

I "TRAVERTINI" IN ITALIA: PROPOSTA DI UNA NUOVA NOMENCLATURA BASATA SUI CARATTERI GENETICI.

Enrico Capezzuoli & Anna Gandin

Dipartimento di Scienze della Terra, Via Laterina 8, 53100 Siena.
E.mail: capezzuoli@unisi.it; gandin@unisi.it

RIASSUNTO: Capezzuoli E. & Gandin A., *I "travertini" in Italia: proposta di una nuova nomenclatura basata sui caratteri genetici.* (IT ISSN 0394-3356, 2004).

Il termine "travertino" viene generalmente usato in italiano per indicare indistintamente un'ampia varietà di carbonati continentali depositi da acque lacustri, palustri o fluviali, oppure da sorgenti calde o fredde, formatisi cioè in condizioni chimico-fisiche, biologiche e climatiche anche molto differenti. I risultati delle ricerche più recenti indicano che queste differenze si riflettono sia sui caratteri geo-chimici sia sui caratteri litologici di questi depositi che sono tuttora in formazione e di cui si ritrovano abbondanti tracce nel recente passato. I caratteri distintivi dei vari tipi di carbonati sono tutt'ora argomento di discussione ma è opinione di molti Autori che sulla base dei caratteri petrologici affiancati anche da quelli geo-chimici, sia possibile effettuare una classificazione genetica affidabile. In conseguenza sarebbe logico che solamente i depositi concrezionari collegati alle sorgenti idrotermali vengano denominati *Travertino* che è un termine nato per i depositi formatisi intorno alle sorgenti calde di Tivoli. I *Travertini* di norma sono relativamente poco influenzati dai fattori climatici, sono caratterizzati da facies prevalentemente cristalline disposte secondo una regolare laminazione, mostrano alti tassi di accrescimento, scarso contenuto organico e un arricchimento in C¹³, Carbonio Inorganico Disciolto Totale, Magnesio, Stronzio e Zolfo. D'altra parte, per i carbonati continentali non termali, derivati cioè da acque fredde di origine sia fluvio-palustre sia di sorgente, è stato coniato nella letteratura anglosassone più recente il nome di *Calcareous tufa*. Essi si formano come incrostazioni carbonatiche su supporti formati prevalentemente da organismi vegetali superiori (briofite, giunchi, ecc.) con tassi di deposizione di norma bassi, sono influenzati dalle condizioni climatiche, e contengono basse concentrazioni di TDIC, di Stronzio e di Magnesio con accentuato impoverimento in C¹³. Per rendere più facili le correlazioni e la comprensione nella comunità scientifica, si ritiene necessario normalizzare anche in italiano la terminologia dei carbonati continentali. A tale scopo si propone di riservare il termine *Travertino* solo ai carbonati continentali depositi in corrispondenza di un sistema di sorgente termale, e di utilizzare il termine *Calcareous tufa* per i carbonati precipitati da acque a temperatura ambiente in sistemi fluvio-palustri.

ABSTRACT: Capezzuoli E. & Gandin A., The "Travertine" in Italy: proposal of a new nomenclature based on the genetics characters. (IT ISSN 0394-3356, 2004).

The word "Travertine" in the common Italian language, is generally used for a variety of continental carbonates deposited by hot- or cold-waters, in the surroundings of spring vents, or in fluvial, palustrine or lacustrine systems. The geochemical signature as well as the lithological and petrographic features of these limestones, appear to be controlled by the physiochemical conditions of the spring waters and/or the depositional environment and climate. The results of recent research indicates that the petrologic features can be used for a genetic classification. The term Travertine, which for a long time has been used to designate the ornamental/building stone quarried in the thermal deposits of Tivoli, should be reserved to calcium carbonate deposits associated to hydrothermal spring systems. This lithology which is slightly enriched in ¹³C, TDIC, strontium and sulphur, appears to be hardly dependent upon climate. It is characterized by a primary, low-porosity crystalline fabric, fine daily laminae, and by bacteria and cyanophytes as the dominant organic components. On the other hand, the term Calcareous tufa, coined in the British literature, refers to calcium carbonate deposits formed under a cool water regime, around karst spring complexes and/or in a fluvio-palustrine environment. This lithology which is depleted in ¹³C and shows TDIC concentrations more or less in equilibrium with the soil atmosphere, appears to be highly dependent upon climatic factors. It is characterized by normally low depositional rates, poor bedding, commonly lenticular, highly porous bodies and abundant remains of micro- and macrophytes, bacteria and invertebrates. The distinction between these two groups of lithotypes is not univocal since the cool water Calcareous tufa deposits are often found as the natural lateral prosecution of Travertines far from the thermal-spring complex. However preliminary, compared analyses of Travertine and Calcareous tufa fabrics show the possibility of using petrographic criteria for their distinction. The discrimination of the two types of deposits appear to be essential in the interpretation of the tectonic, climatic and anthropologic meaning of the fossil continental carbonates. For this reason, it is important that the scientific community working on continental carbonates adopt even in Italy a suitable terminology reserving the term Travertine for the deposits deriving from hot-spring complexes, and Calcareous tufa for the sediments deposited near cold water springs and in fluvial-palustrine systems.

Parole chiave: Calcareous tufa; calcari continentali; nomenclatura.

Keywords: Travertine, Calcareous tufa, continental carbonates, classification.

1. INTRODUZIONE

I depositi carbonatici continentali rappresentano una particolare categoria di sedimenti che negli ultimi anni hanno attirato l'interesse dei ricercatori per le informazioni che possono fornire. La loro distribuzione a livello planetario è strettamente legata alla presenza

di corpi rocciosi carbonatici che rendono possibile l'arricchimento in calcio delle acque meteoriche circolanti. Non esiste una classificazione univoca di questi depositi, ma è comunque possibile individuare i principali litotipi sulla base dei processi genetici e degli ambienti deposizionali. Vengono infatti, differenziati: gli speleotemi (sedimenti formatisi in grotte carsiche), le calcrete

(collegati a processi pedogenetici), e con il generico termine "travertino" i calcari concrezionari originariamente depositati come fanghi in ambiente lacustre, quelli precipitati da acque carbonatate calde in corrispondenza di sorgenti termali, o da acque carbonatate a temperatura ambiente in corrispondenza di sorgenti carsiche e/o di sistemi fluvio-palustri (Cipriani *et al.*, 1972, 1977; Ferreri, 1985; Foucault & Raoult, 1986). Tuttavia è ormai accertato (Ford & Pedley, 1996 *cum bibl.*) che in queste differenti condizioni deposizionali, i fattori chimico-fisici, biologici, climatici e le condizioni geomorfologiche vengono registrate nei carbonati da litologie diverse con caratteri propri. Ne deriva che l'uso di un unico e generico nome di "travertino", per indicare depositi formati in situazioni deposizionali così differenti, porta ad una grossa perdita di informazione. In questo contesto si ritiene opportuna una revisione del termine "travertino", così come è stato finora usato nella terminologia italiana e, tenendo conto delle possibilità di un migliore scambio con la comunità scientifica, un suo adeguamento agli standard internazionali.

2. CONOSCENZE GENERALI

I calcari concrezionari sono costituiti principalmente da carbonato di calcio (CaCO_3) sotto la forma minerale calcite e, più raramente aragonite. La loro composizione geochimica dipende dalla composizione chimica delle acque da cui precipitano, che a sua volta deriva dalle condizioni della circolazione sotterranea. Infatti le acque di origine meteorica che penetrano nel sottosuolo, possono acquisire ioni per dissoluzione delle rocce carbonatiche e/o solfatiche nella zona vadosa di un sistema carsico oppure circolare in profondità, riscaldarsi in funzione del locale gradiente termico, e tornare in superficie lungo faglie e fratture. Queste acque, oltre agli ioni calcio, possono anche contenere quantità variabili di elementi in tracce quali ferro, manganese, stronzio e zolfo a seconda della natura delle rocce dissolte. La formazione dei calcari concrezionari avviene con un processo chimico reversibile che induce la precipitazione del carbonato di calcio per degassazione delle acque arricchite in ioni calcio (Ca^{2+}) (Herman & Lorah, 1987) e conseguente ritorno dell'anidride carbonica (CO_2) nell'atmosfera. La degassazione, e di conseguenza la deposizione del CaCO_3 , è controllata da una complessa interazione di fattori inorganici ed organici, alcuni dei quali non ancora completamente esemplificati (Herman & Lorah, 1988; Julià, 1983). Fra i fattori inorganici, di natura essenzialmente fisica, sono di fondamentale importanza le variazioni della pressione parziale della CO_2 e della temperatura delle acque. Anche la turbolenza e la vaporizzazione dell'acqua, indotta dai dislivelli morfologici come avviene in corrispondenza di una cascata, possono localmente essere determinanti per la precipitazione del calcare. Fra i fattori organici è da ricordare il ruolo degli organismi vegetali che sottraendo dalle acque la CO_2 necessaria per il processo di fotosintesi e la produzione di carboidrati, possono anche innescare la precipitazione di CaCO_3 . Per quanto riguarda l'interazione fra i cianobatteri e la precipitazione della calcite sia in acque calde sia in acque fredde, è tuttora in discussione il ruolo attivo o passivo di questi organismi (Golubic *et al.*, 1993; Folk, 1994; Guo *et al.*,

