

CARTA GEOLOGICA DELLE REGIONI EMILIA-ROMAGNA, MARCHE, TOSCANA E UMBRIA

Scala 1 : 250 000

NOTE ILLUSTRATIVE

a cura di

Paolo CONTI¹, Gianluca CORNAMUSINI¹, Luigi CARMIGNANI¹

con il contributo di

**Marco PIZZIOLO², Giovanna DANIELE², Guido LAVORINI³, Andrea MOTTI⁴,
Norman NATALI⁴, Claudia BETTUCCI⁵**

banca dati GIS, allestimento per la stampa

**Altair PIRRO¹, Natalie MARSICO¹, Giulia VERDIANI¹, Debora GRAZIOSI¹,
Luisa VERNACCHIA¹, Bernadette MEOLA¹, Anna MARCONI¹**



- 1 - Centro di GeoTecnologie e Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Università di Siena.
2 - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna, Bologna.
3 - Sistema Informativo Territoriale ed Ambientale, Regione Toscana, Firenze.
4 - Servizio Geologico, Regione Umbria, Perugia.
5 - P.F. Urbanistica, Paesaggio, Informazioni Territoriali, Edilizia ed Espropriazione, Regione Marche, Ancona.

dedicato a Giovanni Massa e Marco Meccheri

Responsabile del Progetto: Marco PIZZIOLO
Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna

Stampa:  **Archivio cartografico** - Bologna, Dicembre 2019
della Regione Emilia-Romagna

Indice

1. Introduzione	5
2. Stratigrafia	5
2.1. Dominio Ligure	5
2.1.1. Dominio Ligure interno	8
2.1.2. Dominio Ligure esterno	9
Successione interna	9
Successione esterna	11
2.2. Successione Epiligure	12
2.3. Dominio Subligure	13
2.4. Dominio Toscano	14
2.4.1. Successione dello Pseudoverrucano	14
2.4.2. Successione di M. Modino	15
2.4.3. Successione Toscana	16
2.4.4. Successione Toscana Metamorfica	20
2.4.5. Successione Cervarola-Falterona	22
2.4.6. Successione Rentella	24
2.5. Dominio Umbro-Marchigiano-Romagnolo	24
2.5.1. Successione del Triassico - Giurassico inferiore	25
2.5.2. Successione giurassica condensata	25
2.5.3. Successione giurassica completa	25
2.5.4. Successione calcareo-marnosa del Cretacico-Miocene	25
2.5.5. Successione silicoclastica dei bacini interni	26
2.5.6. Successione silicoclastica dei bacini minori intra-appenninici e dei bacini esterni	27
2.6. Successione miocenico-pleistocenica sin- e post-evaporitica della Pianura Padana e del Margine Adriatico	29
2.6.1. Successione evaporitica messiniana	30
2.6.2. Successione post-evaporitica messiniana	30
2.6.3. Successione marina del Pliocene-Pleistocene	31
2.7. Successione miocenico-pleistocenica del Margine Tirrenico e dei bacini intermontani	32
2.7.1. Depositi marini del Burdigaliano medio - Tortoniano inferiore (Epiliguridi Tirreniche <i>Auctt.</i>)	33
2.7.2. Successione fluvio-lacustre del Turoliano inferiore (Tortoniano superiore)	34
2.7.3. Successione marina pre-evaporitica messiniana	35
2.7.4. Successione sin- e post-evaporitica messiniana	36
2.7.5. Successione marina del Pliocene-Pleistocene	37
2.7.6. Successione continentale del Rusciniense e del "Villafranchiano"	38
2.8. Depositi continentali e costieri del Quaternario ("post-Villafranchiano")	38
2.9. Unità con metamorfismo di alta pressione	40
2.10. Mélange tettonici e zone di taglio	40
2.10.1. Unità Sestola-Vidiciatico	40
2.10.2. Zone di taglio	40
2.11. Rocce magmatiche	41
3. Evoluzione tettonica	43
3.1. Fasi varisiche	43
3.2. Estensione giurassica	44
3.3. Fasi liguri	44
3.4. Fasi toscane	45
3.5. Tettonica miocenico-quaternaria del Margine Tirrenico	46
3.6. Tettonica miocenico-quaternaria dell'Appennino umbro-marchigiano-romagnolo	48
Riferimenti bibliografici	51

1. INTRODUZIONE

La Carta Geologica dell'Appennino Settentrionale e queste Note Illustrative nascono come un'iniziativa delle regioni Emilia Romagna, Marche, Toscana ed Umbria, realizzata dal Centro di GeoTecnologie dell'Università di Siena, nell'ambito di un progetto comune da parte dei servizi geologici di queste Regioni, tuttora in corso, avente come obiettivo la compilazione di una carta geologica continua attraverso i territori regionali alla scala 1:10.000.

La Carta Geologica è stata compilata a partire dalla banche dati geologiche regionali a scala 1:10.000 realizzate dai servizi geologici delle regioni Emilia Romagna, Marche, Toscana ed Umbria attraverso un importante lavoro di interpretazione, omogeneizzazione e generalizzazione, nonché di integrazione con dati derivati dalla cartografia del Progetto CARG, dalla letteratura e da rilievi e campionature originali. Sono state inoltre prese in considerazione le carte geologiche di carattere sovragionale, già edite e disponibili in letteratura, quali le carte di MERLA (1951); COMPAGNONI *et alii* (1980); BOCCALETTI & COLI (1982); CENTAMORE (1986); BIGI *et alii* (1990); CERRINA FERONI *et alii* (2002b). La geologia delle aree esterne ai limiti amministrativi delle suddette Regioni proviene dalle carte geologiche di GIAMMARINO *et alii* (2002), VEZZANI & GHISETTI (1998) e COSENTINO & PASQUALI (2012).

La base topografica utilizzata per la stampa della Carta Geologica è quella dell'Istituto Geografico Militare in formato raster a scala 1:250.000, l'unica comprensiva dell'intero territorio in oggetto. Per il fatto che i limiti geologici della Carta (contatti stratigrafici, faglie, contatti tettonici) derivano dalle carte regionali a scala 1:10.000 e sono coerenti con la topografia delle carte tecniche regionali alla suddetta scala, si segnala che nei dettagli sono possibili piccole discrepanze tra i limiti geologici e la base topografica a scala 1:250.000. Con la redazione di questa Carta Geologica si è scelto di mantenere queste discrepanze, a vantaggio di una maggiore coerenza dei limiti geologici con le topografie regionali a scala 1:10.000.

L'obiettivo di questa Nota non è quello di realizzare un documento che illustri in modo completo l'evoluzione geologica dell'intero Appennino Settentrionale, ma piuttosto è quello di realizzare una nota illustrativa essenziale a corredo della Carta Geologica a scala 1:250.000 che riporti, seppure in modo sintetico, i principali caratteri geologico-stratigrafici delle unità litostratigrafiche cartografate, nonché una rassegna ed un aggiornamento della letteratura che riguarda le unità litostratigrafiche rappresentate. Per avere un quadro esaustivo dello sviluppo delle cono-

scenze sulla geologia dell'area e sui principali modelli geologico-evolutivi, si rimanda ai numerosi lavori di carattere geologico-regionale, tra i quali quelli di: SESTINI (1970); BOCCALETTI *et alii* (1971); ALVAREZ *et alii* (1974); KLIGFIELD (1979); CASTELLARIN *et alii* (1985); MALINVERNO & RYAN (1986); CREMONINI & RICCI LUCCHI (1982); PRINCIPI & TREVES (1984); TREVES (1984); VAI (1987); PATACCA & SCANDONE (1989); PINI (1999); PATACCA *et alii* (1990); DOGLIONI *et alii* (1998); VAI & MARTINI (2001); CERRINA FERONI *et alii* (2004); DI BUCCI & MAZZOLI (2002); CRESCENTI *et alii* (2004); FINETTI (2005); MOLLI (2008); MANTOVANI *et alii* (2009); SCROCCA *et alii* (2007); DOGLIONI *et alii* (2010); CARMINATI & DOGLIONI (2012), con estese liste di riferimenti bibliografici.

Nella Carta Geologica, ai fini della maggiore omogeneità, è stato scelto di rappresentare solo tre tipologie di limiti geologici: i contatti stratigrafici, i contatti tettonici principali tra termini paleogeograficamente differenti e le principali faglie ad alto angolo.

Una copia a stampa della Carta Geologica è allegata alla presente Nota, così come liberamente disponibile come file PDF, raster e vettoriali GIS sul sito: <https://www.geological-map.it>.

2. STRATIGRAFIA

Viene qui presentata una sintesi delle principali caratteristiche stratigrafiche delle unità affioranti e costituenti l'Appennino Settentrionale. Le unità litostratigrafiche sono raggruppate in domini paleogeografici e ripartite in successioni stratigrafiche principali, con riferimenti alle principali unità tettoniche in cui esse ricorrono (Fig. 1, Fig. 2). Nel testo con i caratteri in grassetto sono indicate le sigle delle unità litostratigrafiche così come riportate nella Carta Geologica allegata (es. **UM_{sc}**). Alcuni esempi di correlazioni e raggruppamenti regionali a scala della catena, presenti in letteratura per le successioni dell'Appennino Settentrionale sono riportate in SESTINI (1970); BOCCALETTI *et alii* (1987); VAI & CASTELLARIN (1992); VAI (2001); CERRINA FERONI *et alii* (2002a).

2.1. Dominio Ligure

Il Dominio Ligure consiste di successioni sedimentarie deposte su crosta oceanica in corrispondenza dell'Oceano Ligure-Piemontese. Seguendo le interpretazioni di ELTER (1975); ELTER & MARRONI (1991); BORTOLOTTI *et alii* (2001b); MARRONI *et alii* (2010, 2017) il Dominio Ligure è suddiviso in Dominio Ligure interno ed in Dominio Ligure esterno (Fig. 3 e Fig. 4). Le successioni sedimentarie deposte nel Dominio Ligu-

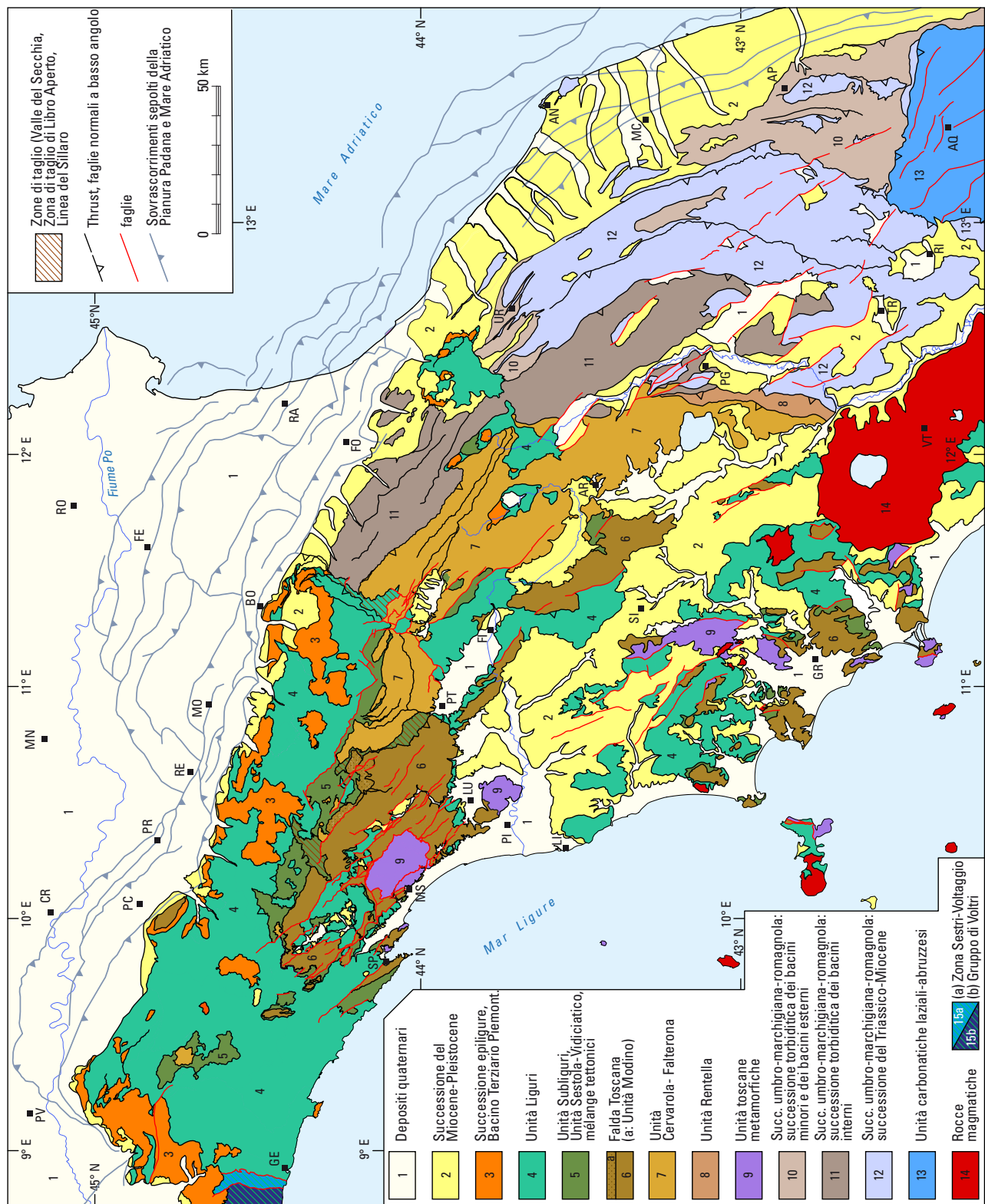


Fig. 1 – Schema tettonico dell'Appennino Settentrionale. Sovrascorrimenti nel sottosuolo della Pianura Padana e Mare Adriatico da Bigi et alii (1990).

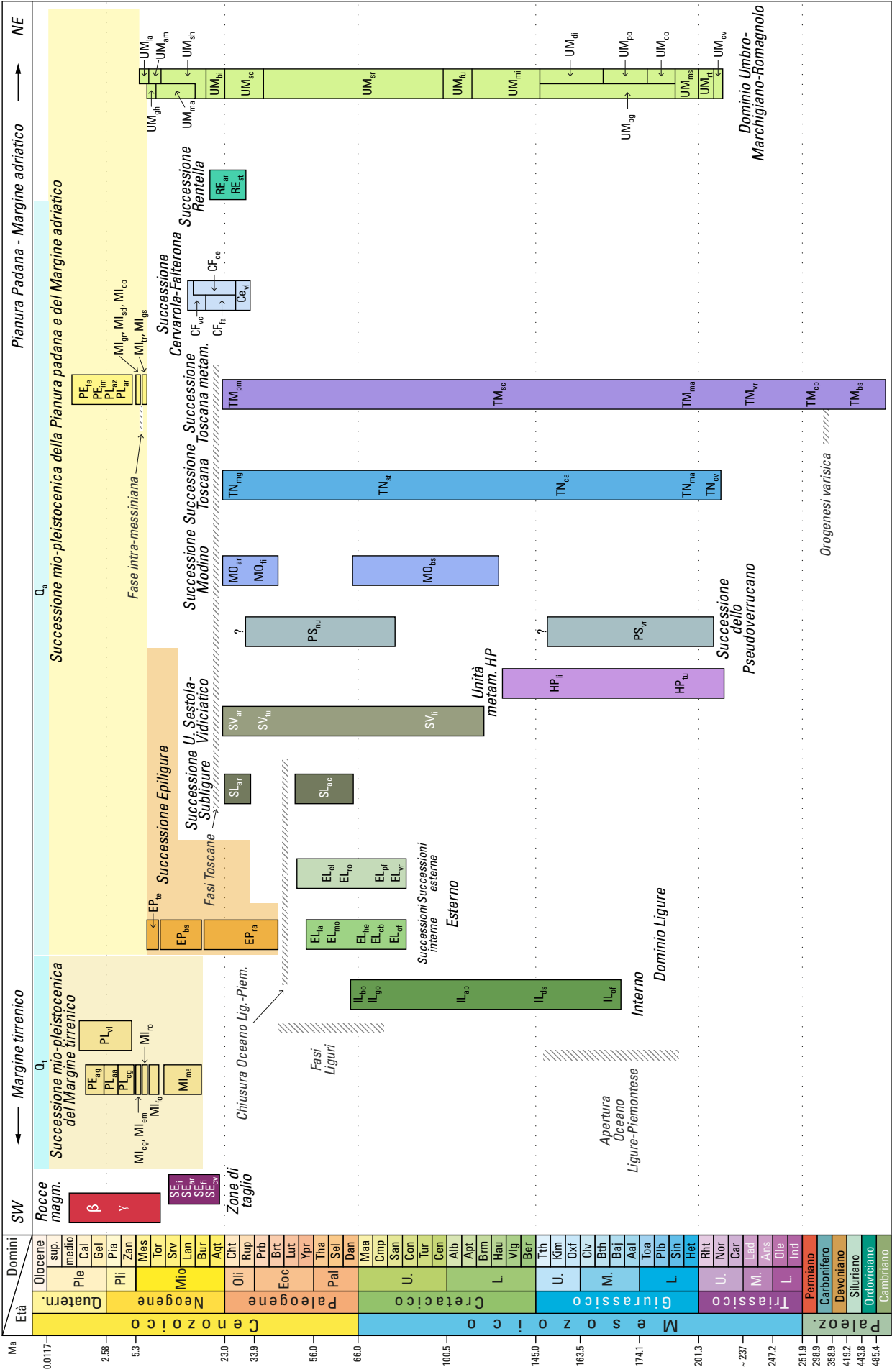


Fig. 2 – Successioni, unità tettoniche e principali eventi deformativi nell'Appennino Settentrionale. In questa e nelle figure seguenti la scala cronostratigrafica adottata è quella ICS (2018). Sono indicate le sigle della Carta Geologica.

re esterno sono ulteriormente ripartite in Successione interne ed in Successioni esterne (Successione occidentale ed orientale di MARRONI *et alii*, 2001). Le unità litostratigrafiche del Dominio Ligure sono inoltre raggruppate da alcuni autori in supergruppi, come il Supergruppo Vara, il Supergruppo Trebbia, il Supergruppo Parma, il Supergruppo Baganza, il Supergruppo Calvana, ecc.; per una loro definizione vedi i lavori di ABBATE & SAGRI (1970) e BORTOLOTTI *et alii* (2001b).

Le successioni del Dominio Ligure riflettono le modalità del processo di *rifting* che durante il Giurassico Medio portò alla formazione dell'Oceano Ligure-Piemontese e le successive fasi cretaco-paleogeniche compressive che hanno portato allo sviluppo di bacini sedimentari adiacenti al Prisma di accrezione Ligure.

Per quanto riguarda le modalità di *rifting* giurassiche, per primi DECANDIA & ELTER (1972) proposero un processo di *rifting* passivo con delaminazione della crosta continentale tramite faglie ubicate al limite crosta-mantello, dando luogo per un'area molto ampia ad un mantello continentale sollevato ed esposto sul fondale marino. L'area oceanica così sviluppata era delimitata da margini continentali simmetrici, caratterizzati da faglie normali ad alto angolo immergenti verso l'oceano. Successivamente LEMOINE *et alii* (1987) proposero un modello in cui l'apertura oceanica ha luogo attraverso un'estensione asimmetrica della litosfera tramite taglio semplice, con lo sviluppo di faglie a basso angolo attraverso la crosta continentale fino al mantello litosferico (Fig. 4a). Questo sistema di taglio a basso angolo separava la litosfera continentale in una porzione superiore (*upper plate*) ed una inferiore (*lower plate*) con evoluzione (sollevamento/subsidenza) tettonica e stratigrafia estremamente distinte. In modo simile a quanto documentato anche nelle Alpi (FROITZHEIM & MANATSCHAL, 1996), si trovano porzioni crostali della placca superiore al tetto di questo sistema di taglio ("alloctoni estensionali"). Questo modello è stato successivamente adottato da vari autori (HOOGERDUIJN STRATING *et alii*, 1993; MARRONI *et alii*, 1998, ecc.).

Di seguito viene discussa la stratigrafia del Dominio Ligure. Per ulteriori informazioni si rimanda ai lavori di ABBATE *et alii* (1970); BECCALUVA *et alii* (1984); PICCARDO *et alii* (1994); PRINCIPI (1994); ABBATE *et alii* (1986); CORTESOGNO *et alii* (1987); HOOGERDUIJN STRATING & VAN WAMEL (1989); HOOGERDUIJN STRATING (1990); MALAVIEILLE *et alii* (2016); FONNESU & FELLETTI (2019).

2.1.1. *Dominio Ligure interno*

Il Dominio Ligure interno è rappresentato da successioni depositate nel bacino dell'Oceano Ligure-Piemontese (Fig. 4b), deformate ed affioranti in differenti unità tettoniche quali, tra le altre, l'Unità Gottero, l'Unità Bracco-Val Graveglia, l'Unità Colli-Tavarone. Le successioni consistono di una sequenza ofiolitica basale (**IL_{of}**) con peridotiti mantelliche (lherzoliti serpentinizzate) intruse da gabbri stratificati ed isotropi del Giurassico. Le peridotiti ed i gabbri sono intrusi da dicchi e stock di plagiograniti, dioriti e gabbri. Le peridotiti sono coperte alla sommità da brecce tettono-idrotermali (oficalciti) e brecce sedimentarie che testimoniano l'esposizione delle peridotiti sul fondale oceanico. Questa successione è poi coperta da basalti (pillow-lava) (DECANDIA & ELTER, 1972; ABBATE *et alii*, 1980; BECCALUVA *et alii*, 1984; CORTESOGNO *et alii*, 1987).

La copertura sedimentaria della sequenza ofiolitica inizia con depositi pelagici rappresentati da diaspri e marne di età Calloviano-Titoniano (**IL_{ds}**) e diaspri derivati da fanghi silicei pelagici rimaneggiati da correnti di fondo oceaniche. Verso l'alto segue una successione con età che va dal Cretacico inferiore al superiore, data da argilliti pelagiche, marne e calcari (**IL_{ap}**: Calcari a Calpionella e Argilliti a Palombini) che derivano da torbiditi carbonatiche distali e miste carbonatico-silicee e pelagiti che passano verso l'alto ad una spessa successione torbiditica a composizione prevalentemente silicoclastica. Durante il Cretacico Superiore - base del Paleocene si verificò infatti la sedimentazione di torbiditi silicoclastiche a grana grossolana, interpretate come la porzione prossimale di un sistema di conoide di mare profondo, sviluppate in prossimità del margine continentale europeo, alla transizione con il bacino oceanico. Ciò ha determinato la formazione di una spessa successione di alternanze di arenarie con subordinate peliti (**IL_{go}**: Arenarie del Gottero, NILSEN & ABBATE, 1984; MARINI, 1991, 1994; PANDOLFI, 1996; FONNESU & FELLETTI, 2019, Arenarie di Montecatini nella Toscana meridionale, BERTINI *et alii*, 2000; NIRTA *et alii*, 2005).

I depositi più recenti (Cretacico sommitale - Paleocene inferiore) del Dominio Ligure interno sono rappresentati da depositi profondi quali argilliti con torbiditi sottilmente stratificate, intercalate con prodotti caotici da debris flow a materiale anche ofiolitico (**IL_{bo}**: Argilliti del Bocco), interpretati come depositi connessi con il rimaneggiamento della litosfera oceanica e della relativa copertura sedimentaria, già inglobati in un cuneo di accrezione Cretaceo (MARRONI & PANDOLFI, 2001; MARRONI *et alii*, 2017).

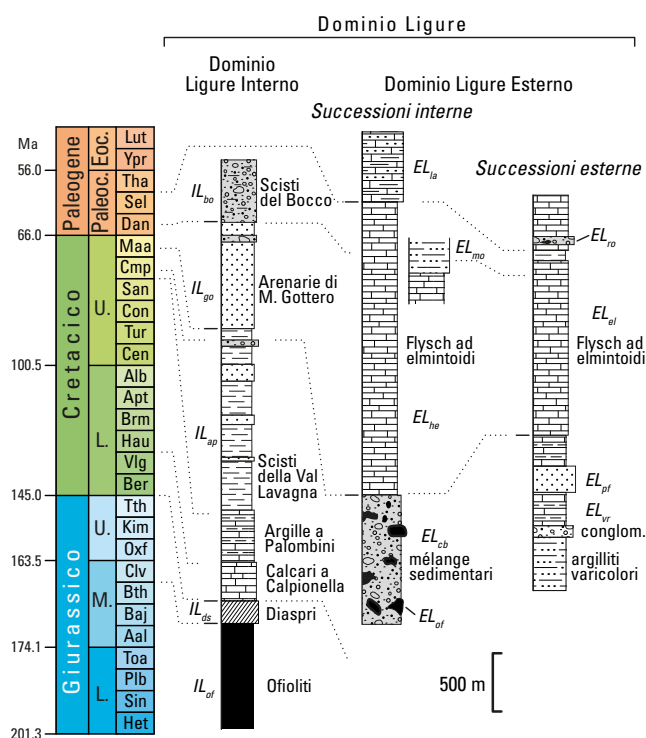


Fig. 3 – Stratigrafia delle Unità liguri, da MARRONI *et alii* (2001, 2017), modificato. In grigio sono rappresentati depositi caotici in cui sono presenti risedimenti di materiale ofiolitico. In corsivo sono indicate le sigle della Carta Geologica.

