

SOCIETÀ TOSCANA
DI

Strumenti **M**atematici

RESIDENTE IN PISA

GIOVANNI ARCANGELI E SIGISMONDO DE BOSNIASKI
DUE ILLUSTRI SCIENZIATI "CITTADINI"
DI SAN GIULIANO TERME

SUPPLEMENTO AGLI ATTI, VOLUME CXXIX - 2022

A cura di
Paolo Roberto Federici e Roberto Narducci



Villa Poschi (Pugnano di San Giuliano Terme)
Sabato 9 aprile 2022



GIOVANNI ARCANGELI e SIGISMONDO DE BOSNIASKI
DUE ILLUSTRI SCIENZIATI "CITTADINI" di SAN GIULIANO TERME

Programma della manifestazione

- Ore 9,30** Apertura del Convegno: Comune di San Giuliano Terme
Saluti delle Istituzioni
- Ore 9,50** Presentazione del Convegno (P. R. Federici, Presidente della Società Toscana di Scienze Naturali)
- Ore 10,00** L. Raffaelli, Lettura di uno scritto del 1915 del giornalista Mario Razzi su Sigismondo De Bosniaski
- Ore 10,15** W. Landini, I pesci fossili della collezione di De Bosniaski nei Monti Livornesi
- Ore 10,45** C. Montomoli, La geologia del M. Pisano oggi, dopo le scoperte di De Bosniaski e la comparsa delle teorie mobiliste
- Ore 11,15** P.R. Federici, Sigismondo De Bosniaski e Il Monte Pisano in Toscana.
- Ore 11,45** Video su Giovanni Arcangeli
- Ore 12,10** G. Bedini, Giovanni Arcangeli, scienziato, maestro e cittadino
- Ore 12,45** Conversazione con il pubblico
- Intervallo**
- Ore 14,30** F. Garbari, Fondazione e storia dell'Orto Botanico di Pisa, il più antico del mondo?
- Ore 15,00** L. Peruzzi, Arcangeli e l'Orto Botanico di Pisa
- Ore 15,30** R. Narducci, Arcangeli micologo
- Ore 16,00** Conversazione con il pubblico
- Chiusura del Convegno**

*Organizzato dal Comune di San Giuliano Terme e
dalla Società Toscana di Scienze Naturali residente in Pisa
con la collaborazione dei Dipartimenti di Biologia e di Scienze della Terra, dell'Orto Botanico
e del Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa.*

INDICE - INDEX

Prefazione - <i>Preface</i>	pag. 7
Presentazione - <i>Introduction</i>	pag. 9
Da Cracovia a San Giuliano: Sigismondo De Bosniaski medico e naturalista <i>From Krakow to San Giuliano: Sigismondo de Bosniaski, physician and naturalist</i> Lucia M. Raffaelli	pag. 11
I pesci fossili del Miocene superiore dei Monti Livornesi: l'intensa e controversa ricerca di Sigismondo De Bosniaski <i>The fossil fishes from Upper Miocene of the Leghorn Mountains: the intense and controversial research of Sigismondo De Bosniaski</i> Walter Landini	pag. 17
Sigismondo De Bosniaski e il Monte Pisano in Toscana <i>Sigismondo De Bosniaski and the Mount Pisano in Tuscany</i> Paolo Roberto Federici	pag. 23
La geologia dei Monti Pisani: evoluzione delle conoscenze <i>The geology of the Pisani Mts.: evolution of knowledge</i> Chiara Montomoli	pag. 33
Giovanni Arcangeli, scienziato, maestro, cittadino <i>Giovanni Arcangeli, scientist, master, citizen</i> Gianni Bedini	pag. 41
Fondazione e storia dell'Orto botanico di Pisa, il più antico del mondo? <i>Foundation and history of the Botanical Garden of Pisa, the oldest in the world?</i> Fabio Garbari	pag. 49
Giovanni Arcangeli micologo <i>Giovanni Arcangeli mycologist</i> Roberto Narducci	pag. 59

CHIARA MONTOMOLI ⁽¹⁾

LA GEOLOGIA DEI MONTI PISANI: EVOLUZIONE DELLE CONOSCENZE

Abstract - C. MONTOMOLI, *The geology of the Pisani Mts.: evolution of knowledge.*

The geology of Pisani Mts. has been known through scientific researches started two centuries ago. Even if the Mounts are a small massif many researchers focused on the study of both stratigraphic and sedimentological evolution of the siliciclastic sequence spectacularly cropping out, known as “Verrucano”. In this paper we present the main geological features of the massif and we discuss the orogenic theories that contributed to the knowledge of its geological history. We also focus on the important contribution that Sigismondo De Bosniaski, naturalist and fossil collector, gave to the geological setting of the Pisani Mts., thanks to his findings of important fossiliferous sites in the area and to his paleontological collection made by thousands of specimens nowadays stored in different museums. De Bosniaski took part to the long-lasting scientific debate regarding the age of the “Verrucano” that started at the end of the nineteenth century and protracted to the second half of the twentieth century.

Key words - Pisani Mounts, Verrucano, Monte Serra Unit, Santa Maria del Giudice Unit, Tuscan Nappe, Northern Apennines

Riassunto - C. MONTOMOLI, *La geologia dei Monti Pisani: evoluzione delle conoscenze.*

La geologia dei Monti Pisani è frutto di ricerche scientifiche iniziate due secoli fa. Pur costituendo un piccolo massiccio ha attirato per oltre due secoli l'attenzione di molti ricercatori per lo studio stratigrafico e sedimentologico della successione silicoclastica affiorante, nota come “Verrucano”. In questo lavoro vengono delineati gli aspetti principali della geologia del massiccio e viene ripercorso un *escursus* storico riassumendo le principali teorie orogenetiche e l'evoluzione delle conoscenze che hanno portato a comprendere l'assetto geologico dei Monti Pisani. Viene inoltre riportato il contributo di Sigismondo De Bosniaski appassionato naturalista e collezionista di fossili, che ha contribuito alla comprensione dell'evoluzione geologica dell'area grazie anche al ritrovamento di località fossilifere e alla sua collezione di fossili animali e vegetali che comprende migliaia di esemplari oggi conservati, almeno in parte, presso diversi musei. De Bosniaski ha partecipato al dibattito scientifico iniziato a fine Ottocento / inizi Novecento sulla determinazione dell'età del Verrucano, dibattito protrattosi fino a oltre la metà del 20° secolo.

