

## Il patrimonio di travertini e *calcareous tufa* in Toscana

Enrico Capezzuoli (\*)

(\*) Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Università di Siena. Via Laterina, 8 - 53100, Siena. E-mail: [capezzuoli@unisi.it](mailto:capezzuoli@unisi.it)

Document type: Article.

Manuscript history: received 15 November 2012; accepted 29 June 2013; editorial responsibility and handling by Andrea Billi and Luigi De Filippis.

### RIASSUNTO

Da sempre i depositi carbonatici hanno attirato l'interesse mondiale degli studiosi sia per i loro storici utilizzi nell'industria lapidea (pietra ornamentale e da costruzione) sia per le informazioni di interesse scientifico registrate al loro interno (ricerche paleoclimatiche, neotettoniche, paleosismologiche, fonti di energia...). Lo stesso tipo di informazioni inizia ad essere disponibile anche in particolare per i depositi carbonatici continentali, sia per quelli precipitati da acque carbonatate calde in corrispondenza di sorgenti termali, che da acque carbonatate a temperatura ambiente in corrispondenza di sorgenti carsiche e/o di sistemi fluvio-palustri. Questi depositi, descritti in molti lavori con il generico nome di "travertini", oggi sono di regola separati in Travertini ed in *Calcareous tufa* sulla base delle loro caratteristiche deposizionali, petrologiche, geochemiche ed isotopiche, che riflettono le condizioni chimico-fisiche delle acque da cui precipitano. L'Italia, in generale, costituisce un'eccezionale palestra di indagine per questo tipo di litologie, visto il numero di affioramenti presenti, ma la Toscana in particolare si pone come regione privilegiata grazie alla contemporanea presenza dei fattori fondamentali per la presenza di queste litologie: calcari nel substrato, acqua, calore e tettonica. Anche per questo motivo gli affioramenti toscani sono da sempre stati meta privilegiata di studio nel panorama nazionale e mondiale.

TERMINI CHIAVE: travertini, *calcareous tufa*, Toscana, sorgenti termali.

### INTRODUZIONE

Travertini e *calcareous tufa* fanno parte di un ampio gruppo di carbonati continentali le cui caratteristiche petrologiche e geochemiche riflettono strettamente le condizioni genetiche di formazione e di conseguenza possono essere considerati come indicatori particolarmente sensibili e accurati delle coeve variazioni ambientali e tettoniche. Grazie alle loro caratteristiche estetiche, meccaniche e di estraibilità, questi carbonati concrezionari figurano tra i materiali lapidei più usati nelle costruzioni dell'uomo. Le testimonianze antiche di questo utilizzo sono ampiamente presenti nel territorio toscano, attraverso un arco di tempo che va dal periodo etrusco fino a quello medievale-rinascimentale. Tali testimonianze costituiscono una parte cospicua del locale tessuto storico-culturale e sono visibili sia all'interno delle strutture museali, sia diffuse nel patrimonio storico architettonico monumentale.

Descritti in molti lavori con il generico nome di travertino (Pentecost, 1995, 2005), oggi questi depositi vengono generalmente distinti sulla base dei loro caratteri deposizionali, petrologici, geochemici e isotopici (Pedley, 1990, 2009; Gandin e Capezzuoli, 2008). Ciascuna delle caratteristiche deposizionali osservate in sistemi attivi riflette strettamente le condizioni chimico-fisiche delle acque da cui si originano, i processi microbici associati ed il contesto tettonico, geomorfologico e/o paleoclimatico dell'ambiente deposizionale.

### I CARBONATI CONTINENTALI EPIGEI IN TOSCANA

L'Italia, in generale, costituisce un'eccezionale palestra di indagine per questo tipo di litologie, vista l'abbondanza di affioramenti presenti, ma la Toscana in particolare si pone come regione privilegiata grazie alla grande quantità di depositi carbonatici mesozoici (la Falda Toscana; Carmignani et al., 2001) presenti sia in superficie che nel sottosuolo e nei quali le acque si arricchiscono in ioni di Calcio. Da queste acque si ha la deposizione (principalmente per degassazione) dei *calcareous tufa* e dei travertini che, a loro volta, beneficiano in Toscana della presenza di un elevato flusso di calore endogeno caratterizzante le locali aree geotermiche di Larderello e del M. Amiata.

Questa configurazione geologica è una diretta conseguenza dei processi deformativi che hanno interessato in generale la parte interna dell'Appennino Settentrionale a partire dal Mesozoico. La Toscana meridionale, in particolare, è stata interessata, a partire dal Miocene inferiore-medio, da una tettonica di tipo distensiva accompagnata dalla messa in posto di corpi magmatici di età neogenico-quadernaria (Carmignani et al., 1994). Questa tettonica estensionale ha prodotto un importante assottigliamento della crosta con la creazione di depressioni strutturali occupate da bacini sin-tettonici. Tali bacini, tradizionalmente interpretati come half-grabens e separati da lineamenti morfotettonici trasversali di varia interpretazione (Pascucci et al., 2007), sono stati riempiti durante il Miocene-Quaternario da depositi continentali e marini talvolta di elevato spessore (Brogi, 2004; Brogi e Liotta, 2008) e sono stati interessati da importanti fasi di tettonica fragile (Sagri et al., 2004) (Fig. 1). Lungo queste strutture sono per lo più concentrate le numerose emergenze, termali e non, presenti in Toscana e spesso soprassature in  $\text{CaCO}_3$  per la circolazione nei reservoirs carbonatici generalmente superficiali

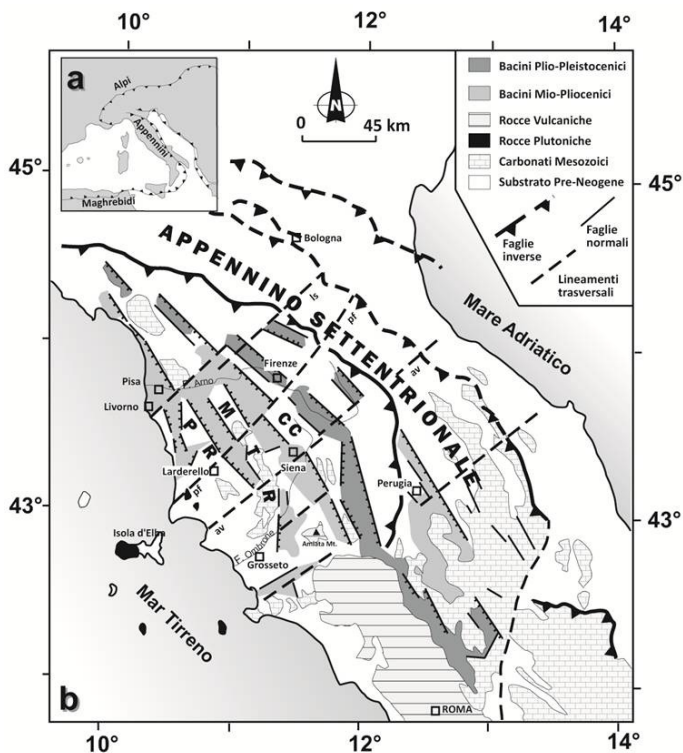


Fig. 1 - (a) Inquadramento schematico delle catene dell'area mediterranea centrale. (b) Localizzazione dei bacini neogenici-quadernari dell'Appennino Settentrionale e delle principali strutture associate. Lineamenti trasversali: av, Arbia-Marecchia; ls, Livorno-Sillaro; pf, Piombino-Faenza; PR, Dorsale Peritirrenica; MTR, Dorsale Medio Toscana; CC, Dorsale Chianti-Cetona.

e con ricarica meteorica (Minissale et al., 2002), ma talvolta legati a flussi di  $\text{CO}_2$  di derivazione mantellica specialmente nelle aree geotermiche o vulcaniche (Minissale e Sturchio, 2004).

Di fatto in Toscana sono molto diffusi sia i siti in cui travertini e *calcareous tufa* sono attivamente in formazione (Rapolano Terme, Bagno Vignoni, Colle val d'Elsa, Massa Marittima), sia gli affioramenti di depositi fossili attribuibili ad un range temporale che non trova simili in tutta Italia. Infatti, se la maggior parte dei depositi carbonatici fossili sono generalmente attribuibili al Quaternario, proprio in Toscana sono stati attribuiti e riconosciuti depositi tardo-pleiocenici e anche di età Messiniana (Miocene Superiore).

La presenza di questi materiali è stata molto importante per le civiltà che si sono succedute in questa regione. Fin dal periodo degli Etruschi non mancano testimonianze dell'uso di questa pietra, probabilmente per la sua facilità di reperimento (affioramenti superficiali), di estrazione (facilitata dalla stratificazione) e di lavorabilità rispetto a materiali simili come, ad esempio, il marmo. Tali testimonianze sono molto comuni anche durante il periodo romano e durante il Medioevo, quando il suo utilizzo è riccamente testimoniato in numerose città (Rodolico, 1965).