1996; Pentecost & Whitton, 2000; Riding, 2002). In generale, comunque, le cause abiotiche e biotiche operano spesso nella stessa direzione con la produzione di calcari concrezionari, ma è chiaro che il loro contributo relativo varia in funzione del tipo di ambiente di sedimentazione. Infatti la precipitazione di carbonato di calcio appare essere prevalentemente inorganica nelle vicinanze di sorgenti idrotermali, dove le condizioni chimico-fisiche limitano il proliferare della vita. Allontanandosi da queste, tali condizioni cambiano progressivamente fino ad arrivare ad ambienti palustri o fluviali dove le caratteristiche chimico-fisiche delle acque favoriscono la colonizzazione biologica e quindi prevale la precipitazione bioindotta (Violante *et al.*, 1994).

3. CLASSIFICAZIONI DEI CARBONATI CONTINENTALI INCROSTANTI

I primi Autori in Italia che hanno studiato con qualche dettaglio i carbonati continentali, da loro indistintamente denominati "travertini", ne hanno individuato i caratteri giaciturali, e genetici (Boni & Colacicchi, 1966), o mineralogici e geochimici (contenuto in stronzio e residuo insolubile; Cipriani *et al.* 1972; 1977; Caboi *et al.*, 1991) oppure geochimico-isotopici (elementi maggiori e minori, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$: per esempio: Fritz, 1965; Gonfiantini *et al.*, 1968; Manfra *et al.*, 1976; Turi, 1986; Bellanca *et al.*, 1991).

La prima classificazione organica, basata sui caratteri tessiturali dei calcari continentali dell'Italia meridionale depositi prevalentemente da acque a temperatura ambiente, è stata effettuata da Buccino *et al.* (1978) e integrata ed ampliata in successivi lavori (D'Argenio *et al.*, 1983; Ferreri 1985; Brancaccio *et al.*, 1986; D'Argenio & Ferreri 1988; Violante *et al.*, 1996) (Fig. 1). L'utilità di tale classificazione è stata riconosciuta oltre che dagli Autori italiani (Carrara, 1998; Fioraso, 1999) anche a livello internazionale (Pedley, 1990, Ford & Pedley, 1996).

I depositi carbonatici derivati da acque idrotermali non sono stati ancora oggetto di una classificazione sistematica. Tuttavia i risultati delle prime indagini effettuate su depositi antichi e tuttora in formazione a Rapolano Terme (Guo & Riding, 1992; 1994; 1998; 1999), Tivoli (Chafetz & Folk, 1984.), Viterbo Zitelle (Folk, 1994), Bagno Vignoni (Pentecost, 1994), mostrano che questi depositi possiedono caratteristiche litologiche diverse e ben distinguibili rispetto a quelle dei carbonati originati da acque "fredde". Tra le litofacies distinte da Guo & Riding (1998), le facies di *shrub*, *crystalline crust*, *paper-thin raft*, *coated bubble* sembrano essere esclusive di depositi connessi all'attività termale. Alcune di queste infatti sono state segnalate anche da altri autori nei carbonati termali di Tivoli e Rapolano Terme (Folk *et al.*, 1995), in quelli di Canino (Carrara, 1994) ed in Colorado (USA) (Chafetz *et al.*, 1991).

Queste due classificazioni mettono in risalto le differenze esistenti tra i caratteri tessiturali dei carbonati continentali di acque fredde e di acque calde e contengono solo alcune litofacies che possono essere ritenute tra loro comparabili, rispettivamente i *travertini fitoermali*, *fitoclastici* e le *sabbie calcaree* (D'Argenio *et al.*, 1983) e i reed travertine e i lithoclast travertine (Guo & Riding, 1998), con queste ultime che possono essere

LITHOFACIES ASSOCIATIONS	1. Microhermal Stromatolitic and Phytoclastic Travertine	2. Micro-phytohermal Travertine Stromatolitic Travertine and Travertine Sands	3. Phytohermal (bryophytes) and Microhermal Travertine	4. Travertine Sands with Phytoclastic and Micro-phytohermal Travertine intercalations	AUTOCHTHONOUS TRAVERTINE		
SEDIMENTARY BODIES	Irregularly clinostratified wedge-shaped bodies with downhill dipping phytocstrures	Irregularly stratified bodies with lensoid sand strata (from intercalated small pools)	Arches & stratiform drapes with high angle to vertical bedding	Tabular sandy bodies with lensoid travertine intercalations	Microbial laminates formed by Algae Cynobacteria and Bacteria encrustation	Microphyta (mostly Bryophyta) encrustation	Macrophyta (Bryophyta and Phanerogams) encrustation
FOSSILS (including organismal templates)	Algae & Cyanobacteria moss cushion macrophytes	Algae & Cyanobacteria moss cushions	Moss bundles Cynobacteria & Algae	Ostracods, pulmonate gastropods, charophytes (oogonia and "stems")			
SEDIMENTARY ENVIRONMENTS	Slopes	Pool terrace	Rapid and waterfalls	Shallow lakes and minor swamps	TRAVERTINE BOUNDSTONE		
					STROMATOLITIC TRAVERTINE	MICROHERMAL TRAVERTINE	PYTOHERMAL TRAVERTINE

CLASTIC TRAVERTINE				
Less than 10 % > 2 mm phytoclasts			Greater than 10 % > 2 mm phytoclasts	
With calcareous sand matrix ≤ 2 mm		Without calcareous sand		10% to 50% calcareous sand matrix
Matrix supported		Grain supported		
≥ 50%		< 50% > 10%		Grain supported
calcareous matrix		≤ 10%		
< 10% phytoclasts		> 10% phytoclasts		PHYTOCLASTIC (RUDSTONE) TRAVERTINE
Calcareous Sand TRAVERTINE SAND	Phytoclastic Sand	PHYTOCLASTIC CALCARENITE	PHYTOCLASTIC (GRAINSTONE) TRAVERTINE	

Fig. 1 - Schemi delle caratteristiche tessiturali riconosciute da D'Argenio & Ferreri (1988) nei carbonati continentali di acque a temperatura ambiente.

Textural classification of ambient water continental carbonates (after D'Argenio & Ferreri 1988).

considerate di transizione tra un sistema deposizionale e l'altro. Differenze che sono state riconosciute anche da molti Autori (Chafetz & Folk, 1984; Pedley, 1990; Viles & Goudie, 1990; Koban & Schweigert, 1993; Pentecost & Viles 1994; Pentecost, 1995; Ford & Pedley 1996; Glover e Robertson, 2003) e che utilizzano in conseguenza una nomenclatura specifica, basata sui caratteri genetici di questi due tipi di depositi (Fig. 2).

4. NOMENCLATURA INTERNAZIONALE

Nella recente letteratura anglosassone il termine italiano "travertino" trova la sua controparte in *Travertine*, ma non mantiene la molteplice valenza ambientale che gli viene attribuita nella letteratura italiana. Infatti questo viene di preferenza riferito ai sedimenti carbonatici prodotti nelle vicinanze di sorgenti idrotermali e con *fabric* primario cristallino (Ford & Pedley, 1996; Riding, 2002).

Per quanto riguarda i carbonati continentali non termali, derivati cioè da acque di origine sia fluvio-palustri sia di sorgente carsica, nella letteratura anglosasso-

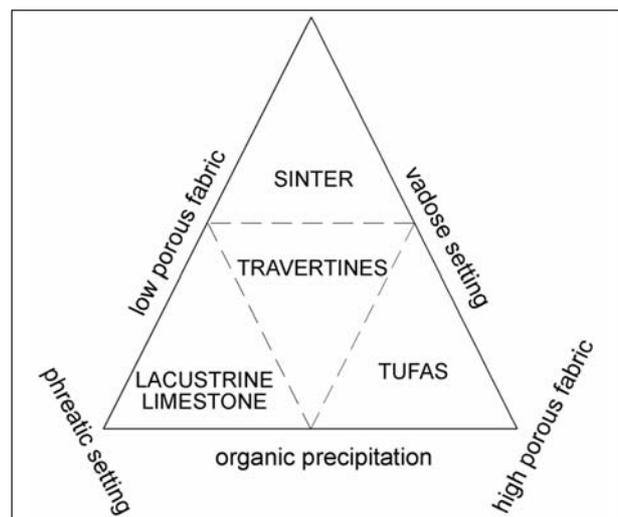


Fig. 2 - Diagramma delle relazioni genetiche fra i differenti tipi di carbonati continentali, secondo Koban & Schweigert (1993).