Parole chiave - Monti Pisani, Verrucano, Unità di Monte Serra, Unità di Santa Maria del Giudice, Falda Toscana, Appennino Settentrionale

INTRODUZIONE

I Monti Pisani, sebbene costituiscano dei rilievi di modesta entità (solo il Monte Serra raggiunge l'altezza di 917 m s.l.m.), rappresentando un preziosissimo archivio della storia geologica e paleontologica italiana e qui affiorano alcuni dei principali complessi di rocce che costituiscono la Toscana e l'ossatura stessa dell'Appennino Settentrionale in generale. L'importanza degli studi geologici dei Monti Pisani si evince anche dal fatto che il termine ormai accettato da molto tempo anche a livello internazionale di “Verrucano” deriva proprio dallo studio delle successioni di rocce triassiche presenti sul Monte Verruca presentate durante un symposium internazionale tenutosi a Pisa nel 1965 (Falke, 1966). I Monti Pisani sono veramente sorprendenti e affascinanti perché, nonostante la complessa e lunga storia geologica e le deformazioni che hanno subito negli ultimi 200 milioni di anni, preservano fossili e strutture sorprendentemente ben conservati: dalle tracce di piccoli rettili (tetrapodi) del Trias, alle magnifiche foglie fossili del Carbonifero, fino alle impronte di antichissime piogge registrate come impronte di gocce d'acqua nei fanghi che ora costituiscono le rocce quarzitiche dei Monti Pisani, così come le impronte di gusci di lamellibranchi (bivalvi morti su antichissime spiagge a seguito di mareggiate) e le impronte del moto ondoso su sabbie di mare basso di 200 milioni di anni fa. Spaccare queste rocce in lastre in sequenza e osservare queste magnifiche tracce delle vite e di eventi del passato è come sfogliare un “album fotografico”, particolare, di 200 milioni di anni fa!

Questo è possibile perché i sedimenti che hanno registrato le impronte sono stati successivamente trasformati in rocce molto resistenti (quarziti) che hanno costituito “livelli e nuclei” molto resistenti che hanno fatto sì che la deformazione tettonica fosse assorbita per la maggior parte da livelli e strati intorno, più ricchi di materiale pelitico e quindi più facilmente deformabili. Osservando le rocce dei Monti Pisani è come affacciarsi ad una finestra del tempo e dare uno sguardo ad eventi antichissimi quando ancora l'uomo non popolava la terra e la penisola italiana, con le Alpi e gli Appennini, era ancora lontana dall'iniziare a formarsi.

⁽¹⁾ Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Torino, via Valperga Caluso 35, Torino; chiara.montomoli@unito.it

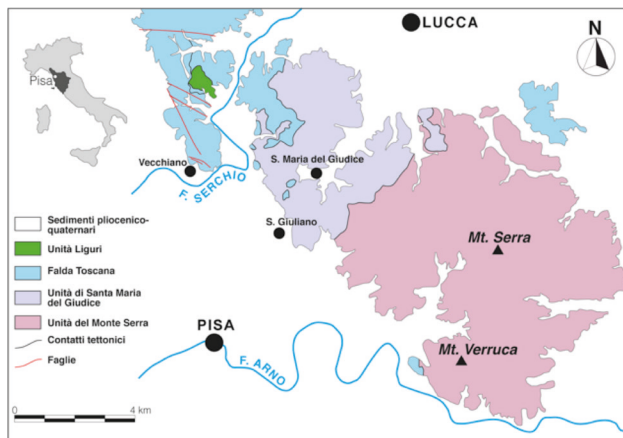


Fig. 1. Schema della distribuzione delle tre unità tettoniche dei Monti Pisani e dei Monti d'Oltre Serchio. Ciascun colore indica una diversa unità tettonica i cui nomi sono riportati nella legenda in basso a sinistra della figura (da Guida Geologica Regionale della Toscana, 2022).

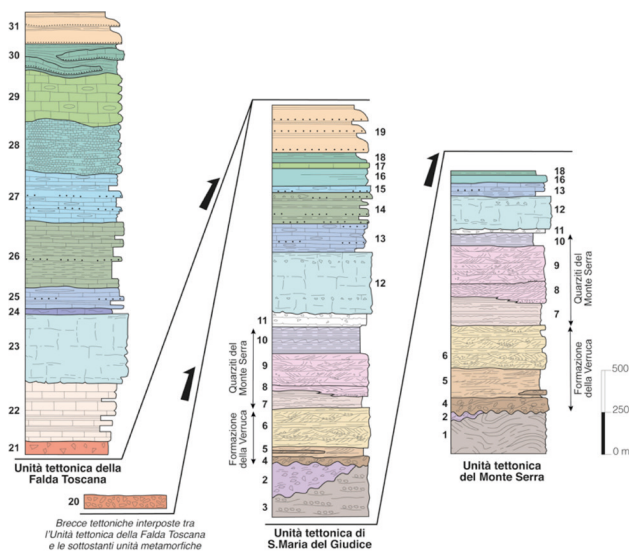


Fig. 2. Successioni stratigrafiche che caratterizzano le unità tettoniche principali dei Monti Pisani e Monti d'Oltre Serchio. 1: Filladi e quarziti di Buti; 2: Brecce di Asciano; 3: Scisti di S. Lorenzo; 4: Anageniti Grossolane; 5: Scisti Violetti; 6: Anageniti Minuti; 7: Scisti Verdi; 8: Quarziti Verdi; 9: Quarziti Bianco-Rosa; 10: Quarziti Viola-Zonate; 11: Grezzoni; 12: Marmi dei Monti Pisani; 13: Metacalcari con Selce; 14: Calcescisti; 15: Metacalcari a Entrochi; 16: Metaradiolariti; 17: Scisti sericitici; 18: Cipollino; 19: Pseudomacigno; 20: Brecce tettoniche; 21: Calcare Cavernoso; 22: Calcari a Rhaetavicula contorta; 23: Calcare Massiccio; 24: Rosso Ammonitico; 25: Calcare Selcifero di Limano; 26: Calcari e Marne a Posidonia; 27: Calcare Selcifero della Val di Lima; 28: Diaspri; 29: Macigno (da Guida Geologica Regionale della Toscana, 2022).

inferiori rispetto a quelle subite dal Complesso metamorfico dei Monti Pisani (Carosi *et al.*, 2003; Montomoli, 2002; Montomoli *et al.*, 2001), raggiungendo temperature del metamorfismo di circa 300°C e pressioni intorno a 2-3 Kbar (circa 6-9 km di profondità).