La seguente raccolta di depositi di travertini e *calcareous tufa* toscani è necessariamente incompleta a causa del numero di affioramenti presenti. Molti depositi non sono stati ancora dettagliatamente descritti e vengono brevemente citati in quanto rappresentati nella cartografia geologica nazionale alla scala 1:100.000. I depositi con maggiori notizie bibliografiche disponibili vengono brevemente trattati nei loro caratteri salienti (Fig. 2). Da notare come in alcuni lavori, vari depositi carbo-

natici toscani siano stati collettivamente descritti nella generica definizione di travertini e che ne hanno messo in luce soltanto determinati aspetti geologici (Lotti, 1910; Pentecost, 1995; Ford e Pedley, 1996; Capezzuoli et al., 2011), paleontologici (Pantaneli, 1875) o soprattutto geochimici (Gonfiantini et al., 1968; Minissale, 2004; Gandin e Capezzuoli, 2008).

## I TRAVERTINI

Definizioni genetiche di questi depositi vengono proposte già da Riding (1991) che come travertino definisce, in particolare, quei depositi carbonatici non-marini, autoctoni, laminati, poco porosi, depositati presso sorgenti termali e con fabric primario a cespugli (bushy) (Fig. 3). Oltre a queste caratteristiche, Ford e Pedley (1996) e Riding (2002) aggiungono la predominanza del fabric cristallino.

I depositi di travertino sono comunemente associati a zone tettonicamente e sismicamente attive, lungo fratture o faglie normali, le quali agiscono da vie preferenziali per la risalita rapida di acque calde profonde (Chafetz e Folk, 1984). Per questo motivo, la semplice localizzazione dei depositi di travertino, soprattutto se ancora in fase di deposizione, può essere utile all'individuazione di eventuali strutture tettoniche attive o sismogeniche (Hancock et al., 1999).

Le principali caratteristiche sedimentologiche del travertino sono state riconosciute e descritte principalmente in depositi italiani dell'area Tosco-Laziale fra i quali Tivoli e Rapolano Terme (Guo e Riding, 1992, 1994, 1998, 1999). Macroscopicamente, si tratta di una roccia caratterizzata da facies laminari compatte, formate da cristalli di calcite anche molto sviluppati (fino a decine di centimetri, Chafetz e Folk, 1984) e, in minor quantità, da lamine microcristalline, talvolta di derivazione biogenica, generalmente più porose. Queste litofacies sono osservabili essenzialmente in due principali ambienti deposizionali che spesso coesistono lateralmente (Pedley, 2009):

(a) dorsali di travertino: corrispondono alle risorgenze lineari più o meno rettilinee lungo faglie e fratture del terreno, dalle quali acque termali e gas sotterranei risalgono e scaturiscono in superficie. Per tale motivo costituiscono uno dei migliori indicatori per investigazioni di tettonica.

(b) pendii terrazzati: 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 lungo il percorso (Chafetz e Folk, 1984). Si formano così dighe e barriere che individuano pozze di varia misura (anche millimetriche) fino a piscine di acqua termale contenenti anche piccole bocche di sorgenti sul fondo. In Toscana la presenza di questi depositi risulta concentrata nella porzione meridionale della regione e in particolare nell'area del M. Amiata (connessa con la circolazione di fluidi geotermici). In corrispondenza delle depressioni morfo-strutturali, i travertini si trovano spesso localizzati lungo i versanti orientali dei bacini neogenico-quadernari (Iano, Pignano, Rapolano Terme, San Casciano dei Bagni).

Iano (FI): vicino a questa località nel Comune di Montaione, sul versante occidentale della Dorsale Medio Toscana, sono presenti alcune placche di travertino descritte come relativamente antiche da Dallan et al. (1969). Questi depositi sono interessati da ampie fessurazioni riempite da vene di calcite (alabastrite) usate come pietra ornamentale e che sono state oggetto di escavazione (Malesani e Vannucci, 1975; Costantini et al., 2002).

Pignano (PI): lungo il margine sud-occidentale del Bacino di Volterra affiora un complesso termale fossile ben preservato

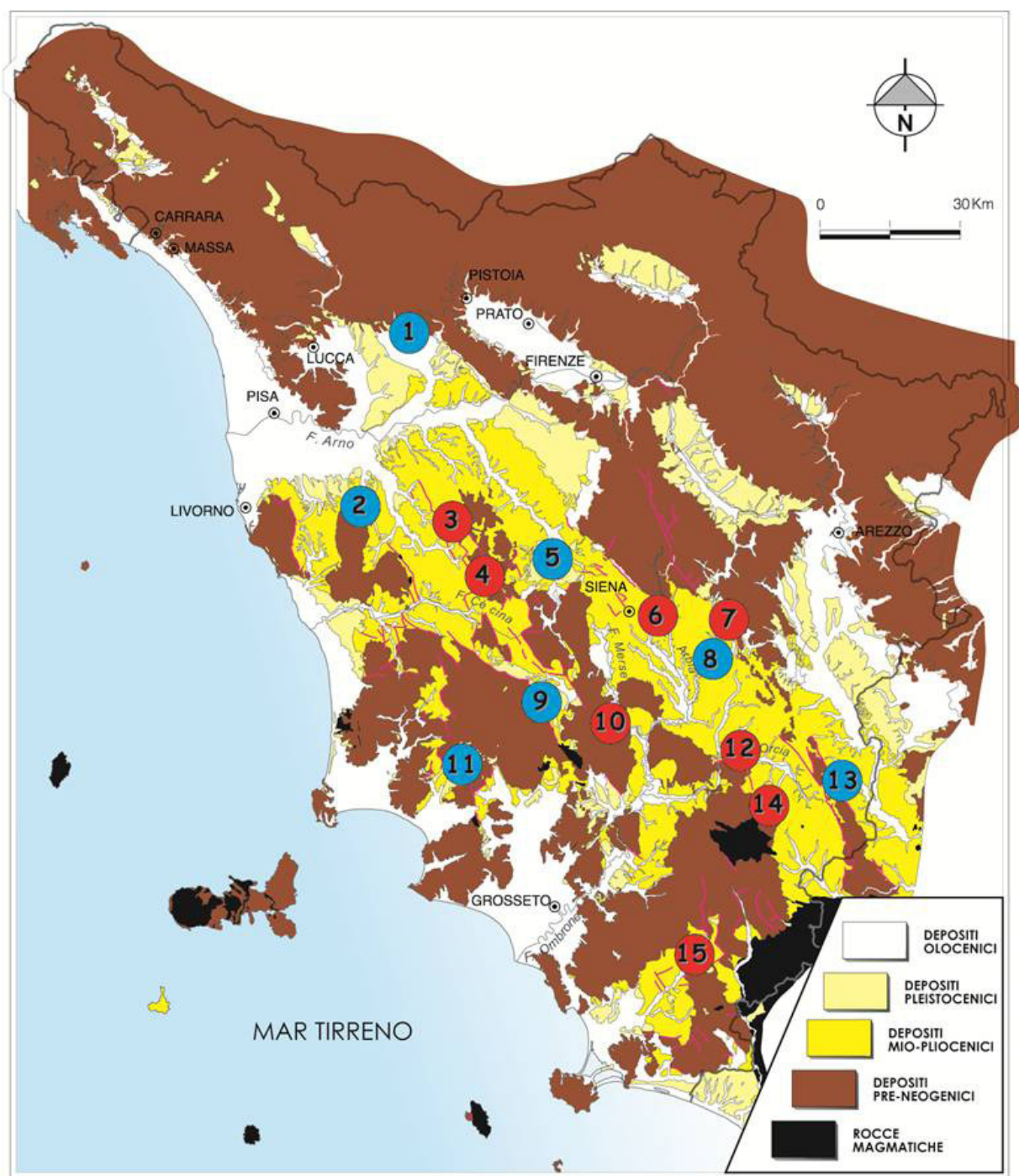


Fig. 2 - Localizzazione dei maggiori depositi di travertini (cerchi rossi) e calcareous tuffa (cerchi blu) in Toscana: (1) Montecatini Terme. (2) Casciana Terme. (3) Iano. (4) Pignano. (5) Valdelsa meridionale. (6) Acqua Borra. (7) Area di Rapolano Terme. (8) Asciano. (9) Chiusdino-Frosini. (10) Valle del Farma. (11) Area di Massa Marittima. (12) Bagno Vignoni. (13) Sarteano. (14) Bagni San Filippo. (15) Valle dell'Albegna.

ed intercalato all'interno dei depositi argillosi di lago-mare riferiti al Messiniano (Bossio et al., 1992, 1994, 1996; Sandrelli, 2001). Il complesso è formato da almeno sei corpi lenticolari di travertino con estensione laterale di almeno 1 km e con spessore massimo di circa 60 m (Gandin et al., 2002). I depositi formano alte pareti nelle quali sono presenti alcune cave abbandonate (Fig. 4a) di età etrusco-romana e dove il travertino è stato estratto come materiale da costruzione o per la produzione di urne cinerarie (Rodolico, 1965; Capezzuoli et al., 2004). La locale ricostruzione paleoambientale ha evidenziato la presenza

di un antico ambiente deposizionale di pendio nella porzione inferiore della successione carbonatica, che progressivamente è stato ricoperto da un sistema palustre nella porzione di tetto (Capezzuoli et al., 2009).