The different types of continental carbonates and their genetic relationships according to Koban & Schweigert (1993).

ne viene oggi principalmente utilizzato il termine *Calcareous tufa* o *Tufa* (Ford & Pedley, 1996; Pedley, 1990), che deriva dalla parola latina “*Tophus*” con cui Plinio indicava materiali da costruzione (calcarei o vulcanici) teneri e di facile estrazione (Ford & Pedley, 1996; Julià, 1983). Questo nome include una varietà di termini (*Kalktuff* in tedesco, *Tuf calcaire* in francese) tendenti a sottolineare l'origine di questi depositi da acque a temperatura ambiente per differenziarli da quelli originatisi da acque termali.

Si sottolinea, comunque, come tale terminologia non è accettata né utilizzata globalmente. Infatti sempre nella letteratura anglosassone, è stata proposta una nomenclatura alternativa per la distinzione genetica dei carbonati continentali (Pentecost, 1995; Pentecost & Viles, 1994) che prevede il termine di *Thermogene travertine* per i depositi formati in acque idrotermali, mentre con *Meteogene travertine* vengono indicati i depositi originati da acque a temperatura “ambiente”. Inoltre la stessa molteplice accezione genetica della parola “travertino” è presente, come in Italia, anche in parte della letteratura relativamente recente francese, americana e spagnola (Lang *et al.*, 1992; Demicco & Hardie, 1994; Martín-Algarra *et al.*, 2003).

5. CARATTERI LITOLOGICI-PETROLOGICI DEI CARBONATI CONTINENTALI

Lo studio delle litofacies e delle associazioni di

facies dei depositi carbonatici attualmente in formazione presso sorgenti termali o presso sorgenti carsiche e negli associati sistemi fluvio-palustri, evidenzia una serie di caratteri esclusivi, che permettono di distinguere due gruppi di depositi corrispondenti i primi ai *Travertini* e gli altri ai *Calcareous tufa*.

5.1. Travertini – i carbonati continentali di origine idrotermale

Il termine *Travertino* deriva dal latino *lapis tiburtinus* o “pietra di Tivoli”, città alle porte di Roma dove questo materiale è stato largamente estratto fin dai tempi dei Romani per l'edilizia dell'Urbe.

Il *Travertino/Travertine*, in senso stretto, è una roccia caratterizzata da facies laminari compatte, formate da cristalli di calcite anche molto sviluppati (Chafetz & Folk, 1984) e, in minor quantità, da lamine microcristalline, organogene e granulari o fangose, generalmente più porose (Fig. 3). L'estensione laterale degli affioramenti è molto variabile e gli ambienti deposizionali rappresentati mostrano una limitata diversità (Ford & Pedley, 1996). In generale i depositi calcarei riferibili al *Travertino* sono scarsamente influenzati dai fattori climatici, presentano tassi di accrescimento anche elevati e scarsità di organismi vegetali superiori (Fig. 4). Dal punto di vista geo-chimico, presentano di norma un debole arricchimento in C^{13} , alti contenuti in Carbonio Inorganico Disciolto Totale (TDIC), Magnesio, Stronzio (Cipriani *et al.*, 1972; Pentecost & Viles, 1994; Pentecost, 1995; Ford & Pedley, 1996) e Zolfo (Turi, 1986).

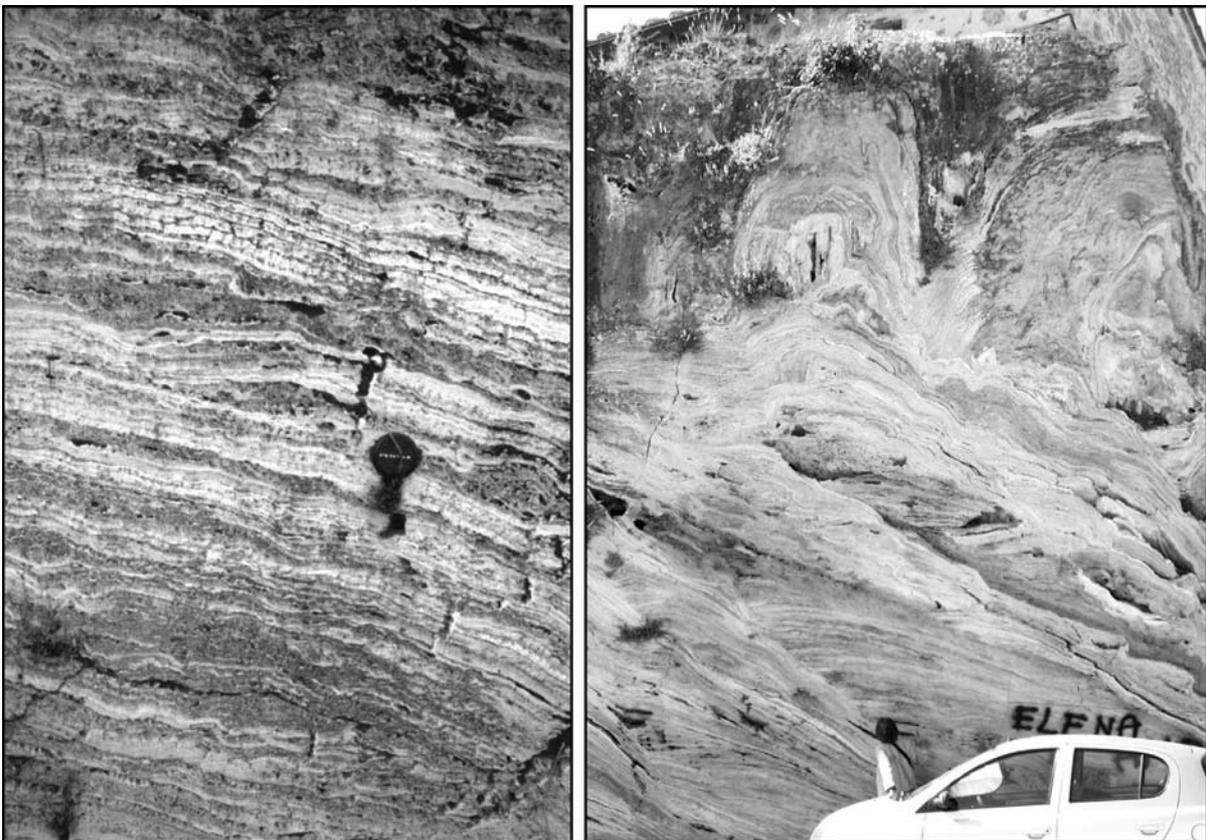


Fig. 3 - Aspetto tipico del *Travertino* deposto in corrispondenza delle sorgenti idrotermali di Bagnarello di Tolfa (Roma) a sinistra, e dell'Acqua Borra (Siena) a destra.

Typical Travertine lithofacies - at the hydrothermal spring of Bagnarello di Tolfa (Roma) left, and at Acqua Borra (Siena) right.



Fig. 4 - Esempi di ambienti deposizionali dei *Travertini*: dorsale presso le Terme di San Giovanni (Rapolano Terme, Siena) a sinistra; complesso di terrazzi presso le sorgenti termali di Pamukkale (Turchia) a destra. Si noti la caratteristica assenza di vegetazione.

Examples of Travertine depositional systems: left - mound near the Thermal spring of San Giovanni (Rapolano Terme, Siena); right - terrace complex near the Thermal springs of Pamukkale (Turkey). Notice the characteristic absence of vegetation.

