

INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E CLIMATICO-AMBIENTALE DEI TRAVERTINI DI RAPOLANO TERME (SI)

C. Carrara⁽¹⁾ - L. Ciuffarella⁽²⁾ - G. Paganin⁽¹⁾

⁽¹⁾ENEA - Casaccia, C.P. 24100 - 00100 Roma A.D.

⁽²⁾Dipartimento Biologia Vegetale, Università degli Studi "La Sapienza", Roma.

RIASSUNTO - *Inquadramento geo-morfologico e ambientale dei travertini di Rapolano Terme (Siena, Italia)*. Lo studio dei depositi di travertino dell'area di Rapolano Terme è stato finalizzato non solo alla ricostruzione delle condizioni geomorfologiche, ambientali e climatiche che hanno condizionato la loro deposizione, ma anche alla conoscenza dell'interazione tra i processi deposizionali e l'attività antropica, che si è esplicata fin dai tempi antichi a scopi termali o estrattivi. Sono state riconosciute diverse forme degli accumuli, connesse con la paleomorfologia dell'area: tabulari, conoidiformi, fissurali e mammellonari. I corpi di travertino si sovrappongono o si interdigitano e spesso sono separati da superfici erosionali. L'ambiente di deposizione è vario: da palustre a fluvio-lacustre, ad acque correnti su pendio più o meno acclive, con sviluppo di gradinate di vasche. Le analisi polliniche di sedimenti lacustri intercalati nella parte alta dei travertini non permettono una ricostruzione paleoambientale in quanto sembra si sia verificata una conservazione preferenziale di alcuni tipi di palinomorfi più resistenti. Esse tuttavia forniscono un'ulteriore conferma della presenza di *Abies* e di *Picea* sull'Appennino toscano durante l'Olocene. Le datazioni radiometriche effettuate indicano che la sequenza studiata si è deposta in un periodo comprendente la parte alta del Pleistocene superiore e l'Olocene.

ABSTRACT - *Geomorphological and environmental characteristics of the travertine deposits of Rapolano Terme area (Siena, Italy)*. The travertine deposits in the Rapolano Terme area has been studied to define geomorphological, environmental and climatic conditions of deposition and for a better knowledge of the interaction between the depositional processes and the human activity, developed since ancient times with thermal and extractive aims. Different morphological types of travertine accumulations, such as tabular and fan-shaped bodies, fissure ridges, terraced mounds, cones, and waterfall deposits have been identified. They are strictly connected to the palaeomorphology of the substratum and generally are superimposed to one another or interfingered and often are separated by erosional surfaces. The facies analysis has permitted the identification of the depositional environments, i.e.: palustrine, fluvio-lacustrine, thin water layers running on variably steeping slopes, pool gradines, etc. The palinological analysis of the fluvio-lacustrine sediments intercalated in the upper part of the studied sequence does not allow a palaeoenvironmental reconstruction as a preferential conservation of some resistant types of palinomorfs has taken place. It proves, nevertheless, that *Abies* and *Picea* were present in Tuscan Apennines during the Holocene. Radiometric datings indicate that the sequence, about 40 m thick, has been deposited during the upper part of the Upper Pleistocene to the Holocene. At this moment the human activity began to influence and deeply modify the travertine deposition.

Parole chiave: Travertino, Geomorfologia, Ambienti deposizionali, Datazioni, Archeologia, Rapolano Terme (SI).
Key words: Travertine, Geomorphology, Depositional Environments, Datings, Archaeology, Rapolano Terme (SI).

1. INTRODUZIONE

Il presente studio è stato effettuato nell'ambito di una collaborazione dell'ENEA con la Soprintendenza Archeologica della Toscana, finalizzata all'inquadramento geo-morfologico ed ambientale dei travertini e dei siti archeologici che ospitano. Scopo dello studio è anche la salvaguardia del patrimonio archeologico e del paesaggio ambientale dell'area considerata.

2. STUDI PRECEDENTI

Le notizie intorno ai travertini dell'area senese e, in particolare intorno a quelli di Rapolano, sono abbastanza scarse e generiche (Losacco, 1951; Jacobacci, Malatesta & Martelli, 1969). Notizie più dettagliate sui travertini di Rapolano sono contenute in Cipriani *et al.* (1972) e Cipriani, Malesani & Vannucci (1977), che ne studiano l'origine e i processi di precipitazione per mezzo di ricerche geologiche, idrogeologiche, geochemiche e petrografiche. La deposizione del travertino è associata a sorgenti termominerali solfato-calciche con

manifestazioni gassose, a loro volta connesse con acque vadose che circolano lungo faglie profonde nella Serie Toscana e in particolare nella formazione evaporitica. La deposizione del travertino è successiva a sabbie ed argille plioceniche terrazzate, mentre sembra precedere i depositi alluvionali quaternari. Il travertino deposto è continuamente soggetto a fenomeni di dissoluzione e riprecipitazione per circolazione, anche di tipo carsico, di acque superficiali, che rendono la roccia sempre meno porosa, più compatta e depauperata di stronzio, magnesio e zolfo. Sulla base di analisi geochemiche e mineralogiche i travertini vengono distinti in: "attuali" o in corso di deposizione, ricchi di residuo insolubile; "superficiali", più o meno recenti e "sottostanti", più antichi, puri e compatti. I tenori medi di stronzio dei travertini sono messi in relazione con l'età del deposito.

Un altro lavoro specifico sui travertini dell'area di Rapolano Terme è quello di Barazzuoli *et al.* (1988), che li descrivono sotto il profilo geologico e geologico-tecnico. La deposizione dei travertini è messa in relazione con sorgenti di acque termominerali risalenti lungo la "master fault" del bordo orientale del graben di Siena (Dorsale Rapolano-Trequanda-Piazza di Siena), struttu-

ra longitudinale, diretta, con un rigetto variabile fra un massimo di 2000 m nella zona di Rapolano ed i 600-700 m nella zona di Trequanda. I travertini vengono suddivisi, in base ai loro caratteri litologici, in litotipi chiari, stratificati e litotipi scuri, compatti; i primi giacciono regolarmente sopra i secondi. Se ne descrivono anche le principali facies e le relative denominazioni di mercato. Lo studio macropaleontologico (gasteropodi, ossa di mammiferi e filliti) ha consentito una datazione di massima "probabilmente non superiore ad una decina di migliaia di anni fa". Vengono descritti, inoltre, i caratteri chimico-mineralogici e fisico-meccanici, la consistenza dei giacimenti e le condizioni di estraibilità.

Più numerosi sono gli studi condotti sulle acque termali e minerali della provincia di Siena e dell'area di Rapolano, che hanno dato luogo alla precipitazione dei travertini. Fancelli & Nuti (1974, 1975) classificano le acque termali e non termali di Rapolano come bicarbonato-solfato-calciache, le prime, più saline, connesse con una circolazione profonda e tempi di permanenza maggiori, le seconde con circolazione superficiale e tempi di permanenza più brevi. La circolazione delle acque è unitaria; si svolge prevalentemente nei termini calcarei della formazione mesozoica e segue una direttrice principale da sud verso nord, differenziandosi in rami secondari particolari. Bertoldi, Fancelli & Nuti (1975) osservano che le sorgenti termali dell'area di Rapolano Terme presentano variazioni di temperatura, attribuite a mescolamento di acque di circolazione regionale profonda con acque non mineralizzate di circolazione superficiale. In alcune di dette manifestazioni, inoltre, hanno osservato un notevole abbassamento del livello idrostatico iniziatosi almeno dal 1964, connesso probabilmente con una diminuzione della piovosità, che presenta un andamento oscillatorio. Oltre ai fattori climatici detto abbassamento è determinato anche dai forti emungimenti eseguiti nella zona, che hanno superato la portata globale delle sorgenti. Panichi *et al.* (1979) e Panichi (1982) osservano che le acque termali studiate "pur avendo una comune origine meteorica, derivano da circolazioni idriche profonde sostanzialmente differenti, essendo connesse con le differenti situazioni idrogeologiche del graben di Siena. In particolare, le acque dell'area di Rapolano appartengono a un gruppo omogeneo connesso con la struttura calcarea di Asciano-Rapolano del fianco orientale del graben. Anche Lazzarotto (1986) e Barazzuoli *et al.* (1986, 1988 e 1991), in studi idrogeologici generali sull'area considerata e studi di dettaglio su di una falda freatica presente a Rapolano Terme, in località Antica Querciaiola, attraversata dalla faglia principale del graben di Siena, hanno verificato un'alimentazione preminente da parte di acque calde risalenti appunto lungo detta faglia. Si ricordano ancora i lavori di carattere regionale di Minissale (1991) e Duchi & Minissale (1995) che osservano come nella regione appenninica sia evidente

una chiara correlazione tra l'attività tettonica, i sistemi geotermici attivi e la circolazione regionale nelle formazioni carbonatiche mesozoiche. Le sorgenti termali italiane, comprese quelle dell'area di Rapolano, sono originate essenzialmente da acque meteoriche, che seguono lunghi circuiti in acquiferi carbonato-anidritici. L'anidride carbonica presente in molte di dette manifestazioni potrebbe essere di origine profonda e derivare dal mantello o da processi di metamorfismo delle rocce carbonatiche sepolte.