SINTESI DELLA GEOLOGIA DEI MONTI PISANI

Gli insiemi di rocce che possiamo osservare sui Monti Pisani, derivano dalla prolungata interazione tra i margini continentali della placca Adria e del blocco Sardo-Corso che hanno interagito nel corso di una lunga storia geologica iniziata più di 200 milioni di anni fa dalla frammentazione del supercontinente Pangea che ha portato le placche a dividersi ed allontanarsi progressivamente fino ad essere separate da un vero e proprio oceano (oceano Ligure-Piemontese). Successivamente le due placche sono tornate ad avvicinarsi e questo ha portato alla progressiva chiusura dell'oceano Ligure-Piemontese, l'oceano che separava i due blocchi continentali e la deformazione ha iniziato ad interessare il margine continentale della placca Adria. Questo processo tettonico ha portato all'individuazione delle diverse porzioni della crosta continentale Adria che hanno subito deformazioni e trasformazioni metamorfiche a partire da una successione di rocce sedimentarie sviluppatesi su un margine continentale. Questa successione segna un antico passaggio da rocce di tipo continentale a rocce depositate in ambiente marino, inizialmente poco profondo e, poi, sempre più profondo.

Gli insiemi di rocce, o complessi, che i geologi hanno individuato sui Monti Pisani sono principalmente due:

1- il Complesso Metamorfico dei Monti Pisani, costituito a sua volta da due distinte unità tettoniche sovrapposte una sopra l'altra (Figg. 1 e 2), a seguito dei processi tettonici legati alla collisione tra la placca Adria e il blocco Sardo-Corso, che costituiscono la maggior parte degli affioramenti dei Monti Pisani. L'unità superiore denominata Unità di S. Maria del Giudice, affiorante per lo più nella parte nord occidentale del massiccio (Fig. 1), sormonta l'unità inferiore, conosciuta con il nome di Unità di Monte Serra (Fig. 1). Queste due unità hanno condiviso la stessa storia tettonica (e quindi le stesse deformazioni) e metamorfica (metamorfismo di basso grado, Leoni *et al.*, 2010) e derivano da successioni di rocce sedimentarie molto simili, cioè fanno parte, dal punto di vista paleogeografico, dell'Unità di Massa che si estende dalle Alpi Apuane, attraverso la Montagnola Senese fino ai Monti dell'Uccellina a costituire quella che in letteratura è nota come la Dorsale Monticiano-Roccastra;

2- la Falda Toscana è l'unità superiore sovrascorsa sulle altre due unità (Figg. 1, 2). Questa unità è caratterizzata da una successione stratigrafica che registra il passaggio da ambienti di mare basso fino ad un mare progressivamente più profondo in risposta alla fase di allontanamento delle placche sottoposte ad una tettonica di tipo estensionale. Le trasformazioni metamorfiche subite da questa unità sono

L'Unità geometricamente inferiore che fa parte dei Monti Pisani è l'Unità del Monte Serra (Figg. 1, 2) ed è costituita da sedimenti depositati nel corso del Trias (Rau e Tongiorgi, 1974). Questi sedimenti aprono, nell'Appennino Settentrionale, il ciclo sedimentario di tipo alpino e sono caratterizzati da una successione stratigrafica (Verrucano) rappresentata prevalentemente da sedimenti terrigeni di tipo alluvionale (Formazione della Verruca, Trias medio) che evolvono nel tempo verso sedimenti costieri e di delta fluviale (Formazione del Monte Serra, Carnico) ad indicare una progressiva ingressione marina sulla terraferma. Queste successioni giacciono in discordanza stratigrafica su un antico basamento (Paleozoico) costituito da filladi, quarziti, scisti e metarenarie, metapeliti e breccie (Filladi e Quarziti di Buti, Scisti di S. Lorenzo e Breccie di Asciano) (Figg. 2, 3). Sui metasedimenti del Verrucano si sovrappone tettonicamente l'Unità di S. Maria del Giudice (Figg. 1, 2), rappresentata da una successione sedimentaria silicoclastica come la precedente unità sormontata da metasedimenti post-triassici (Norico-Retico/Oligocene). Questa porzione della successione, a composizione prevalentemente carbonatica, termina in alto con depositi torbiditici («Pseudomacigno») (Fig. 2).

La successione è stata interessata da una intensa deformazione che si è sviluppata in distinte fasi di deformazione (Carosi *et al.*, 1997) ed ha subito metamorfismo nella facies degli scisti verdi (Leoni *et al.*, 2010) durante l'orogenesi appenninica. La deformazione principale è associata a pieghe rovesciate verso NE e ha portato allo sviluppo di una foliazione tettonica pervasiva che si può osservare in ogni affioramento sul terreno. Successive pieghe di tipo aperto deformano le strutture precedenti durante la fase di risalita verso i livelli superficiali delle rocce metamorfiche dei Monti Pisani.

Solo in corrispondenza dei Monti d'Oltre Serchio affiora la successione completa della Falda Toscana (Fig. 1) una unità tettonica ancora geometricamente più alta nella pila di falde legate alla collisione, dai termini triassici del Calcere a *Rhaetavicula contorta*, alle arenarie di avanfossa oligo-mioceniche del Macigno (Fig. 2).

EVOLUZIONE DELLE CONOSCENZE

La conoscenza dell'assetto attuale dei Monti Pisani, sia da un punto di vista stratigrafico che tettonico, è frutto di oltre due secoli di ricerche scientifiche, durante i quali si sono accesi importanti dibattiti tra i diversi ricercatori.

Le prime teorie orogenetiche che cercavano di descrivere la formazione delle catene montuose prevedevano due punti di partenza tra loro opposti ma entrambi legati a movimenti verticali. Da un lato le teorie che prevedevano un'espansione del raggio terrestre in seguito alla diminuzione della costante gravitazionale associata ad una relativa diminuzione di densità e conseguente aumento di volume, dall'altro le teorie che prevedevano viceversa una contrazione del raggio terrestre legata ad un continuo raffreddamento del pianeta. In questo contesto le catene di montagne erano viste come il risultato di movimenti verticali in genere catastrofici.

A fianco di queste teorie si contrapponevano i «Plutonisti» che interpretavano i corrugamenti della crosta terrestre legati alla messa in posto di corpi magmatici che corrugavano ed innalzavano le rocce circostanti dando origine alle catene di montagne, e i «Nettunisti» secondo i quali tutte le rocce avevano un'origine marina e, successivamente alla loro formazione, il grande mare che ricopriva tutta la superficie terrestre si era ritirato.