Benchè la caratterizzazione petrologica del *Travertino* non sia stata ancora approfondita, e in particolare le ricerche sulla sua diagenesi siano poco sviluppate (Love & Chafetz, 1988; 1990; Chafetz & Guidry, 2003), il risultato delle ricerche effettuate sui depositi antichi e quelli tuttora in formazione presso le sorgenti idrotermali di Rapolano Terme (Chafetz & Folk, 1984; Folk *et al.*, 1985; Barazzuoli *et al.*, 1988; Guo & Riding 1998; 1999; Gandin *et al.*, 2002) mostrano che i *Travertini*, intesi come depositi che si formano da acque calcaree calde nelle immediate vicinanze di un complesso idrotermale, hanno *fabric* specifici, caratteristici dei vari microambienti deposizionali. I diversi litotipi distinti (*crystalline crust, shrub, paper-thin raft, coated bubble, pisoid, lithoclast, reed travertine*; Guo & Riding, 1998) e le diverse associazioni di facies riconosciute, sono caratteristici, essenzialmente di due ambienti deposizionali (Ford & Pedley, 1996) che spesso interagiscono e si alternano tra loro:

- a) - dorsali di *Travertino* - corrispondono a risorgenze lineari più o meno rettilinee lungo faglie e fratture del terreno, dove le acque termali ed i gas sotterranei risalgono e scaturiscono in superficie. Qui il carbonato di calcio precipita formando inizialmente piccoli conici che successivamente per coalescenza, creano dorsali di *Travertino* più o meno estese e più o meno elevate, a seconda della velocità di precipitazione e della durata dell'attività della sorgente. Nel caso di sorgenti puntiformi si formano veri e propri pinnacoli di *Travertino*. A Rapolano Terme esiste uno dei più importanti e tra i più studiati esempi di dorsale di *Travertino* al mondo (Terme di San Giovanni; Guo & Riding, 1992, 1994, 1998, 1999) (Fig.4).
- b) - terrazzi - il fluire delle acque calde che si allontanano dalla sorgente ne provoca un graduale raffreddamento con conseguente precipitazione del carbonato di calcio in corrispondenza degli ostacoli presenti sul percorso. Si formano così dighe e barriere che individuano pozze di varia misura (anche millimetriche) fino a piscine di acqua termale (Fig. 4). Da queste prime si dipartono una serie di vasche sussidiarie a quote inferiori che solitamente

si allargano a ventaglio da quella principale. La maggiore o minore altezza del complesso consente l'eventuale sviluppo di cascate, microterrazze e canali sospesi. Caratteristica comune di questi edifici travertinosi è la totale assenza di vegetazione superiore nelle immediate vicinanze della zona di deposizione (Fig. 4). Gli esempi più imponenti si trovano negli Stati Uniti (Parco di Yellowstone: Fouke *et al.*, 2000 *cum bibl.*) e in Turchia (Pamukkale, Altunel & Hancock, 1993).

5.2. Calcareous tufa - i carbonati continentali di acque fredde

Le località di affioramento dei depositi derivati da acque a temperatura ambiente o fredde risultano essere più numerose di quelle dei carbonati di acque termali, come pure, di norma è maggiore l'estensione laterale (Ford & Pedley, 1996). Gli ambienti deposizionali, compresi in sistemi fluvio-palustri, sono diversificati e si susseguono lateralmente in maniera continua e casuale, anche a causa dello sviluppo di floride comunità vegetali e animali che determinano modificazioni geomorfiche, spesso rilevanti, lungo il percorso delle acque (Violante *et al.*, 1996). La roccia che si deposita è normalmente caratterizzata da una poco evidente stratificazione e da un'alta porosità (Fig. 5). Ambedue le caratteristiche sono da mettere in relazione alla incrostazione in posto di piante palustri, di accumuli disordinati di frammenti di steli oppure di batteri, alghe e briofite che formano concrezioni laminari. La classificazione di queste litofacies e dei relativi caratteri tessiturali è dovuta a Buccino *et al.* (1978), i quali riconoscono varie facies: *fitoclastica* e *bibliolitica*, *fitoermale*, *stromatolitica* e *sabbie calcaree*. Successivamente sono state definite le associazioni di litofacies collegate con i differenti sub-ambienti: lacustre-palustre, palustre, di pendio poco acclive, di pendio acclive, di gradinata di vasche, di cascata (D'Argenio *et al.*, 1983; Ferreri 1985; Brancaccio *et al.*, 1986; D'Argenio & Ferreri 1988). In letteratura sono state proposte altre classificazioni, solo in parte derivate da quella di Buccino *et al.*, (1978), basate sulle caratteristiche sedimentologico-petrologi-

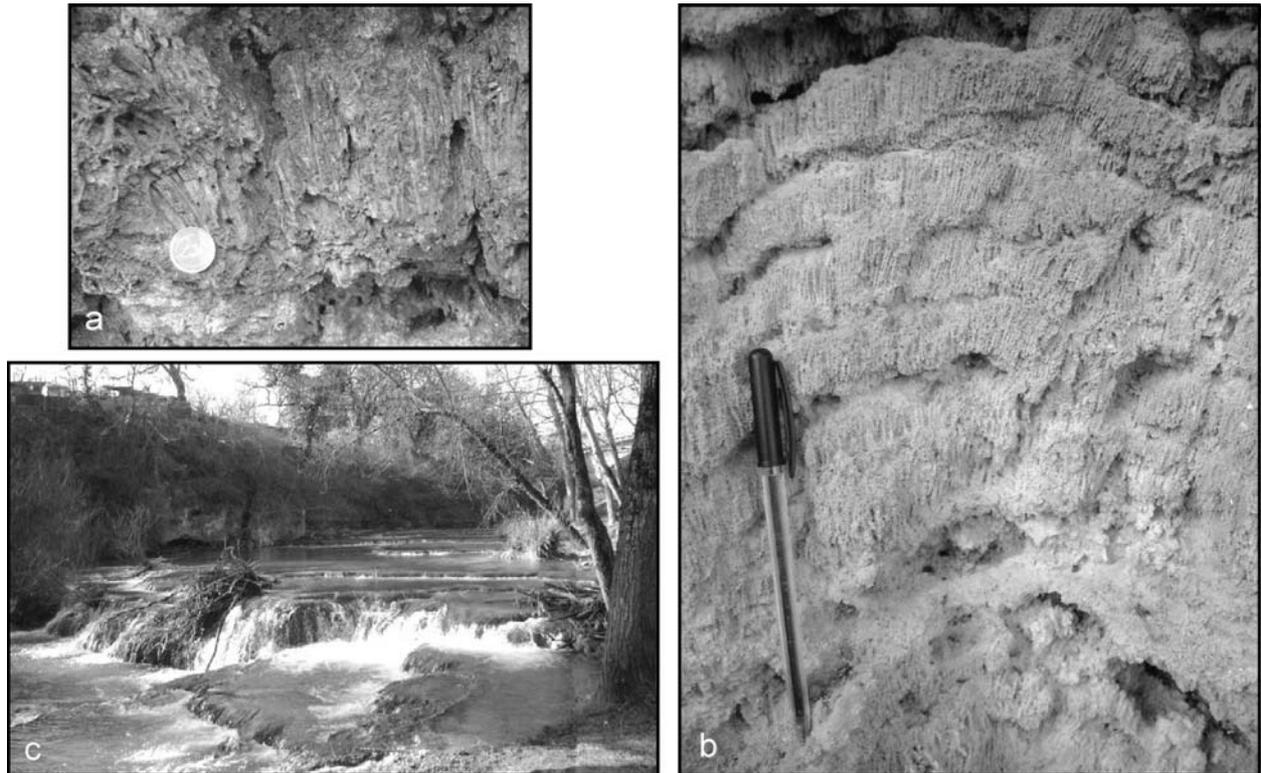


Fig .5 - Esempi tipici di *Calcareous tufa* - a) facies fitoermali e b) cuscini di briofite presso Poggibonsi (Siena); c) piscine e piccole cascate lungo il Fiume Elsa presso Colle Val d'Elsa, (Siena).

Examples of typical *Calcareous tufa*: - a) phytohermal facies and b) briophyte pillows near Poggibonsi (Siena); c) pools and small falls along the Elsa River near Colle Val d'Elsa (Siena).

che di questi depositi (Viles & Goudie, 1990; Pentecost & Viles, 1994; Pentecost, 1995; Ford & Pedley, 1996). Altri criteri di classificazione dei *Calcareous tufa* sono basati su parametri di tipo fisicochimico e biochimico (Geurts, 1976), geomorfologico (Symoens *et al.*, 1951), botanico (Pentecost & Lord, 1988) e sulle associazioni di facies e ambienti di deposizione (Ordoñez & Garcia del Cura; 1983; Pentecost, 1995; Ford & Pedley, 1996) (Fig. 6). In generale, comunque, tutti gli Autori concordano sul fatto che la loro formazione è strettamente dipendente dalle condizioni climatiche, con tassi di deposizione di norma bassi. I caratteri petrografici sono stati illustrati da vari autori (Irion & Müller, 1968; Braithwaite, 1979; Love & Chafetz, 1988; Lang *et al.*, 1992; Violante *et al.*, 1994 *cum bibl.*), ma non esiste ancora una classificazione sistematica. Geochimicamente essi possiedono una bassa concentrazione di TDIC circa in equilibrio con l'atmosfera del suolo, scarsi contenuti di Stronzio, Magnesio e un accentuato impoverimento in C^{13} (Pentecost & Viles, 1994; Pentecost, 1995; Ford & Pedley, 1996).