Acqua Borra (SI): nelle vicinanze di Castelnuovo Berardenga si trova la sorgente dell'Acqua Borra, le cui acque, con una temperatura di circa 38°C (Barazzuoli et al., 1988), sono conosciute fin dai Romani e contengono un alto contenuto in CO<sub>2</sub> e di ioni in soluzione (oltre 12 g/l). Queste acque hanno depositato una struttura a mound alta circa 8 metri che è stata utilizzata per

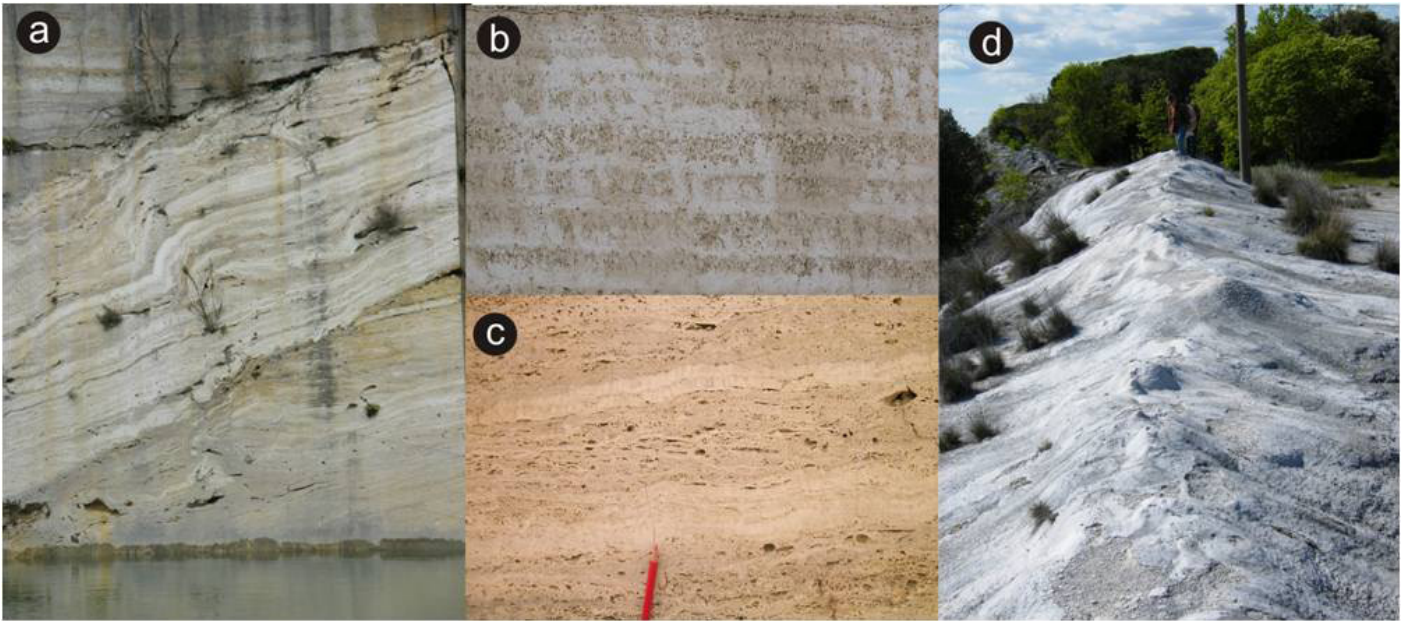


Fig. 3 - (a) Caratteristica macro-stratificazione dei travertini con differenti inclinazioni e superfici erosive sovrapposte (Rapolano Terme). (b) alternanze di livelli di cristalli calcitici a cespugli (bushy) e altri più porosi composti principalmente da bolle di gas incrostate. (c) alternanza di livelli a croste cristalline (chiare) e di depositi microbiali (più porosi/più scuri). (d) piccoli coni di travertino allineati lungo una frattura. Essi rappresentano i punti di risorgenza delle acque termali (Terme San Giovanni – Rapolano terme).

l'estrazione di materiale da costruzione durante l'ultimo secolo (Capezzuoli et al., 2009; Pedley, 2009) (Fig. 4b).

Area di Rapolano Terme (SI): nella zona fra Rapolano Terme e Serre di Rapolano, in un'area di circa 14 km<sup>2</sup> sono presenti una serie di corpi travertinosi a forma di ventaglio localizzati principalmente lungo la traccia della Faglia di Rapolano (Brogi et al., 1999). L'ampia attività estrattiva del travertino, qui attestata almeno dal periodo etrusco, ha permesso l'esposizione di ampi fronti di cava che hanno facilitato ed incoraggiato lo studio di questi materiali nelle sue varie discipline (Losacco, 1951; Cipriani et al., 1972; Chafetz e Folk, 1984; Folk et al., 1985; AA.VV., 1988; Barazzuoli et al., 1991; Guo e Riding, 1992, 1994, 1998, 1999; Carrara et al., 1998; Fouke et al., 2000; Brogi, 2002, 2004; Brogi et al., 1999, 2005, 2007a, 2007b, 2009; Bertini et al., 2008, 2009). Anche la geochimica di questi depositi e delle acque associate è stata oggetto di numerosi lavori (Minissale et al., 2002; Minissale e Sturchio, 2004; Minissale, 2004). Di rilievo è la presenza, presso le locali Terme di San Giovanni, di una dorsale in travertino allungata in direzione ONO-ESE per circa 250 metri che raggiunge localmente la larghezza di circa 40 metri ed un'altezza massima di 10 metri (Brogi e Capezzuoli, 2006, 2009). Questa morfostruttura, fessurata nella porzione sommitale (fissure ridge) e che trova pochi esempi attivi nel mondo (Fig. 4c), è legata all'esistenza di una serie di sorgenti caratterizzate da attività intermittente ed allineate lungo una faglia. I travertini presenti nell'area di Rapolano sono stati riferiti al Pleistocene Superiore-Olocene sulla base di studi macropaleontologici e radiometrici (Carrara et al., 1998; Brogi et al., 2007a, 2010).

Bagno Vignoni (SI): presso questo borgo medioevale sono presenti alcune placche di travertini (Losacco, 1959; Jacobacci et al., 1969) che sono state interessate da attività estrattiva durante il novecento. Il borgo stesso, che sorge su una di queste placche, è costruito intorno alla sorgente principale (52°C; Minissale, 2004) localizzata nella piazza principale dove forma una caratteristica e scenografica vasca termale. Queste acque de-

fluiscono poi in direzione del Fiume Orcia, nel quale si gettano dopo circa 300 m di un ripido pendio di travertino lungo il quale si formano le tipiche morfologie di cascate, pozze e terrazzi (Pentecost, 1994) (Fig. 4d).

Bagni San Filippo (SI): nell'area circostante questo piccolo abitato alle pendici del M. Amiata (SI), sono presenti alcune risorgenze termali responsabili dei depositi di travertino qui affioranti (Gosse, 1820). Questi depositi, localmente tuttora in formazione (Fig. 5a), occupano il versante settentrionale del Fosso Bianco fra le quote di 650 m e 500 m, formando imponenti pendii molto scoscesi. Secondo Jacobacci et al. (1967) la loro età varia da monte verso valle con l'abbassarsi della quota delle sorgenti. Come a Rapolano Terme, anche qui è presente una piccola fissure ridge attiva (Borgna et al., 2009; Capezzuoli et al., 2011).

Torrente Farma (SI): lungo questo affluente di sinistra del F. Merse, al confine fra le Province di Siena e Grosseto, sono presenti una serie di emergenze termali allineate lungo una locale faglia e caratterizzate da temperature fra le più alte della Toscana (42-43°C; Minissale, 2004). I Bagni di Petriolo sono la località più importante, conosciuta fin dal Medioevo e contraddistinta da una serie di vasche lungo le quali il travertino è attivamente in formazione. Piccole risorgenze (con deposizione di travertino) sono molto diffuse nella zona, ma in particolare si cita una sorgente termale (25.5°C) presente a circa 800 metri ad ovest dei bagni. Le acque incrostanti che vi sorgono hanno prodotto un mound con morfologia di fungo alto circa due metri con la pozza termale posizionata al suo apice (Lotti, 1910; Capezzuoli e Gandin, 2005) (Fig. 5b).