2.1.2. Dominio Ligure esterno

Il Dominio Ligure esterno rappresenta la porzione dell'Oceano Ligure-Piemontese prossima al margine continentale della Placca adriatica (Fig. 4b). Le successioni sedimentarie del Dominio Ligure esterno sono caratterizzate dall'assenza di depositi pre-Cretacico (assenza della suite ofiolitica alla base) e dalla presenza di depositi di flysch del Cretacico Superiore (Flysch ad Elmintoidi), con preservata la loro base stratigrafica rappresentata da *mélange* sedimentari ("Complessi di base"). Nella Successione interna (Fig. 3) i *mélange* sedimentari spesso contengono blocchi di crosta oceanica (Iherzoliti, gabbri, basalti, ecc.) a documentare una posizione vicina al Dominio Ligure interno. Nella Successione esterna invece i blocchi sono rappresentati quasi esclusivamente da rocce provenienti dalla copertura sedimentaria di crosta continentale (arenarie, conglomerati, depositi carbonatici di piattaforma, ecc.; Conglomerati dei Salti del Diavolo), le rocce ofiolitiche sono scarse, così da collocare questa successione in posizione prossima al margine continentale della Placca adriatica (MARRONI *et alii*, 2001).

Successione interna

Questa successione (Fig. 3, "Successione occidentale" di MARRONI *et alii*, 2001) è presente in più uni-

tà tettoniche come l'Unità Ottone, Unità Caio, Unità Bettola, Unità Monghidoro, Unità Val Baganza, Unità Groppallo, ecc., ed è caratterizzata per la parte basale da *mélange* sedimentari del Cretaceo Superiore, che consistono in brecce basali, conglomerati ed arenarie (**EL_{cb}**) derivati da frane sottomarine, debris flow e correnti di torbida ad alta densità. Sono frequenti arenarie ciottolose, arenarie grossolane e ruditi. I grandi blocchi da frana sottomarina (dimensioni chilometriche) sono stati cartografati nella Carta Geologica (**EL_{of}**) e consistono di rocce ultramafiche di mantello (Iherzoliti, pirosseniti), gabbri e blocchi di basalti, con localmente preservata la copertura sedimentaria (diaspri, ecc.). Tali blocchi rappresentano porzioni di suite ofiolitiche e della loro copertura sedimentaria. Le rocce derivate da crosta continentale sono anch'esse presenti, come granitoidi, scisti, ortogneiss, paragneiss ed arenarie arcose.

Ai complessi di base segue verso l'alto una spessa successione di alternanze di torbiditi calcaree con base calcarenitica, calcari marnosi, torbiditi silicoclastiche fini e calcari emipelagici (**EL_{he}**, Flysch ad Elmintoidi del Cretacico sup.: Formazione Caio, Formazione di Ottone, Fig. 5). Localmente sono presenti anche conglomerati poligenici e brecce (talvolta con clasti ofiolitici), con matrice argillitica (PAREA, 1961; ABBATE & SAGRI, 1967; SAGRI & MARRI, 1980; MUTTI *et alii*, 1984; FONTANA *et alii*, 1994).

Nell'Appennino emiliano i Flysch ad Elmintoidi passano localmente verso l'alto a torbiditi silicoclastiche, con alternanze di arenarie ed argilliti (**EL_{mo}**, Formazione di Monghidoro, DANIELE *et alii*, 1995; FIORONI *et alii*, 1996). La successione è qui più ricca in arenarie alla base e più pelitica nella parte superiore, con intercalazioni di strati di torbiditi calcareo marnosi, simili alla successione dei Flysch ad Elmintoidi.

Nella Toscana centrale il Flysch ad Elmintoidi e il complesso ofiolitico sono sormontati in discordanza da una successione litologicamente molto eterogenea (**EL_{ia}**: Formazione di Lanciaia), con marne alternate a calcari marnosi, conglomerati e brecce con clasti ofiolitici e blocchi, calcareniti, siltiti, arenarie ofiolitiche, argilliti varicolori, di età Eocene inferiore-medio (SIGNORINI *et alii*, 1963; CERRINA FERONI *et alii*, 1973; LAZZAROTTO & MAZZANTI, 1976; LAZZAROTTO *et alii*, 1995, 2002), che trova confronto anche con la coeva Formazione di Colle Reciso di BORTOLOTTI *et alii* (2001a) o Formazione di Madonna della Lacona di PRINCIPI *et alii* (2015), affioranti nella parte centrale dell'Isola d'Elba. Questa successione è interpretata come depositi torbiditici prossimali di base della scarpata, in un bacino di *thrust-top* durante le fasi tettoniche liguri.

2. STRATIGRAFIA

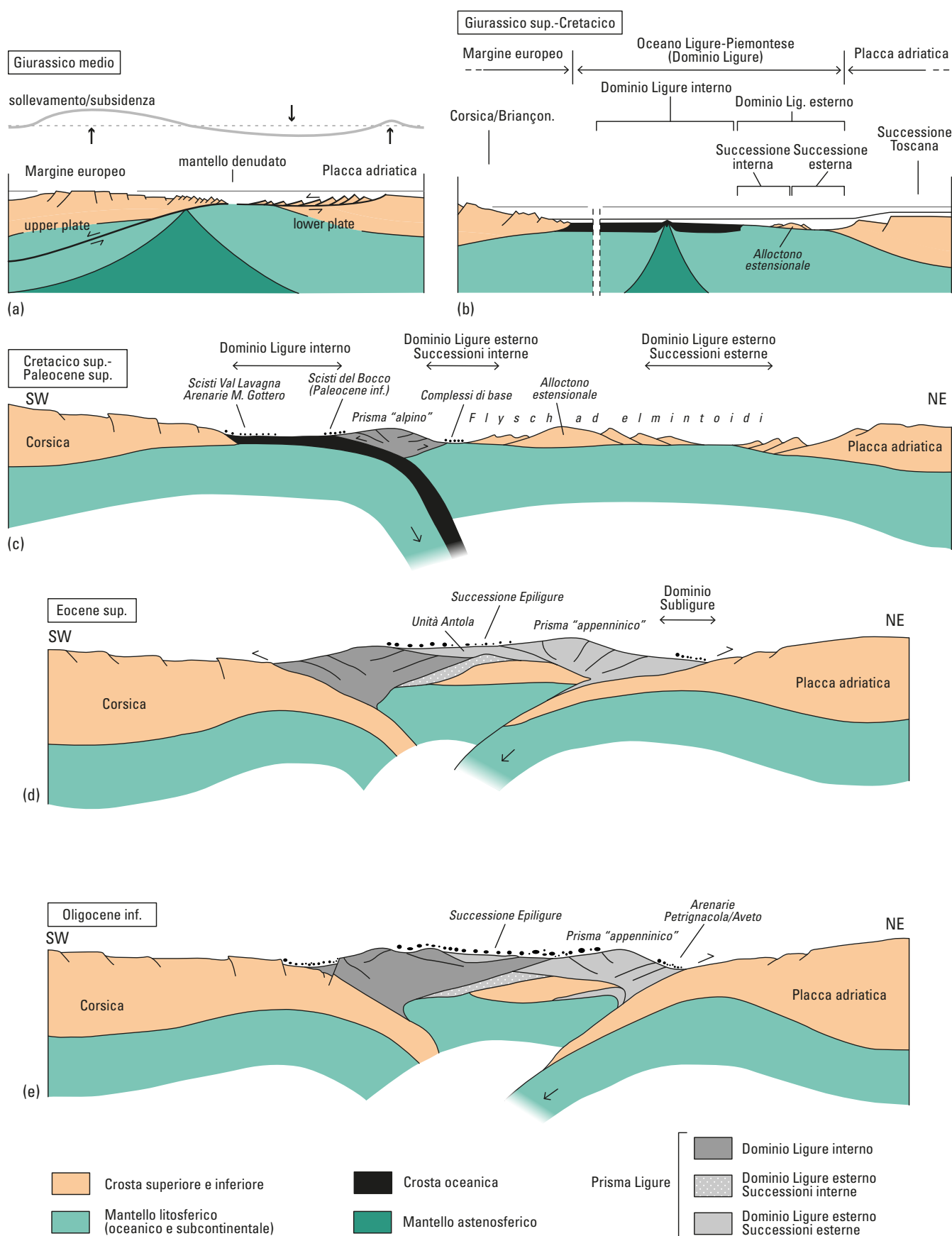


Fig. 4 – (a) Schema di estensione asimmetrica della crosta continentale durante il Giurassico medio, basato sui modelli di WERNICKE (1985) e LEMOINE *et alii* (1987). (b) Paleogeografia dell'Oceano ligure-piemontese e aree adiacenti durante il Giurassico - Cretacico inferiore. Ricostruzione dell'evoluzione geodinamica delle Unità Liguri dell'Appennino Settentrionale durante il: (c) Cretacico superiore (Campaniano-Maastrichtiano); (d) Eocene superiore; (e) Oligocene inferiore; da MARRONI *et alii* (2010), modificato.



Fig. 5 – Formazione del Flysch di M. Caio, versante orientale di M. Prampa, Appennino Emiliano.

Successione esterna

La Successione esterna è rappresentata da successioni oggi parte delle unità tettoniche Antola, Cassio, Sporno, Morello, Solignano, Media Val di Taro, Farini, S. Fiora. Più in generale, essa è caratterizzata da uno spesso “complesso di base” argillitico-caotico, con intercalazioni di conglomerati ed arenarie silicoclastiche torbiditiche, delimitate al tetto da flysch ad Elmintoidi del Cretacico-Eocene. Rocce mafiche ed ultramafiche (ofioliti) sono scarse o assenti (Fig. 3).

La successione basale (**EL_{vr}**) è costituita da argilliti varicolori alternate con siltiti, calcari silicei, marne calcaree ed arenarie carbonatiche (FONTANA *et alii*, 1994; VESCOVI *et alii*, 1999; NIRTA *et alii*, 2005; MARRONI *et alii*, 2015b). Le argilliti sono spesso interessate da alterazioni scure a manganese. Questa successione è caratterizzata anche dalla presenza di conglomerati (“Conglomerati di Salti del Diavolo”, SAMES, 1967; RIO & VILLA, 1987), costituiti da clasti bene arrotondati originati da termini sedimentari e cristallini della Placca continentale adriatica (rocce metamorfiche, granitoidi, calcari, ecc.); sulla base della presenza di questi conglomerati a provenienza continentale, i vecchi Autori postularono la presenza di un’area rilevata o dorsale continentale (“Ruga Insubrica”, BALDACCIO *et alii*, 1972) interposta tra il Dominio Ligure e il Dominio Toscano.

All’interno della successione basale sono presenti intercalazioni di torbiditi arenacee (**EL_{pr}**, Arenarie di Ostia, Pietraforte), consistenti in alternanze regolari di arenarie quarzoso-feldspatiche a grana medio-fine,

arenarie carbonatiche ed argilliti (BORTOLOTTI, 1962a; MEZZADRI, 1963; BORTOLOTTI, 1967; ELTER & MARRONI, 1991; VESCOVI *et alii*, 1999; NIRTA *et alii*, 2005; MARRONI *et alii*, 2015b). Clasti derivati da rocce ofiolitiche sono invece generalmente assenti nella successione basale, con alcune importanti eccezioni, come in Toscana centrale e in particolare nei pressi di Arezzo (Monti Rognosi), dove affiorano rocce ofiolitiche (**EL_{ro}**), le cui relazioni con le successioni adiacenti sono ancora materia di dibattito (BORTOLOTTI, 1962b; PLESI *et alii*, 2002b).

Le argilliti varicolori passano in alto gradualmente a Flysch ad Elmintoidi del Cretacico superiore-Eocene (**EL_{el}**: M. Cassio, Sporno, Flysch di Solignano, PAPANI & ZANZUCCHI, 1969; DANIELE & PLESI, 2000) e consistono di una spessa successione di torbiditi calcareo-marnose (calcari marnosi, marne e calcari), con intercalazioni di torbiditi arenaceo-pelitiche. I clasti delle arenarie sono derivati da rocce metamorfiche di basso medio grado, rocce vulcaniche a chimismo da acido a basico, dolomie extrabacinali e calcari. Riteniamo far parte di questa successione anche la Formazione dell’Antola (MARRONI *et alii*, 1992) e la più giovane Formazione di Monte Morello, la quale consiste in una successione torbiditica carbonatica dell’Eocene, consistente in alternanze di calcari marnosi, calcareniti ed argilliti (Alberese *Auctt.*: SESTINI, 1959; BORTOLOTTI, 1964; ABBATE & SAGRI, 1970; PONZANA, 1993). Piccoli e rari corpi vulcanici e subvulcanici cretacici a composizione alcalina (lamprofiri) sono presenti nelle argilliti varicolori liguri del Cretaceo della Toscana

meridionale, sotto forma di corpi intrusi o intercalati (FARAONE & STOPPA, 1990; BROGI *et alii*, 2000).

Nella Toscana centro-meridionale la partizione del Dominio Ligure esterno in una Successione interna ed in una esterna è difficoltosa e spesso problematica, a causa dell'intensa deformazione tettonica compressiva e soprattutto della successiva tettonica estensionale (BETTELLI *et alii*, 1980; COSTANTINI *et alii*, 1995; BERTINI *et alii*, 2000; LAZZAROTTO *et alii*, 2002; NIRTA *et alii*, 2005; PANDELI *et alii*, 2005a; MARRONI *et alii*, 2015b).

2.2. Successione Epiligure (pre-evaporitica)

La Successione Epiligure (Fig. 6) è costituita da formazioni affioranti dall'Emilia occidentale sino alla Romagna, la Repubblica di San Marino e la parte più settentrionale delle Marche. Esse sono formate da depositi sedimentati all'interno di bacini minori, collocati sulle falde liguri in avanzamento (sommità del cuneo orogenico), così da configurarsi come bacini satellite (RICCI LUCCHI, 1986, 1987; ARGNANI & RICCI LUCCHI, 2001) o bacini di thrust-top o di *piggy-back* (*sensu* ORI & FRIEND, 1984). Questa successione risulta essere poco deformata o talora sostanzialmente indeformata dalle fasi tettoniche liguri. La Successione Epiligure ha un'età distribuita dall'Eocene medio al Miocene superiore o al Pliocene basale, e registra il trasporto delle falde alloctone del prisma orogenico verso l'avampaese (RICCI LUCCHI & ORI, 1985; ARGNANI & RICCI LUCCHI, 2001). Tali depositi poggiano sulle Unità Liguri tramite una superficie di discordanza angolare di importanze regionale, di età Eocene medio-superiore (BETTELLI *et alii*, 1987b; REMITTI *et alii*, 2012; PIAZZA *et alii*, 2016). Inoltre, i depositi dei bacini epiligruri sono, nel settore più occidentale, lateralmente collegati con i depositi del Bacino episturale Terziario Piemontese (DI GIULIO, 1991; MUTTI *et alii*, 1995).

La Successione Epiligure è stata qui suddivisa in tre sequenze delimitate tra loro da discordanze stratigrafiche (RICCI LUCCHI, 1986).

La sequenza inferiore (**EP_{ra}**) ha un'età distribuita tra il Luteziano e l'Aquitano (CERRINA FERONI *et alii*, 2002a; CATANZARITI *et alii*, 2002; PIAZZA *et alii*, 2016). Essa è formata da un'ampia varietà litologica, i cui depositi si sono sedimentati in ambiente variabile da marino profondo a batiale superiore (BETTELLI *et alii*, 1987b; DI GIULIO *et alii*, 2002; MANCIN *et alii*, 2006), quale risposta alla variabilità tettono-sedimentaria nell'ambito dei bacini satellite. Ciò è evidenziato anche dalla presenza di marne ed argilliti che ricorrono in posizioni stratigrafiche differenti (Marne di Monte Piano,

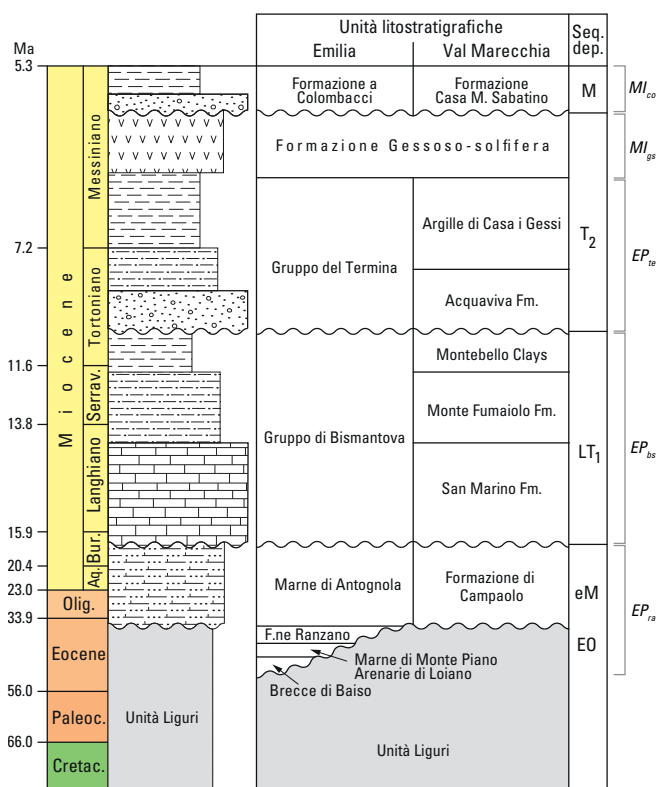


Fig. 6 – Stratigrafia della Successione epiligrure, da ROVERI *et alii* (1999), sequenze deposizionali da RICCI LUCCHI (1986). Ulteriori nuovi dati e revisioni aggiornate della Successione epiligrure sono riportate in CONTI *et alii* (2016) e ARGENTINO *et alii* (2017). In corsivo sono indicate le sigle della Carta Geologica.

Marne di Antognola, Formazione di Contignaco), di arenarie torbiditiche molto variabili in composizione ed in provenienza (Formazione di Ranzano, Arenarie di Loiano, Arenarie di Poggio Carnaio, Arenarie del Lagrimone), breccie e melanges sedimentari (Breccie di Baiso, Complesso della Valle del Savio) (CIBIN, 1993; BETTELLI *et alii*, 1994; MARTELLI *et alii*, 1998; CIBIN *et alii*, 2001, 2003). Il record stratigrafico completo mostra dal basso verso l'alto: Breccie di Baiso ed Arenarie di Loiano, Marne di Monte Piano, Arenarie di Ranzano, Formazione di Campaolo, Marne di Antognola, Formazione di Contignaco (CATANZARITI *et alii*, 2002).

La sequenza intermedia (**EP_{bs}**) è caratterizzata alla base dalla presenza di un'importante discordanza regionale di età burdigaliana (FREGNI & PANINI, 1988; BETTELLI *et alii*, 1987b; AMOROSI *et alii*, 1995; MUTTI *et alii*, 1995; REMITTI *et alii*, 2012), ed è rappresentata dal Gruppo di Bismantova (AMOROSI *et alii*, 1996a; ROVERI *et alii*, 1999; PAPANI *et alii*, 2002). Essa corrisponde alla sequenza LT1 di RICCI LUCCHI (1986), distribuita dal Burdigaliano sup. al Tortonian inferiore (CATANZARITI *et alii*, 2002). Essa è formata da conglomerati, calcareniti bioclastiche (Formazione di San

Marino, Calcareni de La Verna, Formazione di Pantano *p.p.*), marne, arenarie silicoclastiche ed ibride (Arenarie di Bismantova, Formazione di Monte Fumaiolo, Formazione di Pantano *p.p.*), argille e silt (Argille di Montebello, Formazione di Cigarello), marne ed arenarie, brecce ed olistostromi, di ambiente variabile da marino poco profondo a marino di scarpata-bacino (AMOROSI, 1992; AMOROSI *et alii*, 1996b; ROVERI *et alii*, 1999; CATANZARITI *et alii*, 2002; ARGENTINO *et alii*, 2017; CONTI *et alii*, 2017). La stratigrafia del Gruppo di Bismantova è rappresentata dal basso verso l'alto da: Formazione di Pantano e Formazione di San Marino, Formazione di Monte Fumaiolo, Arenarie di Bismantova, Formazione di Cigarello ed Argille di Montebello (CATANZARITI *et alii*, 2002; CONTI *et alii*, 2016). Questa sequenza è distribuita in modo diffuso in Emilia, in Val Marecchia e nella Toscana orientale, sotto forma di ampie "zattere" poggianti in discordanza sulle Unità Liguri (CONTI, 2002; CONTI *et alii*, 2016; CORNAMUSINI *et alii*, 2017), come bene evidente alla Pietra di Bismantova (Fig. 7), La Verna, Monte Fumaiolo, Sasso Simone-Simoncello, San Leo, Monte Fotogno, Pietracuta, San Marino, Torriana (CORNAMUSINI *et alii*, 2009a; CONTI *et alii*, 2016).

La sequenza epiligure superiore (**EP_{te}**) è rappresentata dal Gruppo di Termina (sequenza T2 di RICCI LUCCHI, 1986). Essa giace in discordanza sul Gruppo di Bismantova (ROVERI *et alii*, 1999) e al di sotto dei depositi del Messiniano superiore e del Pliocene. Questa sequenza è costituita da depositi di ambiente variabile da conglomerati ed arenarie fluvio-deltizie (Formazione di Acquaviva), marne e marne argillose di mare poco profondo con intercalazioni di arenarie (Formazione del Termina, Marne di Sant'Agata Fossili), argille di mare poco profondo (Argille di Casa i Gessi).

La successione stratigrafica completa della sequenza T2 è formata dal basso verso l'alto da: Formazione di Acquaviva e Formazione del Termina, Argille di Casa i Gessi, Formazione Gessoso-solfifera (RICCI LUCCHI, 1986; CATANZARITI *et alii*, 2002; CORNAMUSINI *et alii*, 2009a, 2017; CONTI *et alii*, 2016). L'età di questa sequenza va dal Tortoniano al Messiniano (la base potrebbe anche essere del Serravalliano sommitale).

In Emilia-Romagna e soprattutto nell'area della Val Marecchia la Successione Epiligure tipicamente include anche depositi di età del Messiniano e possibilmente anche del Pliocene basale, come le evaporiti della Formazione Gessoso-solfifera, i conglomerati e le arenarie deltaici della Formazione di Casa Monte Sabatino, le argille ed arenarie intertidali/spiaggia superiore della Formazione di Monte Perticara, ed i livelli basali della Formazione delle Argille Azzurre, che a

loro volta sono sormontati dai depositi pliocenici autotoni (DE FEYTER, 1991; CONTI, 1994; ROVERI *et alii*, 1999; CONTI *et alii*, 2016; CORNAMUSINI *et alii*, 2017). Questi depositi sono descritti nel capitolo della "Successione evaporitica messiniana" e della "Successione post-evaporitica messiniana".

2.3. Dominio Subligure

Il Dominio Subligure è un dominio con una posizione paleogeografica intermedia tra il Dominio Ligure e il Dominio Toscano. La successione stratigrafica del Dominio Subligure è caratterizzata dalla presenza di una discordanza a scala regionale di età Eocene medio-superiore, che separa la successione in due porzioni: a) una successione inferiore che va dal Paleocene inferiore all'Eocene medio; b) una successione superiore che va dall'Oligocene inferiore al Miocene basale (ZANZUCCHI, 1963; ELTER *et alii*, 1964; PLESI, 1974, 1975b; MONTANARI & ROSSI, 1982; CERRINA FERONI *et alii*, 1991; CATANZARITI *et alii*, 1996; VESCOVI, 1998; BRUNI *et alii*, 2007; PERILLI *et alii*, 2009; REMITTI *et alii*, 2011; VANNUCCHI *et alii*, 2012).