Va sottolineato come i *Calcareous tufa* si possano trovare anche associati ai *Travertini* dei quali possono rappresentare la naturale continuazione laterale. Infatti essi si formano anche da acque di origine idrotermale le cui condizioni chimiche-fisiche, per diluizione, raffreddamento e depletamento, sono diventate accessibili per la colonizzazione da parte di piante superiori (Ford & Pedley, 1996).

In generale ai *Calcareous tufa* corrispondono tre

tipi di ambienti deposizionali:

- 1) - Fiumi - lungo i corsi d'acqua la precipitazione di carbonato di calcio dà origine a depositi prevalentemente fitoclastici, associati a livelli sabbiosi derivati dall'ulteriore frammentazione dei fitoclasti da parte delle correnti fluviali. Localmente, in corrispondenza di sbarramenti (Fig. 6), si possono formare dighe calcaree (sbarramento delle Marmore; Carrara *et al.*, 1995; Mai Maikden in Etiopia: Berakhi *et al.*, 1998), costituite da depositi fitoermali, bioerme algali e stromatoliti, con lo sviluppo verso monte di laghi anche molto estesi come nel caso di Plitvice, in Croazia (Emeis *et al.*, 1987 *cum bibl.*).
- 2) - Sorgenti sospese, terrazzi e cascate - di solito i *Calcareous tufa* si sviluppano vicino alla sorgente come terrazzi solitamente lobati (*perched springline*: Pedley *et al.*, 2003) o al piede della rottura di pendio (cascate). Nelle aree frontali dei terrazzi, i lobi, generalmente molto acclivi, sono intensamente colonizzati da alghe, muschi ed epatiche (Briofite) che formano cospicue strutture fitoermali e microermali.
- 3) - Laghi e paludi - ai margini dei bacini lacustri e nelle zone poco drenate si formano stagni o paludi intensamente colonizzati da macrofite, briofite alghe e batteri. Si formano quindi *Calcareous tufa* composti da bioerme algali, biblioliti, stromatoliti e sedimenti fitoclastici (Carrara 1998; Glover & Robertson, 2003). Talora in condizioni climatiche particolarmente umide, la quantità di vegetazione è tale che

in parte non viene incrostata per cui si formano accumuli di materia organica che con il tempo tende a carbonizzare (torba).

6. IL SIGNIFICATO GEOLOGICO E AMBIENTALE DEI CARBONATI CONTINENTALI

Le sorgenti termali e le relative acque calcaree che formano i *Travertini* devono la loro origine a sistemi di faglie attraverso le quali le acque meteoriche discendono in profondità, si scaldano sia per gradiente geotermico o per l'attraversamento di aree con gradiente geotermico anomalo, sciogliono i sali della roccia incassante che depositano risalendo in superficie (Minissale, 1991). La genesi dei *Calcareous tufa* invece appare strettamente legata a fattori climatici, in quanto il carbonato disciolto ha origine principalmente dai suoli e dai connessi fenomeni di carsismo (Goudie et al., 1993; Pentecost, 1995).

Dal punto di vista applicativo, il riconoscimento delle condizioni genetiche dei carbonati continentali apporta informazioni immediate, utili per ottenere rico-

struzioni paleogeografiche ed effettuare, oltre alle normali interpretazioni sedimentologico-stratigrafiche, anche ricostruzioni tettoniche (Hancock et al., 1999), mentre i *Calcareous tufa* possono essere diagnostici dell'andamento climatico di un'area e dell'impatto antropico verificatosi nel recente passato (Goudie et al., 1993; Cilla et al., 1994; Andrews et al., 1997; Dramis et al., 1999).

7. PROPOSTA PER LA NOMENCLATURA IN ITALIA

Solo recentemente anche nella letteratura italiana si inizia a riconoscere il dualismo presente all'interno del termine "travertino". In alcuni articoli riguardanti i carbonati continentali, è stata adottata una terminologia genetica che tende a distinguere le facies calde (*hot water-acque calde-thermal water travertine*) da quelle fredde (*ambient water-acque a temperatura ambiente-cold water travertine*) (Violante et al. 1994; Violante et al., 1996; D'Argenio 2001), mentre Minissale et al., (2002) utilizzano la nomenclatura *meteogene/thermogene travertine* proposta da Pentecost (1995).

Allo scopo di unificare la terminologia italiana a

ALLOCHTHONOUS		AUTOCHTHONOUS
MICRO DETRITAL TUSA	MACRO DETRITAL TUSA	PHYTHOERM TUSA
MATRIX SUPPORT	GRAIN SUPPORT	
Micrite tufa	oncoidal and cyanolith tufa	(a) Boundstone sheets of micrite and peloids (stromatolith-like bacterioherms)
Peloidal tufa	intraclast tufa	(b) Microherm shrobby framework of bacterial colonies
Sapropelitic tufa (organic rich)	Phytoclast tufa	(c) Framestone true "real" framework of macrophytes coated with mixed micritic and sparry fringe cements
Lithoclast tufa (inorganic rich)	Lithoclast tufa	
Lime Mudstone	Wackestone/packstone Grainstone	Boundstone

Fig. 6 - Schema di classificazione dei *Calcareous tufa* in funzione del *fabric* Da: Ford & Pedley (1996).
Classification of the Calcareous tufa on the basis of fabric type. after Ford & Pedley (1996).

quella internazionale e quindi di rendere più facile la comunicazione scientifica con l'immediata correlazione tra appellativo usato, roccia e sistema deposizionale, si propone l'uso di due diversi termini per indicare questi due diversi tipi di carbonati continentali. La parola *Travertino*, nata per indicare i calcari che si formano intorno alle sorgenti calde di Tivoli, dovrebbe designare esclusivamente i depositi di origine idrotermale, mentre per indicare i carbonati precipitati da acque fredde, a temperatura ambiente in sistemi fluvio-palustri alimentati da sorgenti di acque calcaree, si ritiene che *Calcareous tufa*, in diretta correlazione con la lingua latina anche se "re-inventato" dalla letteratura anglosassone, sia il termine più adeguato.

L'italianizzazione del termine *Calcareous tufa* in "Tufa calcareo" è sconsigliabile per due ragioni: la prima perché la comunicazione scientifica oggi si effettua essenzialmente in inglese, la seconda per evitare confusioni con la dizione "Tufo calcareo" che è entrata nell'uso comune in Puglia per indicare una formazione calcarenitica marina pliocenica molto utilizzata nell'edilizia locale (Caputo *et al.*, 1996; Cherubini *et al.*, 1996; M. Tropeano com. pers.). Per la stessa ragione è sconsigliabile il termine "Tufa", abbreviativo di *Calcareous tufa* nella terminologia anglosassone, che può essere confuso con la parola "tufo" classicamente usato per caratterizzare i sedimenti vulcanici piroclastici.

Per l'individuazione dei due tipi di carbonati, le caratteristiche generali suggerite da Pentecost (1995) e Ford & Pedley (1996), e condensate in questo studio possono costituire una valida base di differenziazione.

Tuttavia, poiché le conoscenze e i dati a nostra disposizione sulla genesi dei *Travertini*, dei *Calcareous tufa* e di tutti i termini intermedi sono ancora limitati e non sono stati ancora esaurientemente illustrati i caratteri petrologici distintivi delle numerose litofacies, la nomenclatura qui proposta potrà essere verificata in futuro sulla base di un maggior numero di dati sia chimico-isotopici sia, e soprattutto, di tipo petrografico.

8. PROBLEMATICHE CONNESSE E IMPLICAZIONI PALEOAMBIENTALI

Allo stato attuale delle conoscenze, è evidente come non sia facile contenere tutte le molteplici variazioni di facies, di ambiente e di deposizione dei carbonati concrezionari all'interno di un semplice schema. Molte delle definizioni fondamentali necessarie per una classificazione rigorosa sono tuttora in discussione. Un esempio è fornito dalla definizione di *sorgente calda*, concetto necessario per la distinzione fra carbonati concrezionari "caldi" e "freddi". Esistono molte classificazioni delle acque in base alla temperatura (es. Desio, 1973; Celico, 1986); la più recente distinzione effettuata da Pentecost *et al.* (2003) prevede la temperatura di 36.7 °C come limite fra le due classi, ma gli stessi Autori raccomandano che i termini *caldo* e *freddo* siano sempre accompagnati dal criterio utilizzato per la loro definizione e dal *range* della temperatura delle acque. Allo stesso modo essi pongono l'attenzione sull'uso dell'aggettivo *ambiente* per caratterizzare le acque con una temperatura simile a quella dell'atmosfera in corrispondenza della sorgente, ritenendolo un termine ambiguo,

perché strettamente connesso alla latitudine/clima dell'area e quindi non utilizzabile per correlazioni globali.