Valle dell'Albegna (GR): in quest'area sono presenti una serie di affioramenti posizionati a quote differenti (dai 700 m di Semproniano fino ai 120 m del fondovalle di Bagni di Saturnia; Fig. 5c) e contesti deposizionali molto diversi (Signorini, 1967a; Alberti et al., 1970; Dessau et al., 1972). Litologicamente vengono descritti da Martelli et al., (1989) come massicci o generalmente stratificati in banchi di spessore variabile. Le morfologie associate sono molto differenziate, variabili da forme con distin-



Fig. 4 - (a) Cava nei travertini di Pignano. (b) Il mound di Acqua Borra. (c) La fissure ridge di Terme San Giovanni presso Rapolano Terme. (d) Il pendio in travertino degradante verso il F. Orcia presso Bagno Vignoni.

ta superficie suborizzontale terrazzata (Montemerano, Saturnia; Barilaro et al., 2011), a duomi cupoliformi molto pronunciati (Semproniano; Jacobacci et al., 1967, Capezzuoli e Brogi, 2011) fino a corpi travertinosi del tutto privi di una propria morfologia (Marsiliana, Poggio Capalbiaccio). Su queste caratteristiche morfologiche e sulla loro posizione stratigrafica, Bosi et al. (1996) hanno ipotizzato che questi depositi si possano essere depositati attraverso un intervallo di tempo molto lungo, esteso probabilmente dal Messiniano fino all'Olocene.

La segnalazione di impronte di gasteropodi nei depositi di La Marsiliana, Magliano in Toscana, Poggio Capalbiaccio e Semproniano (Signorini, 1967a; Alberti et al., 1970) suggerisce locali condizioni lacustri.

Sistemi isolati: difficile riportare con completezza l'intera lista dei depositi di travertino toscani. Spesso, infatti, le ridotte estensioni li rendono invisibili ad una conoscenza cartografica a piccola scala. Fra i depositi segnalati nella cartografia geologica al 100.000 si ricordano gli affioramenti presso i Bagni di Momi (PI) (Dallan et al., 1969; Costantini et al., 2002), quelli dei Bagni delle Gallerie (SI) (Signorini, 1967b), quelli presenti nei dintorni di Gavorrano (GR) e connessi a fluidi endogeni legati alla locale intrusione quarzomonzonitica (Bertini et al., 1969), la placca dei Bagni di Roselle (GR) (Motta, 1969), gli

affioramenti di Castelnuovo dell'Abate (SI), San Casciano dei Bagni (SI) (Fig. 5d), l'affioramento di Pitigliano (GR) (Alberti et al., 1970) e di Sorano (GR) (Jacobacci et al., 1967).

## I TUFÀ

Per quanto riguarda i carbonati continentali derivati da acque di origine sia fluvio-palustri sia di sorgente carsica, nella letteratura anglosassone viene oggi principalmente utilizzato il termine *calcareous tufa* o tufa (Pedley, 1990; Ford e Pedley, 1996; Capezzuoli e Gandin, 2004), che deriva dalla parola latina "*tophus*" con cui Plinio indicava materiali da costruzione (calcarei o vulcanici) teneri e di facile estrazione (Ford e Pedley, 1996). Sempre Riding (1991) lo definisce come un carbonato molto poroso, la cui deposizione risulta fortemente influenzata dalla presenza di piante acquatiche.

Depositati di *calcareous tufa* sono generalmente presenti lungo molti corsi d'acqua caratterizzati da sorgenti derivanti da sistemi carsici sviluppati nei massicci calcarei mesozoici. In questo caso le acque vengono a giorno per cause idrogeologiche connesse a falde confinate oppure a differenti gradi di permeabilità dell'acquifero. Va sottolineato come i *calcareous tufa* si



Fig. 5 - (a) Travertini (la cosiddetta “Balena bianca” a causa della sua forma) lungo il Fosso Bianco di Bagni San Filippo. (c) Mound lungo il Torrente Farma. (d) Terrazzi di travertini in formazione presso i Bagni di Saturnia. (b) Parete di travertino rosato presso San Casciano dei Bagni.

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 chimico-fisiche, per diluizione e raffreddamento, sono diventate accessibili per la colonizzazione da parte di piante superiori (Ford e Pedley, 1996).

I lavori di Pedley (1990, 2009) e Ford e Pedley (1996) forniscono lo schema più completo per la classificazione delle litofacies dei *calcareous tufa* e dei corrispondenti sistemi depo-

sizionali.

(1) Fiumi: lungo il sistema fluviale, in funzione dell'energia del flusso, della morfologia valliva e dello sviluppo della vegetazione, si possono formare dighe calcaree e/o sbarramenti con depositi fitoermali, bioerme algali e stromatoliti, con lo sviluppo verso valle di cascate e verso monte di laghi anche molto estesi.

(2) Sorgenti sospese: nei casi di sorgenti isolate posizionate sui versanti di valli fluviali, si possono sviluppare terrazzi, solitamente di forma lobata, dalle quali le acque carbonatate scorro-

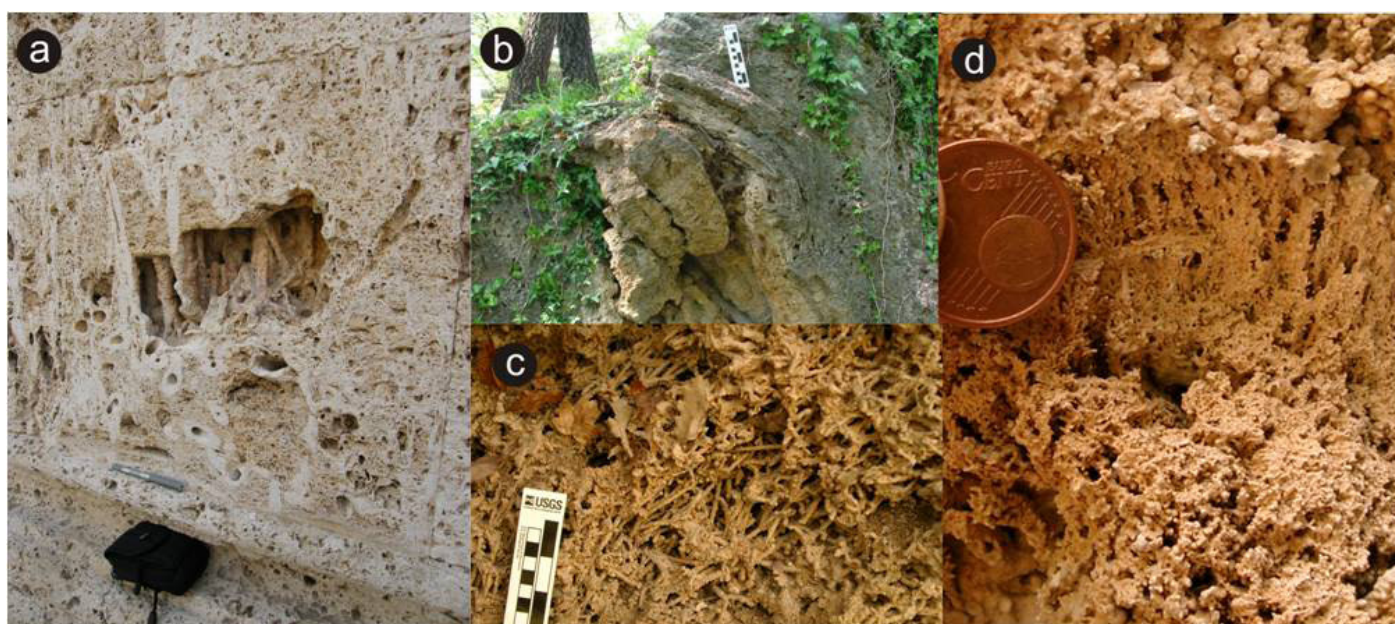


Fig. 6 - (a) tipico aspetto molto poroso di un blocco di calcareous tufa, caratterizzato da incrostazioni fitoermali (su supporti vegetali) senza una particolare stratificazione. (b) Struttura di cascata fossile evidenziata dalla stratificazione primaria incurvata (Colle val d'Elsa). (c) esempio di litofacies fitoclastica (accumulo macrovegetazionale di rami e foglie) molto porosa e poco stratificata. (d) esempio di calcareous tufa composto da un cuscino di briofite (muschio) incrostato. Notare come sono mantenuti i dettagli morfologici minori (micro foglie).

no verso il basso sotto forma di cascate.

(3) Paludi: nelle zone poco drenate di sistemi fluviali, si formano stagni o paludi intensamente colonizzati da macrofite, briofite alghe e batteri. Qui si formano *calcareous tufa* composti da bioerme algali, biblioliti, stromatoliti e sedimenti fitoclastici.

(4) Laghi: lungo le porzioni marginali di estesi corpi di acqua stagnante possono essere presenti estese colonie di batteri, alghe e macro-vegetazione sulle quali il carbonato precipita formando livelli laminari con sviluppo verticale talvolta potente.

La distribuzione di questi depositi nel territorio toscano appare strettamente legata alla immediata vicinanza di affioramenti calcarei della Falda Toscana (in particolare di Calcere Cavernoso). Da notare come vari depositi derivanti da sorgenti a basso termalismo (Valdelsa, Sarteano, Casciana Terme) sono in genere posizionati sui versanti occidentali dei bacini neogenico-quadernari.