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

I travertini studiati affiorano in un'area di circa 8 kmq, compresa tra l'abitato di Rapolano Terme (Siena)

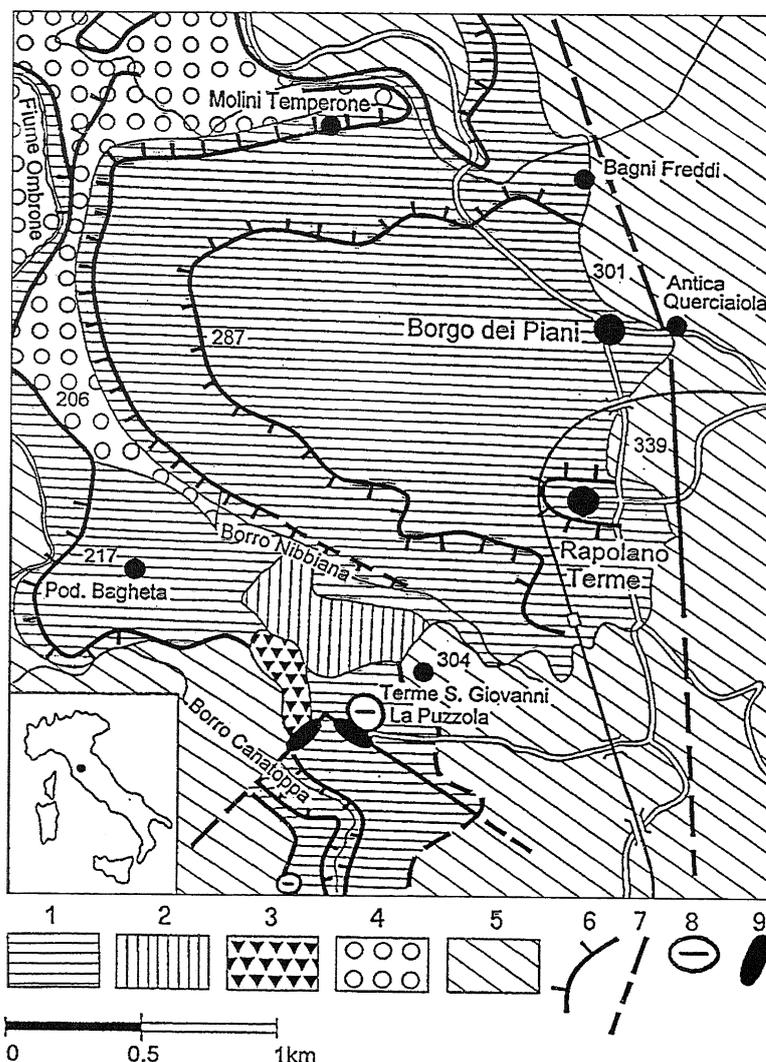


Fig. 1 - Carta geologica schematica dell'area di Rapolano Terme (da Barazzuoli *et al.*, 1988, modificata). Legenda: 1 = Travertini; 2 = Area interessata dalla Cava Muri; 3 = Discarica; 4 = Alluvioni; 5 = Substrato meso-cenozoico; 6 = Orlo di terrazzo; 7 = Faglia; 8 = Forme carsiche (inghiottitoi); 9 = Corpi di travertino fissurali.

Geological outline of Rapolano Terme area (from Barazzuoli *et al.*, 1988, modified). Legend: 1 = Travertines; 2 = Muri Quarry Area; 3 = Quarry debris and dumps; 4 = Alluvial deposits; 5 = Meso-cainozoic substratum; 6 = Terrace scarp; 7 = Fault; 8 = Karstic sink-hole; 9 = Fissural travertine body.

ad est e il fiume Ombrone ad ovest (Fig. 1). L'area di affioramento è posta sul margine orientale del bacino neogenico di Siena, in corrispondenza di una struttura regionale nota come dorsale Rapolano-Trequanda-Piazza di Siena (Barazzuoli *et al.*, 1986). In quest'area il "substrato" del bacino è costituito dalle unità della Serie Toscana non metamorfica, rappresentate da sedimenti clastici del Macigno (Oligocene-Miocene inf.), da sedimenti prevalentemente calcarei giurassico-paleogenici e dalle anidriti di Burano del Trias superiore. Detto "substrato", interessato da più fasi tettonogenetiche durate fino al Miocene superiore, successivamente è andato soggetto a tettonica distensiva, che ha causato la formazione di fosse ad andamento NNO-SSE, colmate da sedimenti lacustri e marini mio-pleiocenici. Il bacino di Siena, limitato ad oriente dalla menzionata dorsale Rapolano-Trequanda-Piazza di Siena, controllata da una *master fault* diretta, che presenta un rigetto variabile da 2000 m nella zona di Rapolano a 600÷700 m in quella di Trequanda (Costantini, Lazzarotto & Sandrelli, 1982)

rappresenta una di tali fosse, colmata, nell'area in esame, da sedimenti marini prevalentemente argillosi e sabbiosi del Pliocene inferiore e medio. Lungo la dorsale sono presenti manifestazioni di acque termominerali ed emanazioni di gas (prevalentemente CO₂ e/o H₂S), alle quali sono associate diverse placche di travertino.

Morfologicamente la placca di travertino di Rapolano Terme è alquanto complessa; l'azione dell'uomo, inoltre, esplicita sin dai tempi antichi per lo sfruttamento del travertino e delle acque termali, localmente ne ha sconvolto la giacitura originaria.

Tuttavia, sulla base di un dettagliato rilevamento di campagna con l'ausilio della fotointerpretazione, è stato possibile riconoscere almeno quattro forme principali di giacitura dei corpi travertinosi, strettamente connesse con la morfologia precedente alla deposizione e/o con le condizioni di deposizione.

La prima forma è costituita da corpi tabulari, regolarmente stratificati, che seguono perfettamente la superficie morfologica sulla quale si sono depositi, formando placche continue o

discontinue, con spessori molto variabili da alcuni decimetri ad alcune decine di metri. Nell'area in esame è rappresentata dalla grande superficie piana che si estende verso ovest e nord-ovest di Rapolano Terme fin quasi ad Armaiolo, ed è limitata da un evidente orlo di scarpata (terrazzo di Borgo dei Piani). Si tratta di una superficie terrazzata, che si mantiene ad una quota media di 290÷300 m, tagliata nei sedimenti argilloso-sabbiosi pliocenici, coperta da placche discontinue di travertino di modesto spessore con giacitura orizzontale o suborizzontale. Il travertino si accumula con maggior continuità e spessore lungo la scarpata, dove gli strati assumono giacitura periclinale con inclinazioni di 20° e oltre, con locale sviluppo di gradinata di vasche e cascate. Piccoli lembi della stessa superficie sono presenti a sud-est di Armaiolo e a sud di Rapolano. Anche la superficie piana che si estende intorno alla Terme di S. Giovanni, ad una quota di 280÷290 m, potrebbe far parte della stessa forma.

Un'altra forma terrazzata del tipo già descritto, compresa tra la scarpata del terrazzo precedente e il fiume Ombrone, si estende per 1÷2 km in senso meridiano a una quota media di 200÷210 m (terrazzo Ombrone). E' coper-