Uno dei maggiori problemi nella realizzazione di una distinzione estremamente schematica dei carbonati concrezionari, è sicuramente legato alla naturale transizione che esiste fra quelli caldi e quelli freddi. Infatti è evidente come in questi casi, in cui facies calde evolvono lateralmente a quelle fredde in funzione di variazioni chimico-fisiche di difficile schematizzazione e variabili da caso a caso, la distinzione risulta molto complessa se non nei loro termini estremi. Questi ultimi, infatti, sono sicuramente identificabili sul terreno, per cui la definizione dei termini intermedi può essere compiuta con maggiore dettaglio in laboratorio con l'ausilio di analisi petrografiche, geochimiche e isotopiche.

In sostanza la differenziazione dei *Travertini* dai *Calcareous tufa* può essere effettuata in base alle caratteristiche generali del litotipo (porosità, contenuto organico, *fabric*, caratteristiche geochimiche...) e tenendo comunque presente che fattori locali possono anche influenzare le caratteristiche tessiturali e/o geochimiche dei singoli litotipi.

9. DISCUSSIONE

Tra i carbonati continentali depositi da acque sorgive, i *Calcareous tufa* sono stati oggetto, come già detto, di una embrionale caratterizzazione petrografica, mentre per i *Travertini* non esiste ancora una analisi approfondita. Tuttavia i risultati delle sporadiche ricerche fin'ora condotte suggeriscono la possibilità di distinguere i *Travertini* dai *Calcareous tufa* in funzione del loro *fabric* deposizionale (Fig. 7). Ne consegue che, adottando criteri che tengano conto dei caratteri tessiturali e geochimici di sedimenti attualmente in formazione, potrà essere effettuata la distinzione genetica dei carbonati continentali antichi. Eventuali future ricerche potranno apportare ulteriori integrazioni a questa classificazione.

Comunque per il momento l'uso comune di una nomenclatura differenziata dei depositi calcarei concrezionari può portare ad una caratterizzazione genetica del litotipo più immediata e quindi fornire informazioni specifiche di tipo geologico e climatico. Infatti, a seconda della presenza di *Travertini* o *Calcareous tufa*, le informazioni derivanti sono differenti:

- nella sedimentologia e stratigrafia, dove i *Calcareous tufa* risultano in genere essere tra i migliori *recorder* di caratteristiche paleoambientali e paleoclimatiche (Henning *et al.*, 1983; Carrara *et al.*, 1998);
- nella geologia strutturale, visto che i *Travertini* sono considerati utili indicatori per la comprensione dei processi e della storia neotettonica (Minissale, 1991; Hancock *et al.*, 1999);
- nel campo dell'archeologia e antropologia, che utilizzano le informazioni fornite dai *Calcareous tufa* per la ricostruzione dell'impatto umano sul territorio (Cilla *et al.*, 1994; Goudie *et al.*, 1993; Violante & D'Argenio, 2000);
- nel reperimento di materiali ornamentali, nell'archeometria, e nella conservazione dei monumenti lapidei, poiché soprattutto i *Travertini* costituiscono una delle pietre più usate come ornamento o rifinitura nelle

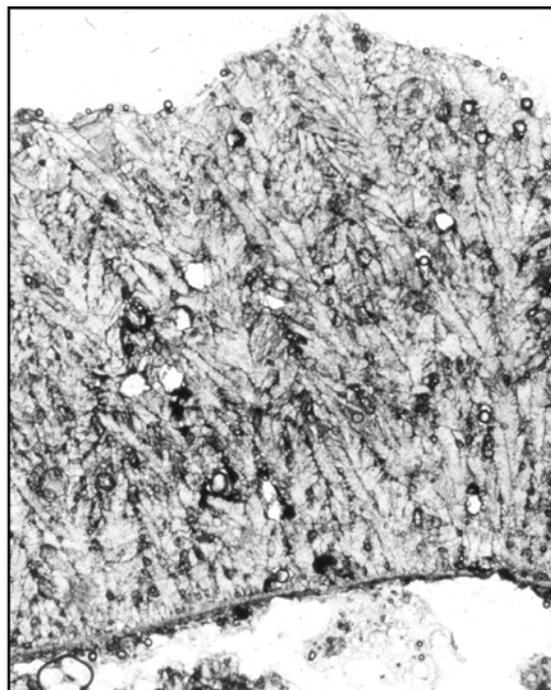
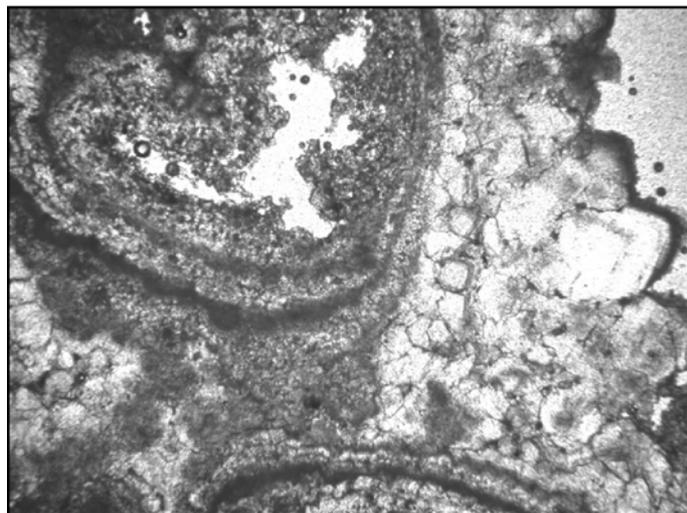


Fig. 7 - Esempi di microfaccie: a sinistra lamine stromatolitiche di *Calcareous tufa* - x20, sorgente sospesa (Monticiano, Siena); a destra crosta cristallina di *Travertino* - x10; sistema di piccoli terrazzi (Rapolano Terme, Siena).

Examples of microfabric: on the left: *Stromatolithic laminae* from *Calcareous tufa* - x20, *Perched-springline* (Monticiano, Siena); on the right: *crystalline crust* from *Travertine* - x10; *Terrace complex* (Rapolano Terme, Siena).

costruzioni dell'uomo (Rodolico, 1965);
- nella biologia extraterrestre in quanto i *Travertini* sono oggetto privilegiato di investigazione (NASA, 1995; Allen *et al.*, 2000; Bishop *et al.*, in press) per la ricerca di vita su Marte.

RINGRAZIAMENTI:

Gli Autori ringraziano vivamente Claudio Carrara per le costruttive osservazioni.

Lavoro eseguito con i fondi della "Quota servizi per la ricerca" dell'Università di Siena (PAR 2003, A.Gandin)

LAVORI CITATI

- ALLEN C.C., ALBERT F.G., CHAFETZ H.S., COMBIE J., GRAHAM C.R., KIEFT T.L., KIVETT S.J., MCKAY D.S., STEELE A., TAUTON A.E., TAYLOR M.R., THOMAS-KEPRTA K.L & WESTALL F. (2000) - *Microscopic physical biomarkers in carbonate hot springs: implications in the search for life on Mars*. *Icarus*, **147**, 49-67.
- ALTUNEL E. & HANCOCK L. (1993) - *Morphology and structural setting of Quaternary travertines at Pamukkale, Turkey*. *Geological Journal*, **28**, 335-346.
- ANDREWS J.E., RIDING R. & DENNIS P.F. (1997) - *The stable isotope record of environmental and climatic signals in modern terrestrial microbial carbonates*

from Europe. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, **129**, 171-189.