Area di Monsummano-Montecatini Terme (PT): questi limitati depositi, sicuramente i più importanti per quanto riguarda la Toscana a Nord del Fiume Arno, sono connessi con le sorgenti termominerali presenti nell'area (Canevari, 1923; Carobbi e Cipriani, 1954; Trevisan et al., 1971) e vengono riferiti ad un generico Quaternario sulla base di ritrovamenti fossiliferi (Azzaroli, 1948; Bertini e Del Papa, 1961).

Casciana Terme (PI): la cittadina, situata sul versante orientale della dorsale peritirrenica, sorge su una delle due placche di carbonati presenti nell'area e legate ad una deposizione distale rispetto alle sorgenti termali presenti nella località (Dallan et al., 1969). Secondo Marroni et al. (1990) questi depositi si sono formati all'interno di due valli distinte e che, in seguito, per la maggiore competenza rispetto ai circostanti depositi argillosi pliocenici, hanno formato aree terrazzate secondo una dinamica di inversione del rilievo.

Valdelsa meridionale (SI): la porzione meridionale del Bacino della Valdelsa (area di Colle Val d'Elsa, SI) si caratterizza per la presenza una vasta superficie (oltre 52 km<sup>2</sup>) di depositi carbonatici continentali. Alcuni lavori monografici relativi agli

aspetti storici-geografici di questi depositi risalgono alla fine del XIX - primi anni del XX secolo (Lotti, 1893; Del Zanna, 1899a, 1899b, 1901; Cortese, 1934), ma il loro primo studio moderno si deve a Merla e Bortolotti (1967) che, nell'ambito della redazione del F°113 della Carta Geologica Nazionale alla scala 1:100.000, distinguono due unità: i Travertini antichi e i Travertini recenti. Successivi lavori sono stati dedicati alla trattazione di tematiche archeologiche (Capezzuoli e Gandin, 2004; Gandin et al., 2006), paleontologiche (Berzi, 1972; Manganelli e Giusti, 1993; Manganelli et al., 2005), geomorfologiche (Fazzuoli et al., 1982; Bartolini e Peccerillo, 2002), idrogeologiche (Barazzuoli et al., 2002) e pedologiche (Costantini e Carnicelli, 1986; Priori et al., 2008). Sulla base della loro disposizione morfologica in terrazzi sui principali corsi d'acqua della zona (F. Elsa, T. Staggia), i depositi carbonatici della Valdelsa sono stati suddivisi in sintemi fluvio-palustri-lacustri e datati al Pleistocene Medio-Olocene (Capezzuoli e Sandrelli, 2003, 2004, 2006; Capezzuoli et al., 2007, 2008, 2009, 2010; Bertini et al., 2009). Localmente i depositi sono tuttora in formazione (Fig. 7a).

Asciano (SI): l'abitato di Asciano è costruito su una serie di superfici terrazzate dalla quota di 240 m s.l.m. fino all'attuale piana alluvionale del Fiume Ombrone (140 m) e costituite principalmente da tufa fitoermali e micritici (Fig. 7b). Essi rappresentano la deposizione distale delle acque termali sgorganti nell'area di Serre di Rapolano e che si depositavano in ambienti palustri e di cascata (Capezzuoli et al., 2009).

Area di Massa Marittima (GR): sono presenti estese placche in facies prevalentemente stromatolitica, fitoermale e fitoclastica (Costantini et al., 2004) (Fig. 7c). La maggioranza di questi depositi è generalmente posizionata a quote elevate sul fondovalle (oltre 500 m a Massa Marittima e sul M. Arsentini), e spessori anche di 70 metri. Sulla base di reperti vegetali, Brandi et al. (1968) li attribuiscono al Villafranchiano superiore. Sul fondovalle del F. Pecora sono presenti depositi formati da litofacies simili, ma di età più recente (Pleistocene Medio/Superiore; Costantini et al., 2004, Benvenuti et al., 2009). Tutti questi depositi

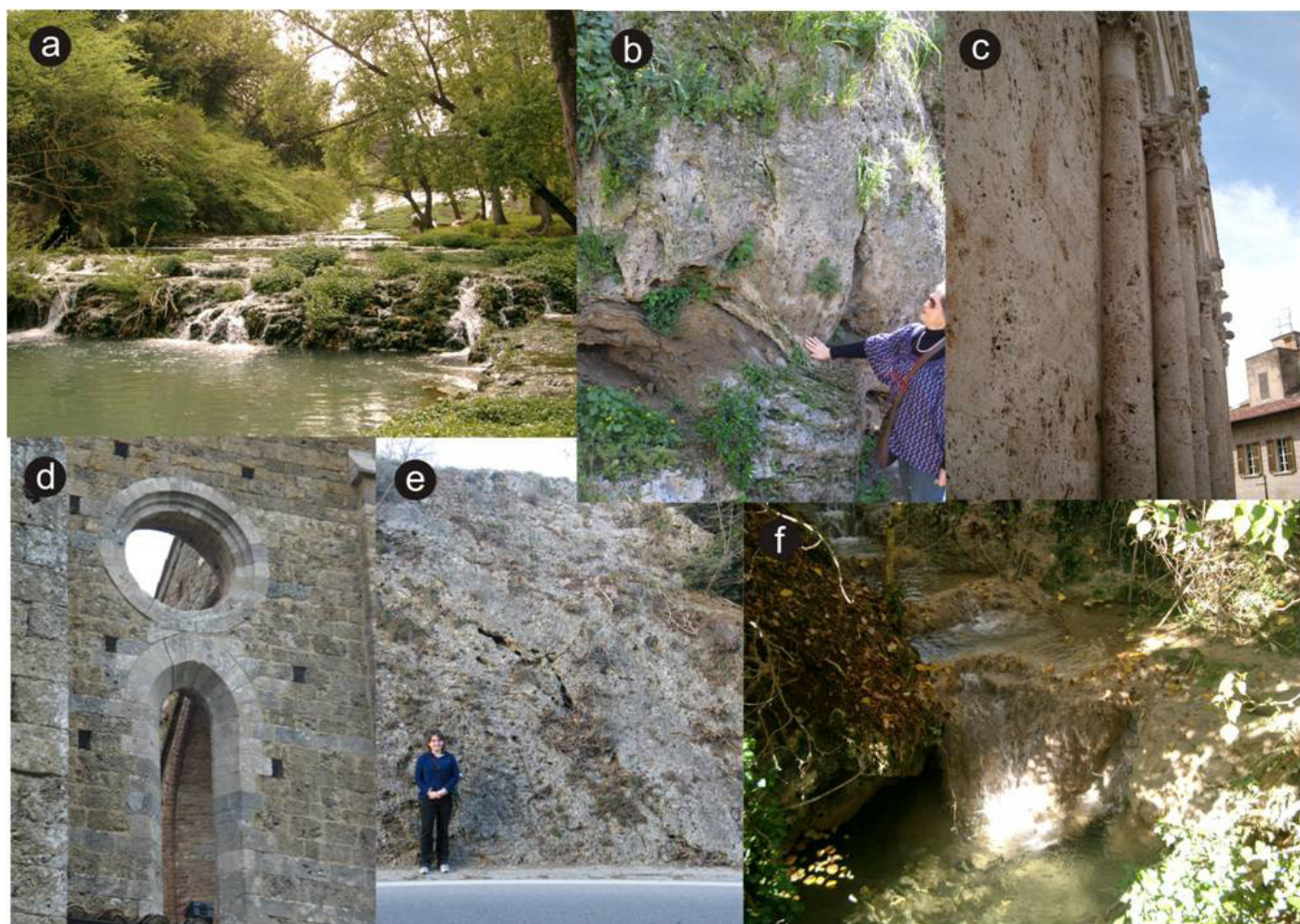


Fig. 7 - (a) Tufa in formazione lungo il Fiume Elsa presso Colle Val d'Elsa. (b) Depositi di calcareous tufa con morfologie di sbarramenti fluviali nei depositi di Asciano. (c) Particolare della facciata della medievale Cattedrale di Massa Marittima, costruita con porosi blocchi di tufa locali. (d) Dettaglio di una monofora dell'Abbazia di San Galgano presso Chiusdino. Da notare l'uso dei tufa (scuro e poroso) come prevalente pietra da costruzione (struttura portante) e, invece, del travertino (chiaro e compatto) come materiale lapideo di pregio (porzioni ornamentali delle finestre). (e) Sezione di una cascata fossile nel terrazzo superiore del deposito di Sarteano. (f) Incrostazione attiva con formazione di piccole cascatelle in un piccolo corso d'acqua presso Castellina in Chianti.

si caratterizzano per un elevato contenuto geochimico in Arsenico, probabilmente connesso alla circolazione di fluidi mineralizzanti arricchiti in questo elemento durante le fasi di deposizione (Costagliola et al., 2009).