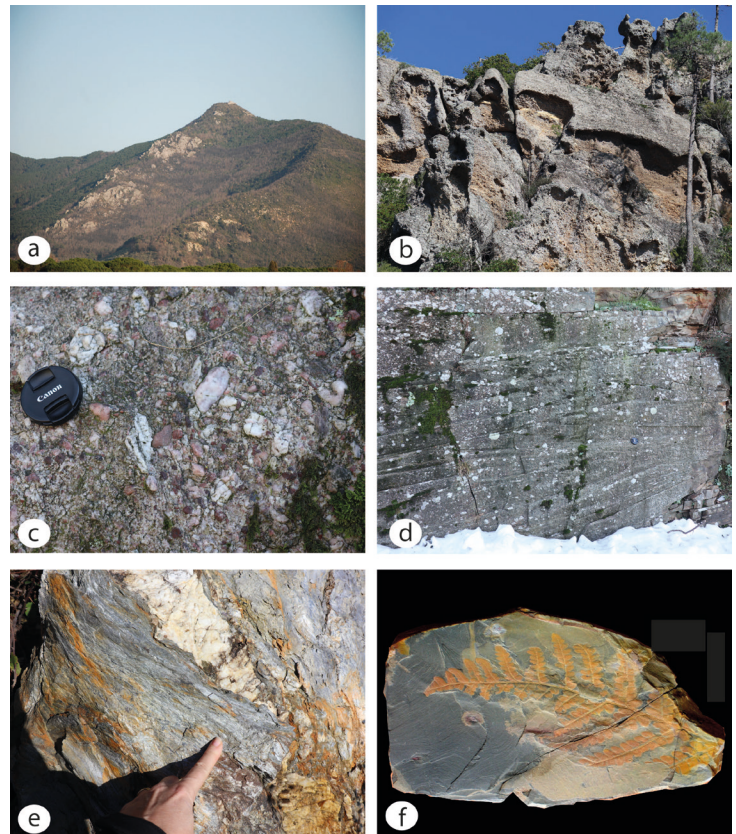


Fig. 3. a) Panorama del Monte Verruca visto da Calci. le bancate che emergono dalla topografia sono costituite da potenti bancate di «Anageniti Grossolane»; b) Strati di «Anageniti Grossolane» interessate da erosione eolica; c) Dettaglio delle «Anageniti Grossolane» con abbondanti ciottoli di quarzo bianco e rosa tipici di un ambiente deposizionale di tipo continentale/fluviale; d) Bancate quarzitiche con tipiche strutture di laminazioni incrociate tipiche di ambienti deposizionali di spiaggia aperta con alta energia; e) Filladi grigio-argentee appartenenti al basamento paleozoico (Formazione delle Filladi e Quarziti di Buti); f) Resti fossiliferi di felci nella Formazione degli Scisti di San Lorenzo affioranti presso la Valle del Guappero, conservati presso il Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa (modificato da Guida Geologiche Regionali - Toscana, 2022).

Un fautore delle idee plutoniste fu Paolo Savi che ha fornito un contributo fondamentale alla conoscenza geologica dei Monti Pisani a partire dalla prima metà del 1800.

Savi (1832) fu il primo a riconoscere l'origine sedimentaria e la natura metamorfica delle rocce silicoclastiche che costituiscono la maggior parte dei Monti Pisani. Si deve a lui la prima carta geologica dei Monti Pisani pubblicata nel 1832, modificata poi a più riprese fino al 1863. Savi per primo introdusse il termine "Verrucano" utilizzato fino ai giorni nostri in tutta la letteratura scientifica. Con questo termine Savi indicava tutto l'insieme complesso di rocce silicoclastiche che affioravano al di sotto della formazione del "Macigno" nella quale includeva gran parte delle rocce sedimentarie stratificate comprendenti il cosiddetto "Calcere Compatto" e l'"Arenaria Macigno" vera e propria. Convinto sostenitore delle teorie plutoniste Savi interpretò la presenza di rocce più antiche affioranti al centro del massiccio e circondate da rocce più giovani, come legate alla risalita di "rocce tefoniane" responsabili anche della forma a duomo del massiccio stesso.

Il riconoscimento delle rocce di natura sedimentaria costituenti il Verrucano aprì un lungo dibattito nella comunità scientifica a proposito della sua età di deposizione, dibattito proseguito fino alla metà del secolo successivo.

Savi sostenne da prima un'età Liassica (Savi, 1832) grazie a ritrovamenti fossiliferi nei calcari ceroidi affioranti nella zona di San Giuliano Terme. Successivamente lo attribuì al Trias (Savi, 1846), per poi invecchiarlo ulteriormente fino al Carbonifero (Savi e Meneghini, 1851) correlandolo con il Verrucano affiorante nella zona di Iano, in Toscana meridionale, dove erano stati ritrovati di fossili di quella età.

Verso la fine dell'Ottocento l'età del Verrucano venne messa nuovamente in discussione per il ritrovamento di alcuni lamellibranchi nei pressi dell'abitato di Calci riferendo la successione al Trias (Lotti, 1881) e successivamente al Carbonifero in base a resti fossili vegetali negli scisti grafitosi affioranti nella Valle del Guappero (De Stefani, 1894).

Nel secolo successivo si deve a Fucini un nuovo ringiovanimento della successione. Lavorando su affioramenti analoghi a quelli del Verrucano a Nord dell'Arno localizzati in Toscana meridionale, nei Monti dell'Uccellina, Signorini attribuì al Cretaceo l'età della successione silicoclastica, interpretando il Verrucano in successione stratigrafica compreso tra il "Calcere Massiccio" al letto ed "Calcere Nummulitico" al tetto (Signorini, 1955, 1956).

Fucini (1925) fu tuttavia il primo che propose una suddivisione della successione clastica del Verrucano distinguendo una porzione inferiore molto scistosa, che definì l'"Antracolitico", da una superiore costituita da facies grossolane, costituente il Verrucano tipico.

Precedentemente solo Lotti (1910) aveva individuato una porzione inferiore costituita dagli "Scisti inferiori" a da i "Conglomerati", attribuiti allo Stefaniano e una porzione superiore che attribuiva agli "Scisti superiori" di età Stefaniano superiore.

Ippolito (1950) pur negando la possibilità di distinguere porzioni diverse nella successione clastica del Verrucano fu il primo a proporre una ricostruzione paleoambientale distinguendo depositi lagunari e di delta. Egli però sosteneva che le porzioni più recenti della successione fossero costituite dagli scisti carboniferi affioranti nella Valle del Guappero.

Pochi anni dopo si deve a Trevisan (1955) la prima importante suddivisione della successione silicoclastica del Verrucano e la giusta ricostruzione della successione stratigrafica.

