tra le Petrofacies filladico-metarenacee e i Micascisti a granato suggerirebbe, inoltre, una strutturazione a scaglie tettoniche anche di quest'ultima unità.

Infine, in un recente sondaggio (R 26B) sono state riconosciute, al di sotto dei Micascisti, delle metamorfite di medio-alto grado riconducibili al Gruppo degli Gneiss descritto da ELTER & PANDELI (1990) nel sottosuolo di Larderello.

Quest'ultimo rinvenimento renderebbe ancora più stretti i legami stratigrafico-strutturali tra le successioni del "basamento" dell'area geotermica di Travale-Radicondoli e quella di Larderello.

I recenti studi sulla successione paleozoica della regione mineraria di Massa Marittima (aree di Boccheggiano e Serrabottini e miniere di Campiano e Niccioleta: COSTANTINI *et al.*, 1991, 1993) mettono in luce che, anche in quest'area, l'Unità di Monticiano-Roccastrada (ex Formazione filladica di Boccheggiano) risulta caratterizzata da scaglie tettoniche nelle quali sono rappresentate successioni di età

paleozoica e triassica.

Pertanto il motivo strutturale delle scaglie tettoniche, individuato per la prima volta nel sottosuolo delle Colline Metallifere, potrebbe essere esteso a gran parte del sottosuolo della Toscana Meridionale e rappresenterebbe la porzione sommitale del basamento per spessori, che localmente possono superare i 1500 m (PANDELI *et al.*, 1991). Complessi impilamenti di scaglie tettoniche derivanti da unità triassiche e paleozoiche sono stati segnalati anche in altre aree della Toscana meridionale (sottosuolo del M. Amiata in ELTER & PANDELI, 1991; dorsale Monticiano-Roccastrada in CONTI *et al.*, 1991b) e, probabilmente, anche a nord ed ad oriente delle Alpi Apuane (sondaggio Agip Pontremoli 1 in REUTTER *et al.*, 1980; PUXEDDU, com. pers.; "scaglie" del Passo del Cerreto in DI SABATINO *et al.*, 1979).

5. CONCLUSIONI

Nel sottosuolo dell'area geotermica di Travale-Radicondoli, l'Unità di Monticiano-Roccastrada ha una struttura a scaglie tettoniche formate da rocce paleozoiche e triassiche.

Nelle rocce esaminate (delle quali è stata definita la petrofacies) sono riconoscibili più eventi tettono-metamorfici in facies di scisti verdi, seguiti da fenomeni termometamorfici spesso con diffusa blastesi statica di biotite. Più in particolare le analisi meso- e microstrutturali hanno evidenziato la presenza di tre eventi tettonici alpini (D_1 , D_2 e D_3) dei quali i primi due sin-metamorfici di basso grado, mentre il terzo è caratterizzato da una blanda deformazione. Solo nelle successioni filladico-metarenacee (Petrofacies 3-4) e dei Micascisti (Petrofacies 5) sono stati localmente riconosciuti anche layering metamorfici relitti intrafoliari (rispetto alla scistosità S_1), interpretati come la scistosità legata all'orogenesi ercinica (fase sudetica).

Il quadro stratigrafico-strutturale del sottosuolo di Travale-Radicondoli risulta così ben confrontabile con quello del vicino campo di Larderello e, più in generale, di almeno gran parte delle Colline Metallifere.

La struttura a scaglie tettoniche del "basamento" non è dunque un fenomeno localizzato, ma sembra molto esteso a scala regionale essendo stato riconosciuto, oltre che nell'area delle Colline Metallifere, anche della dorsale Monticiano-Roccastrada e nel sottosuolo del M. Amiata.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Prof. A. Decandia e il Prof. A. Lazzarotto per la lettura del manoscritto e gli utili suggerimenti. Si ringrazia inoltre l'Enel S.p.A.-V.D.A.G. per averci fornito il materiale di studio, assistenza tecnica e l'autorizzazione alla pubblicazione dei dati in questa nota.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

AZZARO E., COCOZZA T., DI SABATINO B., GASPERI G., GELMINI R.

& LAZZAROTTO A. (1976) - *Geology and petrography of the Verrucano and Paleozoic formations of Southern Tuscany and Northern Latium*. In: H. Falke (Ed.) - "The continental Permian in Central, West, and South Europe" - NATO Adv. Study Inst. Series, D. Reidel Company, Dordrecht-Holland, **22**, 185-195.

BAGNOLI G., GIANELLI G., PUXEDDU M., RAU A. & TONGIORGI M. (1979) - *A tentative stratigraphic reconstruction of the Tuscan Paleozoic basement*. Mem. Soc. Geol. It., **20**, 99-116.