Chiusdino-Frosini (SI): lungo il versante sinistro del Fiume Merse, poco a sud di Chiusdino (SI), sono presenti alcune terrazze fluviali costituiti da *calcareous tufa*. Questi depositi, usati anche per la costruzione della locale Abbazia cistercense di San Galgano (Fig. 7d), vengono descritti da Signorini (1967b) come "... spugnosi, terrosi o sabbiosi, talora compatti, di colore bianco, grigiastro o giallino, talora con conchiglie di acqua dolce..." e li attribuisce genericamente ad un'età quaternaria. Piccoli affioramenti sono segnalati anche nei depositi messiniani della limitrofa area di Frosini (Sandrelli et al., 2003).

Sarteano (SI): sul versante orientale del Monte Cetona, i depositi di Sarteano occupano una superficie di oltre 10 km<sup>2</sup> (Passerini, 1964; Jacobacci et al., 1967, 1969). Il centro storico e vari quartieri dell'abitato di Sarteano sono costruiti su questi depositi che costituiscono un grande sistema di sorgente sospesa derivante da locali sorgenti a basso termalismo tuttora attive e vanno a formare tre grandi terrazzi (Fig. 7e) degradanti verso il fondovalle del Torrente Astore con un dislivello di circa 200 m

(Brogi et alii, 2012). Altri sistemi simili sono presenti subito a sud, nei dintorni dell'abitato di Cetona (Poggio Belverde) con evidenze di frequentazione paleolitica ed etrusca.

Sistemi isolati: la cartografia geologica al 100.000 e le relative note illustrative segnalano piccolissimi affioramenti originati da sorgenti carbonatate a Vallina (PO), Legri (FI) e Montemurlo (FI) nei dintorni di Firenze (Merla et al., 1967), nei Monti del Chianti presso Castellina in Chianti (SI) (Merla e Bortolotti, 1967; Capezzuoli et al., 2007; Fig. 7f), a NNE di Caprese Michelangelo (AR) (Jacobacci et al., 1970), nella parte inferiore del Fiume Merse presso Orgia (SI), le Potatine (SI) (Signorini, 1967b) e Iesa (SI) (Capezzuoli et al., 2003), vicino a Chianciano Terme-Sant'Albino (SI) (Jacobacci et al., 1967), nei dintorni di Follonica (GR) e di Poggio Palone (GR) (Bertini et al., 1969), depositi con gasteropodi di acque dolci nei dintorni di Civitella Paganico (GR) (Motta, 1969).

## CONCLUSIONI

Lo studio sistematico dei corpi carbonatici continentali attivi e fossili esistenti in Toscana offre importanti opportunità



per l'individuazione e la definizione delle caratteristiche idrologiche e geochimiche delle sorgenti del passato e l'influenza paleoclimatica, paleoambientale, paleoidrologica e neotettonica registrata. I primi lavori di dettaglio effettuati (Brogi e Capezzuoli, 2009; Brogi et alii, 2010; 2012; Capezzuoli et al., 2010) hanno dimostrato l'efficacia di queste ricerche e confermato le enormi potenzialità di queste litologie nei campi paleoclimatico e neotettonico. Le nuove ricerche multidisciplinari attualmente in fase di attuazione, ovviamente imprescindibili da un appropriato approccio sedimentologico-petrografico, hanno lo scopo di approfondire e dettagliare queste informazioni.

## REFERENCES

- AA.VV. (1988) - Il travertino di Siena – Travertine from Siena. Al.Sa.Ba. Grafiche, Siena, pp. 95.
- Alberti A., Bertini M., Del Bono G.L., Nappi G., Salvati L. (1970) - Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, F. 136 "Tuscania", F. 142 "Civitavecchia", Servizio geologico d'Italia, Ercolano (Napoli).
- Azzaroli A. (1948) - Osservazioni sulla tettonica dell'Alta Val di Nievole e delle zone adiacenti della Catena del Monte Albano. Bollettino della Società Geologica Italiana, 67, 143-159.
- Barazzuoli P., Costantini A., Grassi S., Lazzarotto A., Micheluccini M., Piantelli F., Salleolini M., Sandrelli F., Squarci P., Taffi L., Veronesi G., (1987) - L'energia geotermica nella Provincia di Siena: studi e ricerche per l'individuazione e lo sfruttamento non elettrico dei fluidi a medio e bassa temperatura per il territorio comprendente i Comuni di Siena, Castelnuovo Berardenga, Asciano e Rapolano terme. Amministrazione Provinciale di Siena, 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). Bollettino della Società Geologica Italiana, 110, 3-14.
- Barazzuoli P., Mocenni B., Rigati R., Salleolini M. 2002. Studio idrogeologico dei rapporti tra acque superficiali e profonde nella zona di Graciano dell'Elsa (Prov. di Siena). Quaderni di Geologia Applicata, 9, 97-95.
- Barilaro F., Della Porta G., Capezzuoli E. (2011) - Sedimentology and petrography of hot-spring travertine deposits in the Albegna Valley, Southern Tuscany (Central Italy). Epitome, 4, 305.
- Bartolini C., Peccerillo A. (2002) - I fattori geologici delle forme del rilievo. Lezioni di Geomorfologia Strutturale. Pitagora Editrice, Bologna, 216 pp.
- Benvenuti M.G., Benvenuti M., Costagliola P., Tanelli G., 2009. Quaternary evolution of the Pecora River (southern Tuscany, Italy): paleohydrography and sediments provenance. Italian Journal of Geosciences 128, 61-72.
- Bertini A., Brogi A., Capezzuoli E., Carrara C., Ricci M. (Eds.) (2009) - Travertini e calcareous tufa quaternari della Toscana centrale. Guida Escursione AIQUA, 26 Giugno 2009.
- Bertini A., Minissale A., Ricci M. (2008) - Use of quaternary travertines of central-southern Italy as archives of paleoclimate, paleohydrology and neotectonics. Italian Journal of Quaternary Sciences, 21, 99-112.
- Bertini M., Centamore E., Jacobacci A., Nappi G. (1969) - Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, F. 127 Piombino. Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- Bertini V., Del Papa R. (1961) - Contributo alla conoscenza delle faunole delle acque termominerali di Montecatini. Atti Società Toscana Scienze Naturali, serie B, 68.
- Berzi A. (1972) - An early Middle Pleistocene fauna at Monte Oliveto (S. Gimignano, Siena, Italy). Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia, 68, 29-33.
- Borgna A., Brogi A., Fabbrini L., Liotta D. (2009) - Strutture tettoniche potenzialmente attive: la fessure ridge di Bagni San Filippo (Monte Amiata). Rendiconti online Società geologica Italiana, 5, 39.
- Bosi C., Messina P., Rosati M., Sposato A. (1996) - Età dei travertini della Toscana meridionale e relative implicazioni neotettoniche. Memorie della Società Geologica Italiana, 51, 293-304.
- Bossio A., Cerri R., Costantini A., Gandin A., Lazzarotto A., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatorini G., Sandrelli F. (1992) - Il Bacino di Volterra. In: I bacini distensivi neogenici e quaternari della Toscana. Guida alle Escursioni post-congresso, 76° Riunione estiva SGI "L'Appennino Settentrionale", Escursione B4, 244-270.
- Bossio A., Cerri R., Mazzei R., Salvatorini G., Sandrelli F. (1994) - The neoautochthonous succession of the Spicchiola-Pignano area, East of Volterra (Southern Tuscany, Italy). Memorie della Società Geologica Italiana, 48, 425-430.
- Bossio A., Cerri R., Mazzei R., Salvatorini G., Sandrelli F. (1996) - Geologia dell'area Spicchiola-Pignano (settore orientale del Bacino di Volterra). Bollettino della Società Geologica Italiana, 115, 393-422.
- Brandi G.P., Dallan L., Lazzarotto A., Mazzanti R., Squarci P., Taffi L., Trevisan L. (1968) - Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, F. 119, Massa Marittima. Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- Brogi A. (2002) - Relazione tra strutture distensive Neogenico-Quaternarie ed i depositi di travertino nell'area di Rapolano Terme (Appennino Settentrionale). Atti Ticinensi di Scienze della Terra, 43, 41-54.
- Brogi A. (2004) - Faults linkage, damage rocks and hydrothermal fluid circulation: tectonic interpretation of the Rapolano Terme travertines (southern Tuscany, Italy) in the context of the Northern Apennines Neogene-Quaternary extension. Eclogae Geologicae Helveticae, 97, 307-320.
- Brogi A., Capezzuoli E. (2006) - La fessure-ridge di travertino delle Terme di S. Giovanni (Rapolano Terme, Toscana meridionale) e sue implicazioni tettoniche. Rendiconti della Società Geologica Italiana, 2, 90-94.
- Brogi A., Capezzuoli E. (2009) - Travertine deposition and faulting: the fault-related travertine fessure-ridge at Terme S. Giovanni, Rapolano Terme (Italy). International Journal of Earth Sciences, 98, 931-947.
- Brogi A., Capezzuoli E., Aquè R., Branca M.E., Voltaggio M. (2007) - Evidenze di tettonica sin-deposizionale nei travertini pleistocenici della Cava Oliviera, Serre di Rapolano (Siena, Toscana meridionale). Rendiconti della Società Geologica Italiana, 4, Nuova Serie, 151-155.
- Brogi A., Capezzuoli E., Aquè R., Branca M., Voltaggio M. (2010) - Studying travertines for neotectonics investigations: Middle-Late Pleistocene syn-tectonic travertine deposition at Serre di Rapolano (Northern Apennines, Italy). International Journal of Earth Sciences, 99, 1383-1398.
- Brogi A., Capezzuoli E., Buracchi E., Branca M. (2012) - Tectonic control on travertine and calcareous tufa deposition in a low-temperature geothermal system (Sarteano, Central Italy). Journal of the Geological Society, London, 169, 461-476.
- Brogi A., Capezzuoli E., Costantini A., Gandin A., Lazzarotto A. (2005) - Tectonics and travertines relationship in the Rapolano Terme area (Northern Apennines, Italy). In: Ozkul, M., Yagiz, S., Jones, B. (Eds.), Proceedings of the 1st International Symposium on Travertine, 2005, Pamukkale University, Denizli, 149-154.
- Brogi A., Capezzuoli E., Gandin A. (2007b) - I travertini delle Terme di S. Giovanni (Rapolano Terme, Appennino Settentrionale) e loro implicazione neotettonica. Il Quaternario, 20, 107-124.
- Brogi A., Costantini A., Lazzarotto A. (1999) - Carta geologica dell'area di Rapolano Terme (scala 1:100.000). SELCA, Firenze.
- Brogi A., Liotta D. (2008) - Highly extended terrains, lateral segmentation of the substratum and basin development: the Middle-Late Miocene Radicondoli Basin (Inner Northern Apennines, Italy). Tectonics, doi:10.1029/2007TC002188.
- Canevari M. (1923) - Le sorgenti di Montecatini di fronte alla Geologia. Giornale Di Geologia Pratica, 18.
- Capezzuoli E., Brogi A. (2011) - First example of banded travertine from Italy – the fessure ridge of Semproniano (Grosseto – Italy). Epitome, 4, 243.
- Capezzuoli E., Brogi A., Ricci M., Bertini A. (Eds.) (2011) - Travertines and calcareous tufa in Southern Tuscany (Central Italy). Field Trip Guide book of ISTT (International school of travertine and tufa), Abbadia San Salvatore, Ed. Il Campano (Pisa), 66 pp.
- Capezzuoli E., Costantini E.A.C., Gandin A., Priori S., Sandrelli F. (2007) - Facies e assetto stratigrafico dei depositi carbonatici-continentali della Valdelsa durante il Quaternario. In: Sandrelli, F., Aldinucci, M., Capezzuoli, E. (Eds.), I carbonati continentali quaternari ed i depositi fluviali e marino-costieri piacentani della Valdelsa: Facies, ambienti deposizionali ed architettura stratigrafico – sequenziale. Guida all'escursione GEOSed, pp. 23-40, Siena, 24-28 settembre 2007.