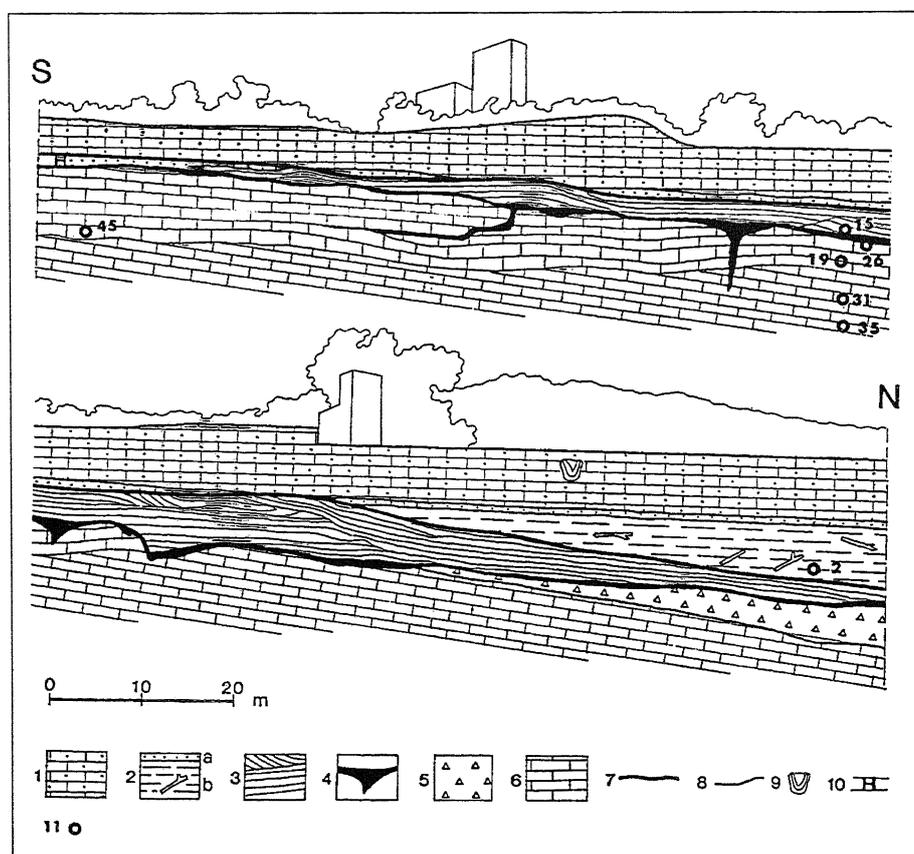


Fig. 2 - Cava Muri: parete orientata circa N-S. Sezione studiata e localizzazione dei campioni datati. Legenda: 1 = Travertino superiore (TR1); 2 = Deposito fluvio-lacustre con macroresti vegetali; 3 = Travertino intermedio (TR2); 4 = Materiale detritico-colluviale pedogenizzato; 5 = Travertino a struttura brecciata; 6 = Travertino inferiore (TR3); 7 = Superficie di erosione principale; 8 = Superfici di discordanza o di erosione secondarie; 9 = Canale di scorrimento delle acque termali (di epoca romana?) rivestito di incrostazioni calcaree; 10 = Opera muraria (di epoca romana?); 11 = Campioni datati.

Muri Quarry: N-S wall. Studied section and location of dated samples. Legend: 1 = Upper Travertine (TR1); 2 = Fluvio-lacustrine deposit rich in vegetal macroremains; 3 = Middle Travertine (TR2); 4 = Pedogenized colluvial material; 5 = Brecciated travertine; 6 = Lower Travertine (TR3); 7 = Main erosional surface; 8 = Minor erosional and/or unconformity surfaces; 9 = Drainage channel of the thermal waters coated with calcareous incrustations (of Roman epoch?); 10 = Building work (of Roman epoch?); 11 = Dated samples.

ta da placche di travertino di modesto spessore, al di sotto delle quali affiora un deposito alluvionale. Sull'orlo del terrazzo il travertino è eroso o è coperto da alluvioni e da depositi colluviali più recenti.

Alcune centinaia di metri a sud-ovest di Rapolano, il terrazzo di Borgo dei Piani-Terme di S. Giovanni è stato inciso profondamente da un corso d'acqua, il Borro Nibbiana, drenante verso il fiume Ombrone in direzione ONO-ESE. Nella valle creatasi si è formato, colmandola parzialmente, un complesso deposito conoidiforme di travertino di notevole spessore (parecchie decine di metri). Detto corpo si è sviluppato, progredendo per 1 km circa, da una quota di 255÷260 m alla testata della valle fino a 230 m circa presso la scarpata corrispondente alla sua fronte, che lo divide dal sottostante terrazzo Ombrone. Sulla base della giacitura degli strati che lo compongono, immergenti verso NNO con angoli che raggiungono 20°, il deposito sembrerebbe essere connesso con sorgenti termali ubicate sul versante sinistro della valle nell'area delle Terme di S. Giovanni o più ad oriente. Nel deposito sono state aperte grandi cave di travertino, che, se da un lato ne hanno sconvolto la forma, dall'altro hanno permesso di studiarne dettagliatamente la struttura interna (Figg. 2 e 3). E' sulla superficie rimodellata di questo deposito o negli strati di travertino della sua parte superiore che sono ubicati importanti reperti archeologici in via di studio.

Nell'area sono presenti anche con sorgentizi o depositi mammellonari tondeggianti a giacitura periclinale che formano collinette isolate sul piano campagna, in corrispondenza di antiche sorgenti non più attive. Le due più evidenti sono la collina di quota 238 presso il Podere Bagheta, 1,5 km circa ad ovest di Rapolano e il nucleo di travertino su cui poggia il borgo antico del paese, che si innalza, scosceso, di una ventina di metri sul piano circostante. Altre forme dello stesso tipo, di dimensioni più modeste, sono "affogate" nei corpi travertinosi successivi o sono state talmente modificate dall'azione antropica da non essere più riconoscibili, se non in sezioni ancora accessibili (Terme La Querciolaia, Bagni Freddi, Terme S. Giovanni).

Nell'area delle Terme S. Giovanni, oltre alle forme descritte precedentemente, si possono osservare esempi di forme fissurali, che si sviluppano per un centinaio di metri in direzione ONO-ESE con un'altezza di alcuni metri sopra il piano campagna circostante (Fig. 4). Lungo tutto l'asse del ridge si nota una frattura beante dalla quale fuoriescono modestissime quantità di acqua termale gorgogliante ed emanazioni di gas, che hanno creato piccoli con sorgentizi allineati. La parte occidentale del corpo fissurale sembra essere più attiva e ricca di tali manifestazioni. Infatti, da un cono sorgentizio posto sul suo fianco meridionale, si diparte un modesto corso d'acqua drenante verso il Borro Canatoppa, il cui letto, per continua deposizione di travertino, è sospeso sul piano campagna. Una volta raggiunto il borro, il canale dà luogo alla deposizione di un corpo di travertino conoidiforme, ancora in via di formazione, che ha sbarrato il corso d'acqua principale, formando, a monte dello sbarramento, un laghetto sospeso. Esempi di canali sospesi, talora di origine antropica, sono, peraltro, comuni nell'area in esame.

Oltre alle forme descritte precedentemente, nei travertini studiati sono presenti anche notevoli esempi di forme carsiche, connesse con l'idrologia sotterranea e

con i relativi processi indotti di soluzione e riprecipitazione del travertino. Dette forme, che interessano prevalentemente la parte superiore e media dei corpi di travertino e si sviluppano spesso a partire da superfici di erosione o da fratture, presentano svariate configurazioni e dimensioni.

Si possono osservare: cavità di dimensioni metriche, rivestite di concrezioni alabastrine e di piccoli speleotemi decimetrici, che mostrano talora il crollo della volta (Fig. 5), con strati piegati a tetto, e riempite del materiale crollato e di sedimento colluviale argilloso, bruno o rossastro; canali e inghiottitoi sviluppantisi per parecchi metri lungo fratture e giunti di stratificazione, con pareti concrezionate o riempiti da materiale colluviale argilloso. Tra questi ultimi va ricordato il grande inghiottitoio de "La puzzola", ubicato in località Terme di S. Giovanni, avente forma regolare, tondeggiante, del diametro di parecchie decine di metri, sede di emanazioni di anidride carbonica, tanto da essere sfruttato come area sperimentale per ricerche botaniche in ambiente naturalmente arricchito in CO₂.

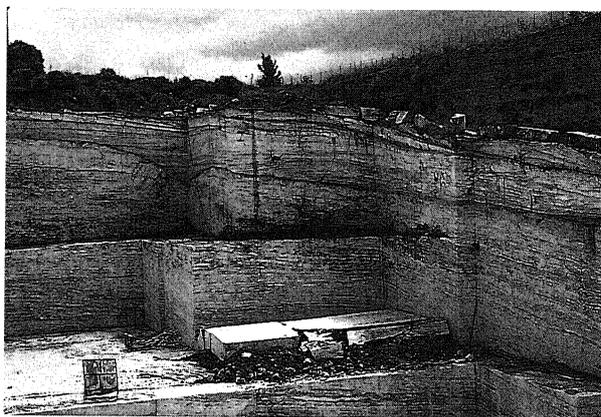


Fig. 3 - Cava Muri, parete circa N-S. E' evidente la superficie di erosione che separa il corpo di travertino TR3 (in basso) dal corpo TR2, nel quale si notano altre superfici di erosione.

Muri Quarry, N-S wall. Main erosional surface separating the travertine bodies TR3 (lower) and TR2. Minor erosional and/or unconformity surfaces occur within the travertine bodies.



Fig. 4 - Corpo di travertino fissurale con apertura ancora attiva estendentesi nella parte centrale.

Fissural travertine body showing a still active open fissure along its central part.

4. LITOSTRATIGRAFIA

Le osservazioni litostratigrafiche sono state effettuate quasi esclusivamente sulle pareti verticali della cava Muri, ubicata nel deposito conoidiforme di Borro Nibbiana. Sugli altri depositi, infatti, non essendo interessati da cave per lo sfruttamento del materiale lapideo, è stato possibile eseguire osservazioni solo in superficie.