Da questo dominio si originano durante le fasi tettoniche mioceniche una serie di unità tettoniche (Unità Canetolo, Unità Penice, Unità Vico, Unità Aveto, Unità Bratica, Unità Sanguinetto, Unità Ghiare, Unità Marra, ecc.) attualmente affioranti nell'Appennino ligure e nell'Appennino tosco-emiliano, interposte tra le sovrastanti Unità Liguri e le sottostanti Unità Toscane.

La successione inferiore del (?Cretacico sup.) Paleocene inferiore - Eocene medio (**SL_{ac}**: Argille e Calcari di Canetolo, Calcari di Groppo del Vescovo, Fig. 8a) è rappresentata da argilliti, siltiti e calcari con stretta affinità con le successioni cretacico-eoceniche del Dominio Ligure esterno o anche, per quanto riguarda i Calcari di Groppo del Vescovo, con le serie calcaree della Scaglia Toscana del Dominio Toscano. Questa successione mostra un'intensa deformazione in condizioni di bassa temperatura, con sviluppo di pieghe isoclinali a varie scale soprattutto nelle porzioni più argillitiche. REMITTI *et alii* (2011) hanno dimostrato che questi caratteri deformativi sono simili a quelli delle Unità Liguri esterne. Questa porzione basale del Dominio Subligure può essere quindi considerata sia dal punto di vista stratigrafico che tettonico affine al Dominio Ligure esterno.

La sovrastante successione superiore dell'Oligocene inferiore - Miocene basale è caratterizzata da arenarie silicoclastiche torbiditiche simili alle torbiditi del Dominio Toscano, arenarie vulcanoclastiche e conglomerati con clasti di rocce vulcaniche (**SL_{ar}**: Arenarie di Petriagnacola, Arenarie dell'Aveto, Arenarie di Ponte



Fig. 7 – Panorama della Pietra di Bismantova, Gruppo di Bismantova, Successione Epiligure (Castelnuovo ne' Monti, Appennino emiliano), vista verso N.

Bratica, ecc., Fig. 8b). Questa successione è molto meno deformata rispetto alla successione inferiore, con solo locali sovrascorrimenti con senso di trasporto tettonico verso NE. Tutti questi caratteri permettono di supporre per questa successione un'origine paleogeografica adiacente al Dominio Toscano.

Sulla base di tutte queste evidenze e in accordo con molti degli autori precedenti, consideriamo la successione superiore dell'Oligocene inferiore - Miocene inferiore essersi deposita in discordanza sopra una successione basale di età Paleocene inferiore - Eocene medio già deformata e appartenente al Prisma di accrezione ligure (Fig. 8c). La successione superiore arenacea dell'Oligocene inferiore - Miocene inferiore rappresenta quindi il riempimento di un bacino di *thrust-top* al di sopra del Prisma Ligure, con affinità litologica con le adiacenti successioni arenacee toscane (Arenarie di M. Modino, Macigno). Una delle più significative differenze rispetto alle successioni toscane è il maggiore contenuto in materiale vulcanico, probabilmente legato alla relativa vicinanza dei bacini di queste successioni agli edifici vulcanici oligocenici.

2.4. Dominio Toscano

Il Dominio Toscano è rappresentato, dall'interno verso l'esterno, dalla Successione dello Pseudoverrucano, dalla Successione di M. Modino, dalla Successione Toscana, dalla Successione Toscana Metamorfica, dalla più esterna Successione Cervarola-Falterona, e dalla Successione Rentella, quest'ultima con marcate affinità con la Successione Umbra.

2.4.1. Successione dello Pseudoverrucano

La Successione dello Pseudoverrucano è rappresentata da limitati e dispersi affioramenti in Toscana meridionale nell'area di Grosseto, con una successione stratigrafica molto particolare che non trova analogie con altre successioni del Dominio Toscano, così da essere considerata una sorta di "*incertae sedis*" nella letteratura precedente. "Pseudoverrucano" è un vecchio termine informale usato per indicare un conglomerato quarzoso grossolano di colore rossastro, molto simile alla litofacies del Verrucano triassico che affiora estesamente in Toscana, che però passa stratigraficamente e direttamente a depositi di età liassico-eocenica. Questa successione affiora attualmente in scaglie tettoniche con rapporti tettonici complicati con le adiacenti successioni della Falda Toscana.

La Successione dello Pseudoverrucano in Toscana meridionale rappresenta ancora un oggetto di discussione per quanto riguarda il suo significato, la sua originaria posizione paleogeografica, il suo attuale assetto tettonico e nonostante i limitati affioramenti è stata oggetto in passato di numerosi studi (FAZZINI & PAREA, 1966; SIGNORINI, 1967; COSTANTINI *et alii*, 1980; DECANDIA & LAZZAROTTO, 1980b; MORETTI, 1991; DECANDIA & LAZZAROTTO, 1980b; CAMPETTI *et alii*, 1999; ALDINUCCI *et alii*, 2008a; MONTOMOLI *et alii*, 2009; CONTI *et alii*, 2010; BALDETTI *et alii*, 2011; GANDIN, 2012; PERRONE *et alii*, 2006). Noi consideriamo questa successione nel suo settore meridionale come appartenente alla parte più occidentale del margine continentale adriatico, cioè come la porzione più interna del Dominio Toscano (CONTI *et alii*, 2010).

Nella Carta Geologica abbiamo separato la succes-

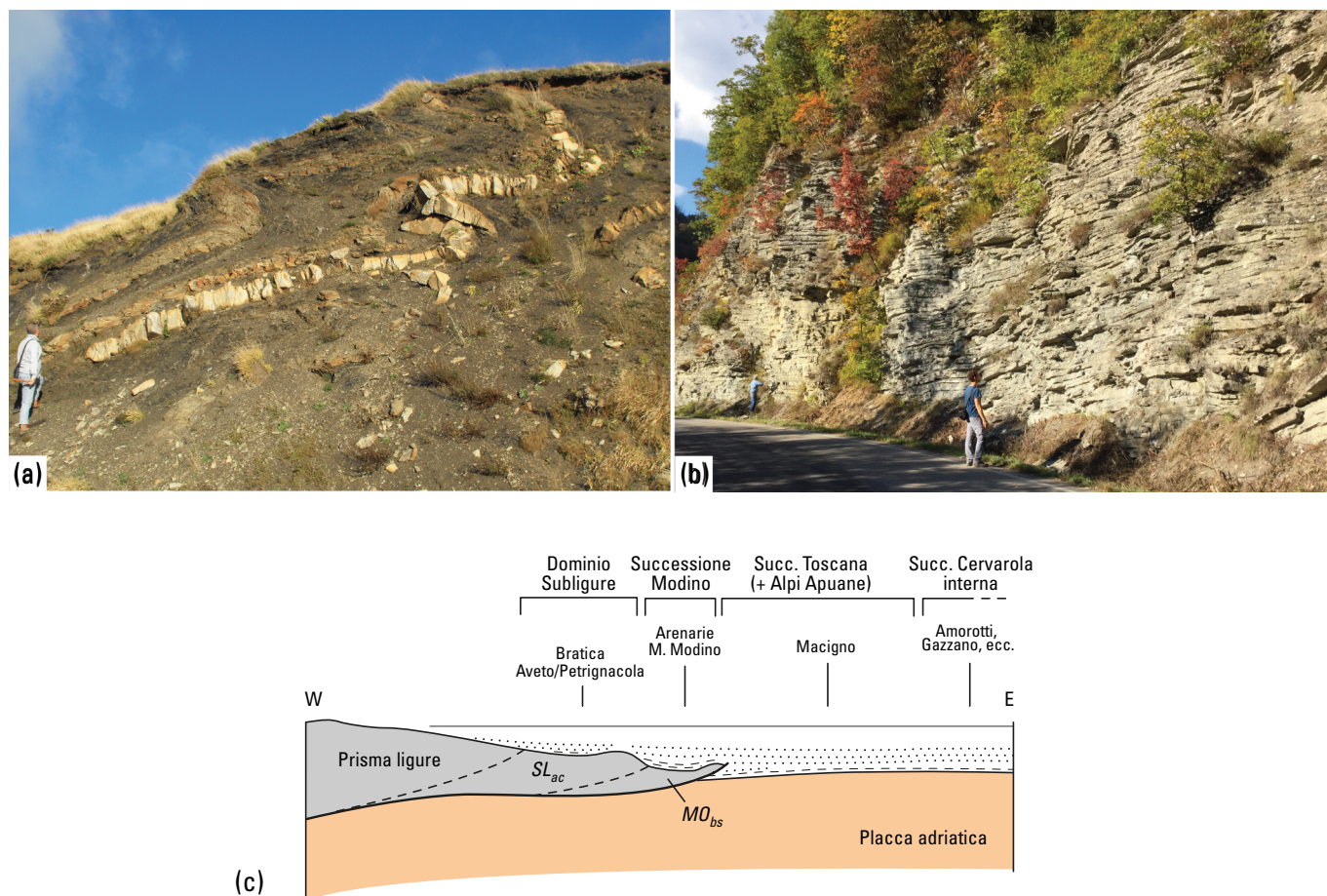


Fig. 8 – (a) Affioramento della formazione delle Argille e Calcarei di Canetolo, Passo di Cirone. (b) Affioramento delle Arenarie di Ponte Bratica, Ponte Bratica, Corniglio. (c) Ricostruzione paleogeografica per la zona di transizione Dominio Subligure - Dominio Toscano, al passaggio Oligocene-Miocene, prima delle fasi deformative compressive del Miocene inferiore-medio. In grigio è indicato il Prisma orogenico ligure/subligure. In corsivo sono riportate le sigle della Carta Geologica.

sione in due porzioni, distinguendo la parte inferiore conglomeratica, con depositi terrigeni ricchi in quarzo che passano in alto a depositi carbonatici di mare basso (**PS_{vr}**), dalla sovrastante successione carbonatica (**PS_{nu}**) che mostra marcate affinità con le formazioni del Cretaceo-Eocene della Successione Toscana ed in particolare con la litofacies “nummulitica”.

La porzione inferiore della successione (**PS_{vr}**) ha caratteri diacroni, ma complessivamente un'età distribuita dal Triassico superiore al Giurassico inferiore, mentre la parte carbonatica superiore (**PS_{nu}**) ha età ?cretacico-eocenica.

2.4.2. Successione di M. Modino

Questa successione affiora nell'Unità tettonica Modino. L'Unità Modino è stata oggetto in passato di numerosi studi e di un acceso dibattito riguardo la sua posizione stratigrafica e strutturale, con numerose interpretazioni che possono essere riassunte in due interpretazioni contrapposte: a) la Successione di M. Modino si è deposta al di sopra della Successione

Toscana, ovvero è in serie stratigrafica con la successione della Falda Toscana (ABBATE & BORTOLOTTI, 1961; NARDI, 1965; MARTINI & SAGRI, 1977; ABBATE & BRUNI, 1987; LUCENTE & PINI, 2008); b) l'Unità Modino è tettonicamente sovrapposta alla Falda Toscana, cioè i rapporti tra le successioni delle due unità, deposte in posizioni paleogeografiche diverse, sono di natura tettonica (REUTTER, 1969; PLESI, 1975a; BETTELLI *et alii*, 1987a; CHICCHI & PLESI, 1991; CERRINA FERONI *et alii*, 2002a). In queste Note e nella Carta Geologica è stata favorita quest'ultima interpretazione, anche alla luce di recenti dati biostratigrafici e strutturali (MARCHI *et alii*, 2017; CORNAMUSINI *et alii*, 2018).

Questa successione, analogamente a quanto già osservato per la successione del Dominio Subligure, può essere divisa in due parti: a) una porzione basale calcareo-marnosa molto deformata di età cretacea, a cui segue verso l'alto (attraverso una discordanza, MOCHI *et alii*, 1995); b) una successione molto meno deformata marnoso-arenacea di età Eocene medio-Miocene inferiore.

La parte basale della successione (**MO_{bs}**, Complesso basale di M. Modino, Formazione dell'Abetina Reale, ecc.) è rappresentata da un complesso caotico formato da termini cretacei ad affinità ligure costituiti da calcari e calcari marnosi (simili alle successioni dei flysch ad Elmintoidi liguri), calcari silicei, argilliti varicolori e brecce marnoso-carbonatiche con clasti di calcari liguri. Questa successione è molto deformata ed è considerata un *mélange* tettonico attribuibile alla porzione più esterna ed orientale del cuneo di accrezione ligure (Fig. 8c), che si è formato durante le Fasi tettoniche liguri nel Paleocene-Eocene (MARCHI *et alii*, 2017).

Al di sopra di questo *mélange* tettonico giace in discordanza una successione (**MI_{fi}**) di età Eocene medio - Oligocene superiore (Bartonian - Chattiano superiore) costituita da argilliti rosso-verdastre con intercalate calcareniti, marne, siltiti e arenarie (Argilliti di Fiumalbo), che passano verso l'alto a marne con stratificazione massiva con minori intercalazioni di siltiti, arenarie e brecce (Marne di Marmoreto).

La parte superiore della successione (**MO_{ar}**) è rappresentata da una successione arenacea di alcune centinaia di metri di spessore (Arenarie di M. Modino) costituita da arenarie silicoclastiche torbiditiche con strati da sottili a spessi e con trend tipo *thickening-upward*, di età Oligocene superiore - Miocene inferiore (CATANZARITI & PERILLI, 2009; MARCHI *et alii*, 2017, con bibliografia).

Sulla base di questi caratteri consideriamo la parte basale della Successione di M. Modino una porzione caoticizzata del cuneo di accrezione ligure (Fig. 8c), mentre la successione eocenica-miocenica inferiore si sarebbe deposta sulla parte del cuneo di accrezione ligure adiacente al bacino di sedimentazione della Successione Toscana.

2.4.3. Successione Toscana

Questa successione ha un'età compresa tra il Triasico e il Miocene inferiore (Fig. 10) ed affiora nell'unità tettonica della Falda Toscana, estesamente nel territorio toscano. La stratigrafia della Successione Toscana è testimone di una sedimentazione carbonatica di piattaforma continentale dal Norico al Giurassico inferiore (Hettangiano). A partire dal Sinemuriano una tettonica estensionale legata all'apertura dell'Atlantico centrale porta alla frammentazione e annegamento della piattaforma carbonatica e all'instaurarsi di una sedimentazione pelagica al di sotto della CCD, che persiste per tutto il Giurassico. Durante il Cretacico e parte del Paleogene condizioni pelagiche continuano, con progressivo approfondimento del bacino di

sedimentazione. Dall'Oligocene superiore, il Dominio Toscano si sviluppa come un bacino di avanfossa con sedimentazione torbiditica silicoclastica. La sedimentazione si interrompe nel Miocene inferiore (Aquitano) a causa del sovrascorrimento e messa in posto delle Unità Liguri al di sopra della Successione Toscana. La stratigrafia della Successione Toscana è stata oggetto di numerosi studi, tra i lavori a carattere generale e con un'esauritiva bibliografia si segnalano quelli di BORTOLLOTTI *et alii* (1970), DALLAN NARDI & NARDI (1972), KÄLIN *et alii* (1979), FAZZUOLI *et alii* (1985), CIARAPICA & PASSERI (1994, 1998) e CERRINA FERONI *et alii* (2002a).

La base della successione è attribuita al Norico (**TN_{cv}**, Calcare Cavernoso) ed è costituita da alternanze di dolomie ed anidriti che rappresentano la sedimentazione in ambiente di piattaforma carbonatica con episodi evaporitici (Fig. 9a). Questi depositi sono rinvenuti nella loro posizione primaria al di sotto delle formazioni del Retico solo in alcuni limitati affioramenti in Toscana meridionale, mentre sono ampiamente documentati in sondaggi (BURCKHARDT, 1946; MERLA, 1951; VIGHI, 1958; TREVISAN, 1955). La presenza di evaporiti rende questo livello stratigrafico il livello preferenziale di scollamento durante lo sviluppo di sovrascorrimenti durante le fasi compressive toscane e durante lo sviluppo di faglie normali a basso, così come durante le fasi di esumazione e sollevamento. Questo porta allo sviluppo in tale livello stratigrafico di spesse e tipiche cataclasiti (fino ad alcune centinaia di metri), costituite da clasti di dolomia associati a cavità legate a idratazione, de-dolomitizzazione e dissoluzione di solfati, durante il flusso cataclastico (Fig. 9b). Queste cataclasiti rappresentano la quasi totalità degli affioramenti della formazione del Calcare Cavernoso. Poiché esse si sviluppano lungo sovrascorrimenti e faglie che tagliano varie formazioni e unità tettoniche, assieme ai clasti di dolomia talora si rinvengono anche clasti e scaglie di molte altre litologie (calcari, radiolari, ecc.), come clasti e scaglie di rocce metamorfiche (come nella zona delle Alpi Apuane, Passo del Cerreto, Soraggio). Le cataclasiti hanno un'elevata porosità, questo fa sì che la formazione del Calcare Cavernoso sia diffusamente interessata da fenomeni carsici.

Verso l'alto (**TN_{ma}**) si passa a depositi retici di piattaforma subtidale, da poco ossigenata ad anossica, rappresentati da caratteristici calcari e calcari marnosi ben stratificati dal tipico colore grigio-scuro e nerastro (Calcari a *Rhaetavicula contorta*). Seguono i depositi di piattaforma carbonatica intertidale della formazione del Calcare Massiccio (Hettangiano-Sinemuriano inferiore): questi depositi mostrano una porzione basale

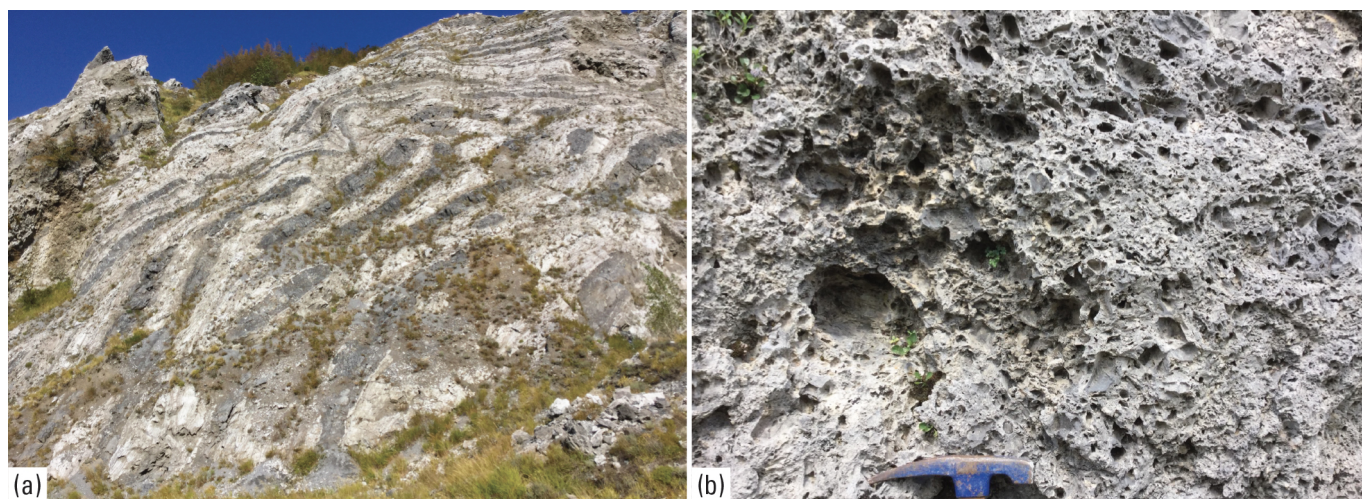


Fig. 9 – (a) Alternanze di dolomie e anidriti affioranti all'interno di scaglie tettoniche (Sassalbo, Passo del Cerreto, Appennino tosco-emiliano). (b) Calcare Cavernoso (cataclasite) alla base della Falda Toscana nell'area delle Alpi Apuane (Capanne Ferrari, Carrara).

con calcari dolomitici e una porzione superiore, molto spessa, con calcari massivi e calcari ben stratificati. Eteropiche con la formazione del Calcare Massiccio sono la formazione delle Dolomie di Monte Castellana e la formazione dei Calcari ad *Angulata*.

La successione continua verso l'alto (**TN_{ca}**) con depositi emipelagici e condensati (Rosso Ammonitico) rappresentati da calcilutiti e calcari marnosi nodulari di colore rossastro, rosa e giallastro, a cui si intercalano marne ed argilliti; sono inoltre presenti calcari con noduli di selce e *slump*, testimoni di un'attività tettonica sinsedimentaria. Verso l'alto si passa ad una spessa successione bacinale con sedimentazione carbonatica torbiditica (Calcare selcifero di Limano), rappresentata da calcilutiti silicee ben stratificate con liste e noduli di selce biancastri con intercalazioni di calcareniti, spesso con evidente gradazione, marne ed argilliti. In alcune aree (es. Carrara) si hanno successioni condensate con solo pochi metri di calcilutiti emipelagiche. Successivamente si passa ad una sedimentazione pelagica rappresentata dalla Formazione dei Calcari e marne a *Posidonomya alpina*, con marne e calcari marnosi intercalati con calcilutiti e calcareniti, localmente con liste e noduli di selce, marne silicee e radiolariti. La sedimentazione torbiditica è testimoniata anche dalla sovrastante Formazione del Calcare selcifero della Val di Lima, rappresentato da calcareniti gradate e calcilutiti silicee con abbondanti liste e noduli di selce nera; sono inoltre presenti brecce intraformazionali grossolane a vari livelli. La sedimentazione profonda al di sotto del limite di compensazione dei carbonati (CCD) continua con la deposizione di radiolariti alternate ad argilliti (Diaspri), che passano verso l'alto a marne silicee e calcari (Rosso ad Aptici). La sedimentazione di mare profondo al di sopra della CCD è rappresenta-

ta dalla Formazione della Maiolica, con calcilutiti ben stratificate, con intercalazioni di calcareniti e calciruditi con liste e noduli di selce; le calcareniti sono prevalenti nella parte alta della formazione.

Dal Cretacico inferiore (Aptiano) fino all'Oligocene superiore il Dominio Toscano è un ampio bacino marino con all'inizio deposizione di una spessa successione di argilliti, argilliti silicee e marne di colore rossastro, con intercalate calcilutiti e calcareniti torbiditiche (**TN_{st}**: Scaglia Toscana, Fig. 11). La Formazione della Scaglia Toscana è tipicamente suddivisa in numerosi membri e litofacies, questo testimonia l'esistenza di diverse porzioni del bacino di sedimentazione con differenti profondità di sedimentazione, fluttuazioni del livello della CCD legate a eventi a scala globale e locale risedimentazione di materiale carbonatico a seguito di flussi torbiditici. L'estrema variabilità litologica di questa formazione riflette quindi la complessità del bacino di sedimentazione, con la deposizione di marne nelle zone di alto morfo-strutturale, mentre le argille e le torbiditi carbonatiche si depositano nelle aree bacinali più profonde (CANUTI *et alii*, 1965; FAZZUOLI *et alii*, 1985, 1994; IELPI & CORNAMUSINI, 2013). Significative variazioni dei caratteri stratigrafici si hanno tra gli affioramenti della Toscana settentrionale a nord dell'Arno (FAZZUOLI *et alii*, 1985, 1998; DEL TREDICI & PERILLI, 1998; CONTI *et alii*, 2019a) e quelli della Toscana centrale e meridionale (per una sintesi dei dati vedi CANUTI *et alii*, 1965; FAZZUOLI *et alii*, 1996; BABINI *et alii*, 2009; CORNAMUSINI *et alii*, 2012; IELPI & CORNAMUSINI, 2013; PANDELI *et alii*, 2018).