- Capezzuoli E., Gandin A. (2004) - Le stele etrusche dell'Alta Val d'Elsa: i caratteri litologici. In: Ciacci, A. (Ed.), *Monteriggioni-Campassini. Un sito etrusco in Alta Val d'Elsa*. Ed. All'Insegna del Giglio, Firenze.
- Capezzuoli E., Gandin A. (2004) - I "travertini" in Italia: proposta di una nuova nomenclatura basata sui caratteri genetici. *Il Quaternario*, 17, 273-284.
- Capezzuoli E., Gandin A. (2005) - Facies distribution and microfacies of thermal-spring travertine from Tuscany. In: Ozkul, M., Yagiz, S., Jones, B. (Eds.), *Proceedings of the 1st International Symposium on Travertine, 2005*, Pamukkale University, Denizli, 43-50.
- Capezzuoli E., Gandin A., Pedley H.M. (2009) - Travertine and Calcareous tufa in Tuscany (Central Italy). In: Pascucci, V., Andreucci, S. (Eds.), *Field Trip Guide Book, Pre-conference trip FT7, 27th IAS Meeting of Sedimentology*, Alghero, 2009, pp. 129-158.
- Capezzuoli E., Gandin A., Pedley H.M., Sandrelli F. (2007) - Fluvial barrage calcareous tufa systems as potential markers of quaternary uplift in Southern Tuscany: a case from the Chianti Hills. *Atti del Convegno GEOSed*, Siena, 2007.
- Capezzuoli E., Gandin A., Sandrelli F. (2004) - Neogene-Quaternary continental carbonates: the Quaternary deposits of Valdelsa and the Miocene travertines of Pignano (Volterra). In: Morini, D., Bruni, P. (Eds.), *The "Regione Toscana" project of geological mapping: case histories and data acquisition*. Regione Toscana, Firenze, 89-96.
- Capezzuoli E., Gandin A., Sandrelli F. (2008) - Evidence of associated deposition of travertine and calcareous tufa in the Quaternary carbonates of Valdelsa Basin (Tuscany). *Il Quaternario*, 21, 113-124.
- Capezzuoli E., Gandin A., Sandrelli F. (2010) - Calcareous tufa as indicators of climatic variability: a case from the Southern Tuscany (Italy). In: Pedley, M., Rogerson, M. (Eds.), *Tufas, Speleothems and Stromatolites: Unravelling the Physical and Microbial Controls*. Geological Society, London, Special Publications, 336, 263-281.
- Capezzuoli E., Gandin A., Scotti L., Abdelahad N., Pascucci V. (2003) - Esempio di "perched springlike calcareous tufa" in Toscana meridionale: la cascata di La Pigna presso Monticiano. *Atti del Convegno GeoSed 2003*, Alghero, 51-54.
- Capezzuoli E., Priori, S., Costantini, E.A.C., Sandrelli, F. (2009) - Stratigraphic and paleopedological aspects from the Middle Pleistocene continental deposits of the southern Valdelsa Basin. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 128, 395-402.
- Capezzuoli E., Sandrelli F. (2003) - Geology of the southern part of the Valdelsa Basin: the quaternary lacustrine carbonates and *calcareous tufa* of Colle Val d'Elsa (Siena, Italy). *Proceedings of the IV European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems*, Bologna, 28-29.
- Capezzuoli E., Sandrelli F. (2004) - I sedimenti quaternari del settore meridionale della Valdelsa (Provincia di Siena). *Il Quaternario*, 17, 33-40.
- Capezzuoli E., Sandrelli F. (2006) - Neotectonic evidence in the Quaternary continental carbonates from Southern Valdelsa Basin (Tuscany). *Il Quaternario*, 19, 155-166.
- Carmignani L., Decandia F.A., Fantozzi P.L., Lazzarotto A., Liotta D., Meccheri M. (1994) - Tertiary Extensional Tectonics in Tuscany (Northern Apennines, Italy). *Tectonophysics*, 238, 295-315.
- Carmignani L., Decandia F.A., Disperati L., Fantozzi P.L., Kligfield R., Lazzarotto A., Liotta D., Meccheri M. (2001) - Inner Northern Apennines. In: Vai, G.B., Martini, I.P. (Eds.), *Anatomy of an Orogen: the Apennines and adjacent, Mediterranean basin*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 197-214.
- Carobbi G., Cipriani G. (1954) - Ricerche geologiche sulle acque di Montecatini Terme (Pistoia). *Rendiconti della Società Mineralogica Italiana*, 10.
- Carrara C., Ciuffarella L., Paganin G. (1998) - Inquadramento geomorfologico e climatico-ambientale dei travertini di Rapolano Terme (SI). *Il Quaternario*, 11, 319-329.
- Chafetz H.S., Folk R.L. (1984) - Travertines: depositional morphology and the bacterially constructed constituents. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54, 289-316.
- Cipriani N., Ercoli A., Malesani P., Vannucci S. (1972) - I travertini di Rapolano Terme (Siena). *Memorie della Società Geologica Italiana*, 11, 31-46.
- Cortese E. (1934) - Un deposito lacustre presso Colle Val d'Elsa. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 32, 133-134.
- Costagliola P., Benvenuti M.M., Benvenuti M.G., Di Benedetto F., Lattanzi P. (2009) - Quaternary sediment geochemistry as a proxy for toxic element source: A case study of arsenic in the Pecora Valley (southern Tuscany, Italy). *Chemical Geology*, doi:10.1016/j.chemgeo.2009.11.007.
- Costantini A., Lazzarotto A., Liotta D., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatorini G.F. (2004) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 306: Massa Marittima. Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali, Servizio Geologico d'Italia, pp. 170.
- Costantini A., Lazzarotto A., Liotta D., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatorini G.F., Sandrelli F. (2002) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 285: Volterra. Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali, Servizio Geologico d'Italia, pp. 149.
- Costantini E.A.C., Carnicelli S. (1986) - Forme e suoli della superficie strutturale calcarea di Campiglia dei Foci (Siena). *Annali dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo*, 17, 68-87.
- Dallan L., Raggi G., Squarci P., Taffi L., Trevisan L. (1969) - Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, F. 112 Volterra. Servizio geologico d'Italia, Roma.
- Del Zanna P. (1899a) - I laghi di S. Antonio in Provincia di Siena. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 18, 281-288.
- Del Zanna P. (1899b) - I fenomeni carsici nel bacino dell'Elsa. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 18, 315-323.
- Del Zanna P. (1901) - I travertini di Colle e le incrostazioni attuali dell'Elsa. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 20, 20-34.
- Dessau G., Duchi G., Steu B. (1972) - Geologia e depositi minerali della zona Monti Romani-Montete (comuni di Manciano e Capalbio, Grosseto) ed Ischia di Castro (Viterbo). *Memorie della Società Geologica Italiana*, 11, 217-260.
- Fazzuoli M., Garzonio C.A., Rodolfi G., Vannocci P. (1982) - Lineamenti geologici e geomorfologici dei dintorni di San Gimignano. *Annali dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo*, 13, 169-203.
- Folk R., Chafetz H.S., Tiezzi P.A. (1985) - Bizarre forms of depositional and diagenetic calcite in hot-spring travertines, Central Italy. In: Schnei-Dermann, 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 Science Reviews*, 41, 117-175.
- 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-soluble geochemistry of travertine-depositing hot spring (Angel Terrace, Mammoth Hot Spring, Yellowstone National Park, U.S.A.). *Journal of Sedimentary Research*, 70, 565-585.
- Gandin A., Capezzuoli E. (2008) - Travertine versus Calcareous tufa: distinctive petrologic features and stable isotopes signatures. *Il Quaternario*, 21, 125-136.
- Gandin A., Capezzuoli E., Ciacci A. (2006) - The stone of the inscribed Etruscan stelae from the Valdelsa area (Siena, Italy). In: Maggetti, M., Messiga, B. (Eds.), *Geomaterials in Cultural Heritage*. Geological Society, London, Special Publications, 257, 273-282.
- 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.
- Gonfiantini R., Panichi C., Tongiorgi E. (1968) - Isotopic disequilibrium in travertine deposition. *Earth and Planetary Science Letters*, 5, 55-58.
- Gosse L.A. (1820) - Account of a visit made to the baths of St. Filippo in Tuscany, with a description of the mode of forming stone medallions in bassorilievo from the waters of the spring. *Edinburgh Philosophical Journal*, 2, 290-300.
- Guo L., Riding R. (1992) - Micritic aragonite laminae in hot water travertine crusts, Rapolano Terme, Italy. *Sedimentology*, 39, 37-53.
- Guo L., Riding R. (1994) - Origin and diagenesis of Quaternary travertine shrub fabrics, 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 changes in Holocene fissure ridge hot spring travertines, Rapolano Terme, Italy. *Sedimentology*, 46, 1145-1158.