Trevisan riconobbe correttamente nella successione una porzione inferiore paleozoica ed una superiore triassica. La prima corrisponde all'attuale Formazione degli Scisti di San Lorenzo, mentre la seconda coincide con la successione silicoclastica vera e propria che costituisce il Verrucano tipico, caratterizzata alla base da potenti livelli di conglomerati quarzosi (attualmente membro delle "Anageniti grossolane") (Fig. 3a, b, c). A Trevisan dobbiamo riconoscere anche un altro importante risultato cioè l'individuazione di una lacuna stratigrafica alla base dei conglomerati triassici che interpretò correttamente come il risultato dello smantellamento di un vecchio orogene e depositi in ambiente continentale.

A partire dagli anni '60 del secolo scorso studi stratigrafico-sedimentologici di dettaglio vengono svolti sul massiccio e segnano un importante progresso nelle conoscenze e nella comprensione non solo dell'evoluzione stratigrafica del Verrucano.

Schiaffino e Tongiorgi (1962) riconoscono diversi livelli cartografabili all'interno della successione silicoclastica, in particolare ne riconoscono sette e istituiscono la nuova formazione delle "Arenarie listate di Buti" di età paleozoica corrispondente all'attuale Formazione delle "Filladi e Quarziti di Buti" nella moderna cartografia geologica (ISPRA, Foglio 273 Pisa).

Negli anni successivi, sulla scia di questo contributo molti lavori, incentrati sullo studio della stratigrafia dei Monti Pisani e sul rilevamento geologico vengono svolti da molti autori con un notevole avanzamento delle conoscenze (Giannini e Nardi, 1965; Rau e Tongiorgi, 1965, 1966a e b, 1968a e b; 1969, 1970; Elter, 1960; Borsiet *al.*, 1967; Gratziu *et al.*, 1969; Patacca *et al.*, 1973).

È doveroso inoltre ricordare un congresso di importanza fondamentale per tutta la comunità scientifica, il Symposium sul Verrucano, svoltosi a Pisa nel settembre 1965 (Fig. 4) che raccolse moltissimi ricercatori sia italiani che stranieri. In occasione del congresso venne istituito ufficialmente il Verrucano.

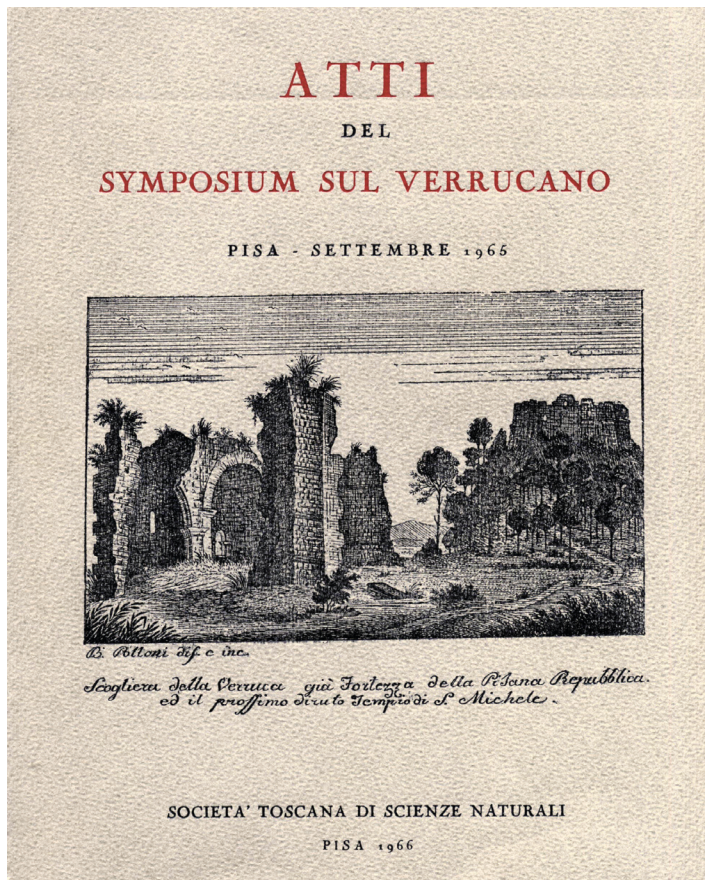


Fig. 4. Volume originale degli Atti del Symposium sul Verrucano edito in seguito al congresso svoltosi a Pisa nel settembre 1965.

realizzazione del nuovo Foglio alla scala 1:50.000 del Servizio Geologico d'Italia di cui quasi la totalità dei Monti Pisani fa parte.

Il contributo di Rau e Tongiorgi (1974) è stato fondamentale anche per la ricostruzione dell'evoluzione tettonica del massiccio. Si deve a loro il riconoscimento di tre distinte unità tettoniche che dal basso verso l'alto sono costituite dall'Unità del Monte Serra, l'Unità di Santa Maria del Giudice e l'Unità della Falda Toscana, separate da contatti tettonici. La correlazione stratigrafica delle due unità inferiori con l'Unità di Massa affiorante più a Nord, sul versante Ovest delle Alpi Apuane, indusse gli autori a interpretare le unità tettoniche dei Monti Pisani come alloctone contro l'idea comune che prevedeva una origine autoctona dell'unità tettonica inferiore (Tilmann, 1930).

L'evoluzione tettonica del massiccio è caratterizzata secondo Rau e Tongiorgi (1974) da due fasi tettoniche duttili principali legate ad una tettonica compressiva (1a e 2a Fase Etrusca) in seguito alla rotazione del blocco sardo-corso responsabile della formazione della catena appenninica. Le due fasi sono entrambe associate allo sviluppo di pieghe, anche alla scala ettometrica, ne è un esempio la piega anticlinale del Monte Verruca, come evidenziato nella sezione geologica allegata alla carta interpretativa. Una successiva fase tettonica fragile, con sviluppo di faglie dirette, è associata alla tettonica estensionale legata all'apertura del bacino tirrenico. L'analisi strutturale ha inoltre permesso di riconoscere per la prima volta gli effetti di deformazioni più antiche dovute al precedente ciclo orogenetico varisco all'interno della Formazione delle "Filladi e Quarziti di Buti" affiorante alla base dell'Unità del Monte Serra (Fig. 2).

A partire dalla fine degli anni '80, grazie all'avanzamento delle tecniche di indagine, si sono susseguiti molti lavori volti alla caratterizzazione tettonica e metamorfica del massiccio. Franceschelli *et al.* (1986, 2004) hanno determinato, attraverso studi sull'indice di cristallinità dell'illite e della clorite e sulla stima del contenuto in silice delle miche, le condizioni di pressione e temperatura raggiunte durante la prima fase deformativa. La temperatura raggiunta durante il picco termico è stata stimata anche da Carosi *et al.* (1993) attraverso l'applicazione del geotermometro calcite-dolomite nei marmi appartenenti all'Unità di Santa Maria del Giudice. Dini *et al.* (1998) e Montomoli (2002) hanno condotto studi sulle inclusioni fluide intrappolate in vene di quarzo nella successione silicoclastica dell'Unità di Monte Serra vincolando, non solo le condizioni di pressione e temperatura raggiunte durante la prima fase deformativa, ma anche la tipologia dei fluidi circolanti durante la formazione delle vene.