A partire dall'Oligocene superiore il Dominio Toscano rappresenta il bacino di avanfossa della catena appenninica progressivamente migrante verso l'avampese (RICCI LUCCHI, 1986; ARGNANI & RICCI LUC-

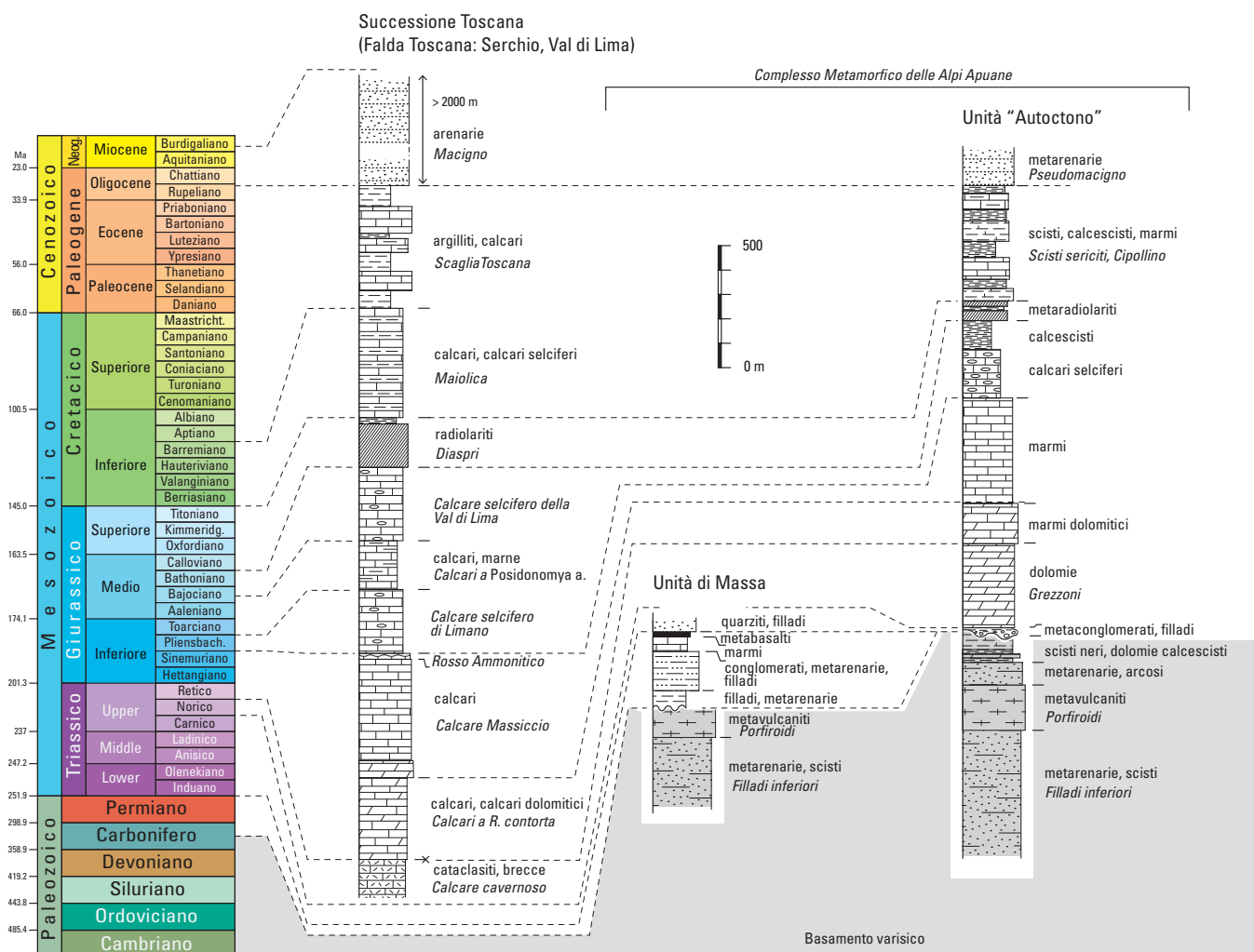


Fig. 10 – Stratigrafia della Successione Toscana nella Falda Toscana Nord dell'Arno e nelle unità tettoniche del Complesso Metamorfico delle Alpi Apuane

CHI, 2001), con la sedimentazione della Formazione del Macigno (**TN_{mg}**, Fig. 12). Questo è un sistema torbiditico arenaceo di notevole spessore ed estensione regionale, con significative diacronie interne, che mostra un'età che va dal Rupeliano superiore (Chattiano inferiore) all'Aquitano. Questa formazione è costituita da una spessa successione di arenarie torbiditiche e siltiti, di composizione da arcossico-litica ad arcossica con rari sottili livelli carbonatici e livelli caotici. Nella parte alta della formazione sono presenti olistoliti ed olistostromi di materiale proveniente dalle Unità Liguri e dalle Unità Subliguri accompagnati da un aumento dei livelli pelitici, ad indicare la progressiva chiusura del bacino di avanfossa dovuto alla messa in posto delle sovrastanti Unità Liguri (CASTELLUCCI & CORNAGGIA, 1980; CORNAMUSINI, 2004a). La successione che affiora lungo la costa della Toscana centro-meridionale è nota in letteratura come "Macigno costiero" ed è distinta da vari autori dalla formazione del Macigno s.s. per facies, architettura deposizionale, composizione,

provenienza ed età (GANDOLFI & PAGANELLI, 1992; COSTA *et alii*, 1997; CORNAMUSINI, 2002, 2004b). Diversamente, gli affioramenti di Macigno lungo la costa spezzina, sono caratterizzati dalla prevalenza della litofacies arenacea fine-pelitica, ed indicati come Arenarie zonate di Riomaggiore (ABBATE, 1969; ABBATE *et alii*, 2005).

In conclusione è importante notare che in Toscana meridionale (Valle del Tafone, M. Bellino, ecc.) il Calcare Cavernoso sembra in qualche caso mostrare rapporti stratigrafici primari con le sottostanti successioni più antiche del Carnico e del Triassico medio (Formazione di Tocchi, Gruppo del Verrucano s.l., Fig. 13). Poiché questi rapporti sono ancora oggetto di discussione e poiché solitamente in Toscana le successioni del Triassico medio sono solitamente metamorfiche e deformate, in queste Note la Formazione di Tocchi e il Gruppo del Verrucano sono descritti nel successivo capitolo riguardante la "Successione Toscana Metamorfica".



Fig. 11 – Formazione della Scaglia Toscana, Monti del Chianti.



Fig. 12 – Formazione del Macigno (Successione Toscana), versante meridionale di Libro Aperto, Appennino Tosco-Emiliano.

2.4.4. Successione Toscana Metamorfica

Nell'Appennino Settentrionale rocce metamorfiche affiorano solo in Toscana (Alpi Apuane, Monti Pisani, Iano, Dorsale Monticiano-Roccastrada, Isola d'Elba, Monti dell'Uccellina, Monte Argentario, Monte Bellino, ecc.) e rappresentano il risultato del metamorfismo su successioni deposte sul margine della Placca adriatica, con una successione mesozoico-cenozoica simile a quella affiorante nella Falda Toscana e con una sostanziale successione paleozoica. Le condizioni del metamorfismo non superano la facies a scisti verdi. Il metamorfismo è legato a subduzione e deformazione di porzioni del margine continentale adriatico durante il Miocene inferiore ed è accompagnato da sovrascorrimenti a scala regionale, un'importante deformazione interna delle rocce, sviluppo di pieghe isoclinali spesso fortemente non cilindriche, una foliazione regionale di piano assiale delle principali pieghe, formazione di lineazioni di estensione e mineralogiche orientate NE-SW associate ad una direzione di trasporto tettonico verso NE. Un metamorfismo retrogrado e deformazioni di più bassa temperatura si sviluppano durante le fasi tettoniche del Miocene superiore, legate all'esumazione e alla formazione di *core complex*. Per informazioni sulle condizioni del metamorfismo si rimanda ai lavori di FRANCESCHELLI *et alii* (1986, 1997); KLIGFIELD *et alii* (1986); JOLIVET *et alii* (1998); GIORGETTI *et alii* (1998); BRUNET *et alii* (2000); MOLLI *et alii* (2000); FRANCESCHELLI *et alii* (2004); LEONI *et alii* (2009); MOLLI *et alii* (2018); CONTI *et alii* (2019a). Rocce di più alto grado metamorfico (HP-LT) affiorano in Toscana in assetti tettonici complicati, in zone a scaglie tettoniche e *mélange*, con giustapposizione di rocce ad affinità ligure e toscana. A causa del loro particolare assetto tettonico queste rocce sono trattate separatamente nel capitolo "Unità con metamorfismo di alta pressione".

Nella successione metamorfica sono state distinte (Fig. 10, Fig. 13): a) una successione paleozoica interessata dall'Orogenesi varisica (Basamento varisico), probabilmente il basamento di tutto il Dominio Toscano; b) una successione paleozoica più giovane non interessata dall'Orogenesi varisica; c) una successione triassica continentale discordante sulle successioni paleozoiche; d) una successione di piattaforma marina carbonatica del Triassico superiore - Giurassico; e) una successione bacinale del Giurassico superiore - Paleogene; f) una successione arenacea torbiditica (*flysch*) dell'Oligocene superiore - Miocene inferiore. La successione che va dal Triassico superiore al Miocene inferiore è simile alla Successione Toscana non metamorfica affiorante nell'unità tettonica della Falda

Toscana.

Il Basamento varisico (**TM_{bs}**) affiora estesamente nelle Alpi Apuane, in misura minore in Toscana centrale e meridionale ed è raggiunto da sondaggi profondi in Toscana settentrionale (Pontremoli) e nelle aree geotermiche in Toscana centrale e meridionale (VAI, 1978; BAGNOLI *et alii*, 1979; ELTER & PANDELI, 1990; CONTI *et alii*, 1991a, 1993; RAU, 1993; PANDELI *et alii*, 1994; FRANCESCHELLI *et alii*, 2004). Il Basamento varisico comprende rocce di età dal Cambriano al Devoniano che hanno strette analogie stratigrafiche con le successioni affioranti in Sardegna centro-meridionale. In Sardegna, l'Orogenesi varisica (messa in posto delle unità tettoniche, deformazione e metamorfismo) è datata al Carbonifero inferiore (Viseano) e lo stesso è assunto per il Basamento varisico toscano (CONTI *et alii*, 1991a). È importante notare che il grado metamorfico del Basamento varisico affiorante è quello della facies scisti verdi, cioè l'Orogenesi varisica sviluppa un metamorfismo non più alto di quello dell'Orogenesi alpina/appenninica e questo rende difficile sul terreno separare gli effetti dei due eventi deformativi. Condizioni metamorfiche più elevate per il Basamento varisico sono documentate solamente in sondaggi profondi (PANDELI *et alii*, 2005b). Nel complesso, la successione stratigrafica inizia con rocce del Cambriano inferiore, rappresentate da alternanze di quarziti e filladi in cui si possono talvolta riconoscere strutture sedimentarie, quali gradazione e stratificazione incrociata. Al di sopra seguono metavulcaniti acide e intermedie che sono correlate con i prodotti vulcanici calcoalcalini sardi dell'Ordoviciano medio. Verso l'alto si passa a quarziti e a filladi che sono interpretate come i depositi continentali trasgressivi sugli edifici vulcanici passanti a successivi depositi bacinali. Al di sopra si rinvencono scisti neri e radiolariti (liditi) del Siluriano, ed infine la successione si chiude con depositi carbonatici rappresentati da dolomie a *Orthoceras*, metacalcari e calcesciti del Devoniano. Tutte queste rocce sono state deformate e metamorfosate durante l'Orogenesi varisica nel Carbonifero inferiore (Viseano). In letteratura sono riportate dolomie nodulari rosse e rosate ("Rosso rubino") come il tetto della successione del Basamento varisico, noi interpretiamo invece queste dolomie come appartenenti alla sovrastante successione triassica.

In discordanza al di sopra del Basamento varisico è documentata una successione di età Carbonifero superiore - Permiano, che affiora soprattutto nella Toscana centrale e meridionale (LAZZAROTTO *et alii*, 2003; ALDINUCCI *et alii*, 2008b), con metaconglomerati, metacalcari, metarenarie, metavulcaniti e filladi

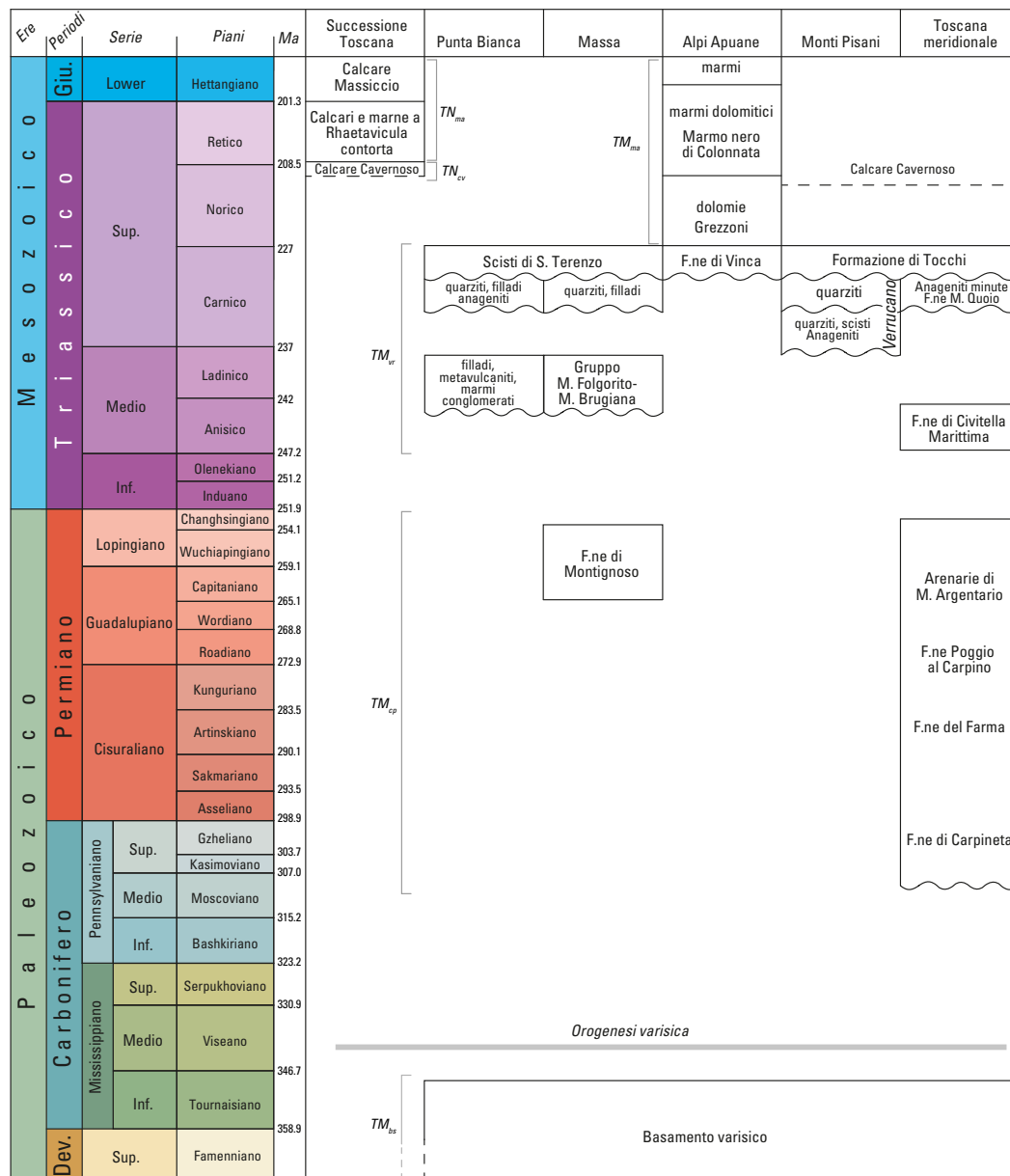


Fig. 13 – Schema delle relazioni tra le successioni permo-triassiche del Dominio Toscano (da LAZZAROTTO *et alii*, 2003, E. Patacca in CONTI *et alii*, 2019a, modificato). In corsivo sono riportate le sigle della Carta Geologica.

(**TM_{cp}**, Fig. 13). Questa successione si è deposta in ambienti ed in bacini molto differenti, come in bacini trascorrenti ed aree sollevate, sviluppatesi durante la tettonica post-collisionale varisca che ha interessato il Basamento in questo intervallo di tempo. Un magmatismo di età permiana è segnalato nel Basamento varisco delle Alpi Apuane da VEZZONI *et alii* (2018).

La sedimentazione mesozoica inizia in questa porzione del Dominio Toscano nel Triassico medio (Anisico-Ladinico), con successioni deposte in limitati bacini estensionali di ambiente continentale, rappresentate da metaconglomerati, filladi e metacalcari a cui si intercalano metabasalti alcalini con *pillow lava* (Unità di Massa, Punta Bianca, Toscana meridionale, PASSERI, 1985; RAU *et alii*, 1985). Nelle restanti aree

della Toscana persistono condizioni di non deposizione, con esposizione subaerea del Basamento varisco. Durante il Triassico superiore (Carnico) in tutto il Dominio Toscano estesi depositi fluviali e litorali coprono in discordanza il Basamento varisco (Verrucano *Auctt.*, RAU & TONGIORGI, 1974; CASSINIS *et alii*, 1979; PERONE *et alii*, 2006), con deposizione di conglomerati, arenarie, siltiti e argilliti con spessori molto variabili in tutta l'area. Nella Carta Geologica le successioni del Triassico medio e del Triassico superiore sono cartografate assieme (**TM_{vr}**).

A partire dal Norico (Triassico superiore) si instaura una sedimentazione carbonatica di piattaforma rappresentata da importanti spessori di dolomie, marmi dolomitici e marmi (**TM_{ma}**, Fig. 14). Locali episodi di



Fig. 14 – Formazione dei marmi delle Alpi Apuane (marmo zebrino), Carrara (foto V. Prayer).

emersione della piattaforma carbonatica sono documentati durante il Retico. Queste condizioni persistono fino al Giurassico inferiore (Sinemuriano).

La frammentazione della piattaforma carbonatica inizia nel Pliensbachiano (Giurassico inferiore) e porta all'instaurarsi di una sedimentazione di mare profondo testimoniata da metacalcari selciferi, calcescisti e dalle metaradiolariti del Giurassico superiore (Calloviano-Titoniano). Successivamente riprende la sedimentazione carbonatica con calcari pelagici, calcari risedimentati e neritici (**TM_{sc}**: Scisti sericitici e Marmo Cipollino). La successione metamorfica, analogamente alla Successione Toscana, si chiude con la deposizione di depositi terrigeni (flysch), rappresentati da alternanze di metarenarie e filladi (**TM_{pm}**: Formazione dello Pseudomacigno).

2.4.5. Successione Cervarola-Falterona

La Successione Cervarola-Falterona si è deposta nella parte più esterna del Dominio Toscano (Fig. 8c, Fig. 29) ed è costituita da: a) una porzione basale rap-

presentata da marne, argilliti e calcari deposta in una fase di “pre-avanfossa” (Marne di Civago, Marne di Villore); b) un importante spessore di un complesso arenaceo torbiditico deposto durante la fase di sviluppo dell’avanfossa appenninica (Arenarie del M. Falterona, **CF_{fa}** e Arenarie di M. Cervarola, **CF_{ce}**); c) una porzione sommitale rappresentata da marne ed argilliti (Marne di Vicchio, Marne di S. Michele, **CF_{vi}**) legate alle fasi di chiusura del bacino di avanfossa (RICCI LUCCHI, 1986; ARGNANI & RICCI LUCCHI, 2001). Questa successione affiora estesamente nell’Appennino tosco-emiliano-romagnolo nell’ambito dell’Unità tettonica Cervarola e dell’Unità tettonica Falterona.

La posizione paleogeografica e strutturale dell’Unità Cervarola e dell’Unità Falterona nel Dominio Toscano è oggetto di un ampio dibattito fin dal passato, stante che ad oggi non c’è una visione comunemente accettata sul rispettivo significato (vedi revisione delle diverse ipotesi in CHICCHI & PLESI, 1991 e BETTELLI *et alii*, 2002a). Secondo alcuni autori le Arenarie di M. Cervarola e le Arenarie del M. Falterona sono in rapporti stratigrafici latero-verticali (BRUNI & PANDELI, 1980; GÜNTHER & REUTTER, 1985; ABBATE & BRUNI, 1987; BETTELLI *et alii*, 2002b), per altri autori invece le due successioni sono in contatto tettonico e l’Unità Cervarola ha un’originaria posizione paleogeografica e tettonica differente rispetto all’Unità Falterona (CERRINA FERONI *et alii*, 2001, 2002b; PLESI *et alii*, 2002a; BENINI *et alii*, 2014). In queste Note adottiamo il termine complessivo di “Successione Cervarola-Falterona” per indicare successioni simili che oggi affiorano in due distinte unità tettoniche, nell’Unità Cervarola (area a ovest del Passo della Futa - Passo della Collina, Pistoia) e nell’Unità Falterona (area e est del Passo della Futa - Passo della Collina). Le due unità hanno entrambe una posizione strutturale tettonicamente interposta tra la Falda Toscana sopra, mentre sono sovrascorse sulla Formazione Marnoso-arenacea del Dominio Umbro-Marchigiano-Romagnolo (CORNAMUSINI *et alii*, 2018; CONTI *et alii*, 2019b).

La successione argillitico-marnosa basale (**CF_{vi}**) è rappresentata dalle Marne di Civago e dalle Marne di Villore. Si tratta di marne e marne argillose variegate, di colore variabile dal grigio chiaro al verdastro, talora rossastre che testimoniano una sedimentazione pelagica ed emipelagica che precede l’instaurazione dell’avanfossa con sedimentazione torbiditica. L’età è compresa tra il Rupeliano e l’Aquitano (Oligocene-Miocene inferiore). Queste marne passano verso l’alto alle Arenarie del M. Falterona nell’Unità tettonica Falterona e alle Arenarie del M. Cervarola nell’Unità tettonica Cervarola.



Fig. 15 – Arenarie di M. Cervarola, Gazzano, Emilia.

Le Arenarie del M. Falterona (**CF_{fa}**), di età Chattiano - Burdigaliano inferiore-medio, sono correlate con la Formazione dell'Acquerino, le Arenarie del Pratomagno (ABBATE & BRUNI, 1987; BRUNI & PANDELI, 1980), le Arenarie del Trasimeno (BIGI *et alii*, 1990) e si estendono su una vasta area dell'Appennino pistoiese fino a sud del Lago Trasimeno (ARUTA & PANDELI, 1995; ARUTA *et alii*, 1998; BORTOLOTTI *et alii*, 2008). Si tratta di arenarie torbiditiche silicoclastiche, suddivise in vari membri sulla base del rapporto arenaria/pelite. Le Arenarie del M. Falterona giacciono, nelle aree più settentrionali, stratigraficamente sopra le Marne di Villore, in Umbria giacciono sopra a successioni marnose che possono anch'esse essere correlate con le Marne di Villore. Alcuni autori propongono invece una correlazione delle Arenarie del Falterona della zona umbra con la Formazione del Macigno della Falda Toscana e le Marne di Villore con la sottostante Formazione della Scaglia Toscana (MARTELLI, 2002; BROZZETTI, 2007; PIALLI *et alii*, 2009; PLESI, 2010; BARCHI & MARRONI, 2014).

Le Arenarie di M. Cervarola (**CF_{ce}**, Fig. 15) affiorano estesamente nell'Appennino emiliano e sono interpretate come una successione deposta in un bacino di avanfossa complesso e confinato (TINTERRI & PIAZZA, 2019), che può essere suddiviso in una parte interna ed in una parte più esterna. La parte più interna comprende le successioni di Torre degli Amorotti, Gazzano, Gova, Ozola e Passo del Cerreto, la parte più esterna le successioni Fellicarolo-Dardagna, Stagno, Torrente

Carigiola e Castiglion dei Pepoli. Le successioni interne hanno età Chattiano-Aquitano (CORNAMUSINI *et alii*, 2018) o Aquitano-Burdigaliano (ANDREOZZI *et alii*, 1991; PLESI, 2002), mentre le successioni esterne mostrano un'età Burdigaliano-Langhiano (BOTTI *et alii*, 2002, 2017; BETTELLI *et alii*, 2002b). La successione delle Arenarie del M. Cervarola è rappresentata da una spessa successione di arenarie torbiditiche e siltiti a composizione silicoclastica, con differenti membri distinti sulla base del rapporto arenaria/pelite (BOTTI *et alii*, 2002; BETTELLI *et alii*, 2002a; CORNAMUSINI *et alii*, 2018; TINTERRI & PIAZZA, 2019). Le porzioni sommitali e più giovani di questa successione mostrano un incremento della frazione carbonatica nelle arenarie.

Nelle aree più esterne (sistemi dello Scoltenna e del Fellicarolo di ANDREOZZI, 1991) le arenarie passano verso l'alto e lateralmente ad una successione marnosa (**CF_{vc}**), legata alle fasi di chiusura del bacino torbiditico (RICCI LUCCHI, 1986). Le marne affioranti nell'Appennino emiliano al di sopra delle Arenarie di M. Cervarola sono note come Marne di San Michele, mentre le marne affioranti al di sopra delle Arenarie del M. Falterona sono note come Marne di Vicchio. Questa successione marnosa è di età Aquitano-Langhiano ed è costituita da marne e marne siltoso-argillose con locali intercalazioni di arenarie finemente stratificate.