BATINI F. & NICOLICH R. (1985) - *P and S reflection seismic profiling and well logging in the Travale geothermal field*. Geothermics, **14**, 731-747.

BATINI F., BERTINI G., GIANELLI G., PANDELI E. & PUXEDDU M. (1983) - *Deep structure of the Larderello geothermal field: contribution from recent geophysical and geological data*. Mem. Soc. Geol. It., **5**, 219-235.

BATINI F., DUPRAT A. & NICOLICH R. (1985) - *Contribution of seismic reflection to the study of geothermal reservoirs in Tuscany (Italy)*. Geotherm. Res. Comm. Trans., **9**, 245-252.

BERTINI G., CAMELI G.M., COSTANTINI A., DECANDIA F.A., DI FILIPPO M., DINI I., ELTER F.M., LAZZAROTTO A., LIOTTA D., PANDELI E., SANDRELLI F. & TORO B. (1991) - *Struttura geologica fra i Monti di Campiglia e Rapolano Terme (Toscana Meridionale): Stato attuale delle conoscenze e problematiche*. Studi Geologici Camerti, Vol. Spec., **1**, 155-178.

BOCCALETTI M., CAPITANI S., COLI M., FORNACE G., GOSSO G., GRANDINI G., MILANO P.F., MORATTI G., NAFISSI P. & SANI F. (1983) - *Caratteristiche deformative delle Alpi Apuane settentrionali*. Mem. Soc. Geol. It., **26**, 527-534.

BOCCALETTI M., CERRINA FERONI A., MARTINELLI P., MORATTI G., PLESI G. & SANI F. (1992) - *Late Miocene-Quaternary compressive events in the Tyrrhenian side of the Northern Apennines*. Annales Tectonicae, **4**, 214-230.

BONINI M., CERRINA FERONI A., MARTINELLI P., MORATTI G. & VALLERI G. (1992) - *The intramessinian angular unconformity within the Radicondoli syncline (Siena, Tuscany, Italy): structural and biostratigraphical preliminary data*. Mem. Soc. Geol. It., in corso di stampa.

BOSSIO A., ESTEBAN M., GIANNELLI L., LONGINELLI A., MAZZANTI R., MAZZEI R., RICCI LUCCHI F. & SALVATORINI G. (1978) - *Some aspects of the Upper Miocene in Tuscany*. In: CNR "Geodinamica del Messiniano" e IGCP project n. 96 "Messinian correlation" - Messinian Seminar n. 4, Rome, October 9-14, 1978. Tipografia Pacini, Pisa, 88 pp.

BOSSIO A., MAZZANTI R., MAZZEI R., SALVATORINI G. & SANDRELLI F. (1991a) - *Il Pliocene di S. Dalmazio-Anqua e di Radicondoli-Belforte (Siena e Pisa)*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Ser. A, **98**, 99-191.

BOSSIO A., MAZZANTI R., MAZZEI R., SALVATORINI G. & SANDRELLI F. (1991b) - *Il Pliocene del bacino di Chiusdino (Siena)*. Atti Soc. Tos. Sc. Nat., Mem., Ser. A, **98**, 193-250.

BURGASSI P.D., CAPPETTI G. & GRASSI A. (1980) - *Rilievi termici nell'area del campo geotermico di Travale-Radicondoli*. Mem.