Un lavoro fondamentale sull'evoluzione stratigrafica e tettonica dei Monti Pisani, che costituisce un caposaldo per la geologia dell'area, venne pubblicato da Rau e Tongiorgi (1974). Questo lavoro costituisce ancora oggi una base fondamentale per la geologia non solo dei Monti Pisani ma anche per la geologia dell'Appennino Settentrionale, oltre che definire le principali facies e i paleoambienti di deposizione del Verrucano a scala globale.

Il lavoro, estremamente dettagliato, è corredato da due carte geologiche che, anticipando il moderno approccio cartografico, distinguono una sola le zone affioranti, mentre l'altra è una carta geologica interpretativa corredata da sezioni geologiche.

I livelli silicoclastici definiti in precedenza da Schiaffino e Tongiorgi (1962) vengono riconosciuti e cartografati alla scala dell'intero massiccio e vengono istituiti come "Membri" facenti parte di due formazioni distinte: la "Formazione della Verruca" e la "Formazione delle Quarziti del Monte Serra". Gli autori istituiscono anche la formazione paleozoica dei "Conglomerati e Breccie di Asciano", corrispondente all'attuale "Formazione delle Breccie di Asciano". In base ad attente revisioni del contenuto fossilifero attribuiscono al Carnico la Formazione delle Quarziti del Monte Serra e, attraverso correlazioni stratigrafiche, al Trias medio la Formazione della Verruca. Queste due formazioni sono state riprese anche dalla più moderna cartografia geologica con la

Più recentemente, dalla seconda metà degli anni '90, è stata approfondita l'analisi alla mesoscala e alla microscala delle diverse unità tettoniche ed è stata riconosciuta una tettonica polifasata più complessa rispetto a quella descritta da Rau e Tongiorgi (1974). Sono state infatti riconosciute tre fasi deformative duttili con tutto il corredo di elementi strutturali associati e le relazioni con le trasformazioni metamorfiche che hanno accompagnate le deformazioni. Le prime due fasi deformative sono legate ad una tettonica compressiva, sviluppatasi durante la fase di costruzione della catena appenninica e di impilamento delle diverse unità tettoniche individuate, mentre l'ultima fase deformativa è legata al collasso estensionale della catena che ha interessato le aree della catena precedentemente ispessite, provocandone un forte assottigliamento che ha portato all'apertura del Mar Tirreno (Carosi *et al.*, 1995, 1997, 2004; Carosi e Montomoli, 1998, 1999, 2002).

Attualmente sono in corso di pubblicazione i nuovi fogli geologici alla scala 1:50.000 (Foglio 273 - Pisa e Foglio 261 Lucca) a cura del Servizio Geologico d'Italia che comprendono i Monti Pisani (per la maggior parte sono compresi nel Foglio 273 - Pisa, solo una stretta fascia del versante settentrionale è compresa nel Foglio 261 - Lucca) corredati da due volumi di esaustive note illustrative e relative sezioni geologiche ai quali si rimanda per gli ulteriori approfondimenti.

IL CONTRIBUTO DI DE BOSNIASKI NELLA STORIA GEOLOGICA DEI MONTI PISANI

De Bosniaski, medico nato a Cracovia e trasferitosi in Italia presso San Giuliano Terme, fu un eccellente naturalista e grandissimo appassionato della geologia dei Monti Pisani. Raccolse un'enorme quantità di reperti fossili in particolare di resti vegetali contribuendo all'acceso dibattito sulla problematica dell'età del Verrucano dei Monti Pisani.

La sua ricchissima collezione vantava circa 7000 esemplari di resti animali e vegetali (Sabatini *et al.*, 2021) e in occasione del Congresso Geologico che si svolse a Lucca nel 1885, De Bosniaski la espose al pubblico, nei locali del Casino delle Terme di San Giuliano, attirando l'interesse del mondo scientifico. La collezione fu venduta dagli eredi al Museo dell'Università di Pisa e attualmente molti esemplari sono conservati nel Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa, ma anche nei Musei di Geologia e Paleontologia dell'Università di Firenze e presso il Museo Naturalistico Archeologico dell'Appennino Pistoiese.

De Bosniaski fu tra i primi a trovare e riconoscere resti vegetali nella zona di San Lorenzo a Vaccoli (De Bosniaski 1891, 1894). Si deve a lui il primo ritrovamento dell'importante località fossilifera situata presso il Colletto vicino all'abitato di San Lorenzo a Vaccoli nel settore nord-occidentale dei Monti Pisani. Nella sua appassionata ricerca entrò in competizione con De Stefani, anch'egli grande naturalista e professore presso l'Università di Firenze, che vantava una collezione con circa 1000 campioni di piante fossili (Sabatini *et al.*, 2021). La competizione tra i due naturalisti andò avanti a lungo. In particolare i due naturalisti si contendevano i fossili carboniferi, il De Bosniaski per la sua collezione, il De Stefani per il Museo Paleontologico di Firenze.

Viene riportato da Tongiorgi (2006) che i contadini della Valle del Guappero, che cercavano fossili per rivenderli ai due studiosi, risolsero il problema della loro competizione vendendogli impronta e contro-impronta dello stesso fossile, dichiarando provenienze diverse.

In questa contesa intrapresero un acceso dibattito sull'età di alcuni resti fossili vegetali da entrambi raccolti nella Valle del Guappero (località Traina) che furono attribuiti ad età diverse dai due ricercatori. Mentre il De Bosniaski attribuiva i resti al Permiano, correlandoli con le rocce autuniane della Francia (De Bosniaski, 1894), De Stefani ne ha sempre sostenuto un'età carbonifera superiore, correlandoli con reperti rinvenuti in depositi già conosciuti in Boemia (De Stefani, 1891).

Si deve a Canavari (1891) il ritrovamento di una nuova località fossilifera importante, presso Monte Vignale, sempre nella Valle del Guappero dove riconobbe resti di flora permiana. In virtù di tale ritrovamento e grazie alla raccolta e classificazione di nuovi resti fossili vegetali alcuni anni dopo De Stefani attribuì le due località fossilifere principali (Traina e Monte Vignale) rispettivamente al Carbonifero superiore e al Permiano Inferiore (De Stefani, 1894), mentre De Bosniaski continuò ad attribuirle entrambe al Permiano inferiore.