Alcuni autori (ANDREOZZI, 1991; TINTERRI & PIAZZA, 2019; PIAZZA & TINTERRI, 2020) ritengono che almeno per le aree più interne (Torre degli Amorot-

ti), le Arenarie di M. Cervarola (indicate qui di età Aquitaniano-Burdigaliano) passano stratigraficamente verso l'alto a depositi caotici ad affinità ligure (Formazione di Sestola-Vidiciatico) e sormontano stratigraficamente, attraverso le Marne di Civago, una formazione caotica sempre ad affinità ligure ed un complesso marnoso ad alto grado di deformazione (Formazione di Pievepelago), la quale poggerebbe stratigraficamente sulla Successione di M. Modino.

2.4.6. Successione Rentella

A sud del Lago Trasimeno è documentata una successione ora parte dell'Unità tettonica Rentella (Fig. 1). Si tratta di una successione con caratteri stratigrafici intermedi tra la Successione Toscana e la Successione umbro-marchigiana (SIGNORINI & ALIMENTI, 1968; BROZZETTI *et alii*, 2000). Tettonicamente l'Unità Rentella è interposta tra le unità toscane e le sottostanti unità ombre.

La parte basale di questa successione (**RE_{st}**) è rappresentata da marne varicolori, calcari marnosi e siltiti di età Rupeliano-Aquitano (Formazione di M. Rentella, BARCHI & MARRONI, 2014). Questi depositi rappresentano una sedimentazione emipelagica con sottili livelli carbonatici torbiditici che testimoniano variazioni delle batimetrie bacinali.

Al di sopra seguono arenarie, marne torbiditiche e marne siltitiche con livelli ricchi in silice di età Aquitaniano-Burdigaliano (**RE_{ar}**, Formazione della Montagnaccia, BARCHI & MARRONI, 2014), con tipiche strutture sedimentarie, quali gradazione diretta e intervallo T_{c-d} della sequenza di Bouma, che testimonia una deposizione torbiditica di avanfossa anche in quest'area. La presenza di frammenti litici di origine sedimentaria permette di differenziare questa successione dalle adiacenti successioni silicoclastiche torbiditiche del Dominio Toscano, invece ricche in frammenti litici metamorfici (BARCHI & MARRONI, 2014).

2.5. Dominio Umbro-Marchigiano-Romagnolo

Nell'Appennino umbro-marchigiano-romagnolo affiora una successione sedimentaria originariamente deposta sui settori più esterni della Placca adriatica. In questo capitolo viene illustrata inizialmente la Successione del Triassico - Giurassico inferiore, in seguito la Successione giurassica condensata, la Successione giurassica completa, la Successione calcareo-marnosa del Cretacico-Miocene, la Successione silicoclastica dei bacini interni ed infine la Successione silicoclastica dei bacini minori intra-appenninici e dei bacini esterni.

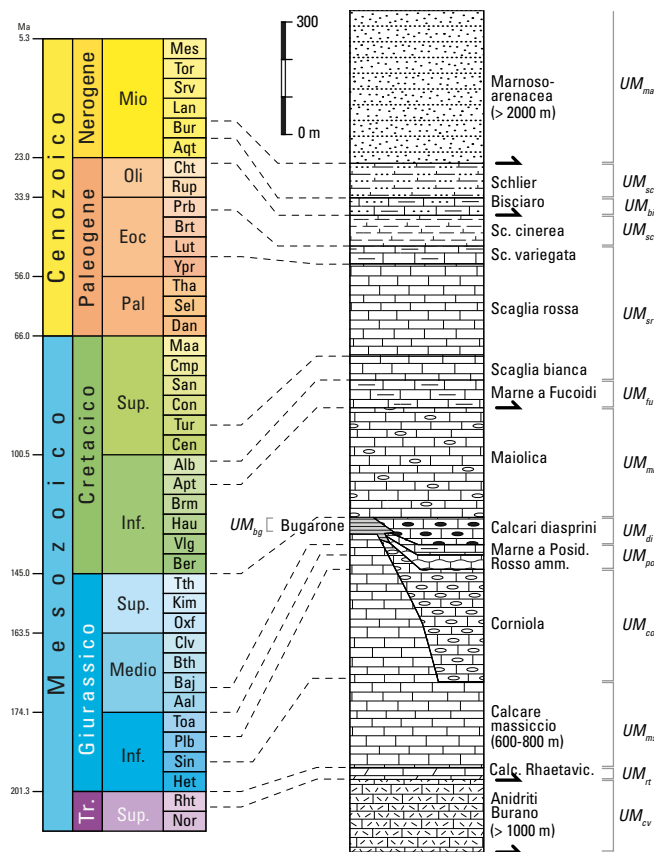


Fig. 16 – Stratigrafia della successione del Dominio umbro-marchigiano-romagnolo. Le frecce indicano le principali discontinuità reologiche lungo le quali si sviluppano i principali sovrascorimenti durante le fasi tettoniche compressive. Da BARCHI (2015) e CIPRIANI (2016). In corsivo sono riportate le sigle della Carta Geologica.

In Romagna e nelle Marche al di sopra di queste successioni la sedimentazione continua con la Successione miocenico-pleistocenica sin- e post-evaporitica della Pianura Padana e del Margine Adriatico e la Successione Epiligure, descritte separatamente. Tutte queste successioni sono state distinte sulla base delle età, dimensioni del bacino di sedimentazione e relazioni di facies laterali e verticali.

Informazioni generali sull'evoluzione stratigrafica di questa porzione dell'Appennino Settentrionale sono riportate nei lavori di CENTAMORE *et alii* (1971, 1986); CRESTA *et alii* (1989); BOCCALETTO *et alii* (1990b); CENTAMORE & MICARELLI (1991); CIARAPICA & PASSERI (1998); BARCHI *et alii* (2001); PIERANTONI *et alii* (2013); BARCHI & MARRONI (2014), mentre informazioni più dettagliate si possono trovare, tra gli altri, nei lavori di SELL (1954); CRESCENTI *et alii* (1969); COLACICCHI *et alii* (1970); CAPUANO *et alii* (1986); DE DONATIS (1993); SANTANTONIO (1993). Una colonna stratigrafica schematica è riportata in Fig. 16.

2.5.1. Successione del Triassico - Giurassico inferiore

Le rocce più antiche di questa successione sono rinvenute solamente in sondaggi profondi (MARTINIS & PIERI, 1964; ANELLI *et alii*, 1994; BARCHI *et alii*, 1998c) e sono costituite da arenarie e filladi permiane. Il Triassico è rappresentato da un'alternanza di anidriti, dolomie e subordinati calcari e marne, affioranti al nucleo della maggiori strutture anticlinali in Umbria (UM_{cv}, Anidriti di Burano, MARTINIS & PIERI, 1964; CIARAPICA & PASSERI, 1976). La presenza di un esteso e spesso livello di evaporiti alla base di tutta la Successione Umbro-Marchigiana è documentata da dati provenienti da sondaggi e pozzi, con uno spessore variabile da alcune centinaia di metri fino ad un massimo di circa 2500 metri nel Pozzo S. Donato 1 (ANELLI *et alii*, 1994). Il contenuto fossilifero è scarso e solo una generica età del Triassico inferiore può essere indicata. Queste rocce documentano una deposizione in un'ampia piattaforma, con bacini costieri, lagune e sabkha (CENTAMORE *et alii*, 1986). La successione evaporitica passa verso l'alto ad un'alternanza di calcari nerastri e marne (UM_{rt}), simile ai depositi retici del Dominio Toscano (Calcari a *Rhaetavicula contorta*).

A partire dal Giurassico inferiore (Hettangiano) si sviluppa una piattaforma carbonatica, con barre oolitiche e facies lagunari e tidali (UM_{ms}, Calcare Massiccio del Burano).

Successivamente, nel Sinemuriano, si assiste ad una frammentazione della piattaforma carbonatica, con la formazione di bacini e zone di alto strutturale, che portano all'instaurarsi di ambienti deposizionali molto vari, che persisteranno per tutto il Giurassico. Nella Carta Geologica abbiamo distinto separatamente le successioni condensate deposte in corrispondenza di *seamount* e le successioni più complete deposte nelle aree bacinali (Fig. 16).

2.5.2. Successione giurassica condensata

La successione giurassica condensata (UM_{bg}, Fig. 17a) ha spessori molto limitati e si è deposta in un intervallo di tempo che va dal Sinemuriano al Tortoniano in corrispondenza di alti strutturali interni al bacino di sedimentazione. È costituita da calcari tidali massivi seguiti da facies detritiche che testimoniano l'inizio della frammentazione della piattaforma carbonatica, a cui fanno seguito calcari nodulari ben stratificati e calcari marnosi con *hard-ground*, discordanze intraformazionali e filoni sinsedimentari (Formazione del Bugarone).

2.5.3. Successione giurassica completa

Nelle successioni complete al di sopra dei calcari di piattaforma carbonatica (Calcare Massiccio) la sedimentazione continua con la deposizione di calcari micritici di ambiente pelagico con liste e noduli di selce (UM_{co}, Corniola). Verso l'alto si passa a calcari, calcari marnosi, calcari nodulari e marne (UM_{po}, Rosso Ammonitico, Marne a Posidonia), a cui fa seguito una sedimentazione di ambiente ancora più profondo rappresentata da calcari micritici selciferi e calcareniti (UM_{di}, Calcari diasprini).

2.5.4. Successione calcareo-marnosa del Cretacico-Miocene

La sedimentazione della Formazione della Maiolica (UM_{mi}, Fig. 17b) documenta la fine degli eventi estensionali che hanno interessato la piattaforma carbonatica durante il Giurassico e segna l'instaurarsi di condizioni di sedimentazione omogenee a scala regionale per tutto il dominio (BARCHI *et alii*, 2001; CENTAMORE & MICARELLI, 1991). Questa formazione è costituita da micriti biancastre ben stratificate con selce nera in liste e noduli, con sottili intercalazioni pelitiche. L'età è Tortonico superiore - Aptiano.

Con la deposizione delle Marne a Furoidi (UM_{fu}, Fig. 17c) si passa nel Dominio umbro-marchigiano da una sedimentazione prevalentemente calcareo-silicea ad una marnoso-calcareo e marnoso-argillosa, con locali episodi anossici (Livello Selli, Livello Bonarelli). Questa formazione (Aptiano inferiore-Albiano) è costituita da marne e marne argillose policrome, marne bituminose, marne calcaree e calcari marnosi.

La sedimentazione marnosa continua durante il Cretacico-Eocene con la deposizione della Scaglia Bianca, Scaglia Rossa e Scaglia Variegata (UM_{sr}), e l'instaurarsi di locali bacini e alti strutturali. I depositi sono costituiti da calcari micritici e calcari con selce, che passano a calcari marnosi e calcari. Sono comuni livelli di calcareniti e *slump*. La sedimentazione pelagica nell'area si chiude con la deposizione della formazione della Scaglia Cinerea (UM_{sc}) durante l'Eocene superiore - Miocene inferiore, rappresentata da alternanze di calcari, calcari marnosi e marne.

A partire dal Miocene il Dominio umbro-marchigiano è interessato da una tettonica compressiva che porta allo sviluppo di un bacino torbido di avanfossa. Inizialmente si ha una sedimentazione pre-flysch in ambiente emipelagico, rappresentata dalla Formazione del Bisciaro (UM_{bi}, Fig. 17d), che consiste di alternanze di calcari, marne, argilliti, con livelli vulcanoclastici di età Aquitaniano *p.p.* - Burdigaliano *p.p.* Seguono poi



Fig. 17 – (a) Calcare Massiccio con sopra la F.ne del Bugarone, Monte Nerone. (b) Calcarei micritici bianchi con selci grigio scure della Maiolica. (c) Marne a Fucoidi, zona di Pergola. (d) Passaggio graduale tra il Bisciaro (a destra) e lo Schlier (a sinistra), Marche centrali.

le formazioni dello Schlier, Marne con Cerrognia e Marne a Pteropodi (**UM_{sh}**) rappresentate da un'alternanza di marne e argilliti, con calcari marnosi e calcareniti. La Formazione dello Schlier ha età dal Burdigaliano superiore al Messiniano inferiore.

Il procedere della deformazione compressiva porta alla formazione di bacini in cui si instaura una sedimentazione torbidity silicoclastica (BARCHI *et alii*, 2001). Al riguardo, nella Carta Geologica è stata distinta la Successione silicoclastica dei bacini interni e la Successione silicoclastica dei bacini minori intra-appenninici e dei bacini esterni.

2.5.5. Successione silicoclastica dei bacini interni

La Successione silicoclastica dei bacini interni (detta anche Successione del subdominio umbro-romagnolo) è rappresentata principalmente dalla Formazione Marnoso-arenacea s.s. (**UM_{ma}**, Fig. 18), che consiste di uno spesso complesso torbidity esteso dall'Appennino emiliano all'Appennino umbro-marchigiano, formando una fascia lunga qualche centinaio di chilometri. La Formazione Marnoso-arenacea è suddivisa in numerosi membri, sulla base dell'età, del rapporto arenaria/pelite, della stratigrafia, della posizione paleogeografica e bacinale, così come dei caratteri sedimentologici e strutturali. La Formazione Marnoso-arenacea rappresenta il riempimento del principale bacino di



Fig. 18 – Formazione Marnoso-arenacea, alta Val Marecchia.

avanfossa dell'Appennino Settentrionale, deposta a partire dal Burdigaliano superiore sino alla base del Messiniano, registrando un'articolata migrazione dei depocentri bacinali verso l'avampaese, accompagnata da una frammentazione strutturale dei bacini (RICCI LUCCHI, 1986; ARGNANI & RICCI LUCCHI, 2001; TAGLIAFERRI & TINTERRI, 2016, con bibliografia). La Formazione Marnoso-arenacea poggia in modo pressoché concordante sulla Formazione dello Schlier, la quale rappresenta i depositi marnosi stratigraficamente più alti della Successione cretaceo-miocenica del Dominio Umbro-Marchigiano-Romagnolo, mentre al tetto è sormontata in modo concordante da depositi marnosi che registrano la chiusura della sedimentazione in tale porzione di avanfossa (RICCI LUCCHI, 1986; ARGNANI & RICCI LUCCHI, 2001). Tali depositi di chiusura (**UM_{ma}**) sono progressivamente più giovani procedendo verso est, ovvero verso l'avampaese: le Marne di Verghereto e le Marne di San Paolo, la Formazione dei Ghioli di letto e le Marne di Campo, di età variabile dal Tortoniano superiore al Messiniano inferiore (DE FEYTER, 1991; CONTI, 1994; ROVERI *et alii*, 1999; ARGNANI & RICCI LUCCHI, 2001; CORNAMUSINI *et alii*, 2009b; PIALLI *et alii*, 2009).

La Formazione Marnoso-arenacea è costituita da arenarie e siltiti torbiditiche con alta variabilità delle facies e spessore degli strati, a composizione prevalentemente silicoclastica, intercalate con livelli di marne. Sono presenti inoltre numerosi strati guida torbiditici, costituiti da arenarie silicoclastiche in spessori plurimetrici, oppure da strati spessi di arenarie ibride (*sensu* ZUFFA, 1980) (es. strato Contessa), oppure da strati di calcareniti e marne ("colombine", RICCI LUCCHI & VALMORI, 1980). Sono state infine documentate alcune discordanze interne alla formazione, dovute alla tettonica sinsedimentaria o a processi gravitativi come slump, olistostromi e complessi caotici, ad evidenziare un'evol-

uzione complessa del bacino di avanfossa (TINTERRI & TAGLIAFERRI, 2015; TAGLIAFERRI & TINTERRI, 2016; TINTERRI & MUZZI MAGALHAES, 2011).

Alcune altre successioni arenacee mostrano relazioni peculiari con la Formazione Marnoso-arenacea, e sono state rappresentate nella Carta Geologica, quali la Formazione di S. Maria Tiberina e le Arenarie di Monte Vicino. La Formazione di S. Maria Tiberina è considerata da BROZZETTI (2007) una successione deposta tra i domini paleogeografici Toscana ed Umbro, in appoggio discordante sulla Successione Falterona e concordante sulla Formazione Marnoso-arenacea. Le Arenarie di Monte Vicino potrebbero invece rappresentare una porzione dei depositi torbiditici dei bacini minori marchigiani più interni (CENTAMORE *et alii*, 1977, 1978; CANTALAMESSA *et alii*, 1986b), ma a causa delle loro relazioni stratigrafiche e di analogie litologiche, nella Carta Geologica sono state raggruppate con la Formazione Marnoso-arenacea. Queste successioni e le relative relazioni potrebbero rappresentare una segmentazione dell'avanfossa durante il Tortoniano superiore-Messiniano inferiore, che avrebbe condotto alcuni autori a suddividere il Dominio Umbro-Marchigiano-Romagnolo nei subdomini Umbro-Romagnolo e Marchigiano-Adriatico.

Le Marne di Verghereto e le Marne di San Paolo (**UM_{gh}**) consistono di marne ed argille prevalenti, con occasionali intercalazioni di arenarie torbiditiche sottilmente stratificate, presenti al tetto della Formazione Marnoso-arenacea interna. La Formazione dei Ghioli di letto (cartografata anch'essa con la sigla **UM_{gh}**) è rappresentata da argille e argille marnose con intercalazioni lenticolari di arenarie grossolane, *slump* ed olistoliti di origine Ligure nella parte alta. Essa si colloca sopra la Marnoso-arenacea esterna, ed è a sua volta sormontata da argille euxiniche della Formazione del Tripoli, o in modo discordante dalle evaporiti risedimentate della Formazione di Sapiigno, rispettivamente appartenenti alla Successione evaporitica messiniana ed alla Successione post-evaporitica messiniana (CONTI, 1994; ROVERI *et alii*, 1999; CORNAMUSINI *et alii*, 2017).

2.5.6. Successione silicoclastica dei bacini minori intra-appenninici e dei bacini esterni

Questa successione (anche detta Successione del subdominio marchigiano-adriatico) affiora nell'avampaese adriatico, estesamente nelle Marche ed è deposta e suddivisa nei bacini di avampaese, di avanfossa semplice o complessa *sensu* ARGNANI & RICCI LUCCHI (2001). Molte delle successioni sedimentate in tali

bacini sono costituite principalmente da sistemi torbiditici, con subordinate argille euxiniche ed evaporiti risedimentate. Esse consistono di depositi torbiditici pre-evaporitici della Formazione Marnoso-arenacea marchigiana (**UM_{am}**) e di depositi torbiditici pre-, sin- e postevaporitici della Formazione della Laga (**UM_{la1}**, **UM_{la2}** e **UM_{la3}**).

I depositi più antichi ed interni appartengono alla Formazione Marnoso-arenacea marchigiana (**UM_{am}** nella Regione Marche; CAPUANO, 2009; CORNAMUSINI *et alii*, 2009b), di età Tortoniano-Messiniano inferiore, la quale rappresenta i depositi torbiditici bacinali della Successione Umbro-Marchigiana ed anche dei “bacini marchigiani minori” o bacini molassici di CENTAMORE *et alii* (1978) e di CANTALAMESSA *et alii* (1986b). Questi bacini sono impostati in un sistema di avanfossa complesso, con attività sintettonica e complesse relazioni tra tettonica e sedimentazione, con brusche discontinuità laterali, variazioni di facies e rapporti di diacronia (RICCI LUCCHI, 1975; CENTAMORE *et alii*, 1978). La Formazione Marnoso-arenacea marchigiana è caratterizzata da una successione di arenarie torbiditiche con subordinati conglomerati e peliti, spesso circa 1000 m; si caratterizza anche per un grado elevato di interdigitazione delle facies e forti lenticolarità, a determinare una suddivisione in numerosi membri e litofacies (CAPUANO, 2009). Essa poggia in concordanza sulle marne della Formazione dello Schlier ed è sormontata da marne ed argille bituminose, arenarie, diatomiti e calcari dolomitici della Formazione del Tripoli, facenti parte della Successione evaporitica messiniana, la quale passa verso l'alto, attraverso un limite inconforme, ai gessi risedimentati della Formazione di Sapigno appartenente alla Successione post-evaporitica messiniana (CREMONINI & FARABEGOLI, 1978). Questi depositi sono a loro volta sormontati in modo discordante, da depositi continentali post-evaporitici della Successione mio-pleistocenica del Margine Adriatico-Padano, quali la Formazione a Colombacci ed i depositi marini del Pliocene.

CANTALAMESSA *et alii* (1986b) suddividono l'intera successione silicoclastica dei bacini minori in un Sistema bacinale marchigiano più interno ed antico ed in un Sistema bacinale marchigiano più esterno e giovane. Tali sistemi torbiditici sono numerosi e conosciuti in letteratura con differenti nomi (es. Arenarie di Urbania, Arenarie di Urbino, Arenarie di Sant'Angelo in Vado per la Formazione Marnoso-arenacea marchigiana, Arenarie di Serraspina, Arenarie di Matelica, Arenarie di Collamato, Arenarie di San Donato-Cantia, Arenarie di Camerino appartenenti al sistema interno, Formazione della Laga per il sistema esterno),

ad evidenziare la complessità della frammentazione bacinale, del confinamento morfo-strutturale e della migrazione dei depocentri (CENTAMORE *et alii*, 1978; CANTALAMESSA *et alii*, 1986b; RICCI LUCCHI, 1986; DE FEYTER, 1991; ARGNANI & RICCI LUCCHI, 2001).

La Formazione della Laga (Fig. 19) è formata da un importante e spesso complesso torbiditico nell'ambito del più esterno e meridionale dei “bacini marchigiani” (CENTAMORE *et alii*, 1990, 1991, 1993; CANTALAMESSA *et alii*, 1986b; BIGI *et alii*, 1995; MILLI *et alii*, 2007). Essa è stata attribuita al Messiniano *p.p.* ed “attraversa” la “crisi di salinità del Messiniano”, così da distinguere un Membro pre-evaporitico (**UM_{la1}**), un Membro evaporitico (**UM_{la2}**) ed un Membro post-evaporitico (**UM_{la3}**) (CANTALAMESSA *et alii*, 1982, 1986b; MICARELLI & CANTALAMESSA, 2006; CELLO, 2009). Il membro **UM_{la1}** poggia sulla Formazione dello Schlier o sulle Marne a Pteropodi, e consta di arenarie torbiditiche e peliti. Il membro **UM_{la2}**, lateralmente corrispondente alla Formazione Gessoso-solfifera secondo i vecchi autori, corrisponde in realtà alla più settentrionale Formazione di Sapigno dei bacini minori, ed è formato da arenarie torbiditiche e peliti con interstrati di argille bituminose euxiniche, gessi ricristallizzati e gessoareniti. Il membro soprastante **UM_{la3}** è costituito da arenarie torbiditiche e peliti, conglomerati con un'intercalazione vulcanoclastica.

Recentemente ROVERI *et alii* (2003); MANZI *et alii* (2005); ROVERI & MANZI (2006) attraverso una revisione del record stratigrafico della “crisi di salinità messiniana” lungo il Bacino Peri-Adriatico, hanno stabilito che il gesso primario deposto durante la fase evaporitica è ristretto alla sola Formazione Gessoso-solfifera in posizione marginale del bacino sedimentario (Vena del Gesso), mentre il gesso presente nei bacini più profondi, come il Bacino della Laga o i bacini minori marchigiani e romagnoli, dovrebbe essere considerato come risedimentato, sia sotto forma di blocchi di frane sottomarine, sia come gessoareniti (Fig. 20). I depositi gessoarenitici della Formazione della Laga, particolarmente quelli appartenenti al Membro evaporitico **UM_{la2}**, corrisponderebbero quindi alla sequenza bacinale p-ev₁ di ROVERI *et alii* (2003), correlabile con la Formazione di Sapigno o con la Formazione di tetto. Di conseguenza, il Membro post-evaporitico della Formazione della Laga (**UM_{la3}**) può essere suddiviso in due successioni: una inferiore, corrispondente verso la parte settentrionale del sistema bacinale, alla Formazione di San Donato (parte superiore della sequenza p-ev₁ di ROVERI *et alii*, 2003); una superiore, separata dalla inferiore da una superficie di conformità correlativa, corrispondente alla Formazione delle ar-



Fig. 19 – Formazione della Laga, confine Marche-Abruzzo

gille a colombacci (sequenza p-ev₂ di ROVERI *et alii*, 2003). In quest'ottica, i depositi risedimentati della Formazione Gessoso-solfifera devono essere considerati depositi post-evaporitici, mentre le argille euxiniche rappresentano la sedimentazione bacinale dovuta alla fase evaporitica, corrispondente temporalmente alla Formazione Gessoso-solfifera della Vena del Gesso.