- 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.
- Jacobacci A., Bergomi C., Centamore E., Malatesta A., Malferrari N., Martelli G., Pannuzi L., Zattini N. (1970) - Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, F. 115 "Città di Castello, "122" Perugia e "130" Orvieto. Servizio Geologico d'Italia, Ercolano (Napoli).
- Jacobacci A., Malatesta A., Martelli G. (1969) - Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, F. 121 Montepulciano, Servizio geologico d'Italia, Ercolano (Napoli).
- Jacobacci A., Martelli G., Nappi G. (1967) - Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, F. 129 S. Fiora. Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- Losacco U. (1951) - La struttura del territorio di Rapolano e Lucignano. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 70, 402-434.
- Losacco U. (1959) - Ricerche geologiche nella Toscana Meridionale. II - Affioramenti mesozoici nella media Val d'Orcia: Bagno Vignoni, Rocca d'Orcia, Ripa d'Orcia e Pienza (Siena). *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 78, 101-120.
- Lotti B. (1893) - Il regime sotterraneo delle sorgenti dell'Elsa in provincia di Siena. *Boll. Com. Geol.*, 3, Roma.
- Lotti B. (1910) - Geologia della Toscana. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, 13, Roma.
- Malesani P., Vannucci S. (1975) - Precipitazione di calcite o di aragonite dalle acque termominerali in relazione alla genesi e all'evoluzione dei travertini. *Atti dell'Accademia Nazionale dei Lincei*, 58, 761-776.
- Manganelli G., Giusti F., 1993. *Notulae malacologicae*, XLV. Fossil *parmacellidae* from Italy. *Arch. Molluskenkunde*, 121, 143-156.
- Manganelli G., Benocci A., Capezzuoli E., Giusti F. (2005) - *Pseudotachea Boettger*, 1909 (Gastropoda: Pulmonata, Helicidae) from the non-marine Middle Pleistocene of the Valdelsa Basin (central Italy). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 44, 117-125.
- Marroni M., Mazzanti R., Nencini C. (1990) - Geologia e morfologia delle Colline Pisane. *Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno*, 11, Supplemento 1, 1-40.
- Martelli L., Moratti G., Sani F. (1989) - Analisi strutturale dei travertini della Toscana meridionale (Valle dell'Albegna). *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 108, 197-205.
- Merla G., Bortolotti V. (1967) - Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, F. 113 Castelfiorentino. Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- Merla G., Bortolotti V., Passerini P. (1967) - Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, F. 106 Firenze. Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- Minissale A. (2004) - Origin, transport and discharge of CO<sub>2</sub> in central Italy. *Earth Science Reviews*, 66, 89-141.
- Minissale A., Vaselli O., Tassi F., Magro G., Grechi G.P. (2002) - Fluid mixing in carbonate aquifer near Rapolano (central Italy): chemical and isotopic constraints. *Applied Geochemistry*, 17, 1329-1342
- Minissale A., Sturchio N.C. (2004) - Travertines of Tuscany and Latium (Central Italy). *Field Trip Guide Book P25*. In: Guerrieri, L., Rischia, I., Serva, L. (Eds.), *Field Trip Guide Books*, 32<sup>nd</sup> International Geological Conference, Florence.
- Motta S. (1969) - Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, F. 128 Grosseto. Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- Pantanelli D. (1875) - Sui travertini della Provincia di Siena. *Società Toscana di Scienze Naturali*, 4-7.
- Pascucci V., Martini I.P., Sagri M., Sandrelli F. (2007) - Effects of the transverse structural lineaments on Neogene-Quaternary in Tuscany (inner Northern Apennines, Italy). In: Nichols, G., Paola, C., Williams, E.A. (Eds.), *Sedimentary processes, environments and basins - A tribute to Peter Friend*. IAS, Special publication, 37, 155-183.
- Passerini P. (1964) - Il Monte Cetona (Provincia di Siena). *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 83, 219-238.
- Pedley H.M. (1990) - Classification and environmental models of cool freshwater tufas. *Sedimentary Geology*, 68, 143-154.
- Pedley H.M. (2009) - Tufas and travertines of the Mediterranean region: a testing ground for freshwater carbonate concepts and developments. *Sedimentology*, 56, 221-246.
- Pentecost A. (1994) - Formation of laminate travertines at Bagno Vignone, Italy. *Geomicrobiology Journal*, 12, 239-251.
- Pentecost A. (1995) - The quaternary travertine deposits of Europe and Asia Minor. *Quaternary Science Reviews*, 14, 1005-1028.
- Pentecost A. (2005) - *Travertine*. Springer, Berlin.
- Priori S., Costantini E.A.C., Capezzuoli E., Protano, G., Hilgers A., Sauer D., Sandrelli F. (2008) - *Pedostratigraphy of Terra Rossa and Quaternary geological evolution of a lacustrine limestone plateau in central Italy*. *Journal of Plant nutrition and Soil Science*, 171, 509-523.
- Riding R. (1991) - Classification of Microbial Carbonates. In: Riding, R. (Ed.), *Calcareous algae and stromatolites*. Springer-Verlag, 21-51.
- 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.
- Sagri M., Martini I.P., Pascucci V. (2004) - Sedimentology and tectonic evolution of selected Neogene-Quaternary basins of the Apennines (Italy). In: Guerrieri, L., Rischia, I., Serva, L. (Eds.), *Field Trip Guide Books*, 32<sup>nd</sup> International Geological Conference.
- Sandrelli F. (2001) - Eastern sector of the Volterra basin. *Ofoliti*, 26, 371-380.
- Sandrelli F., Gandin A., Capezzuoli E. (2003) - Un episodio di sedimentazione carbonatica nel Messiniano superiore sul margine centro-orientale del Bacino di Radicondoli-Chiusdino (Toscana meridionale): i Calcari di Podere La Ripa. *Atti del Convegno GeoSed 2003*, 55-60, Alghero.
- Signorini R. (1967a) - Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, F.135 Orbetello. Servizio geologico d'Italia, Roma.
- Signorini R. (1967b) - Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, F.120 Siena. Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- Trevisan L., Brandi G.P., Dallon L., Nardi R., Raggi G., Rau A., Squarci P., Taffi L., Tongiorgi M. (1971) - Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, F. 105 Lucca. Servizio geologico d'Italia, Roma.