Successivamente, grazie agli studi di Barsanti (1903), le flore del Monte Traina sono state attribuite al Carbonifero superiore ed oggi sono incluse nella "Formazione degli Scisti di San Lorenzo" (Rau e Tongiorgi, 1974) recentemente rivisitata e datata al Carbonifero-Permiano inferiore da Marini *et al.* (2020).

CONCLUSIONI

In questo breve lavoro sono stati delineati gli aspetti principali della geologia dei Monti Pisani e l'evoluzione delle conoscenze che hanno portato alla definizione dell'assetto geologico del piccolo massiccio. Dall'alto verso il basso i Monti Pisani sono costituiti da tre unità tettoniche: Unità della Falda Toscana, Unità di Santa Maria del Giudice, Unità di Monte Serra.

Le due unità inferiori sono costituite da una potente successione silicoclastica, nota in letteratura come "Verrucano", seguita da depositi prevalentemente carbonatici. Questi sedimenti aprono, nell'Appennino Settentrionale, il ciclo

sedimentario alpino e sono caratterizzati da una successione stratigrafica rappresentata prevalentemente da sedimenti terrigeni di tipo alluvionale che evolvono nel tempo verso sedimenti costieri e di delta fluviale indicando una progressiva ingressione marina sulla terraferma. Queste successioni giacciono in discordanza stratigrafica su un antico basamento Paleozoico costituito da filladi, quarziti, scisti e metarenarie, metapeliti e breccie.

Lo studio della successione silicoclastica ha attirato nei secoli l'attenzione di molti ricercatori, con accesi dibattiti relativi alla sua strutturazione, all'evoluzione stratigrafica e sedimentologica e alla definizione della sua età. De Bosniaski ha contribuito con la sua passione per la paleontologia e grazie alla sua ricca collezione di resti fossili a comprendere il significato e l'età sicuramente della porzione paleozoica del massiccio.

BIBLIOGRAFIA

- BARSANTI L., 1903. Contribuzione allo studio della flora fossile di Iano. *Atti Società Toscana Scienze Naturali* 19: 3-36.
- BORSI S., FERRARA G., RAU A., TONGIORGI M., 1967. Determinazione con il metodo Rb/Sr dell'età delle filladi e Quarziti Listate di Buti (Monti Pisani). *Atti Società Toscana di Scienze Naturali. Memorie, Serie A* 73: 632-646.
- CANAVARI M., 1891. Due nuove località nel Monte Pisano con resti di piante carbonifere. *Atti Società Toscana Scienze Naturali. Processi Verbali* 7: 217-218.
- CAROSI R., CERBAI N., MONTOMOLI C., 1995. Tettonica compressiva ed estensionale nel Verrucano dell'Appennino Settentrionale. *Studi Geologici Camerti, Volume speciale* 1: 269-278.
- CAROSI R., CERBAI N., MONTOMOLI C., 1996. The F2 folds in the Verrucano as records of extensional tectonics in the Northern Apennines (Italy). *Comptes Rendue Academie Science, Paris* 322: 773-780.
- CAROSI R., LEONI L., MONTOMOLI C., SARTORI F., 2013. Very low-grade metamorphism in the Tuscan nappes, Northern Apennines, Italy: relationships between deformation and metamorphic indicators in the La Spezia mega-fold *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen* 83(1): 15-32.
- CAROSI R., CERBAI N., MONTOMOLI C., 1997. Deformation history of Pisani Mts. (Northern Apennines, Italy). *Annales Tectonicae* 9(2): 55-74.
- CAROSI R., LEONI L., TAMPONI M., 1993. Temperature del metamorfismo nell'Unità di Santa Maria del Giudice (Monti Pisani, Appennino Settentrionale). *Atti Società Toscana di Scienze Naturali. Memorie, Serie A* 99: 161-173.
- CAROSI R., MONTOMOLI C., 1998. Relazioni tra pieghe e lineazioni di estensione nel Verrucano dei Monti Pisani (Appennino Settentrionale). *Atti Ticinesi di Scienze della Terra* 7: 39-58.
- CAROSI R., MONTOMOLI C., 1999. Relations between folds and stretching lineation in the Verrucano of Pisani Mounts, Northern Apennines. *Comptes Rendue Academie Science, Paris* 328: 485-492.
- CAROSI R., MONTOMOLI C., 2002. Strutture tardo orogeniche ed estensione parallela all'orogene in Appennino settentrionale: la struttura di interferenza polifasica di san Giuliano (Unità di Santa Maria del Giudice, Monti Pisani). *Atti Società Toscana di Scienze Naturali. Memorie, Serie A* 107: 61-68.
- CAROSI R., MONTOMOLI C., PERTUSATI P.C., 2004. Late tectonic evolution of the Northern apennines, the role of contractional tectonics in the exhumation of the Tuscan Units. *Geodinamica Acta* 17: 253-273.
- CONTI P., CONTICELLI S., CORNAMUSINI G., MARRONI M., 2022. *Guide geologiche regionali – Toscana*. Società Geologica Italiana, 375 pp.
- DE BOSNIASKI S., 1891. Flora fossile del Verrucano del Monte Pisano, *Atti Società Toscana di Scienze Naturali. Processi Verbali* 7: 184-195.
- DE BOSNIASKI S., 1894. Nuove osservazioni sulla flora fossile del Verrucano del Monte Pisano, *Atti Società Toscana di Scienze Naturali, Processi Verbali* 9: 167-171.
- DE STEFANI C., 1891. Un nuovo deposito carbonifero del Monte Pisano. *Atti Accademia Georgofili Serie* 4, 14: 34-70.
- DE STEFANI C., 1894. Le flore carbonifere e permiane del Monte Pisano. *Atti Società Toscana di Scienze Naturali. Processi Verbali* 9: 180-187.
- DINI A., ORLANDI P., PROTANO G., RICCOBONO F., 1998. Le vene di quarzo del complesso metamorfico dei Monti Pisani (Toscana): caratterizzazione strutturale, mineralogica ed inclusioni fluide. *Atti Società Toscana di Scienze Naturali, Serie A* 105: 113-136.
- ELTER P., 1960. I lineamenti tettonici dell'Appennino a NW delle Apuane. *Bollettino Società Geologica Italiana* 79: 273-312.
- FALKE H., 1966. *Atti del Symposium sul Verrucano*. Società Toscana di Scienze Naturali, Pisa 1966, 401 pp.
- FRANCESCHELLI M., GIANELLI G., PANDELI E., PUXEDDU M., 2004. Variscan and Alpine metamorphic events in the Northern Apennines (Italy): a review. In: A showcase of the Italian research in Metamorphic Petrology. *Periodico di Mineralogia* 73: 73-83.
- FRANCESCHELLI M., LEONI L., MEMMI I., PUXEDDU M., 1986. Regional distribution of Al-silicates and metamorphic zonation in low-grade Verrucano metasediments (Northern Apennines, Italy) *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen* 71: 161-167.