2.6. Successione miocenico-pleistocenica sin- e post-evaporitica della Pianura Padana e del Margine Adriatico

Questa successione è costituita da un complesso sistema di unità deposizionali poste nella parte frontale della catena, le quali registrano la sedimentazione della tarda avanfossa durante le ultime fasi orogeniche in quest'area. Essa è stata suddivisa da GHIELMI *et alii* (2013) in quattro allogruppi sulla base di discordanze principali: EM - allogruppo del Messiniano inferiore; LM - allogruppo del Messiniano superiore-Pliocene inferiore; EP - allogruppo del Pliocene; LP - allogruppo del Pliocene superiore-Pleistocene; questi a loro volta sono suddivisi in unità di rango inferiore, delimitate da superfici inconformi, definite come sequenze a grande scala. I rispettivi depositi affiorano estesamente da Piacenza a San Benedetto del Tronto e sono stati riconosciuti anche nel sottosuolo della Pianura Padana. La successione può essere ripartita in due successioni tra loro laterali: la Successione del Margine Appenninico-Pianura Padana nel settore nordoc-

cidentale (Regione Emilia-Romagna) (RICCI LUCCHI *et alii*, 1982; ROVERI *et alii*, 2004) e la Successione del Margine Appenninico-Adriatico nel settore sudorientale (Regione Marche) (SAVELLI & WEZEL, 1978; BARCHI *et alii*, 2001; ROVERI *et alii*, 2005; ARTONI, 2013). Le due successioni sono simili e lateralmente correlabili, anche se evidenziano alcune differenze nell'architettura stratigrafica (Fig. 20).

Nell'insieme, la successione principale comprende la Successione evaporitica messiniana, la Successione post-evaporitica messiniana e la Successione marina del Pliocene-Pleistocene. La Successione evaporitica messiniana e la Successione post-evaporitica messiniana sono separate da un'importante discordanza intra-messiniana. L'intera successione è stata suddivisa in "cicli sedimentari" da RICCI LUCCHI *et alii* (1982): ciclo T2 *p.p.* di età Messiniano inferiore-medio, comprensivo di depositi euxinici pre-evaporitici, gessi ed argille sin-evaporitiche; ciclo M di età Messiniano superiore, di ambiente da continentale a marino poco profondo; ciclo P1 di età Pliocene inferiore di ambiente marino; ciclo P2 di età Pliocene superiore di ambiente marino; ciclo Qm di età Pleistocene inferiore di ambiente marino; al di sopra del ciclo Qm, in appoggio attraverso una superficie di discordanza semplice, si trova il ciclo Qc di età Pleistocene medio-superiore, di ambiente continentale (DI CELMA *et alii*, 2015). I depositi relativi a questo ultimo ciclo (Qc) sono discussi nel capitolo "Depositi continentali e costieri del Quaternario ("post-Villafranchiano")".

Questi “cicli” consistono in successioni diversificate in relazione alla posizione di sedimentazione nell’ambito dei bacini, ovvero al margine del bacino o nel depocentro bacinale di mare profondo; essi sono separati, rispettivamente, da superfici di discordanza o da superfici di conformità correlativa (RICCI LUCCHI *et alii*, 1982; CANTALAMESSA *et alii*, 1986a).

La successione del Bacino Periadriatico Centrale delle Marche meridionali, includente la Formazione della Laga sino ai depositi dell’avanfossa pleistocenica, è stata ripartita in otto unità stratigrafiche ad ampia scala (UBSU *sensu* SALVADOR, 1987), le quali mostrano il riempimento sedimentario progressivo del bacino ed una tendenza verticale regressiva (ARTONI, 2013; GHIELMI *et alii*, 2019).

La Formazione della Laga, sebbene facente parte delle sequenze o “cicli” T2, M e P, viene qui trattata nella sezione dedicata alla “Successione silicoclastica dei bacini minori intra-appenninici e dei bacini esterni”.

2.6.1. Successione evaporitica messiniana

Questa successione (Fig. 20) consiste in depositi pre- e sin-evaporitici del Messiniano inferiore-medio (rispettivamente Formazione del Tripoli e Formazione Gessoso-solfifera *p.p.*), relativi alla “crisi di salinità del Messiniano” che ha interessato il paleo-Mediterraneo (HSÜ *et alii*, 1973, 1977; KRIJGSMAN *et alii*, 1999; ROVERI *et alii*, 2001, 2014).

Essa mostra diverse relazioni stratigrafiche con i depositi sottostanti: a) poggia in concordanza sui Ghioli di letto e la Formazione Marnoso-arenacea del bacino di avanfossa principale del Dominio Umbro-Marchigiano-Romagnolo; b) poggia in concordanza sulla Marnoso-arenacea dei bacini minori esterni, e c) poggia in concordanza sullo Schlier in corrispondenza degli alti strutturali dei bacini minori esterni.

Il caso a) corrisponde alla successione evaporitica maggiormente completa, quale l’affioramento della Vena del Gesso (ROVERI *et alii*, 2003), dove la Formazione Gessoso-solfifera è formata principalmente da gesso primario depositato in un contesto morfostrutturale di margine di bacino. Il caso b) corrisponde alla deposizione di depositi pre-evaporitici costituiti da argille euxiniche e diatomiti della Formazione del Tripoli, a cui segue la sedimentazione torbidity di avanfossa, laddove le evaporiti primarie sono assenti. Il caso c) corrisponde alla sedimentazione delle argille euxiniche della Formazione del Tripoli e dei gessi della Formazione Gessoso-solfifera in corrispondenza della sommità di alti strutturali di antiformali, come nel caso della dorsale/antiforme di Montefiore-Montescudo, do-

ve la deposizione è avvenuta direttamente sullo Schlier, in assenza di depositi torbidity bacinali.

La Formazione del Tripoli (**MI_{tr}**) consta di argille euxiniche e bituminose, argille marnose, arenarie sottilmente stratificate e siltiti, diatomiti, calcari e marne tripolacee, a rappresentare la sottoalimentazione sedimentaria che ha anticipato la crisi di salinità.

Le evaporiti della Formazione Gessoso-solfifera (**MI_{gs}**) sono particolarmente bene sviluppate alla Vena del Gesso e si sono deposte in acque poco profonde di un bacino di *thrust-top*, originatosi durante lo sviluppo dell’Anticlinale di Riolo (ROVERI *et alii*, 2003). Consistono di gesso principalmente selenitico e subordinato gesso rimaneggiato intrabacinalmente, come gessoareniti e gessoruditi (GENNARI *et alii*, 2013).

2.6.2. Successione post-evaporitica messiniana

Essa rappresenta la successione deposta successivamente alla “Fase tettonica intra-messiniana” e testimonia la ripresa della sedimentazione dopo la crisi evaporitica messiniana, con facies post-evaporitiche e di lago-mare (SELLI, 1973; RICCI LUCCHI *et alii*, 1982; ROVERI *et alii*, 1998, 2003, 2004; GENNARI *et alii*, 2013). Essa corrisponde al “ciclo” M di RICCI LUCCHI *et alii* (1982) ed all’Unità MP *p.p.* (UBSU) di ROVERI *et alii* (2004), suddivisa in due subunità da una superficie di discordanza (Fig. 20): la subunità “p-ev₁” costituita da evaporiti risedimentate e depositi silicoclastici, ricorrenti soprattutto nelle porzioni bacinali più profonde, e la subunità “p-ev₂” presente sia in contesti bacinali profondi, sia marginali (ROVERI *et alii*, 1998; RICCI LUCCHI *et alii*, 2002).

Questa successione poggia in discordanza sulla Successione evaporitica messiniana, la quale è rappresentata da depositi evaporitici per le parti marginali del bacino e da argille euxiniche pre-evaporitiche o torbidity silicoclastiche per le parti bacinali più profonde (ROVERI *et alii*, 1998) e localmente, quando la Successione evaporitica è assente, vanno direttamente in appoggio (*onlap*) sulla Successione Umbro-Marchigiana-Romagnola, come avviene per la Formazione dei Ghioli di letto.

Più in dettaglio, i depositi della subunità “p-ev₁” consistono di corpi risedimentati di gessi derivati dalla Formazione Gessoso-solfifera, facenti parte della Formazione di Sapigno, o Formazione di tetto, o Formazione Gessoso-solfifera *p.p.*, associati ad argille bituminose e ricche in materiale organico, calcari dolomitici, gessoareniti (**MI_{gr}**), che passano lateralmente verso il bacino e verticalmente in alto, ad alternanze di arenarie torbidity ed argille (Formazione di San Donato, **MI_{sd}**), di ambiente variabile da continentale a marino

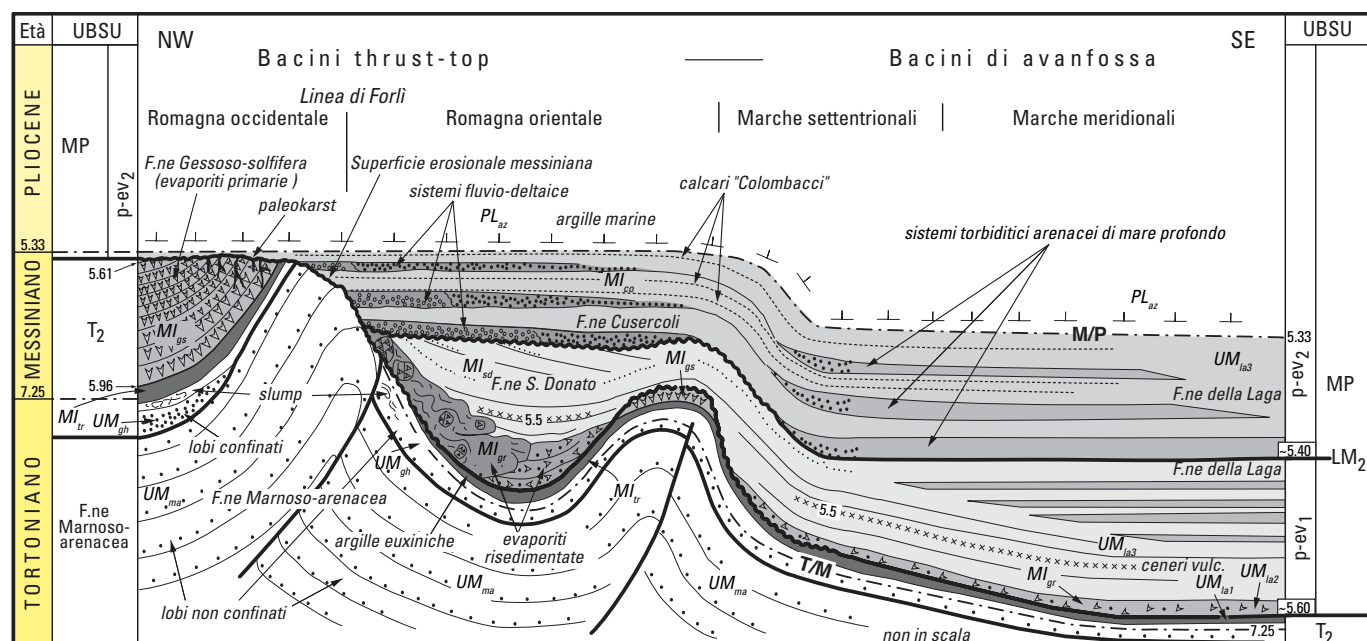


Fig. 20 – Sezione schematica dell'Avanfossa adriatica con indicate le relazioni stratigrafiche tra le successioni del Tortoniano superiore - Pliocene inferiore, modificato da ROVERI & MANZI (2006). T/M e LM2 sono le discordanze intra-messiniane. In corsivo sono riportate le sigle della Carta Geologica, per le altre sigle vedi testo.

poco profondo, e più verso il bacino, alla Formazione della Laga (BASSETTI *et alii*, 1994; INVERNIZZI *et alii*, 1995). Questi depositi sono presenti sia nel bacino interno di avanfossa principale, sia nei più esterni “bacini minori marchigiani” di CANTALAMESSA *et alii* (1986b).

La subunità “p-ev₂”, separata dalla successione inferiore tramite un'altra discordanza messiniana (LM₂ di ROVERI *et alii*, 1998), è rappresentata da argille di ambiente continentale, arenarie, conglomerati e calcari, noti come Formazione a Colombacci (MI_{co}) o Formazione di Cusercoli, o Conglomerati di Pietrarubbia e torbiditi delle Arenarie di M. Turrino (CENTAMORE *et alii*, 1978; CANTALAMESSA *et alii*, 1986b; BASSETTI, 1994, 2000). Questa subunità, relativa alla facies di “lago-mare”, si trova sia nei settori bacinali, che in quelli marginali dei bacini, o in corrispondenza di alti strutturali (come la dorsale Montefiore-Montescudo), dove essa poggia in discordanza sulle evaporiti della Formazione Gessoso-solfifera e le argille euxiniche della Formazione del Tripoli, appartenenti alla Successione evaporitica messiniana. Nelle aree più profonde dei “bacini minori marchigiani”, essa poggia in discordanza sulla Formazione di San Donato. Nell'area marchigiana, queste subunità sono state definite come sequenze M2b e M3 da GUERRERA & TRAMONTANA (2011).

Le due subunità passano verso le aree di bacino (Marche meridionali) e lateralmente alla Formazione della Laga (ROVERI & MANZI, 2006), la quale rappresenta l'unità deposizionale post-evaporitica più recente per il Dominio Umbro-Marchigiano-Romagnolo.

2.6.3. Successione marina del Pliocene-Pleistocene

La base di questa successione marca la trasgressione marina che si è verificata dopo la fase di “lago-mare”, ed il successivo riempimento dell'avanfossa Adriatica (RICCI LUCCHI *et alii*, 1982). Al suo interno sono state identificate quattro sequenze principali (P1, P2, Qm, Qm1, Fig. 21), sulla base di significative variazioni ambientali, di variazioni del livello marino e dell'attività tettonica (COLALONGO *et alii*, 1982; RICCI LUCCHI *et alii*, 1982; CANTALAMESSA *et alii*, 1986a), corrispondenti all'Unità MP *p.p.* ed in particolare alla parte superiore della subunità “p-ev₂” di BASSETTI *et alii* (1994). La suddivisione in sequenze, in particolare per il Bacino Periadriatico, è discussa in CANTALAMESSA *et alii* (2002) ed in BIGI *et alii* (1995).

I depositi marini della sequenza P1, di età Pliocene inferiore, sono dati da marne fossilifere, argille, con subordinate arenarie e conglomerati di ambiente marino poco profondo. Essi sono conosciuti in letteratura come Marne di Cella, Argille Azzurre inferiori, Argille del Santerno *p.p.*, Arenarie di Borello, Formazione di Porto Corsini. Essi poggiano in paraconcordanza sulle Argille a Colombacci della subunità “p-ev₂” o in discordanza su tutte le altre unità. Questa sequenza o ciclo (*sensu* RICCI LUCCHI *et alii*, 1982), è stata localmente suddivisa in due subsequenze da RICCI LUCCHI *et alii* (1982) per l'area emiliano-romagnola e da CANTALAMESSA *et alii* (1986a, 2002) per l'area marchigiana: “P1a” e “P1b” entrambe di età Pliocene inferiore, sepa-

rate da una superficie di discordanza o di conformità correlativa.

È degno di nota il fatto che nelle Marche settentrionali - Romagna sudorientale, interposto tra le due subunità a marcare la discordanza basale, è presente il complesso alloctono della "Coltre della Val Marecchia". Questa rappresenta, secondo alcuni Autori, un vasto complesso formato da scaglie di materiale Ligure ed Epiligure, messi in posto in modo gravitativo innescato da pulsii tettonici, durante il Messiniano ed il Pliocene inferiore (RICCI LUCCHI, 1986; VENERI, 1986; DE FEYTER, 1991; LUCENTE *et alii*, 2002; LUCENTE & PINI, 2008; CORNAMUSINI *et alii*, 2009a, 2017), mentre secondo altri Autori, esso è considerato messo in posto in modo non gravitativo, ma direttamente connesso con l'attività tettonica, con avanzamento lungo sovrascorrimenti delle unità alloctone (CONTI, 1994; CONTI & TOSATTI, 1996; CERRINA FERONI *et alii*, 2002a; CONTI, 2002, *cum biblio*).

I depositi della sequenza P2 sono anch'essi marini, ma di età Pliocene superiore - Pleistocene inferiore, e sono separati dai depositi della sequenza P1 tramite una superficie articolata, che varia da discordante a concordante in funzione della posizione nel bacino (RICCI LUCCHI *et alii*, 1982). Essi consistono di argille fossilifere, alternanze di argille ed arenarie, con subordinati conglomerati, conosciuti come "Argille Azzurre superiori", Argille del Santerno *p.p.*, Membro di Montecalvo in Foglia *p.p.*, Formazione di Porto Garibaldi *p.p.*. Nelle Marche meridionali, una superficie di discordanza (Fig. 21) suddivide la sequenza P2 in due subsequenze: P2a (Argille Azzurre *p.p.* e Membro dello Spungone o Membro di Montefalco della Formazione delle Argille Azzurre) e P2b (Membro di Monte Ascensione della Formazione delle Argille Azzurre) (CANTALAMESSA *et alii*, 2002; MICARELLI & CANTALAMESSA, 2006). In particolare, la subsequenza P2a è stata attribuita al Piacenziano e la subsequenza P2b al Gelasiano (CANTALAMESSA *et alii*, 2002). Nella Carta Geologica i conglomerati marini del Pliocene-Pleistocene inferiore e le arenarie del Pliocene sono stati cartografati come **PL_{ar}** (Fig. 22), mentre le unità litostratigrafiche che mostrano un incremento nel contenuto argilloso, come argille fossilifere, argille siltose con interstrati di arenarie e conglomerati, sono state indicate come **PL_{az}**.

I depositi della sequenza Qm (età Pleistocene inferiore post-Gelasiano) sono formati da argille fossilifere, arenarie e conglomerati, di ambiente marino analogamente alla sequenza P2, dalla quale sono separati da relazioni stratigrafiche di carattere variabile da inconforme a conforme. La sequenza Qm, a differenza

della sottostante sequenza P2, rappresenta un ciclo regressivo (RICCI LUCCHI *et alii*, 1982). Nel settore marchigiano CANTALAMESSA *et alii* (2002) individua inoltre una sequenza Qm (Santerno-Emiliano) sormontata in modo discordante da una sequenza del Pleistocene inferiore di ordine inferiore Qm1 (Siciliano) formata da sabbie e conglomerati di ambiente litorale del Pleistocene inferiore. Le arenarie e le argille della sequenza Qm sono rappresentate nella Carta Geologica come **PE_{im}** (es. Sabbie di Imola), mentre le unità deposizionali costituite da sedimenti più grossolani sono rappresentati come **PE_{fe}** (es. Formazione di Fermo) nella Carta Geologica. La suddivisione dei depositi marini del Pliocene-Pleistocene in sequenze è stata adottata anche nel Progetto di cartografia CARG del Servizio Geologico d'Italia (CELLO, 2009; DEIANA, 2009; GUERRERA & TRAMONTANA, 2011, 2012). Altre suddivisioni stratigrafiche elaborate come unità UBSU, sono state utilizzate in particolare per il Bacino Periadriatico, come in ARTONI (2007) e GHIELMI *et alii* (2019). La Formazione di Fermo (**PE_{fe}**) rappresenta la principale sequenza regressiva marina dell'intera successione sedimentaria (CANTALAMESSA & DI CELMA, 2004; CELLO, 2009; SARTI & COLTORTI, 2010).

2.7. Successione miocenico-pleistocenica del Margine Tirrenico e dei bacini intermontani

Questa successione (Fig. 23) è composita e fortemente eterogenea dal punto di vista litologico, principalmente clastica, ma con subordinati depositi carbonatici ed evaporitici. Essa è collegata con la fase deposizionale post-orogena, che è attivata nel retropaese dell'Appennino Settentrionale sin dal Miocene medio-superiore (MARTINI & SAGRI, 1993; CARMIGNANI *et alii*, 1995b; BOSSIO *et alii*, 1998; JOLIVET *et alii*, 1998; MARTINI *et alii*, 2001; SARTORI, 2001; CARMIGNANI *et alii*, 2004). La sedimentazione è sviluppata partendo dai settori occidentali, dal profondo Bacino della Corsica, alla Piattaforma Toscana del Mar Tirreno Settentrionale, ai Bacini Toscani, accompagnata da cambiamenti nei sistemi deposizionali e nei paleoambienti (BOSSIO *et alii*, 2000; PASCUCCI *et alii*, 1999; MAUFFRET & CONTRUCCI, 1999; CORNAMUSINI *et alii*, 2002; CORNAMUSINI & PASCUCCI, 2014). Il contesto geodinamico di tali bacini è a tutt'oggi dibattuto, con una visione che privilegia un sistema di bacini estensionali (MARTINI & SAGRI, 1993; CARMIGNANI *et alii*, 1994, 1995a; BOSSIO *et alii*, 1998; JOLIVET *et alii*, 1998; PASCUCCI *et alii*, 1999; MARTINI *et alii*, 2001; CARMIGNANI *et alii*, 2004; BONCIANI *et alii*, 2005; BROGI & LIOTTA, 2008), ed un'ipotesi alternativa che sostiene che la maggior parte dei bacini si è formata in

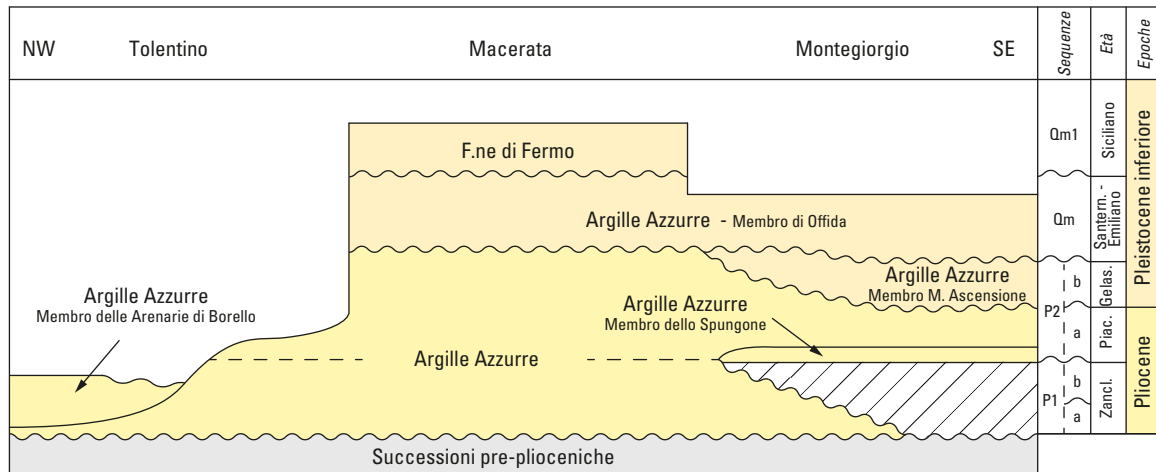


Fig. 21 – Schema dei rapporti tra le unità litostratigrafiche della Successione pliocenico-pleistocenica del Bacino adriatico, da CELLO (2009).

un contesto prevalentemente compressivo, generando significative discordanze stratigrafiche interne alle successioni sedimentarie (BERNINI *et alii*, 1990; BOCCALETTI & SANI, 1998; FINETTI *et alii*, 2001; BONINI & SANI, 2002; BONINI *et alii*, 2014; BENVENUTI *et alii*, 2015).

La Successione miocenico-pleistocenica del Margine Tirrenico è stata classicamente indicata con il termine “Neoautoctono”, in quanto essa poggia in discordanza sulle sottostanti unità tettoniche deformate, ed è stata suddivisa in più successioni minori o unità stratigrafico-deposizionali, tramite limiti conformi o inconformi, i quali possono essere localmente erosivi, variare in estensione, significato ed importanza da bacino a bacino (BOSSIO *et alii*, 1993, 1998, 2000). Ogni successione minore rappresenta un ciclo deposizionale diverso, connesso con le variazioni del livello marino indotte dalla tettonica post-collisionale, da eventi magmatici e climatici, i quali hanno determinato nel tempo diverse condizioni ambientali e bacinali (PA-

SQUARE *et alii*, 1983; MARTINI & SAGRI, 1993; BOSSIO *et alii*, 1993; CARMIGNANI *et alii*, 1995b; BOSSIO *et alii*, 1998; CARMIGNANI *et alii*, 2004; PANDELI *et alii*, 2010; CORNAMUSINI *et alii*, 2011).