- BARAZZUOLI P., COSTANTINI A., FONDI R., GANDIN A., GHEZZO C., LAZZAROTTO A., MICHELUCCHINI M., SALLEOLINI M. & SALVADORI L. (1988) - *I travertini di Rapolano sotto il profilo geologico e geologico-tecnico*. In: V.COLI. (Eds) *Il travertino di Siena*. pp. 26-35, Al.Sa.Ba Grafiche, Siena.
- BELLANCA A., BOMMARITO S., NERI R., PREITE MARTINEZ M. & TURI B. (1991) - *Interpretation of depositional systems forming travertine accumulations in northwestern Sicily, Italy: petrographic and geochemical evidence*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **110**, 15-24.
- BERAKHI O., BRANCACCIO L., CALDERONI G., COLTORTI M., DRAMIS F. & UMER M.M. (1998) - *The Mai Maikden sedimentary sequence: a reference point for the environmental evolution of the Highlands of Northern Ethiopia*. *Geomorphology*, **23**, 127-138.
- BISHOP J.L., MURAD E., LANE M.D. & MANCINELLI R L. (in press) - *Multiple technique for mineral identification on Mars: a study on hydrothermal rocks as potential analogues for astrobiology sites on Mars*. *Icarus*
- BONI C. & COLACICCHI R. (1966) - *I travertini della Valle del Tronto - giacitura, genesi e cronologia*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **5**, 315-339.
- BRAITHWAITE C.J.R. (1979) - *Crystal textures of recent fluvial pisolites and laminated crystalline crusts in Dyfed, South Wales*. *Journ. of Sedimen. Petr.*, **49**(1), 181-193.
- BRANCACCIO L., D'ARGENIO B., FERRERI V., PREITE MARTINEZ M., STANZIONE D. & TURI B. (1986) - *Caratteri tessi-*

- turali e geochimica dei travertini di Rocchetta a Volturo (Molise). *Boll. Soc. Geol. It.*, **105**, 265-277.
- BUCCINO G., D'ARGENIO B., FERRERI V., BRANCACCIO L., FERRERI M., PANICHI C. & STANZIONE D. (1978) - *I travertini della bassa Val Tanagro (Campania): studio geomorfologico, sedimentologico e geochimico*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **97**, 617-646.
- CABOI R., CIDU R., FANFANI L., ZUDDAS P. & ZUDDAS P.P. (1991) - *Geochemistry of Funtana Maore travertines (Central Sardinia, Italy)*. *Miner. Petrogr. Acta*, **34**, 77-93.
- CAPUTO M.C., QUADRATO E. & WALSH N. (1996) - *Influenza dello shock termico sui parametri fisico-meccanici del "tufo calcareo" del bordo occidentale delle Murge*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **51** (2), 813-822.
- 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.
- CARRARA C. (1998) - *I travertini della Valle del Pescara tra Popoli e Tor de'Passeri (Abruzzo, Italia Centrale)*. *Il Quaternario*, **11**(2), 163-178.
- CARRARA C., CIUFFARELLA L. & PAGANIN G. (1998) - *Inquadramento geomorfologico e climatico-ambientale dei travertini di Rapolano Terme (SI)*. *Il Quaternario*, **11**(2), 319-329.
- CARRARA C., ESU D. & FERRELLI L. (1995) - *Lo sbarramento di Travertino delle Marmore (Bacino di Rieti, Italia centrale): aspetti geomorfologici, faunistici ed ambientali*. *Il Quaternario*, **8**(1), 111-118.
- CELICO P. (1986) - *Prospezioni idrogeologiche. Volume primo*. Liguori Editore, Napoli, 735 pp.
- CHAFETZ H.S. & FOLK R.L. (1984) - *Travertines: depositional morphology and the bacterially constructed constituents*. *J. Sedim. Petrol.*, **54**, 289-316.
- CHAFETZ H.S. & GUIDRY S.A. (2003) - *Deposition and diagenesis of Mammoth Hot springs travertine, Yellowstone National Park, Wyoming, U.S.A.* *Can. J. Earth Sci.*, **40**, 1515-1529.
- CHAFETZ H.S., RUSH P.F. & UTECH N.M. (1991) - *Microenvironmental controls on mineralogy and habit of CaCO₃ precipitates: an example from an active travertine system*. *Sedimentology*, **38**, 107-126.
- CHERUBINI C., DI CUIA N., PAGLIARULO R. & RAMUNNI F.P. (1996) - *Caratteri petrografici e meccanici delle Calcareniti di Matera*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **51** (2), 761-769.
- CILLA G., COLTORTI M. & DRAMIS F. (1994) - *Holocene fluvial dynamics in mountain areas: the case of the river Esino (Appennino Umbro-marchigiano)*. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, **17**, 163-174.
- 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. d'It.*, **98**, 85-115.
- D'ARGENIO B. (2001) - *From megabanks to Travertines – the Independence of Carbonate Rock Growth-Forms from Scale and Organismal Templates through Time*. *Proceedings of the International School Earth and Planetary Sciences, Siena*, 109-130.
- D'ARGENIO B. & FERRERI V. (1988) - *Ambienti deposizionali e litofacies dei travertini quaternari dell'Italia centro-meridionale*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **41**, 861-868.
- D'ARGENIO B., FERRERI V., STANZIONE D., BRANCACCIO L. & FERRERI M. (1983) - *I travertini di Pontecagnano (Campania): geomorfologia, sedimentologia, geochimica*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **102**, 123-136.
- DEMICO R.V. & HARDIE L.A. (1994) - *Sedimentary structures and early diagenetic features of shallow marine carbonate deposits*. *SEPM Atlas series*, **1**, 142-158.
- DESIO A. (1973) - *Geologia applicata alla Ingegneria*. Hoepli editore, Milano, 1192 pp.
- DRAMIS F., MATERAZZI M. & CILLA G. (1999) - *Influence of climatic changes on freshwater travertine deposition: a new Hypothesis*. *Phys. Chem. Earth (A)*, **24**(10), 893-897.
- EMEIS K.C., RICHNOW H.H. & KEMPE S. (1987) - *Travertine formation in Plitvice National Park, Yugoslavia: chemical versus biological control*. *Sedimentology*, **34**, 595-609.
- FERRERI V. (1985) - *Criteri di analisi di facies e classificazione dei travertini pleistocenici dell'Italia Meridionale*. *Rend. Acc. Scienze Fis. e Mat.*, **52**, Napoli. 47 pp.
- FIORASO G. (1999) - *I travertini della Valle di Susa e della Val Chisone (Provincia di Torino): caratterizzazione sedimentologica, morfologica e ipotesi genetiche*. *Il Quaternario*, **12**(2), 261-274.
- FOLK R. (1994) - *Interaction between bacteria, nanobacteria, and mineral precipitation in hot spring of Central Italy*. *Geogr. Phis. et Quaternaire*, **48**(3), 233-246.
- FOLK R., CHAFETZ H.S. & TIEZZI P.A. (1985) - *Bizarre forms of depositional and diagenetic calcite in hot-spring travertines, Central Italy*. In SCHNEIDERMAN N. & HARRIS P. (Eds) - *The Biology of Blue-Green Algae*. Oxford, Blackwell Scientific Publication, 434-472.
- FORD T. D. & PEDLEY H.M. (1996) - *A review of tufa and travertine deposits of the world*. *Earth Sci. Rev.*, **41**, 117-175.
- FOUCAULT A. & RAOULT J.F. (1986) - *Dizionario di Scienze della Terra*. Masson Italia Editori, 350 pp.
- FOUKE B.W., FARMER J.D., DES MARAIS D.J., PRATT L., STURCHIO N.C., BURNS P.C. & DISCIPULO M.K. (2000) - *Depositional facies and aqueous-solid geochemistry of travertine-depositing hot spring (Angel Terrace, Mammoth Hot Spring, Yellowstone National Park, U.S.A.)*. *Journal of Sedimentary Research*, **70**(3), 565-585.
- FRITZ P. (1965) - *Composizione isotopica dell'ossigeno e del carbonio nei travertini della Toscana*. *Boll. Geofis. Teor. Applic.*, **7**, pp. 25.
- GANDIN A., CAPEZZUOLI E. & SANDRELLI F. (2002) - *A Messinian hot-spring travertine system and its modern analogue at Rapolano in Southern Tuscany, Italy*. 16th International congress IUGS, Johannesburg (South Africa), Abstracts Volume, pag. 110.
- GLOVER C. & ROBERTSON A.H.F. (2003) - *Origin of tufa (cool-water carbonate) and related terraces in the Antalya area, SW Turkey*. *Geological journal*, **38**, 329-358.
- GOLUBIC S., VIOLANTE C., FERRERI V. & D'ARGENIO B.