- FUCINI A., 1925. Studi geologici sul Monte Pisano. *Atti Accademia Gioenia di Scienze Naturali*, Catania, 14.
- GIANNINI E., NARDI R., 1965. Geologia della zona nord-occidentale del Monte Pisano e dei Monti d'Oltreserchio (prov. Pisa e Lucca). *Bollettino Società Geologica Italiana* 84: 198-270.
- GRATZIU C., RAU A., TONGIORGI M., 1969. Algal stromatolites from the Liassic limestones of the autochthonous, Tuscany serie in the Monti Pisani (Tuscany). *Atti Società Toscana di Scienze Naturali. Memorie* 75: 401-421.
- IPPOLITO F., 1950. Il Monte Pisano. *Memorie e Note istituto Geologia Applicata Università Napoli* 3: 7.
- ISPRA. Foglio 273-Pisa. https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/273_PISA/Foglio.html
- LEONI L., MONTOMOLI C., CAROSI R., 2010. Il Metamorfismo delle unità tettoniche dei Monti Pisani (Appennino settentrionale). *Atti Società Toscana Scienze Naturali, Serie A* 114: 61-73.
- LOTTI B., 1881. Fossili del Verrucano. *Atti Società Toscana Scienze Naturali. Processi Verballi* 3: 94-101.
- LOTTI B., 1910. Geologia della Toscana. *Memorie Descrittive Carta Geologica d'Italia* 13: 484 pp.
- MARINI F., PANDELI E., TONGIORGI M., PECCHIONI E., ORTI L., 2020. The Carboniferous-mid Permian successions of the Northern Apennines: new data from the Pisani Mts. Inlier (Tuscany, Italy). *Italian Journal of Geosciences* 139: 212-232.
- MONTOMOLI C., RUGGIERI G., BOIRON M.C., CATHELINÉAU M., 2001. Pressure fluctuation during uplift of the Northern Apennines (Italy): a fluid inclusions study. *Tectonophysics* 341(1-4): 121-139.
- MONTOMOLI C., 2002. Vein development and fluid inclusion data: insight on the evolution of the Tuscan Nappe in the Northern Apennines. *Bollettino Società Geologica Italiana* 1(2): 801-817.
- PATACCA E., RAU A., TONGIORGI M., 1973. Il significato geologico della breccia sedimentaria poligenica al tetto della successione metamorfica dei Monti Pisani. *Atti Società Toscana di Scienze Naturali. Memorie, Serie A* 80: 126-161.
- RAU A., TONGIORGI M., 1965. A proposito di un presunto "Orthoceras" dei Monti Pisani. *Atti Società Toscana Scienze Naturali, Memorie, Serie A* 72: 715-719.
- RAU A., TONGIORGI M., 1966a. I lamellibranchi triassici del Verrucano di Monti Pisani. Nuova revisione. *Paleontographia Italica* 61: 187-234.
- RAU A., TONGIORGI M., 1966b. Considerazioni preliminari sulla parte meridionale dei Monti Pisani (versante SW). *Memorie Società Geologica d'Italia* 5: 300-314.
- RAU A., TONGIORGI M., 1968a. Formazione della Verruca. *Studi Illustrati Carta Geologica d'Italia, Formazioni Geologiche* 1: 19-33.
- RAU A., TONGIORGI M., 1968b. Quarziti del Monte Serra. *Studi Illustrati Carta Geologica d'Italia, Formazioni Geologiche* 1: 41-56.
- RAU A., TONGIORGI M., 1969. Il lembo mesozoico di Caprona-Uliveto Terme sul margine meridionale dei Monti Pisani: tettonica e cenni di stratigrafia. *Memorie Società Geologica d'Italia*, 7: 1-24.
- RAU A., TONGIORGI M., 1970. Tane ad U fossili del genere Corophioides negli "Scisti Verdi" (Carnico inferiore) dei Monti Pisani. *Atti Società Toscana Scienze Naturali. Memorie, Serie A* 77: 92-101.
- RAU A., TONGIORGI M., 1974. La geologia dei Monti Pisani a Sud-Est della Valle del Guappero. *Memorie Società Geologica Italiana* 13: 227-408.
- SABATINI L., PANDELI E., KUSTATCHSER E., 2021. Carboniferous plant fossils from the San Lorenzo Schists (Pisani Mountains, Tuscany, Italy): a preliminary study of the palaeobotanical collection of the museo naturalistico archeologico dell'Appennino pistoiese. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia* 127: 397-425.
- SAVI P., 1832. Osservazioni geognostiche sui terreni antichi toscani, concernenti specialmente i Monti Pisani, le Alpi Apuane e la Lunigiana. *Nuovo Giornale dei Letterati* 24: 202-224. Pisa.
- SAVI P., 1846. *Sulla costituzione geologica dei Monti Pisani*. Tip. Rocco Vannucchi, Pisa.
- SAVI P., MENEGHINI G., 1851. *Considerazioni sulla geologia stratigrafica della Toscana*. In: Murchison R.I.: *Struttura geologica delle Alpi, degli Appennini e dei Carpazi*. Ed. Stamperia Granducale, Firenze, 279-521.
- SCHIAFFINO L., TONGIORGI M., 1962. Stratigrafia del Verrucano dei Monti Pisani. *Atti Società Toscana di Scienze Naturali. Memorie, Serie A* 69: 2.
- SIGNORINI R., 1955. Descrizione geologica della parte settentrionale dei Monti dell'Uccellina presso Grosseto. *Bollettino Società Geologica Italiana* 71: 94-11.
- SIGNORINI R., 1956. Descrizione geologica della parte centrale dei Monti dell'Uccellina (Grosseto). *Bollettino Società Geologica Italiana* 74: 93-108.
- TILMANN N., 1930. Zum Bau der Montagnola Senese. *Zeitschrift Deutschland Geologische Gesellschaft* 81.
- TONGIORGI M., 2006. Gli studi geologici sui Monti Pisani. *Athenet online*, giugno 2006, Università di Pisa.
- TREVISAN L., 1955. Il Trias della Toscana ed il problema del Verrucano triassico. *Atti Società Toscana di Scienze Naturali. Memorie, Serie A* 62: 1.