2.7.1. Depositi marini del Burdigaliano medio - Tortoniano inferiore (Epiliguridi Tirreniche Auctt.)

Questa successione sedimentaria poggia in discordanza sulle Unità Liguri deformate, e passa stratigraficamente in alto ai depositi continentali del Miocene superiore appartenenti alla Successione Neoautoctona s.s., tramite un passaggio che varia in tipologia da discordanza angolare a discordanza semplice, a superficie di conformità (FORESI *et alii*, 1997a; CORNAMUSINI *et alii*, 2011; IELPI & CORNAMUSINI, 2016), mostrando relazioni compatibili con una discordanza progressiva di carattere regionale (IELPI & CORNAMUSINI, 2012).

I rispettivi depositi (**MI_{ma}**, Fig. 24) sono rappresentati da piccoli affioramenti distribuiti in modo sparso nella Toscana meridionale - Lazio settentrionale, costituiti da arenarie con subordinati conglomerati e marne di ambiente marino poco profondo. Le arenarie sono fossilifere, bioturbate e caratterizzate da stratificazione incrociata e forme di fondo, oltre ad altre strutture tipiche di un ambiente di spiaggia sommersa poco profonda - deltizio. Tali affioramenti mostrano età diverse, dei quali, i più antichi ed occidentali sono rappresentati dalla Formazione di Marina del Marchese affiorante nell'Isola di Pianosa (Arcipelago Toscano), di età Burdigaliano medio, la quale mostra un'associazione litologica parzialmente diversa dagli altri affioramenti, data da alternanze di calcareniti torbiditiche di mare poco profondo e di marne (COLANTONI & BORSETTI, 1973; CORNAMUSINI *et alii*, 2014). In Toscana meridionale



Fig. 22 – Arenarie plioceniche, Valle di Teva, Marche.

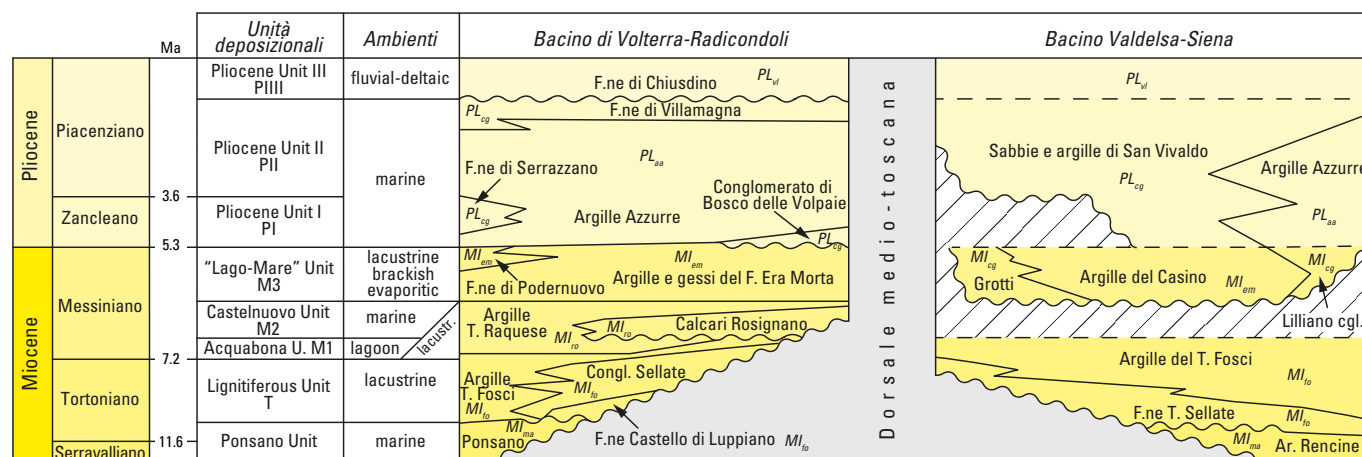


Fig. 23 – Schema dei rapporti tra le unità litostratigrafiche della Successione del Miocene-Pliocene nella Toscana centrale e meridionale, modificato da COSTANTINI *et alii* (2009). In corsivo sono riportate le sigle della Carta Geologica.

- Lazio settentrionale affiorano le Arenarie di Manciano, attribuite ad un non meglio specificato Miocene medio (GIANNINI, 1957) o ad una non ben definita età miocenica (BARBIERI *et alii*, 2003), mentre nella parte centrale della Toscana meridionale affiorano le Arenarie di Ponsano, di età Serravalliano superiore - Tortoniano inferiore (MAZZANTI *et alii*, 1981; FORESI *et alii*, 1997a,b).

Questi depositi sono qui considerati come la base della Successione miocenico-pleistocenica del Margine Tirrenico e dei bacini intermontani e così considerati appartenenti alla successione sedimentaria post-collisionale, anche se questo aspetto resta ancora argomento di discussione. Infatti, classicamente, questi depositi sono stati considerati come “Epiluguri”, deposti in bacini di *thrust-top*, legati alle ultime fasi collisionali (MARTINI *et alii*, 1995), o relativi ad un non ben definito contesto geodinamico (BOSSIO *et alii*, 1998). Recentemente, alcune evidenze, sia di carattere stratigrafico (FORESI *et alii*, 1997a,b; CORNAMUSINI *et alii*, 2011, 2014; IELPI & CORNAMUSINI, 2012, 2016), che strutturale (BROGI, 2004; BONCIANI *et alii*, 2005; BROGI & LIOTTA, 2008), suggeriscono di considerare questi depositi (quantomeno le Arenarie di Manciano e le Arenarie di Ponsano), come la porzione inferiore della Successione Neoautoctona, sviluppatasi durante le prime fasi di rifting della parte interna dell’Appennino Settentrionale.

2.7.2. Successione fluvio-lacustre del Turoliano inferiore (Tortoniano superiore)

Questa successione è classicamente nota come “Serie Lignitifera” (LAZZAROTTO & MAZZANTI, 1976) e comprende molte unità litostratigrafiche formazionali (come la Formazione di Golfo della Botte per l’Isola

di Pianosa, i Conglomerati del Castello di Luppiano, le Argille del Torrente Fosci, le Marne a *Bithynia*, la Formazione del Torrente Sellate, le Argille di Ribolla, i Conglomerati di Collacchia, le Argille del Casino, ecc.). Questa successione poggia sia in discordanza che in concordanza sui depositi marini del Miocene medio-superiore (IELPI & CORNAMUSINI, 2012, 2016), o come più frequentemente in loro assenza, poggia direttamente sulle Unità Liguri tramite una marcata discordanza angolare. Essa passa verso l’alto alla Successione marina pre-evaporitica messiniana, tramite una superficie conforme (conformità correlativa), la quale localmente può assumere il carattere di una transizione inconforme verso i margini bacinali (BOSSIO *et alii*, 1993, 1998; CORNAMUSINI *et alii*, 2011). Questi depositi rappresentano la porzione inferiore maggiormente affiorante della Successione Neoautoctona (BOSSIO *et alii*, 1993, 1994, 1998; MARTINI & SAGRI, 1993; ROOK & GHETTI, 1997; FORESI *et alii*, 2000; BENVENUTI *et alii*, 2001; COSTANTINI *et alii*, 2002a; LAZZAROTTO *et alii*, 2002; COSTANTINI *et alii*, 2009; CORNAMUSINI *et alii*, 2011; ROOK *et alii*, 2011), la quale è distribuita nei bacini neogenici post-rift occidentali del retropaese della catena (es. bacini di Val di Fine, Volterra, Radicondoli, Cornia, Ribolla, Casino, Baccinello, Albegna, Tafone, Fiora), e rappresentano la sua base quando i depositi **MI_{ma}** non sono presenti. Questi depositi sono stati rappresentati nella Carta Geologica con la sigla **MI_{fo}**, di età turoliana (corrispondente al Tortoniano superiore), anche se sono estremamente eterogenei per quanto riguarda l’associazione litologica, per la presenza di conglomerati, arenarie, siltiti, argille e calcari marnosi con relazioni stratigrafiche complesse, interdigitazioni, superfici di erosione interne e discordanze stratigrafiche. Le facies sono relative a sistemi alluvionali formati da conoidi alluvionali, sistemi fluviali, lacustri e palu-



Fig. 24 – Arenarie di Manciano, cava a SE di Manciano, Grosseto.

stri (MARTINI & SAGRI, 1993; BOSSIO *et alii*, 1998, 2000; BENVENUTI *et alii*, 1999, 2001; IELPI & CORNAMUSINI, 2012). IELPI (2013) ha individuato nella porzione di successione riferibile al Bacino di Volterra, alcune evidenze che fanno pensare alla presenza di alternanze di fasi lacustri-paraliche e di superfici di discordanza per erosione subaerea. Argille di acqua salmastra sono state invece bene documentate da molti autori (BOSSIO *et alii*, 1996, 1998; LAZZAROTTO *et alii*, 2002) per la parte superiore della Formazione del Torrente Fosci (solo per i bacini posti ad ovest della Dorsale Medio-Toscana, vedi la Fig. 23), relativi ad un ambiente lagunare-salmastro di età del Messiniano basale, ad evidenziare un graduale cambiamento ambientale. La parte di successione di acque dolci è stata indicata come unità stratigrafico deposizionale Unità T “Lignitifera”, la seconda, di acque salmastre, come parte inferiore dell’Unità M1 “Acquabona-Spicchiaiola” (BOSSIO *et alii*, 1998; COSTANTINI *et alii*, 2002a, 2009; LAZZAROTTO *et alii*, 2002). L’Unità T è importante per la presenza di livelli lignitiferi, in particolar modo nelle successioni dei bacini della Toscana meridionale di Baccinello e di Cinigiano, e per i rilevanti resti fossili di mammiferi ed ominidi, come *Oreopithecus bambolii* (BENVENUTI *et alii*, 2001; ROOK *et alii*, 2011). È degno di nota il fatto che la presenza di mammiferi terrestri del Miocene superiore pre-Messiniano, documenta

l’esistenza di bioprovince diverse con caratteristiche endemiche e peculiari scenari paleogeografici (ROOK *et alii*, 2006).

2.7.3. Successione marina pre-evaporitica messiniana

Questa successione (MI_{ro}) segna la trasgressione marina post-orogenica del Miocene superiore nel retroarco della catena. Si è sviluppata durante il Messiniano inferiore per i bacini della Toscana occidentale (RIFORGIATO *et alii*, 2008), mentre al contempo sistemi deposizionali di ambiente continentale persistevano nei bacini orientali (BOSSIO *et alii*, 1978, 1981, 1993, 1998, 2000). Difatti, si registrano due principali e diverse successioni, una marina ad ovest di un importante alto morfo-strutturale, quale la Dorsale Medio-Toscana, ed una continentale lacustre/alluvionale ad est della stessa (BOSSIO *et alii*, 1993, 1998; COSTANTINI *et alii*, 2009, Fig. 23). La successione occidentale affiora, in particolare, nei bacini di Volterra, Radicondoli e della Val di Fine ed anche nel più meridionale Bacino del Tafone (nei pressi del confine amministrativo con il Lazio), a delineare una complessa trasgressione marina nei bacini ad ovest della Dorsale Medio-Toscana, e nelle aree sudorientali collegate con il Bacino Laziale-Tarquiniense.

La successione è formata dalla parte superiore dell'Unità M1 "Unità Acquabona-Spicchiaiola", di ambiente di acque salmastre e dall'Unità M2 "Unità Castelnuovo" di ambiente marino poco profondo (BOSSIO *et alii*, 1998; COSTANTINI *et alii*, 2009). Questa successione comprende, tra le altre, le Argille a *Pycnodonta*, la Formazione del Torrente Raquese, i Calcarei di Rosignano. Queste unità giacciono sui depositi di acque salmastre della parte sommitale della successione fluvio-lacustre del Turoliano (Tortoniano superiore) (BOSSIO *et alii*, 1997, 1998; IELPI & CORNAMUSINI, 2016), e passano in alto, attraverso una superficie di discordanza (o di conformità correlativa), alla soprastante Successione sin- e post-evaporitica messiniana (BOSSIO *et alii*, 1997, 1998), come evidenziato da linee sismiche della Piattaforma Toscana nel Mar Tirreno settentrionale (PASCUCCI *et alii*, 1999; CORNAMUSINI *et alii*, 2002), del Bacino della Corsica e dell'entroterra corso orientale (MAUFFRET *et alii*, 1999; BOSSIO *et alii*, 2000).

Ad ovest della Dorsale Medio-Toscana i depositi sono caratterizzati da argille, marne, argille siltose, arenarie, conglomerati, gessoareniti e calcari bioclastici di scogliera, organizzati in un complesso sistema architetturale, caratterizzato da transizioni laterali di facies. Più in dettaglio, la parte inferiore della successione è data da argille di acqua salmastra con arenarie ed interstrati di gessoareniti (questi ultimi esclusivamente per il Bacino di Volterra), ad indicare un ambiente lagunare con rimaneggiamento intrabacinale di evaporiti (BOSSIO *et alii*, 1978; LAZZAROTTO & MAZZANTI, 1976; BOSSIO *et alii*, 1996; COSTANTINI *et alii*, 2009). La parte medio-superiore della successione è caratterizzata da argille marine ricche in *Pycnodonta navicularis* con interstrati di arenarie e relazioni laterali con calcari bioclastici e conglomerati. Essi registrano una trasgressione marina che porta alla sostituzione dell'ambiente lagunare, con un ambiente di mare poco profondo interagente con complessi di scogliera e delta conoidi al margine del bacino (BOSSIO *et alii*, 1978, 1993; COSTANTINI *et alii*, 2009).

Ad est della Dorsale Medio-Toscana, i depositi di ambiente marino e lagunare sono del tutto assenti, come per i bacini di Casino-Val d'Elsa, Siena-Radicofani e Ombrone, venendo a configurare una lacuna stratigrafica che interessa l'intero intervallo temporale del Messiniano inferiore, o in alternativa, con la prolungata sedimentazione di argille lacustri confrontabili con quelle del ciclo sedimentario **MI₁₀** (BOSSIO *et alii*, 1981, 1993, 1996, 1998; LAZZAROTTO *et alii*, 2002; COSTANTINI *et alii*, 2009).

2.7.4. Successione sin- e post-evaporitica messiniana

Questa successione registra i sistemi deposizionali sviluppati durante la crisi evaporitica del Messiniano, che ha interessato l'intero Mare Mediterraneo (HSÜ *et alii*, 1977; CITA, 1982; KRIJGSMAN *et alii*, 1999; MANZI *et alii*, 2013) e la conseguente instaurazione di ambienti di acqua da salmastra a dolce, in particolare, ambienti lacustri, lagunari o salmastri (BOSSIO *et alii*, 1998, 2000; ALDINUCCI *et alii*, 2005; CARNEVALE *et alii*, 2006; ORSZAG-SPERBER, 2006). Essa corrisponde all'Unità M3 o "Unità di lago-mare" ed è riferibile al Messiniano superiore (BOSSIO *et alii*, 1978, 1993, 1998). Essa è ampiamente distribuita sia ad ovest che ad est della Dorsale Medio-Toscana, ma con differenze nelle relazioni stratigrafiche con le successioni sottostanti. Nei bacini occidentali (es. Volterra, Tora, Radicondoli), la successione (es. Argille e gessi del Fiume Era Morta), poggia in modo variabile da discordante (per le aree marginali) a concordante (per le aree bacinali) sulla Successione marina pre-evaporitica messiniana, nel secondo caso, attraverso una transizione graduale. Diversamente, nei bacini orientali (es. Casino, Ombrone), la successione (es. Argille del Casino, Conglomerati di Lilliano, Breccia di Grotti, Conglomerati di Montebamboli) giace in discordanza sui depositi fluvio-lacustri (Argille del Torrente Fosci) delle successioni più antiche, venendo a mancare i depositi di ambiente salmastro-marino marginale, o direttamente sulle Unità Liguri del substrato (LAZZAROTTO & SANDRELLI, 1979; BOSSIO *et alii*, 1993, 1998, 2002). In tal caso, come evidente per il Bacino del Casino, due cicli lacustri sono direttamente sovrapposti, quali quello "lacustre inferiore" e quello "lacustre superiore" (BOSSIO *et alii*, 2002; ABBAZZI *et alii*, 2008; COSTANTINI *et alii*, 2009).

Questa successione mostra una diversa architettura fisica ed organizzazione verticale a seconda della posizione all'interno dei bacini deposizionali, se occidentale od orientale rispetto alla Dorsale Medio-Toscana. La successione occidentale è data da argille, arenarie, con intercalazioni lenticolari di gesso rimaneggiato, calcari sottilmente stratificati e conglomerati (**MI_{en}**) e poggia in modo concordante sulle argille di ambiente marino. Tali depositi sono riferibili ad un sistema deposizionale di acque leggermente salmastre con laghi paralici, *playas* e delta conoidi del Messiniano, venendo a costituire la cosiddetta facies di "lago-mare" (BOSSIO *et alii*, 1978, 1981, 1993, 1998, 2000). Diversamente, il livello di gesso presente alla base della successione è dovuto ad una fase evaporitica di ambiente lagunare/marino costiero con acque sovrassature in

sali (facies laminitica ed alabastrina) (BOSSIO *et alii*, 1978, 1981; LAZZAROTTO *et alii*, 2002). Le successioni ad est della Dorsale Medio-Toscana, mostrano argille con lignite, arenarie, conglomerati e brecce (**ML_{cg}**) di ambiente di acqua dolce o con affinità del “lago-mare” della Paratetide per il Bacino della Valdelsa (ABBAZZI *et alii*, 2008; BENVENUTI *et alii*, 2014), di età del Messiniano superiore, per le quali sono del tutto assenti le evaporiti (BOSSIO *et alii*, 1978, 1993, 1998, 2000). Il quadro ambientale è riconducibile a laghi poco profondi interagenti con sistemi di delta conoide e di conoide alluvionale, che potevano passare a sistemi palustri, in funzione delle oscillazioni del livello della tavola d’acqua (COSTANTINI *et alii*, 2009).

2.7.5. Successione marina del Pliocene-Pleistocene

I depositi marini pliocenici segnano una fase importante nel quadro deposizionale neogenico, collegata con l’ingressione marina nel Mar Mediterraneo, proveniente dall’Oceano Atlantico, attraverso la riapertura dello Stretto di Gibilterra, di nuovo in connessione dopo la “chiusura” della crisi di salinità messiniana. L’ingressione è stata molto veloce o addirittura catastrofica (GARCIA-CASTELLANOS *et alii*, 2009), come dimostrano i depositi argillosi del Pliocene, relativi alla trasgressione marina basale, che ha interessato tutto il retroarco dell’Appennino Settentrionale e tutta l’area mediterranea (BOSSIO *et alii*, 1978, 1998, 2000; RIFORGIATO *et alii*, 2011, con bibliografia). La successione marina del Pliocene mostra localmente depositi di acque dolci/salmastre, discordanti con i depositi marini, i quali possono essere così suddivisi in due o più cicli deposizionali, come registrato per il Bacino di Volterra (BOSSIO *et alii*, 1994; COSTANTINI *et alii*, 2002b; LAZZAROTTO *et alii*, 2002; RIFORGIATO *et alii*, 2005). Le successioni della Toscana meridionale, fino alla Dorsale Chianti-Cetona ad est, mostrano tendenze regressive durante il Pliocene superiore, fino ai depositi continentali del Pleistocene (BOSSIO *et alii*, 1993, 1998). Diversamente, per la Toscana settentrionale e per i bacini più orientali (Valdarno Superiore, Mugello, ecc.), non sono registrati depositi marini del Pliocene inferiore (BOSSIO *et alii*, 1993, 2010). In particolare, i bacini della Val di Chiana e della Val Tiberina, mostrano depositi marini plio-pleistocenici, a definire uno scenario paleogeografico molto articolato per la trasgressione marina del Pliocene (AMBROSETTI *et alii*, 1978, 1987; BOSSIO *et alii*, 1993, 1998).

I depositi marini del Pliocene inferiore poggiano sull’Unità “Lago-Mare” del Messiniano, con diverse modalità: a) attraverso un limite conforme, come evidente

per le porzioni depocentrali dei bacini, ad evidenziare una sostituzione di acque da dolci/salmastre a marine, come si verifica per i bacini ad ovest della Dorsale Medio-Toscana (es. Bacino di Volterra, LAZZAROTTO *et alii*, 2002); b) attraverso una superficie erosiva di disconformità; c) attraverso superfici erosive con discordanza angolare, variabile da basso ad alto angolo, come si verifica per i bacini posti ad est della Dorsale Medio-Toscana (BOSSIO *et alii*, 1993, 1998). In particolare, per questi ultimi casi, i depositi pliocenici vanno in *onlap* in modo discordante anche direttamente sulle unità tettoniche orogeniche, a ricoprire sia le Unità Liguri, che le Unità Toscane (BONCIANI *et alii*, 2005; COSTANTINI *et alii*, 2009; CARMIGNANI *et alii*, 2013).

I depositi marini del Pliocene fanno parte di due unità deposizionali (BOSSIO *et alii*, 1998): l’Unità Pliocene I e l’Unità Pliocene II, rispettivamente di età Pliocene inferiore e Pliocene superiore, tra loro in relazioni stratigrafiche di tipo conforme o inconforme, in funzione della forma e delle dimensioni del bacino sedimentario e della loro posizione rispetto al depocentro o al margine del bacino; per questi ultimi casi, il limite è generalmente di tipo inconforme. I depositi marini dell’Unità Pliocene I sono presenti sia ad ovest, che ad est della Dorsale Medio-Toscana (es. bacini Elsa, Siena, Radicofani, Chiana-Tevere), dati principalmente da argille fossilifere, silt ed arenarie (**PL_{aa}**) di ambiente marino di piattaforma esterna. (BOSSIO *et alii*, 1993; BARBERI *et alii*, 1994; BOSSIO *et alii*, 1998). I conglomerati ed arenarie (**PL_{cg}**), seppur subordinati, localmente evidenziano la presenza di discordanze interne, nelle posizioni marginali dei bacini principali o nei bacini minori (BOSSIO *et alii*, 1998; BENVENUTI & DEGLI INNOCENTI, 2001; LAZZAROTTO *et alii*, 2002; PASCUCCI *et alii*, 2006; ALDINUCCI *et alii*, 2007). I depositi marini dell’Unità Pliocene II sono presenti anche essi, sia ad ovest che ad est della Dorsale Medio-Toscana, e marcano localmente una discordanza con i depositi sottostanti dell’Unità Pliocene I, o poggiano direttamente sulle unità tettoniche deformate, costituenti il substrato deposizionale. Tali depositi sono costituiti da argille fossilifere (**PL_{aa}**) di ambiente di piattaforma esterna e nella parte superiore da biocalcareni ed arenarie (**PL_{cg}**) di ambiente di piattaforma interna (BOSSIO *et alii*, 1998; NALIN *et alii*, 2016). La soprapstante Unità Chianti-Tevere-Montescudaio (Unità Q1) consiste di depositi di acque da salmastre a marine poco profonde del Pleistocene inferiore (**PE_{ag}**), affioranti negli omonimi bacini orientali e lungo la costa toscana settentrionale (MAZZANTI, 1983; AMBROSETTI *et alii*, 1987; BOSSIO *et alii*, 1993, 1998). Essi sono costituiti da argille siltose fossilifere e calcari arenacei.