- (1993) - *Algal control and early diagenesis in Quaternary formation (Rocchetta a Volturno, Central Apennines)*. Boll. Soc. Paleont. Ital., Spec. Vol. 1, *Studies on Fossil Benthic Algae*. F. BARATTOLO et al. (eds), 231-247, Mucchi, Modena.
- GONFIANTINI R., PANICHI C. & TONGIORGI E. (1968) - *Isotopic disequilibrium in travertine deposition*. Earth and Planetary Sc. Lett., **5**, 55-58.
- GOUDIE A.S., VILES H.A. & PENTECOST A. (1993) - *The late-Holocene tufa decline in Europe*. The Holocene, **3**(2), 181-186.
- GUO L., ANDREWS J., RIDING R., DENNIS P. & DRESSER D. (1996) - *Possible microbial effects on stable carbon isotopes in hot-spring travertines*. Jour. Sed. Research, **66**, 468-473.
- GUO L. & RIDING R. (1992) - *Micritic aragonite laminae in hot water travertine crust, Rapolano Terme*. Sedimentology, **39**, 1067-1079.
- GUO L. & RIDING R. (1994) - *Origin and diagenesis of Quaternary travertine shrub facies, Rapolano Terme, central Italy*. Sedimentology, **41**, 499-520.
- GUO L. & RIDING R. (1998) - *Hot-spring travertine facies and sequences, late Pleistocene, Rapolano Terme, Italy*. Sedimentology, **45**, 163-180.
- GUO L. & RIDING R. (1999) - *Rapid facies change in Holocene fissure ridge hot spring travertines, Rapolano Terme, Italy*. Sedimentology, **46**, 1145-1158.
- GEURTS M.A. (1976) - *Formation de travertins postglaciaires en Belgique*. In: T. Vogt (Editor): Colloque Types de Croûtes et leur répartition régionale, Strasbourg 9-11 Janvier 1975. Université de Louis Pasteur, Strasbourg, pp. 76-79.
- HANCOCK P.L., CHALMERS R.M.L., ALTUNEL E. & ÇAKIR Z. (1999) - *Travertines: using travertines in active fault studies*. Journal of Structural Geology, **21**, 903-916.
- HENNING G.J., GRÜN R. & BRUNNACKER K. (1983) - *Speleothems, Travertines and Paleoclimates*. Quaternary Research, **20**, 1-29.
- HERMAN J.S. & LORAH M.M. (1987) - *CO₂ outgassing and calcite precipitation in Falling Spring Greek, Virginia, U.S.A.* Chemical Geology, **62**, 251-262.
- HERMAN J.S. & LORAH M.M. (1988) - *Calcite precipitation rates in the field: measurement and prediction for a travertine-depositing stream*. Geochimica et Cosmochimica Acta, **52**, 2347-2355.
- IRION G. & MILLER G. (1968) - *Mineralogy, Petrology and Chemical Composition of some Calcareous tufa from the Schwäbische Alb, Germany*. In: MÜLLER G. & FRIEDMAN G.M. (Eds): *Recent developments in carbonate sedimentology in Central Europe*. Berlin, Springer-Verlag, 151-171.
- JULIÀ R. (1983) - *Travertines*. In: P.A. SCHOLLE, D.G. BEBOUT, C.H. MOORE (Editors): *Carbonate Depositional Environments*. AAPG Memoir, **33**, 62-72.
- KOBAN C.G. & SCHWEIGERT G. (1993) - *Microbial Origin of travertine fabrics – two examples from southern Germany (Pleistocene Stuttgart travertines and Miocene Riedöschingen travertine)*. Facies, **29**, 251-264.
- LANG J., PASCAL A. & SALOMON J. (1992) - *Caractérisation pétrographique de divers carbonates continentaux holocènes du Jura français (Arbois, Chalain, Dortan). Implications paléogéographiques*. Z. Geomorph. N.F., **36**, 273-291.
- LOVEK.M. & CHAFETZ H.S. (1988) - *Diagenesis of laminated travertine crusts, Arbuckle Mountains, Oklahoma*. Journ. of Sedim. Petr., **58**(3), 441-445.
- LOVEK.M. & CHAFETZ H.S. (1990) - *Petrology of Quaternary travertine deposits, Arbuckle Mountains, Oklahoma*. In: J.S. HERMAN and D.A. HUBBARD (Eds): *Travertine-Marl: Stream deposits in Virginia*. Va. Div. Mineral Resour. Publ., **101**, 65-78.
- MANFRA L., MASI U. & TURI B. (1976) - *La composizione isotopica dei travertini del Lazio*. Geol. Rom., **15**, 127-174.
- MARTÍN-ALGARRA A., MARTÍN-MARTÍN M., ANDREO B., JULIÀ R. & GONZALES-GÓMEZ C. (2003) - *Sedimentary patterns in perched spring travertines near Grenada (Spain) as indicators of the paleohydrological and paleoclimatological evolution of a karst massif*. Sedimentary Geology, **161**, 217-228.
- MINISSALE A. (1991) - *Thermal springs in Italy: their relation to recent tectonics*. Applied Geochemistry, **6**, 201-212.
- MINISSALE A., KERRICK D.M., MAGRO G., MURRELL M.T., PALADINI M., RIHS S., STURCHIO N.C., TASSI F. & VASELLI O. (2002) - *Geochemistry of Quaternary travertines in the region north of Rome (Italy): structural, hydrologic and paleoclimatic implications*. Earth and Pl. Sc. Letters, **203**, 709-728.
- NASA (1995) - *An exobiological Strategy for Mars Exploration, SP-530*. National Aeronautics and Space Administration, Washington, DC.
- ORDOÑEZ S. & GARCIA DEL CURA M.A. (1983) - *Recent and tertiary fluvial carbonates in Central Spain*. Spec. Publ. Int. Ass. Sediment., **6**, 485-497.
- PEDLEY H.M. (1990) - *Classification and environmental models of cool freshwater tufas*. Sedim. Geol., **68**, 143-154.
- PEDLEY M., GONZALÉS MARTÍN J.A., ORDOÑEZ DELGADO S. & GARCIA DEL CURA M.A. (2003) - *Sedimentology of Quaternary perched springline and paludal tufas: criteria for recognition, with examples from Guadalajara Province, Spain*. Sedimentology, **50**, 23-44.
- PENTECOST A. (1994) - *Formation of laminated travertines at Bagno Vignone, Italy*. Geomicrobiology Jour., **12**, 239-251.
- PENTECOST A. (1995) - *The quaternary travertine deposits of Europe and Asia Minor*. Quat. Sci. Rev., **14**, 1005-1028.
- PENTECOST A., JONES B. & RENAUT R.W. (2003) - *What is a hot spring?* Can. J. Earth Sci., **40**, 1443-1446.
- PENTECOST A. & LORD T. (1988) - *Postglacial tufas and travertines from the Craven District of Yorkshire*. Cave Sci., **15**(1), 15-19.
- PENTECOST A. & VILES H.A. (1994) - *A review and reassessment of travertine classification*. Geogr. Phys. et Quaternaire, **48**, 305-314.
- PENTECOST A. & WHITTON B.A. (2000) - *Limestone*. In: WHITTON B.A. & POTTS M. (eds), *The Ecology of Cyanobacteria*. 257-279, Kluwer Academic Publisher, Netherland.
- RIDING R. (2002) - *Structure and composition of organic*

- reefs and carbonate mud mounds: concepts and categories*. *Earth-Science Reviews*, **58**, 163-231.
- RODOLICO F. (1965) - *Le pietre delle città d'Italia*. Ed. Le Monnier, Firenze.
- SYMOENS J.J., DUVIGNEAUD P. & VANDEN BERGEN C. (1951) - *Aperçu sur la végétation des tufs calcaires de la Belgique*. *Bull. Soc. R. Bot. Belg.*, **83**, 329-352.
- TURI B. (1986) - *Stable isotope geochemistry of travertines*. In: P. Fritz & J.C. Fontes (Eds) - *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. 2. Terrestrial Environment*, B. Elsevier, Amsterdam, pp. 207-238.
- VILES H.A & GOUDIE A.S. (1990) - *Tufas, travertines and allied carbonate deposits*. *Prog. Phys. Geogr.*, **14**, 19-41.
- VIOLANTE C. & D'ARGENIO B. (2000) - *I travertini alle origini e nel declino dell'antica città di Poseidonia – Paestum (2500-1000 a. prima del presente)*. Convegno GEOBEN, Torino, 7-9 Giugno 2000, pp. 8.
- VIOLANTE C., FERRERI V. & D'ARGENIO B. (1996) - *Modificazioni geomorfologiche controllate dalla deposizione di travertino*. *Il Quaternario*, **9**(1), 213-216.
- VIOLANTE C., FERRERI V., D'ARGENIO B. & GOLUBIC S. (1994) - *Quaternary travertines at Rocchetta a Volturno (Isernia, Central Italy). Facies analysis and sedimentary model of an organogenic carbonate system*. I.A.S. 15th Reg. Meet., April, 1994, Ischia, Guide book to the field trip, 3-23.

Ms. ricevuto l'11 maggio 2004
 Testo definitivo ricevuto il 7 luglio 2004

Ms. received: May 11, 2004
 Final text received: July 7, 2004