- Soc. Geol. It., **21**, 349-357.
- BURGASSI P.D., COSTANTINI A., DELL'AGNELLO L., LAZZAROTTO A. & SANDRELLI F. (1979) - *Esame dei rapporti fra le formazioni metamorfiche del basamento nella Toscana a sud dell' Arno*. Mem. Soc. Geol. It., **20**, 123-133.
- CARMIGNANI L. & KLGIFIELD R. (1990) - *Crustal extension in the Northern Apennines: the transition from compression to extension in the Alpi Apuane Core Complex*. Tectonics, **9**, 1275-1303.
- CASTELLUCCI P., MINISSALE A. & PUXEDDU M. (1983). *Nature and tectonic setting of the Travale-Radicondoli basement in the Larderello geothermal field (Italy)*. Mem. Soc. Geol. It., **25**, 237-245.
- CATALDI R., ROSSI A., SQUARCI P., STEFANI G. & TAFFI L. (1970)- *Contribution to the knowledge of the Larderello geothermal region: remarks on the Travale field*. Geothermics, spec. issue, **2**:
- COCOZZA T. & VAI G.B. (1978)- *Paleozoic of Tuscany within the paleogeographic evolution of Europe*. In: M. Tongiorgi (Ed.) - "Report on the Tuscan Paleozoic Basement" - CNR Internal Report of the "Progetto Finalizzato Energetica - Sottoprogetto Energia Geotermica" - Pisa, 51-58.
- COCOZZA T., COSTANTINI A., LAZZAROTTO A. & SANDRELLI F. (1978) - *Continental Permian in Southern Tuscany*. In: M. Tongiorgi (Ed.) - "Report on the Tuscan Paleozoic Basement" - CNR Internal Report of the "Progetto Finalizzato Energetica - Sottoprogetto Energia Geotermica" - Pisa, 35-49.
- COCOZZA T., GASPERI G., GELMINI R. & LAZZAROTTO A. (1974)- *Segnalazione di nuovi affioramenti paleozoici (permo-carbonifero?) a Boccheggiano e tra Capalbio e i Monti Romani (Toscana meridionale - Lazio Settentrionale)*. Boll. Soc. Geol. It., **93**, 47-60.
- CONTI P., GATTIGLIO M. & MECCHERI M. (1991a)- *The overprint of the Alpine tectono-metamorphic evolution on the Hercynian orogen: an example from the Apuane Alps (Northern Apennines, Italy)*. Tectonophysics **191**, 335-346.
- CONTI P., COSTANTINI A., DECANDIA F.A., DI PISA A., ELTER F.M., GATTIGLIO M., LAZZAROTTO A., MECCHERI M., PANDELI E., RAU A., SANDRELLI F. & TONGIORGI M. (1991b) - *Structural frame of the Tuscan Paleozoic: a review*. Boll. Soc. Geol. It., **110**, 523-541.
- COSTANTINI A., DECANDIA F.A., LAZZAROTTO A. & SANDRELLI F. (1987/88)- *L' Unità di Monticiano-Roccastrada fra la Montagnola Senese e il Monte Leoni (Toscana meridionale)*. Atti Ticinensi di Scienze della Terra, **31**, 382-420.
- COSTANTINI A., ELTER F.M., LAZZAROTTO A., PANDELI E., SANDRELLI F. & STEA B. (1991)- *Preliminary data on the metamorphic sequences in the Colline Metallifere area (Southern Tuscany, Italy)*. In: "Geologia del basamento italiano"- Convegno in memoria di Tommaso Cocozza, Siena 21-22 Marzo 1991. Abstracts, 31- 32.
- COSTANTINI A., ELTER F.M., PANDELI E., PASCUCCI V., SANDRELLI F. & TOGNONI M. (1993) - *Geology of the Boccheggiano and Serrabottini area (Grosseto)*. Mem. Soc. Geol. It., in stampa..
- COSTANTINI A., GANDIN A., MATTIAS P.P., SANDRELLI F. & TURI B. (1980) - *Un'ipotesi per l'interpretazione paleogeografica della formazione di Tocchi*. Mem. Soc. Geol. It., **21**, 203-216.
- DI PISA A., GATTIGLIO M. & OGGIANO G. (1992) - *Pre-Hercynian magmatic activity in the Nappe Zone (Internal and External) of Sardinia : evidence of two within plate basaltic cycles*. In: L. Carmignani & P.D. Sassi (Eds.)-"Contribution to the geology of Italy with special regard to the Paleozoic basements"- A volume dedicated to Tommaso Cocozza. IGCP n. 276, Newsletter, **5**, 107-116.
- DI SABATINO B., NEGRETTI G. & POTENZA P.L. (1979) - *Metamorfismo Ercinico ed Alpino negli affioramenti del Passo del Cerreto (Appennino Tosco-Emiliano)*. Mem. Soc. Geol. It., **20**, 117-121.
- ELTER F.M. & PANDELI E. (1990)- *Alpine and Hercynian orogenic phases in the basement rocks of the Northern Apennines (Larderello geothermal field, Southern Tuscany, Italy)*. Eclogae Geol. Helv., **83**, 241-264.
- ELTER F.M. & PANDELI E. (1991)- *Structural features of the metamorphic paleozoic-Triassic sequences in deep geothermal drillings in the Mt. Amiata area (Se Tuscany, Italy)*. Boll. Soc. Geol. It., **110**, 511-522.
- ELTER F.M. & PANDELI E. (1993) - *Alpine tectono-metamorphic framework of the Tuscan Paleozoic (southern Tuscany, Italy)*. Annales Tectonicae, **7**, 71-84.
- FRANCESCHELLI M. (1980)- *Lineamenti geologici-petrografici delle formazioni metamorfiche paleozoiche affioranti nell' area di Boccheggiano (Toscana meridionale)*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie A, **87**, 65-92.
- GIANELLI G. & PUXEDDU M. (1979)- *An attempt at classifying the Tuscan Paleozoic: geochemical data*. Mem. Soc. Geol. It., **20**, 435- 446.
- GIANELLI G., PUXEDDU M. & SQUARCI P. (1978)- *Structural setting of the Larderello-Travale gethermal region*. Mem. Soc. Geol. It., **19**, 469-476.
- GIANNINI E. & LAZZAROTTO A. (1975) - *Tectonic evolution of the Northern Apennines*. In: Squyres C.H. (Ed.) - "Geology of Italy" - The Earth Sciences Society of the Libyan Arab Republic - 15° Annual Field Conference, Tripoli, 237-287.
- GIANNINI E., LAZZAROTTO A. & SIGNORINI R. (1971) - *Lineamenti di stratigrafia e di tettonica*. In: "La Toscana Meridionale". Rend. Soc. Ital. Mineral. Petrol., Fasc. Spec., **27**, 33-168.
- LAZZAROTTO A. & MAZZANTI R. (1976)- *Geologia dell' alta Val di Cecina*. Boll. Soc. Geol. It., **95**, 1365-1487.
- MARTINI R., GANDIN A. & ZANINETTI L. (1989) - *Sedimentology, stratigraphy and micropaleontology of the Triassic evaporitic sequence in the subsurface of Boccheggiano and in some outcrops of southern Tuscany (Italy)*. Riv. It. Paleont. Strat., **95**, 3-28.
- PANDELI E., BERTINI G. & CASTELLUCCI P. (1991) - *The Tectonic Wedges Unit of the Larderello area (Southern Tuscany - Italy)*. Boll. Soc. Geol. Ital., **110**, 621-629.