La sequenza osservata nella cava rappresenta 40 m circa del deposito; detta sequenza è costituita da più corpi tabulari sovrapposti, generalmente divisi da superfici di erosione più o meno evidenti e/o da discordanze angolari, che si possono osservare anche all'interno dei singoli corpi (Fig. 2).

Dal basso verso l'alto la sequenza è rappresentata da:

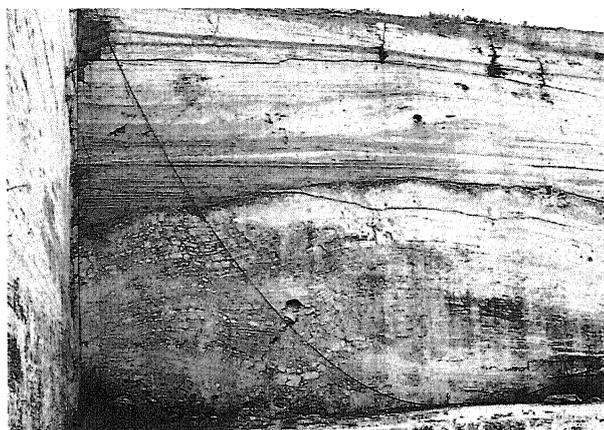


Fig. 5 - Particolare del corpo TR3 (in basso) a struttura brecciata per crollo della volta in corrispondenza di una cavità carsica. È evidente anche la superficie di erosione segnata dalla presenza di materiale detritico-colluviale nerastro, che separa il corpo TR3 dal corpo TR2 sovrastante.

Detail of brecciated structure caused by the vault collapse of a karstic cavity in the travertine TR3 body. The erosional surface separating the travertine bodies TR3 and TR2, pointed out by the occurrence of blackish colluvial and detrital material, is shown.

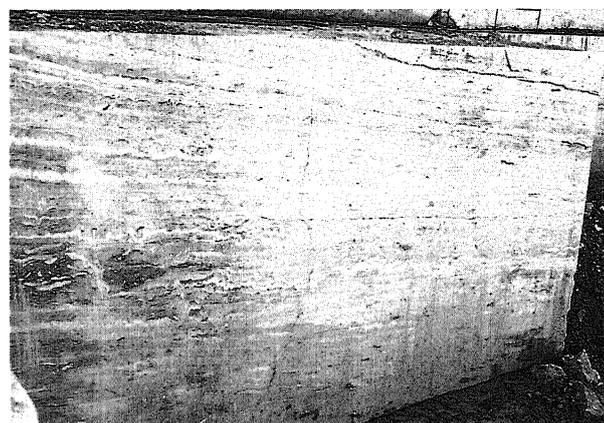


Fig. 6 - Tessiture laminitiche a bande chiare e scure, talora ondulate, nel corpo di travertino TR3.

Clear and dark laminar textures, locally undulated, within the travertine body TR3.

1. Deposito di travertino inferiore (TR3). È il deposito più basso della sequenza in esame e nella cava è visibile per uno spessore di 15÷16 m. Vi si osservano due corpi principali di deposizione, evidenti nella parte centro-meridionale della cava, sovrapposti in discordanza; il corpo superiore ha giacitura suborizzontale, mentre quello inferiore immerge verso NNO di 15-20°. Le due fasi, litologicamente simili, sono formate da travertino molto compatto, massivo o stratificato in grossi banchi, che mostra un'evidente struttura interna a bande alterne, chiare e scure, più o meno ondulate, costituite da facies diverse (Fig. 6).

Le bande chiare, biancastre o giallastre, sono rappresentate generalmente da tessiture stromatolitiche a lamine spatitiche, molto dense, spesse fino a parecchi centimetri. La struttura delle lamine, evidente anche ad occhio nudo, è di tipo a raggi, con associata una sottile microlaminazione (Carrara, 1991; 1994; Folk *et al.*, 1985). Si osservano anche tessiture stromatolitiche a lamine di spatite e micrite, chiare e scure. Le tessiture fitoermali e microermali e quelle algali-batteriche a bolle o a zattera sono poco diffuse e in generale sono profondamente ricristallizzate.

Le bande scure, grigie o marroncine, sono rappresentate da travertino a struttura brecciata, caratterizzata dalla presenza di frammenti spigolosi di travertino, di dimensioni variabili da pochi millimetri fino a parecchi centimetri, immersi in una matrice micritica compatta, mista a materiale argilloso. I frammenti di travertino presentano spesso una distribuzione piano-parallela conforme con l'andamento delle bande, ma talora sono distribuiti caoticamente. Una lente di travertino a struttura brecciata, grossolana e caotica, estesa lateralmente alcune decine di metri e potente fino a 3÷4 m, è presente nella porzione sommitale del deposito, al di sotto della superficie di erosione principale che divide quest'ultimo dal corpo TR2.

Gli strati di travertino sul fondo della cava si arricchiscono di materiale argilloso, tanto da passare a facies marnose grigio-verdastre.

Nelle sezioni che tagliano il corpo TR3 secondo la direzione di progredazione (circa NO) si osservano tessiture a bande e festoni verticali e subverticali, interrotte da piccoli ripiani e gradini, che sono chiaramente riconducibili a strutture di cascata e di gradinata di vasche, fossilizzate dalle venute di travertino successive.

Il tetto del deposito è interessato da una superficie erosionale che lo incide profondamente. Detta superficie, presente in tutte le sezioni della cava, ha creato depressioni e canali di erosione, riempiti da un deposito detritico-colluviale sabbioso-argilloso nerastro, di spessore variabile da pochi centimetri a 1 m ed oltre, che nella parte superiore può presentare un suolo organico nero brunastro (10YR3/1). Da detta superficie si dipartono verso il basso canali e cavità carsiche, che possono raggiungere dimensioni di alcuni metri e sono interessate talora dal crollo della volta.

2. Deposito di travertino intermedio (TR2). È un deposito di forma irregolare, tabulare-lenticolare, che presenta uno spessore massimo di 7÷8 m nel centro della cava e termina a cuneo su entrambi i lati. La superficie superiore, erosa, funge da substrato ai sedimenti lacustri descritti successivamente, mentre la superficie inferiore poggia, in discordanza angolare e

per tramite di un'altra superficie di erosione, sul corpo TR3.

Il deposito presenta giacitura suborizzontale ed è costituito da più fasi deposizionali di travertino che giacciono le une sulle altre talora in discordanza angolare. Dette fasi sono costituite da travertino bianco e bianco-giallastro compatto, ben stratificato. Le facies più diffuse sono rappresentate da laminiti stromatolitiche, micritiche, con lamine di spessore centimetrico, ad andamento ondulato, intercalate a livelli e lenti fito-microermali e bande irregolari algali-batteriche con tessiture a bolle e a zattera (Carrara, 1994). In queste facies sono particolarmente diffuse cavità lenticolari da chironomidi e strutture a canalicoli perpendicolari alla laminazione dovute a larve di insetti. Si riconoscono anche strati di travertino compatto, a struttura brecciata, costituito da clasti spigolosi di travertino, di dimensioni da millimetriche a centimetriche, immersi in matrice micritica grigia, più o meno argillosa. Si notano, inoltre, cavità di dimensioni decimetriche, riempite da materiale carbonioso nerastro, polverulento. Queste facies detritiche sono associate generalmente a superfici erosionali.

3. Deposito lacustre. E' rappresentato da un corpo cuneiforme che nella parte centro-settentrionale della cava raggiunge uno spessore di circa 8 m, mentre si assottiglia a cuneo nella parte meridionale, dove si riduce a pochi decimetri di spessore. La sequenza centrale (Fig. 7) è costituita da argille limose grigio-verdastre massive, passanti verso l'alto a limi e sabbie fini argillose, grigie, laminate. Detti sedimenti contengono sporadiche lenti ghiaiose decimetriche a clasti subarrotondati di travertino, di calcari marnosi e calcari silicei, di selce, diaspri ed arenarie. La frazione limoso-sabbiosa è costituita da frammenti subarrotondati delle stesse rocce e da minerali, quali quarzo, plagioclasio, muscovite e biotite. La frazione organica è formata da incrostazioni calcaree su supporto vegetale, frustoli e oogoni di Characeae, gusci di molluschi d'acqua dolce, ostracodi, foraminiferi e radiolari risedimentati. La porzione medio-inferiore della sequenza è ricchissima di resti vegetali (filliti, frammenti di legno, semi) a diverso grado di carbonizzazione, che si accumulano in strati e banchi a tessitura piano-parallela. Verso la parte meridionale della cava, dove lo spessore del corpo è di pochi decimetri, le argille e i limi passano gradatamente a un sedimento detritico-colluviale (Fig. 8) formato da una frazione fine, argilloso-siltosa, grigia, ricca di materia organica, contenente ciottoli centimetrici, spigolosi o subarrotondati, di travertino, di calcari microcristallini, di selce di vari colori e di arenarie fini verdastre. Vi si notano anche resti vegetali carboniosi e gusci di molluschi terrestri (*Helix* sp., *Pomatias elegans*). Sono presenti anche minerali quali il quarzo, il plagioclasio, la calcite spatica e scarsa muscovite. Nella parte superiore di detto livello, sul quale si è sviluppato un suolo organico nero brunastro (10YR2/1), sono contenuti grossi frammenti di ceramica d'impasto rossastra, in via di studio.