- PANDELI E., GIANNELLI G., PUXEDDU M. & ELTER F. M. (1993)- *The Paleozoic basement of the Northern Apennines: stratigraphy, tectono-metamorphic evolution and hydrothermalism*. Mem. Soc. Geol. It., in stampa.
- PANDELI E., PUXEDDU M., GIANNELLI G., BERTINI G. & CASTELLUCCI P. (1988)- *Paleozoic sequences crossed by deep drillings in the Monte Amiata geothermal region (Italy)*. Boll. Soc. Geol. It., **107**, 593-606.
- PUXEDDU M., SAUPE F., DECHOMETS R., GIANNELLI G. & MOINE B. (1984)- *Geochemistry and stratigraphic correlations. Application to the investigation of geothermal and mineral resources of Tuscany, Italy (contribution to the knowledge of the ore deposits of Tuscany, II)*. Chem. Geol., **43**, 77-113.
- REUTTER K.J., TEICHMULLER M., TEICHMULLER R. & ZANZUCCHI G. (1980) - *Le ricerche sulla carbonificazione dei frustoli vegetali nelle rocce clastiche, come contributo ai problemi di paleogeotermia e tettonici dell' Appennino settentrionale*. Mem. Soc. Geol. It., **21**, 11-126.
- SIGNORINI R. (1964) - *Sguardo d'insieme alla geologia della Toscana a Sud dell'Arno*. Mem. Soc. Geol. It., **4**, 413-431.
- SIGNORINI R. (1966) - *Il Verrucano della Toscana meridionale*. Atti Symposium sul Verrucano, Pisa (Settembre 1965). Soc. Tosc. Sc. Nat., 55-71.
- TONGIORGI M. & BAGNOLI G. (1981) - *Stratigraphie du socle paleozoique de la bordure continentale de l'Apennin septentrional (Italie Centrale)*. Bull. Soc. géol. France, **7**, 19-323.
- TREVISAN L. (1955) - *Il Trias della Toscana ed il problema del Verrucano Triassico*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Ser. A, **62**, 1-30.
- TREVISAN L. (1955)-*Il Trias della Toscana e il problema del Verrucano triassico*. Boll. Soc. Geol. It., **10**, 96-101.
- VIGHI L. (1959) - *Sulla serie triassico "Cavernoso-Verrucano" presso Capalbio (Orbetello - Toscana) e sulla brecciatura tettonica delle serie evaporitiche "rocce madri" del Cavernoso*. Boll. Soc. Geol. It., **77**, 221-234.
- VIGHI L. (1966)- *Descrizione di alcuni sondaggi che hanno attraversato le lenti anidritico-dolomitiche intercalate nelle filladi triassiche (Verrucano) nei dintorni di Massa Marittima (Grosseto-Toscana)*. Atti Symposium sul Verrucano, Pisa (Settembre 1965). Soc. Tosc. Sc. Nat., 72-95.