La superficie superiore del corpo è piana, orizzontale; quella inferiore è rappresentata da una superficie di erosione incisa nel sottostante corpo di travertino TR2, immergente verso NNO di 15-20°.

4. Deposito di travertino superiore (TR1, Fig. 7). E' rappresentato da un corpo tabulare dello spessore di

6-7 m, costituito da travertino giallastro, terroso, vacuolare, poco consistente, ben stratificato, con giacitura orizzontale. Il travertino è formato prevalentemente da facies fitoermali e microermali su muschio, con cespi e cuscinetti in posizione di crescita. Sono diffuse le tessiture laminate con lamine sovrapposte a zattera e le tessiture a bolle e lamine algali incrostate. Vi si notano, inoltre, lenti ed orizzonti discontinui di travertino fitoclastico minuto.

La parte inferiore del corpo è costituita da un banco di 1 m circa di spessore di travertino a tessitura laminata, più compatto e diagenizzato di quello sovrastante, di colore giallo-rossastro per impregnazione di idrossidi di ferro (Fig. 7).

Sulla superficie superiore del deposito, rimodellata dagli agenti atmosferici e notevolmente modificata dall'azione antropica, è ubicato un sito archeologico di

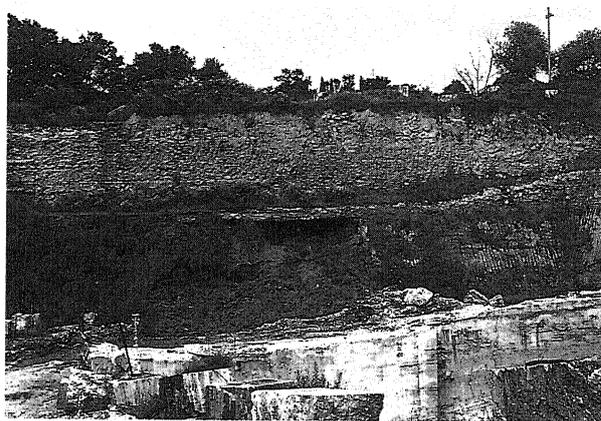


Fig. 7 - Parte superiore della sequenza di Cava Muri. Sopra il travertino di base del corpo TR2 si notano le argille e i limi grigi del deposito fluvio-lacustre e il corpo di travertino superiore TR1.

The upper part of the Muri Quarry sequence. The gray silts and clays of the fluvio-lacustrine deposit, overlying the travertine body TR2, and the upper travertine body TR1 are shown.



Fig. 8 - Materiale detritico-colluviale ricco di materia organica e debolmente pedogenizzato, compreso tra i corpi di travertino TR3 (nella parte inferiore) e TR2 (in quella superiore), corrispondente al deposito fluvio-lacustre ridotto.

The colluvial and detrital material, rich in organic matter and slightly pedogenized, comprised of between the travertine body TR3 (in the lower part) and TR2 (in the upper part) is shown.

grande importanza, che rappresenta un vasto complesso monumentale, identificabile probabilmente come impianto termale di età ellenistico-romana con continuità di frequentazione almeno dalla seconda metà del II secolo a.C. fino al IV sec. d.C. (S. Vilucchi, com. pers.). Inglobati nella parte superiore del corpo di travertino, inoltre, sono presenti resti di probabili strutture murarie e canali di drenaggio delle acque, relativi a detto complesso.

5. ANALISI PALEOBOTANICHE

Il deposito lacustre della sequenza in studio è stato oggetto di analisi polliniche e, relativamente ad un campione ricco di macroresti vegetali, di analisi xilologiche e carpologiche.

Il metodo usato per le analisi polliniche è stato quello di Faegri ed Iversen (1989) leggermente modificato; per isolare i macroresti vegetali è stato utilizzato il sistema della flottazione in acqua del sedimento.

Il deposito si è rivelato molto povero sia in quantità di polline (massima concentrazione registrata 2.216 granuli per grammo) che in numero di taxa ritrovati. I dati sono stati elaborati ottenendo un diagramma pollinico di concentrazione che però non è stato pubblicato in quanto non significativo ed un diagramma pollinico percentuale, dove nel calcolo è stato considerato solo il polline delle piante arboree e non arboree escludendo le acquatiche e le spore. Come si può dedurre dal diagramma percentuale del sito (Fig. 9) l'andamento delle

curve polliniche non sembra rappresentativo al punto di permettere una ricostruzione paleoambientale della zona circostante; sembra piuttosto che si sia verificata una conservazione preferenziale di alcuni tipi di polline più resistenti come quelli di *Pinus* e Cichorioideae probabilmente a causa delle particolari condizioni di sedimentazione del bacino. A questo proposito è da sottolineare il ritrovamento di *Pseudoachizaea*: palinomorfo ancora di dubbia natura, spora di Pteridofite (Thiergart & Frantz, 1962) o cisti algale d'acqua dolce (Christopher, 1976), la sua percentuale aumenta secondo una relazione inversamente proporzionale rispetto alla frequenza pollinica assoluta (Pantaleón-Cano *et al.*, 1996c) e la sua presenza sembra essere indicativa di acque correnti o comunque di erosione (Pantaleón-Cano, 1997). Le percentuali elevate di *Pseudoschizaea* potrebbero confermare l'esistenza di un ambiente di sedimentazione non tranquillo che avrebbe disturbato la conservazione del polline. Il diagramma pollinico registra anche la presenza di polline di *Abies* e, in misura minore, di *Picea*. L'area di distribuzione attuale di *Abies* comprende le Alpi, l'Appennino meridionale e solo alcuni siti dell'Appennino centrale e settentrionale (Giacobbe, 1950; Orsomando, 1972; Quezel, 1980); nel passato questo genere risulta essere abbondantemente rappresentato nei diagrammi pollinici dell'Italia settentrionale e meridionale anche durante l'ultimo glaciale e durante l'Olocene (Bertoldi, 1980; Gröger, 1977; Watts, 1985), nell'Italia centrale si ritrova nel Lazio solo fino al St Germain II (Ciuffarella, 1996; Follieri, Magri e Sadori, 1988; Magri, 1989b), mentre è registrato in analisi polli-

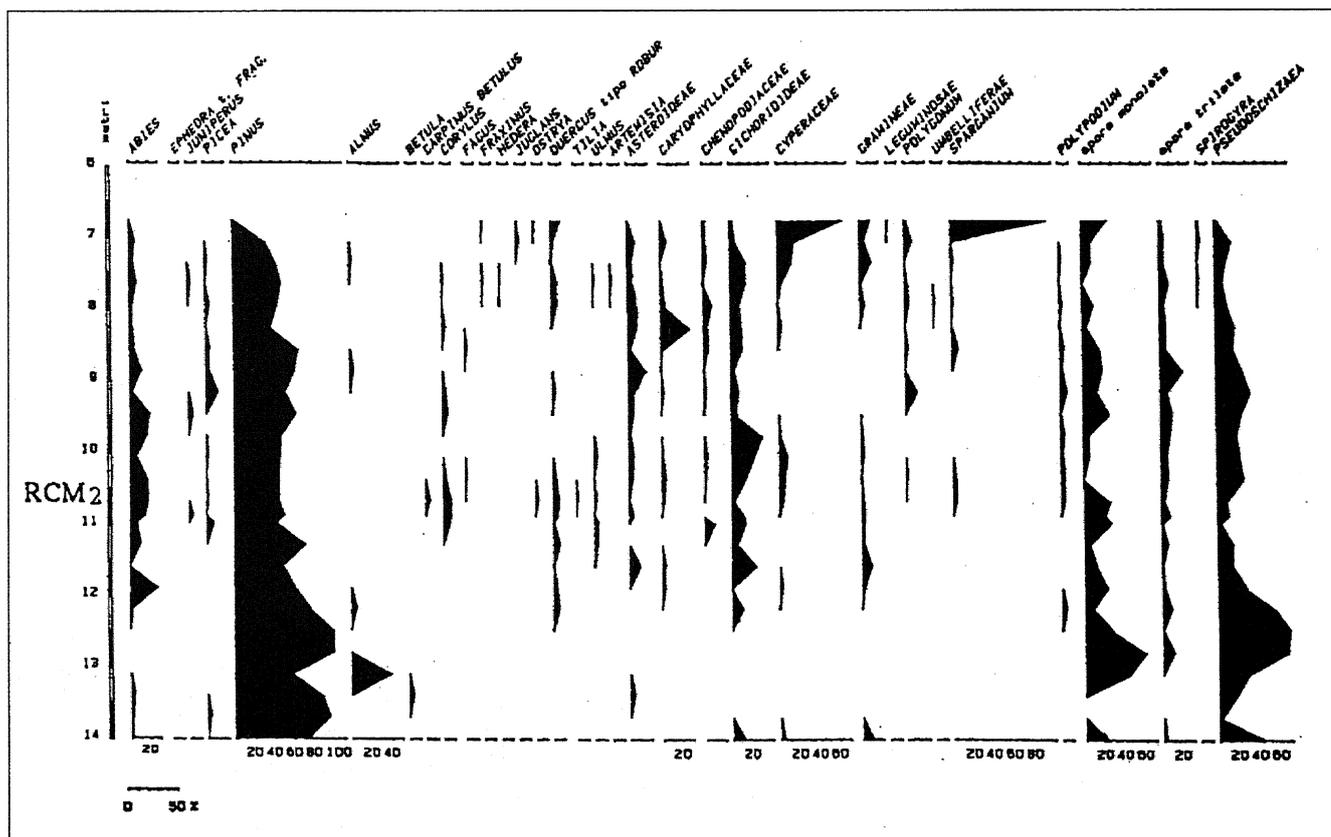


Fig. 9 - Diagramma pollinico percentuale relativo al deposito fluvio-lacustre.
Percent pollen diagram of the fluvio-lacustrine deposit.

niche che coprono parte del Pleniglaciale e dell'Olocene dell'Appennino toscano e umbro-marchigiano (Chiarugi, 1935, 1936a e 1950; Marchesoni, 1957; Mori Secci, 1996; Paganelli, 1956 e 1958). In studi recenti su cuscinetti muscinali della pioggia pollinica attuale (Bottema, 1974; Reille, 1990) *Abies* è considerato sottorappresentato; la sua distribuzione attuale potrebbe essere quindi il risultato di una disgiunzione dell'areale avvenuta durante l'ultimo periodo glaciale (Follieri *et al.*, 1995). Anche il genere *Picea* al giorno d'oggi vive sulle Alpi e solo in alcune stazioni relitte dell'Appennino settentrionale (Pignatti, 1982; Jalas, Souminen, 1973), mentre nei diagrammi pollinici è registrato nell'Italia centrale verso la fine del Saint Germain II (Ciuffarella, 1996; Follieri, Magri e Sadori, 1988) e nell'Appennino toscano ed umbro-marchigiano fino all'Olocene anche se in piccole quantità (Marchesoni, 1957; Paganelli, 1956, 1958).

Attualmente in Toscana nei pressi del passo dell'Abetone si ritrovano popolamenti di *Abies* frammisti a peccio e faggio mentre sul M. Amiata cresce l'abete (Rovelli, 1995). Il ritrovamento di polline di *Abies* e *Picea* nei sedimenti di Rapolano testimonia una presenza rilevante di questi generi durante l'Olocene sull'Appennino toscano.

Alla sommità del diagramma si registra un incremento notevole di Cyperaceae, *Sparganium* e spore monoete, probabili indicatori di una riduzione drastica dello spessore della lama d'acqua.

Le analisi xilologiche e carpologiche su materiale non carbonizzato ritrovato alla profondità di 10,90 m non fanno altro che confermare la tesi della conservazione preferenziale dei palinomorfi: la maggior parte dei frammenti di legno ritrovati sono appiattiti dorsoventralmente e compressi al punto tale da non conservare le caratteristiche anatomiche necessarie per il riconoscimento; è stata invece possibile l'identificazione di legno di *Acer*, *Quercus* e di *Viburnum*. Sono stati identificati i seguenti semi: *Brassica rapa*, *Carex sp.*, *Fallopia sp.*, *Galeopsis iadanum*, *Lycopus europaeus*, *Myriophyllum alterniflorum*, *Rubus sp.*, *Rumex sp.*, *Sambucus ebulus*, *Stellaria*

media, *Viburnum lantana*. Oltre a legni e semi sono stati ritrovati anche spine e gemme apicali. Si può vedere come il panorama che emerge dallo studio dei macrofossili, con diversi taxa indicativi di ambiente umido, è molto più ricco e vario di quello ottenuto tramite l'analisi pollinica e meglio si inquadra in una fase forestata come è quella olocenica.

Anche le analisi macropaleontologiche su filliti rinvenute "in modo del tutto sporadico in cave differenti" dell'area di Rapolano, denunciano "un'associazione di latifoglie eliofile (leccio, cerro, farnia, corniolo, pioppo nero, olmo campestre, fico, acero ungherese, nocciolo, carpino bianco) riferibile ad una zona climatico-forestale a lauretum, medio-fredda di tipo attuale" (Barazzuoli *et al.*, 1988).

6. ELEMENTI DI GEOCRONOLOGIA

Alcuni campioni di travertino in serie appartenenti ai depositi TR2 e TR3 (campioni RCM 35, RCM 31, RCM 45, RCM 19 e RCM 15) sono stati datati con il metodo U/Th, mentre i macroresti di legno presenti nella parte inferiore del deposito lacustre (campione RCM 2) e il suolo organico presente nella superficie di erosione tra i depositi TR2 e TR3 (campione RCM 26) sono stati datati con il metodo del radiocarbonio. La localizzazione dei campioni nella sequenza studiata e i risultati della analisi radiometriche sono riportati rispettivamente nella Fig. 2 e nella Tab. 1. Non sono state effettuate analisi radiometriche di campioni di travertino del deposito superiore (TR1), poiché detto travertino generalmente è costituito da facies terrose e vacuolari, contenenti materiale detritico allotigeno.

Le date ottenute suggeriscono un'età della sequenza studiata compresa tra 24.000 e 3.000 anni circa dal presente, quindi un periodo comprendente parte del Pleistocene superiore e buona parte dell'Olocene. In particolare, la formazione del deposito di travertino inferiore (TR3) sarebbe avvenuta tra 24.000 e 9.000 anni

Tab. 1 - Datazioni radiometriche dei campioni riportati in Fig. 2.

Radiometric datings of the samples reported in the Fig. 2.

Camp. N.	Lab. N.	Unità Geomorf. Prof. m	U ppm	Th ppm	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	Età U/Th (anni B.P.)	Età ^{14}C (anni B.P.)
RCM 2	TANDEM LAB. Ua10983	Lacustre -12,00							3.240±55
RCM15	ENEA	TR2/3 -20,60	0,0076±0,004	0,0011±0,003	1,108±0,07	1,444±0,443	0,060±0,012	6.700±1.400	
RCM 26	UCRAD UD459	paleosuolo -21,22							8.750±120
RCM 19	ENEA	TR3 -24,60	0,0084±0,003	0,002±0,001	0,910±0,045	10,33±6,25	0,081±0,015	9.000±1.700	
RCM 31	ENEA	TR3 -32,50	0,103±0,004	0,013±0,003	0,983±0,05	3,00±0,866	0,122±0,018	14.000±2.200	
RCM 35	ENEA	TR3 -36,00	0,22±0,014	0,125±0,014	1,08±0,080	1,16±0,165	0,200±0,024	24.000±3.000	
RCM 45	ENEA	TR3 -16,00	0,050±0,003	0,007±0,002	1,96±0,079	3,7±1,32	0,180±0,032	21.500±4.000	

circa. In questo momento una fase erosiva avrebbe inciso e parzialmente smantellato il travertino già deposto, dando luogo alla deposizione della breccia ad elementi di travertino in matrice calcareo-argillosa e del materiale detritico ricco di materia organica, datato 8.750 anni circa dal presente (Fig. 8). Nel deposito TR3 è presente, inoltre, un'altra superficie di erosione, meno evidente della precedente, situata appena ad di sotto del campione RCM45, datato 21.000 anni circa.

La fase erosiva principale si situerebbe tra 9.000 e 6.700 anni circa, essendo quest'ultima l'età del campione RCM15 proveniente da uno strato basale del deposito di travertino intermedio (TR2). Il deposito lacustre avrebbe cominciato a deporsi poco prima di 3.000 anni (campione RCM2). Da questo momento la deposizione di travertino sembra declinare ed essere sempre più contaminata dall'apporto di materiale detritico allotigeno (deposito superiore TR1) e dall'attività antropica, come dimostra la presenza dell'impianto termale di età ellenistico-romana e dei resti di strutture murarie e canali di drenaggio di detto complesso sulla superficie superiore e dentro il deposito di travertino TR1.

Nell'intervallo compreso tra i campioni RCM35 e RCM31, uguale a circa 3,5 m, il tasso di crescita del travertino sembra essere stato di 0,35 mm/a, mentre nell'intervallo tra i campioni RCM31 e RCM19, uguale a circa 7,90 m, sarebbe stato di 1,58 mm/a.

7. ASPETTI PALEOAMBIENTALI E PALEOCLIMATICI

L'analisi di facies dei sedimenti della sequenza considerata ha permesso di ricostruire gli ambienti deposizionali delle varie parti della stessa.

Le associazioni di facies del deposito di travertino inferiore (TR3) suggeriscono che si sia deposto in ambiente ricco di acque correnti su pendio acclive piuttosto discontinuo, interrotto da ripiani e gradini, che causavano la formazione di cascate e di gradinate di vasche, fossilizzate da successive venute di travertino. La comparsa di bande lentiformi di brecce ad elementi di travertino, ricche di materiale detritico allotigeno, indica altresì la presenza di canali di erosione sinsedimentari causati da diversione temporanea delle acque o dall'intervento di fasi erosive. La presenza prevalente di bande laminitiche e di tessiture microermali e stromatolitiche suggerisce una genesi biochimica, per azione prevalente di alghe, funghi e batteri.

Il deposito sovrastante TR2 è costituito principalmente da laminit stromatolitiche e da tessiture algali-batteriche a zattera e a bolle. Sono diffuse, tuttavia, intercalazioni fito- e microermali, interessate da cavità e canalicoli di chironomidi e larve di insetti. Il travertino si è deposto probabilmente su pendio lieve, regolare, sotto veli d'acqua corrente, in presenza di vasche e pozze molto vegetate e ricche di materia organica, che permettevano lo sviluppo di colonie di insetti.

Le argille e i limi del deposito sovrastante si sono depositi in ambiente fluvio-lacustre, in un modesto bacino formatosi probabilmente per sbarramento di un corso d'acqua a valle, causato da accumuli di travertino. La presenza di grande quantità di macroresti vegetali e di accumuli di filliti nella parte inferiore del deposito suggerisce un apporto notevole e rapido da versanti vegetati

in via di smantellamento, connesso probabilmente con la fase erosiva innestata intorno a 9.000 anni dal presente.

Il deposito di travertino superiore, infine, si è deposto in ambiente palustre ad acque basse o poco mosse, con vasche e pozze stagnanti, occupate da vegetazione igrofila.

La sequenza studiata rappresenta il risultato di un complesso processo di deposizione polifasica, strettamente connesso con agenti morfologici e biochimici, alimentato da sorgenti termali del resto ancora attive. L'ambiente e i modi della deposizione sono dovuti principalmente alla paleomorfologia dell'area, che condizionando i meccanismi di scorrimento delle acque (incanalate, divaganti, più o meno correnti) ha determinato la forma e le tessiture dei corpi di travertino. Le superfici di discordanza presenti nei singoli corpi di travertino sono dovute a locali fenomeni di diversione delle acque durante la costruzione e la progradazione del corpo stesso. Le superfici di erosione tra un deposito e l'altro, spesso molto profonde, possono essere connesse con mutate condizioni geo-idrologiche, ma anche con variazioni climatiche di temperatura e di umidità dell'ambiente circostante.

Le indicazioni che si possono trarre dalle età dei travertini, dai loro tassi di crescita, dalle associazioni di facies e dalle informazioni paleobotaniche non consentono di individuare con chiarezza i caratteri del clima all'atto della deposizione delle varie porzioni della sequenza. Tuttavia si può dedurre che si sia verificato un aumento della portata e dell'attività biochimica delle acque, connessa con una variazione positiva della temperatura e soprattutto dell'umidità, iniziata nella parte finale del Pleistocene superiore (tardiglaciale) e continuata nell'Olocene, periodo durante il quale sono state trovate tracce di vegetazione arborea e non, con taxa caratteristici di ambienti umidi.

CONCLUSIONI

I depositi di travertino dell'area di Rapolano Terme sono connessi con l'attività incrostante di sorgenti termominerali, legate alla circolazione di acque solfato-calciche risalenti lungo strutture dirette profonde della dorsale di Rapolano-Trequanda-Piazza di Siena.

Lo studio morfologico ha permesso di identificare diverse forme di accumulo strettamente legate alla paleomorfologia dell'area, che tende ad essere normalizzata dai depositi. Sono stati osservati corpi di travertino tabulari che si espandono uniformemente su superfici riconducibili a forme terrazzate; corpi conoidiformi progradanti entro depressioni o valli; coni sorgentizi, accumuli mammellonari e forme fissurali che si allineano lungo strutture sepolte. Detti depositi generalmente presentano rapporti complessi di sovrapposizione e/o di interdigitazione e sono spesso divisi da superfici di erosione più o meno incise. Sono interessati anche da fenomeni carsici e da processi di soluzione e rideposizione, con formazione di cementi tardivi e speleotemi.

Nel deposito conoidiforme di Borro Nibbiana, interessato da una grande cava, è stata studiata una sequenza dello spessore di circa 40 m, nella quale sono stati riconosciuti tre corpi principali di travertino, separati da un deposito di argille e limi, ricchi di macroresti vege-

tali. Analisi sedimentologiche e di facies dei singoli corpi hanno permesso di individuarne gli ambienti e le modalità di deposizione, che variano da veli d'acqua corrente su pendio più o meno acclive dei corpi di travertino più bassi, ad un ambiente fluvio-lacustre nella parte mediana della sequenza, fino ad un ambiente palustre vegetato da muschi e piante igrofitiche e condizionato dall'azione antropica nella parte superiore della sequenza.

Le analisi polliniche condotte sul deposito lacustre e quelle xilologiche e carpologiche su un campione della parte inferiore di detto deposito non permettono una ricostruzione paleovegetazionale e paleoclimatica dell'ambiente circostante, testimoniano però la presenza continua di *Picea* e soprattutto di *Abies* sull'Appennino toscano durante l'Olocene. I popolamenti attuali di questi generi in Toscana costituirebbero dunque lembi relitti di insediamenti passati più vasti.

Alcune datazioni radiometriche di campioni di travertino e di legni e di materia organica contenuti in sedimenti intercalati nel travertino hanno permesso di inquadrare cronologicamente la sequenza studiata, che si sarebbe formata in un lasso di tempo comprendente la parte superiore del Pleistocene superiore e buona parte dell'Olocene. Il tasso di sedimentazione del travertino sembra aumentare dal basso verso la parte mediana della sequenza, in corrispondenza del Tardiglaciale. Detto incremento potrebbe essere correlato con una variazione positiva della temperatura e dell'umidità, che ha portato poi alla forestazione olocenica. Ciò avrebbe conseguentemente causato una maggiore attività delle acque termominerali dell'area. Intorno al limite tra Pleistocene superiore ed Olocene si sarebbe verificata una fase erosiva, che ha smantellato parte del travertino già deposto, dando luogo ad accumuli di materiale detritico-colluviale ricco di materia organica. In tempi storici, infine, l'area dei depositi di travertino viene notevolmente antropizzata; sulla sommità della sequenza studiata viene edificato un complesso termale di età ellenistico-romana che sfrutta le acque termali, regimentandone il flusso con appositi canali di scorrimento, opere del resto continuate fino ai nostri giorni.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano la Dr.ssa S. Vilucchi della Soprintendenza Archeologica della Toscana per l'assistenza prestata durante i lavori nell'area del sito archeologico e della cava Muri; ringraziano, altresì, i dottori M. Frezzotti e C. Giraudi dell'ENEA per l'aiuto prestato nel rilevamento e nella campionatura delle pareti della cava.

AUTORI CITATI

- Barazzuoli P., Costantini A., Lazzarotto A., Micheluccini M., Salleolini M., Salvadori L. & Sandrelli F., 1986 - *Ricerche strutturali ed idrogeologiche sulle aree alimentatrici del serbatoio geotermico*. Atti del Seminario Informativo sulle Attività di Ricerca del Sottoprogetto Energia Geotermica. C.N.R. - P.F.E. - S.P.E.G., **SI 4**, 175-189.
- Barazzuoli P., Costantini A., Fondi R., Gandin A., Ghezzi C., Lazzarotto A., Micheluccini M., Salleolini M. & Salvadori L., 1988 - *I travertini di*

- Rapolano Terme sotto il profilo geologico e geologico-tecnico*. In: *Il travertino di Siena*, 26-35, Consorzio Siena Export, Internazionale Marmi e Macchine, Al.Sa.Ba. Grafiche, Siena.
- Barazzuoli P., Izzo S., Menicori P., Micheluccini M. & Salleolini M., 1991 - *Un esempio di acquifero superficiale alimentato da acqua termale (Rapolano Terme, Siena)*. Boll. Soc. Geol. It., **110**, 3-14.
- Bertoldi G., Fancelli R. & Nuti S., 1975 - *Osservazioni sull'abbassamento della falda termale nella zona di Rapolano Terme (Siena)*. III Conv. Intern. sulle Acque Sotterranee, Il Conf. Intern. sulla Pianificazione delle Acque, 1-9, Palermo 1-5 Novembre 1975.
- Bottema S., 1974 - *Late Quaternary Vegetation History of Northwestern Greece*. Ph. D. Thesis, Rijksuniversiteit te Groningen.
- Carrara C., 1991 - *Travertine deposits of the middle Liri Valley (Central Italy): geomorphological, sedimentological and geochemical study. Palaeoenvironmental and palaeoclimatic implication*. Il Quaternario, **4**(1a), 55-84.
- Carrara C., 1994 - *I travertini di Canino (Viterbo, Italia Centrale): elementi di cronolitostratigrafia, di geochimica isotopica e loro significato ambientale e climatico*. Il Quaternario, **7**(1), 73-90.
- Chiarugi A., 1935 - *Risultati dell'analisi pollinica sulla torbiera del Lago del Gruppo nell'Appennino Etrusco*. Giornale Botanico Italiano, **42**, 469-471.
- Chiarugi A., 1936a - *Ricerche sulla vegetazione dell'Etruria Marittima I. Cicli forestali post-glaciali dell'Appennino Etrusco attraverso le analisi polliniche di torbe e depositi lacustri presso l'Alpe delle Tre Potenze e il M.te Rondinaio*. Giornale Botanico Italiano, **43**, 3-61.
- Chiarugi A., 1950 - *Le epoche glaciali dal punto di vista botanico*. Acc. Naz. Lincei, A. 347, Quad. N.16, 56-109.
- Christopher R. A., 1976 - *Morphology and taxonomic status of Pseudoschizaea Thiergart and Frantz ex R. Potonié emend*. Micropaleontology, **22**, 143-150.
- Cipriani N., Ercoli A., Malesani P. & Vannucci S. (1972) - *I travertini di Rapolano Terme (Siena)*. Mem. Soc. Geol. It., **11**, 31-46.
- Cipriani N., Malesani P. & Vannucci S. (1977) - *I travertini dell'Italia centrale*. Boll. Serv. Geol. It., **98**, 85-115.
- Ciuffarella L., 1996 - *Studio palinologico di una lunga sequenza di Valle di Baccano (Complesso vulcanico sabatino, Italia centrale)*. Tesi di dottorato, Univ. degli Studi di Roma "La Sapienza".
- Costantini A., Lazzarotto A. & Sandrelli F. (1982) - *Conoscenze geologico-strutturali*. In: *Il graben di Siena, "Studi geologici, idrogeologici e geofisici finalizzati alla ricerca di fluidi caldi nel sottosuolo"*. C.N.R. - P.F.E. - S.P.E.G., R.F. **9**, 11-33, PEG ed. Milano.
- Duchi V. & Minissale A. (1995) - *Distribuzione delle manifestazioni gassose nel settore peritirrenico toscano-laziale e loro interazione con gli acquiferi superficiali*. Boll. Soc. Geol. It., **114**, 337-351.
- Faegri K. & Iversen J., 1989 - *Textbook of pollen analysis*. IV and Jhon Wiley & Sons Ltd., London.

- Fancelli R. & Nuti S. (1974) - *Locating interesting geothermal areas in the Tuscany (Italy) region by geochemical and isotopic methods*. *Geothermics*, **2**, 4.
- Fancelli R. & Nuti S. (1975) - *Studio sulle acque termali e minerali della parte orientale della Provincia di Siena*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **94**, 135-155.
- Folk R.L., Chafetz H.S. & Tiezzi P.A., 1985 - *Bizarre forms of depositional and diagenetic calcite in hot-spring travertines, Central Italy*. In: Schneidermann N. & Harris P.M. (Eds.), *Carbonate cements*. *Soc. Econ. Paleont. and Min. Spec. Publ.*, **36**, 349-369.
- Follieri M., Magri D. & Sadori L., 1988 - *250,000-years pollen record from Valle di Castiglione (Roma)*. *Quat. Intern.*, **3-4**, 81-84.
- Follieri M., Giardini M., Magri D. & Sadori L., 1995 - *Fluttuazioni vegetazionali nel Lazio durante l'ultimo glaciale*. *Giornale Botanico Italiano*, **129**(1), 255-259.
- Giacobbe A., 1950 - *L'ecologia dell'Abete bianco*. Nota II - Ricerche storiche e geografiche sull'Abete bianco. *Archivio botanico*, **26**, 129-149.
- Grüger E., 1977 - *Pollenanalytische Untersuchung zur Würzeitlichen Vegetationsgeschichte von Kalabrien (Suditalien)*. *Flora*, **166**, 475-489.
- Jacobacci A., Malatesta A. & Martelli G. (1969) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, F. 121 Montepulciano*. Ercolano (Napoli).
- Jalas J. & Suominen J., 1973 - *Atlas Florae Europaeae*. **2**, Gymnospermae. Helsinki, 128.
- Lazzarotto A. (1986) - *Sintesi delle ricerche*. C.N.R. - Progetto Finalizzato Energetica - Sottoprogetto Energia Geotermica - Sulle risorse geotermiche a medio-bassa temperatura nella parte settentrionale del bacino di Siena. *Atti del Seminario Informativo sulle Attività di Ricerca del Sottoprogetto Energia Geotermica*, **SI 4**, 171-173, Roma 4-5 Giugno 1985.
- Losacco U. (1951) - *La struttura del territorio di Rapolano e Lucignano*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **70** (2)(1951), 402-434.
- Magri D., 1989b - *Palinologia di sedimenti lacustri olocenici a Lagaccione, presso il Lago di Bolsena*. *Gior. Bot. It.*, **123**, 297-306.
- Marchesoni V., 1957 - *Storia climatico-forestale dell'Appennino Umbro-Marchigiano*. *Ann. Bot.*, **25**(3), 1-39.
- Minissale A. (1991) - *Thermal springs in Italy: their relation to recent tectonics*. *Applied Geochemistry*, **6**, 201-212.
- Mori Secci M., 1996 - *Vicende oloceniche dell'Appennino Tosco-Emiliano ricostruite attraverso le analisi palinologiche*. *Webbia*, **51**(1), 83-120.
- Orsomando E., 1972 - *Nuova stazione di abete bianco (Abies alba Mill.) sui Monti della Laga nelle Marche*. *Arch. Bot. e Biogeogr. It.*, **48**, 124-130.
- Paganelli A., 1956 - *Analisi pollinica di depositi torbosi e lacustri del Piano di Colfiorito (Appennino Umbro-Marchigiano)*. *Boll. Soc. Eustac.*, Camerino, **49**(3-4), 71-91.
- Paganelli A., 1958 - *Cicli forestali postglaciali del piano montano dell'Appennino Umbro-Marchigiano attraverso l'analisi pollinica del deposito lacustre dei "Pantani" (m 1589)*. *Giorn. Bot. It.*, **65**(1-2), 202-213.
- Panichi C. (1982) - *Aspetti geochimici delle acque termali*. In: Il graben di Siena, "Studi geologici, idrogeologici e geofisici finalizzati alla ricerca di fluidi caldi nel sottosuolo". C.N.R.- P.F.E.- S.P.E.G., R.F.9, 61-72, PEG ed. Milano.
- Panichi C., D'Amore F., Fancelli R., Noto P., Nuti S. (1979) - *Interpretazione del rilevamento geochimico delle acque e delle manifestazioni gassose della provincia di Siena*. C.N.R. - P.F.E.- S.P.E.G. *Atti del I Seminario Informativo*, 450-469, Roma 18-21 Dicembre 1979.
- Pantaleón-Cano J., 1997 - *Estudi palinològic de sediments litorals de la província d'Almeria. Transformacions del paisatge vegetal dis un territori semiàrid*. Ph. D. Thesis, Universitat Autònoma de Barcellona.
- Pantaleón-Cano J., Yll E. I., Pérez-Obiol R. & Roure J. M., 1996c - *Las concentraciones polinicas en medios semiáridos. Su importancia en la interpretación del paisaje*. In: Ramil-Rego P., Fernández Rodríguez C. & Rodríguez Guitián M. (Eds.). *Biogeografía Pleistocena-Holocena de la Península Ibérica*. Galicia, 215-226.
- Pignatti S., 1982 - *Note critiche sulla Flora d'Italia*. VII suppl. *Giornale Botanico Italiano*, **116**(1-2), 93-95.
- Quezel P., 1980 - *Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen*. In: Pesson, actualités d'écologie forestière. Paris, 205-255.
- Reille M., 1990 - *Leçons de Palynologie*. Editions du CNRS, Paris.
- Rovelli E., 1995 - *La distribuzione dell'abete (Abies alba Mill.) sull'Appennino*. *Monti e Boschi*, **6**, 5-13.
- Thiergat F. & Frantz U., 1962 - *Some spores and pollen grains from a Tertiary brown coal deposit in Kashmir*. *Palaeobotanist*, **10**, 84-86.
- Watts W. A., 1985 - *A long pollen record from Laghi di Monticchio, Southern Italy: a preliminary account*. *J. Geol. Soc. London*, **142**, 491-499.

Ms: ricevuto il: 24 febbraio 1998
 Testo definitivo ricevuto il: 8 aprile 1999

Ms received: February 24, 1998
 Final text received: April 8, 1999