2.7.6. Successione continentale del Rusciniense e del “Villafranchiano”

Questa successione comprende i depositi del Villafranchiano *Auctt.* ed i depositi di acque dolci del Rusciniense, del Villafranchiano e del Galeriano, fino ad un'età di 0,37 milioni di anni. Le rispettive successioni sedimentarie di rango minore sono estremamente articolate dal punto di vista stratigrafico-architettonico e litologico, e sono presenti nei bacini della Toscana settentrionale e meridionale, in Umbria e nelle Marche. Esse corrispondono alle unità deposizionali continentali del Plio-Pleistocene di BOSSIO *et alii* (1998), e più in dettaglio, possono anche essere parzialmente intercalate con l'Unità Pliocene I (Fig. 23, es. depositi rusciniensi del Bacino di Volterra), così come all'interno e più comunemente alla sommità dell'Unità Pliocene II (depositi villafranchiani) dei bacini della Toscana meridionale (BOSSIO *et alii*, 1998). Ma soprattutto, essi costituiscono l'intera Unità Pliocene III e la porzione continentale dell'Unità Chiani-Tevere-Montescudaio, dove i depositi hanno età villafranchiana (BOSSIO *et alii*, 1993, 1998). Questi depositi sono presenti anche nei bacini della Toscana nordoccidentale (Aulla-Olivola, Pontremoli, Garfagnana, Altopascio, costa toscana), dove rappresentano in modo esclusivo la rispettiva successione “neoautoctona”, e giacciono in discordanza sulle unità del substrato (BOSSIO *et alii*, 1993, 1998; BERNINI & PAPANI, 2002). In Toscana meridionale essi poggiano in modo discordante, attraverso una discordanza angolare o una discordanza semplice, sui depositi marini del Pliocene, o direttamente sui depositi del Miocene o sulle unità tettoniche orogeniche del substrato (bacini: Fine, Valdera-Volterra, Elsa, Montescudaio-Guardistallo, Pesa, Pomarance-Chiusdino, Albegna, Tafone, Ombrone, Roccastrada e Valdichiana) (AMBROSETTI *et alii*, 1978, 1987; GALIBERTI *et alii*, 1982; BOSSIO *et alii*, 1993, 1998).

I bacini intermontani orientali (bacini interni della Toscana e dell'Umbria) sono riempiti esclusivamente da depositi continentali villafranchiani, come il Bacino del Mugello (MARTINI *et alii*, 2001; BENVENUTI, 2003), il Bacino del Valdarno Superiore (FIDOLINI *et alii*, 2013; GHINASSI *et alii*, 2013, *cum biblio*), il Bacino meridionale di Firenze, il Bacino della Val di Chiana Superiore, il Bacino del Casentino, il Bacino Tiberino, di Gubbio, di Gualdo Tadino ed i bacini dell'Umbria meridionale (AMBROSETTI *et alii*, 1978; BOCCALETTI & COLI, 1982; BOSSIO *et alii*, 1993, 1998; BARCHI, 2010). I depositi e le successioni dei bacini Tiberino e Val di Chiana sono stati suddivisi adottando i criteri stratigrafici a limiti inconformi o UBSU (*sensu* SALVADOR, 1987), nel Supersistema della Val di Chiana e nel Supersistema

Tiberino, di età Pliocene superiore-Pleistocene (BARCHI & MARRONI, 2014). I principali sintemi per i bacini intermontani umbri sono quelli di: Colfiorito, Valle Umbra *p.p.*, Morgnano *p.p.*, Perugia *p.p.*, Sanfaticchio, Nestore, Fighille (PLESI, 2010; DAMIANI, 2011; BARCHI & MARRONI, 2014). Le disconformità interne alle successioni hanno consentito di suddividere anche altre successioni bacinali in sintemi, come per il Bacino della Valdelsa (BENVENUTI & DEGLI INNOCENTI, 2001; ALDINUCCI *et alii*, 2007), il Bacino del Mugello (BENVENUTI, 2003), il Bacino del Valdarno Superiore (FIDOLINI *et alii*, 2013) ed altri.

I rispettivi depositi (**PL_{VI}**, Fig. 25) sono costituiti da conglomerati, sabbie, silt, argille, lignite e carbonati di ambiente alluvionale, da conoide alluvionale a fluviale e lacustre, caratterizzanti le ultime fasi del complesso deposizionale del Neogene-Quaternario. Essi possono anche contenere ricche associazioni vegetali e faune di mammiferi (AMBROSETTI *et alii*, 1987). I depositi carbonatici fluvio-lacustri, così come i travertini ed i tufa calcarei, talora intercalati con depositi conglomeratici ed argille, sono stati riconosciuti in modo diffuso per il Bacino della Valdelsa Superiore (area di Colle di Val d'Elsa), dove sono stati suddivisi in sintemi (CAPEZZUOLI & SANDRELLI, 2004).

2.8. Depositi continentali e costieri del Quaternario (“post-Villafranchiano”)

I depositi quaternari qui considerati (ghiaie, conglomerati, sabbie, silt, argille), variano in età dal tardo Pleistocene Medio (Aureliano, 0,37 milioni di anni) all'Olocene, e sono indicati come “post-Villafranchiano” *Auctt.*, essendo ubiquitari lungo il margine tirrenico e le aree costiere adriatiche, così come lungo il sistema idrografico fluviale, in particolare per la Pianura Padana. Questi depositi sono stati generalmente cartografati e suddivisi stratigraficamente tramite le unità UBSU (*sensu* SALVADOR, 1987), così da risultare ripartiti in sintemi e subsintemi, come evidente anche in molte carte geologiche prodotte nell'ambito del Progetto CARG del Servizio Geologico Nazionale.

Nella Carta Geologica sono riportati anche i principali affioramenti di travertini e carbonati continentali, come tufa calcarei con associati livelli di argille ricche in materiale organico (**Q_{IV}**), connessi rispettivamente con sistemi di acque idrotermali o di acque dolci a temperatura ambiente (FORD & PEDLEY, 1996; CAPEZZUOLI *et alii*, 2014). Le aree in cui questi ultimi depositi affiorano più estesamente, sono i dintorni di Colle di Val d'Elsa, Rapolano Terme, Saturnia, Sarteano e Magliano in Toscana meridionale.



Fig. 25 – Panorama dei conglomerati continentali quaternari del Valdarno superiore.

I depositi costieri e alluvionali/fluviali di età tra il tardo Pleistocene medio (Aureliano) e l'Olocene del lato tirrenico e del sistema idrografico fluviale interno (Toscana interna e Umbria), inclusi quelli dei bacini intermontani, sono stati rappresentati con la sigla **Q_t** nella Carta Geologica allegata. Essi comprendono i depositi fluviali di alveo e quelli terrazzati, delle conoidi alluvionali, i depositi lacustri/palustri, così come i depositi costieri, lagunari e deltizi (BELLOTTI *et alii*, 2004; BISERNI & VAN GEEL, 2005; BARCHI & MARRONI, 2014; GHINASSI, 2011; ROSSI *et alii*, 2011; AMOROSI *et alii*, 2013). Essi sono formati da ghiaie, sabbie, silt ed argille con contenuto organico più o meno abbondante. Generalmente si tratta di depositi poco o nulla cementati, anche se alcuni depositi terrazzati, particolarmente i livelli ghiaiosi, possono mostrare un discreto grado di cementazione. Nella recente letteratura e carte geologiche, alcuni di questi depositi sono stati ripartiti e distinti sulla base della stratigrafia in sintemi. In particolare, per le aree interne dell'Umbria, tali unità stratigrafiche a limiti inconformi (UBSU), comprendono il Supersintema Tiberino ed i sintemi di Citerna, Pian di Nese e la parte superiore del Sintema di Perugia (PLESI, 2010), il Supersintema della Val di Chiana ed il Sintema del Trasimeno (BARCHI & MARRONI, 2014), oppure il più interno Sintema della Valle Umbra p.p. ed il Sintema di Morgnano p.p. (DAMIANI, 2011).

Questi depositi affiorano estesamente anche lungo le valli fluviali principali del lato tirrenico (fiumi Arno, Serchio, Tevere, Ombrone), nei bacini intermontani (es. Pistoia-Firenze, Bacino del Mugello, la piana di Lucca, la bassa Val di Chiana, la bassa Val Tiberina, il Lago Trasimeno, il Casentino, il Bacino del Valdarno Superio-

re, il Bacino di Perugia-Terni). I depositi litorali/lagunari sono presenti lungo le piane costiere e deltizie (da Marina di Carrara a Livorno, da Rosignano Marittimo a Follonica, la Piana di Grosseto, da Talamone fino al confine con il Lazio).

I depositi di conoide alluvionale e fluviali della Pianura Padana e del Margine adriatico sono rappresentati nella Carta Geologica con la sigla **Q_{a1}**. Essi corrispondono a depositi di conoide alluvionale e fluviali terrazzati e di alveo del sistema idrografico che drena i versanti verso la Pianura Padana ed il Mare Adriatico. Essi consistono di ghiaie, sabbie, silt e sedimenti argillosi, che in taluni casi sono stati suddivisi in UBSU, come per esempio il Sintema Superiore dell'Emilia-Romagna (AMOROSI *et alii*, 1996c; BOCCALETTI *et alii*, 2004; GASPERI *et alii*, 2005; BENINI *et alii*, 2009), inclusi i subsintemi di Ravenna, Villa Verucchio e Bazzano per il lato emiliano romagnolo, ed i sintemi di Musone, Matelica, Colle Ulivo, Colonia Montani ed Urbisaglia p.p. per il lato marchigiano (CELLO, 2009; CORNAMUSINI *et alii*, 2009a; SARTI & COLTORTI, 2010; GUERRERA & TRAMONTANA, 2012).

I depositi della Pianura Padana sono distinti nella Carta Geologica sulla base delle caratteristiche litologiche, di facies, stratigrafiche ed ambientali (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998), ed i cui limiti stratigrafici derivano dalla carta di PRETI (1999). Le unità litostratigrafiche cartografate sono date da depositi terrazzati di conoide alluvionale e fluviali (**Q_{a1}**), depositi di argine di canale prossimale e di canale fluviale (**Q_{a2}**), depositi palustri e di intercanale, di canale fluviale e di argine di canale distale (**Q_{a3}**), depositi di piana fluviale meandriforme (**Q_{a4}**), depositi di piana

deltizia con canali, argini e paludi (**Q_{a5}**), depositi di piana deltizia con baie interdistributrici (**Q_{a6}**), depositi di barra, come dune eoliche e paludi di acqua salmastra o lagune (**Q_{a7}**). Per ulteriori informazioni sui caratteri di questi depositi vedi in PRETI (1999).

2.9. Unità con metamorfismo di alta pressione

Alcune successioni ad affinità ligure e ad affinità toscana sono interessate da metamorfismo di alta pressione e bassa temperatura (HP-LT), come documentato in alcuni affioramenti della Toscana meridionale, a Monte Argentario, all'Isola del Giglio, all'Isola di Gorgona e nell'area di Grosseto. Scisti a glaucofane sono comuni in queste aree (LAZZAROTTO *et alii*, 1964; MAZZONCINI, 1965; RICCI, 1972), ma più recentemente sono state ipotizzate condizioni di più alta pressione e bassa temperatura, documentate dalla presenza di magnesio-carfolite (THEYE *et alii*, 1997; GIORGETTI *et alii*, 1998; JOLIVET *et alii*, 1998; ROSSETTI *et alii*, 2002), con condizioni di 0,8-1 GPa e 350-380 °C ai Monti Leoni e di 1-1,2 GPa e 350-420 °C a Monte Argentario. Condizioni di HP-LT sono riportate anche all'Isola d'Elba (BIANCO *et alii*, 2015, 2019). L'età del metamorfismo è comunemente considerata riferibile all'Oligocene-Miocene inferiore (BRUNET *et alii*, 2000).

Queste rocce metamorfiche affiorano come scaglie tettoniche o in assetti tettonici complicati lungo sovrascorrimenti principali, zone di taglio e miloniti sviluppate durante le fasi di subduzione, *underthrusting*, raccorciamento e messa in posto delle unità tettoniche che hanno interessato le unità liguri e toscane. Per maggiori informazioni circa l'assetto tettonico dell'Isola di Gorgona si rimanda ai lavori di MAZZONCINI (1965), CAPPONI *et alii* (1990) e ROSSETTI *et alii* (2001), per il Monte Argentario e Isola del Giglio ai lavori di LAZZAROTTO *et alii* (1964), CAPPONI *et alii* (1997) e ROSSETTI *et alii* (1999a,b) ed infine BROGI & GIORGETTI (2012) per gli affioramenti dell'area costiera grossetana.

Nella Carta Geologica abbiamo raggruppato queste rocce in due unità, la prima formata da rocce derivanti da successioni toscane (**HP_{tu}**, corrispondente all'Unità di Cala Piatti di DECANDIA & LAZZAROTTO, 1980a) e la seconda formata da rocce di origine ligure (**HP_{li}**, corrispondente all'Unità di Cala Grande di DECANDIA & LAZZAROTTO, 1980a).

2.10. Mélange tettonici e zone di taglio

Sotto questo raggruppamento sono compresi i maggiori complessi tettonici (mélange tettonici e zone di taglio) che hanno un'estensione significativa, tali da

essere cartografati alla scala della Carta Geologica. Questi complessi tettonici comprendono rocce molto deformate provenienti da unità tettoniche anche paleogeograficamente molto diverse e per questo motivo si è scelto di rappresentarli autonomamente nella legenda della Carta Geologica, al di fuori delle altre successioni, senza attribuirli ad uno specifico dominio paleogeografico.

2.10.1. Unità Sestola-Vidiciatico

Nella Carta Geologica l'Unità Sestola-Vidiciatico è intesa nel significato attribuitogli recentemente in vari lavori da REMITTI *et alii* (2007, 2011) e VANNUCCHI *et alii* (2008, 2012), cioè quello di un *mélange* tettonico con uno spessore fino a 500 m, che rappresenta la zona di subduzione (*subduction channel*) tra il sovrastante Prisma di accrezione ligure e la sottostante Placca adriatica, sviluppatasi durante il Miocene inferiore-medio. Questa unità tettonica è formata da scaglie tettoniche che giustappongono in modo complicato frammenti di successioni di varia origine, sia provenienti dalle sovrastanti Unità Liguri, sia dalle sottostanti Unità Toscane. Nella Carta Geologica all'interno di questa unità tettonica sono stati distinti i maggiori affioramenti di rocce provenienti dalle Unità Liguri (**SV_{li}**: calcari e argilliti delle varie formazioni liguri), i maggiori affioramenti di argilliti e marne derivanti dalle Unità Toscane e principalmente dall'Unità Modino (**SV_{tu}**: Marne di Marmoreto, Argille di Fiumalbo) e i maggiori affioramenti di arenarie torbiditiche provenienti dalle successioni toscane (**SV_{ar}**: Arenarie di M. Cervarola, Arenarie di M. Modino). Questa unità tettonica nell'Appennino tosco-emiliano ha una posizione interposta tra l'Unità Modino e l'Unità Cervarola (sotto) e le Unità Liguri (sopra).

2.10.2. Zone di taglio

Durante il Miocene il Dominio Toscano è interessato da un'intensa tettonica con lo sviluppo di sovrascorrimenti a scala regionale, messa in posto delle unità tettoniche, e successivamente durante il Miocene superiore-Pliocene, da esumazione e denudamento tettonico. Durante queste fasi deformative lungo i principali lineamenti tettonici si sviluppano solitamente cataclasi e talvolta miloniti in facies scisti verdi. Alla scala della Carta Geologica queste rocce di faglia non sono quasi mai cartografabili, le uniche eccezioni sono nell'Appennino tosco-emiliano, quali le zone di taglio affioranti nell'area dell'Alta Val Secchia - Passo del Cerreto e la zona di taglio affiorante tra Libro Aperto e Cima Tauffi (Zona di taglio di Libro Aperto).

L'area di Passo del Cerreto-Alta Val Secchia ha attirato l'attenzione di molti autori fin dal passato, in quanto è l'unica area del crinale dell'Appennino Settentrionale in cui affiorano scaglie tettoniche di rocce di basso e medio grado metamorfico, molto deformate, giustapposte a rocce non metamorfiche della Successione Toscana (Calcare Cavernoso con livelli di anidriti, arenarie torbiditiche oligo-mioceniche, ecc.) e a rocce provenienti dalle Unità Liguri (BALDACCIO *et alii*, 1967a; KRAMPE, 1969; DI SABATINO *et alii*, 1979; ANDREOZZI *et alii*, 1987; CHICCHI *et alii*, 2002; COSTA *et alii*, 2002; LEONI & PERTUSATI, 2003; LUGLI *et alii*, 2002; MOLLI *et alii*, 2002; BONINI *et alii*, 2013a; LO PÒ *et alii*, 2018). Noi interpretiamo quest'area come una struttura antiforme (finestra tettonica) in cui affiora una spessa zona di taglio che si sviluppa lungo una faglia normale a basso angolo a scala regionale con movimento "top-NE", attiva durante le fasi di esumazione e formazione di *core complex* che hanno interessato questa porzione dell'Appennino Settentrionale durante il Miocene superiore-Pliocene inferiore.

Rocce deformate affiorano estesamente anche lungo la Zona di taglio di Libro Aperto (CORNAMUSINI *et alii*, 2018; CONTI *et alii*, 2019b), una zona di taglio a scala regionale che si sviluppa probabilmente durante il Miocene inferiore-medio (Burdigaliano-Langhiano), lungo il sovrascorrimento della Falda Toscana sopra l'Unità Cervarola. I migliori affioramenti di questa zona di taglio si hanno lungo il crinale tra Libro Aperto e Cima Tauffi, ma continuano verso nord nell'area di M. Cimone fino a Serpiano e verso sud fino a Cutigliano e San Marcello Pistoiese (DALLAN *et alii*, 1981).

In tutte queste zone di taglio si hanno a diretto contatto scaglie di serie toscana e ligure. Nella Carta Geologica sono distinti i principali affioramenti di rocce ad affinità ligure (**SE_{li}**), di Arenarie di M. Modino e di Arenarie di M. Cervarola (**SE_{ar}**), i principali affioramenti di Argille di Fiumalbo e di Marne di Marmoreto (**SE_{fi}**), i principali affioramenti di cataclasiti di dolomie e calcari (Calcare Cavernoso *Auctt.*) con associate scaglie di rocce metamorfiche (**SE_{cv}**).

2.11. Rocce magmatiche

Nell'Appennino Settentrionale rocce magmatiche di varie età sono diffuse in differenti unità tettoniche e in differenti assetti tettonici e stratigrafici. Rocce magmatiche ordoviciane sono presenti nel Basamento varisco delle Unità Toscane Metamorfiche, basalti a *pillow* sono presenti nella porzione medio-triassica della Successione Toscana, rocce ultramafiche, gabbri e basalti giurassici sono presenti nelle Unità Liguri, infine rocce magmatiche intrusive, effusive e piroclastiche di età

Neogene-Quaternario sono presenti nelle aree interne della catena appenninica (Toscana, Lazio ed in un piccolo affioramento in Umbria). Le rocce magmatiche paleozoiche e mesozoiche sono state descritte in precedenza nei capitoli che illustrano le successioni di appartenenza e in questi capitoli è stato discusso il contesto tettonico e geodinamico che le caratterizza. In questo capitolo invece illustreremo solo le rocce magmatiche neogenico-quaternarie tosco-laziali.

Successivamente alle fasi tettoniche compressive che hanno portato alla messa in posto delle varie unità tettoniche, un'importante attività magmatica si imposta nel margine tirrenico dell'Appennino Settentrionale, contemporaneamente alle fasi tettoniche estensionali che caratterizzano quest'area durante il Neogene. Questa attività magmatica origina rocce magmatiche intrusive, effusive e piroclastiche attualmente affioranti nell'Arcipelago toscano, nella Toscana centro-meridionale e nel Lazio settentrionale (Fig. 26). Queste rocce magmatiche saranno illustrate qui di seguito; per una trattazione più esauriente si rimanda ai vari lavori di carattere generale e regionale di SERRI *et alii* (1991); INNOCENTI *et alii* (1992); SERRI *et alii* (2001); PECCERILLO (2002); CONTICELLI *et alii* (2004); POLI (2004); PECCERILLO & FREZZOTTI (2015); MARRONI *et alii* (2015a); PECCERILLO (2017). La Toscana è sede inoltre di significativi giacimenti minerari legati a questa attività magmatica, con mineralizzazioni all'Iso-la d'Elba, in Toscana meridionale (Colline Metallifere) e al Monte Amiata, fino ad alcuni decenni fa oggetto di attività estrattive di ferro, piombo, rame, zinco, argento, antimonio, mercurio e oro (TANELLI & LATTANZI, 1986; DINI, 2003).

La maggior parte di queste rocce magmatiche fanno parte della Provincia Magmatica Toscana, che si estende dall'Arcipelago toscano, alla Toscana marittima, fino al Lazio settentrionale (area della Tolfa-Manziana). La Provincia Magmatica Toscana è costituita da vari corpi di rocce intrusive ed effusive, che variano in composizione da mafiche ad acide e con serie da calcoalcaline a ultrapotassiche e lamproitiche. L'età di messa in posto (senza considerare il sill di Sisco della Corsica alpina, datato a 14,5 Ma, facente parte della Provincia Magmatica Toscana, ma esterno alla Carta Geologica) varia da circa 8,5 Ma (Isola d'Elba) a 0,3 Ma (Monte Amiata), con ringiovanimento progressivo andando dall'Arcipelago toscano all'entroterra toscano, a seguito della migrazione verso E dell'estensione continentale. I magmi sialici sono poligenetici e sono formati per fusione di materiale crostale, mescolamento tra fusi anatettici crostali e fusi a composizione mafica, e cristallizzazione frazionata. Fusi mafici si originano a

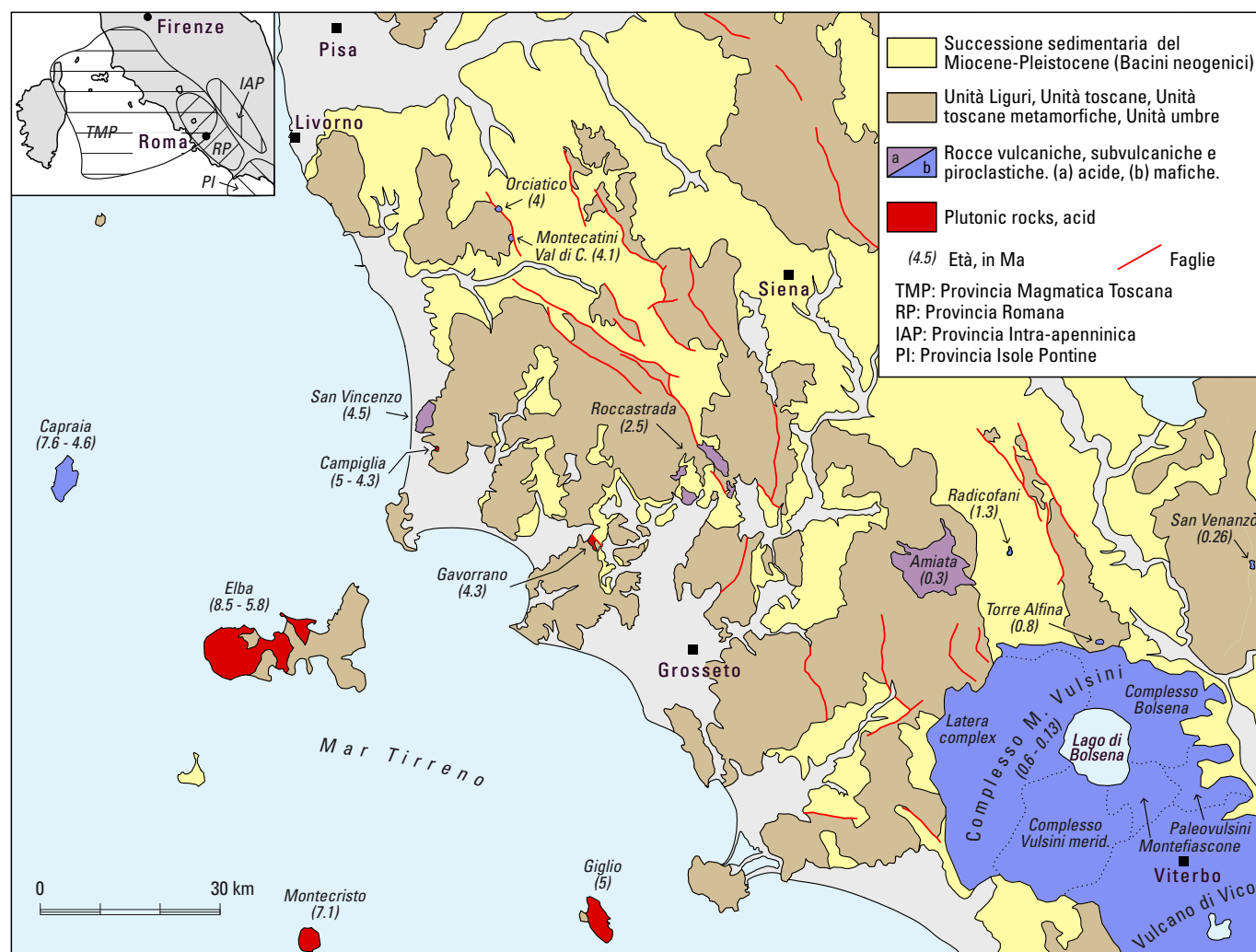


Fig. 26 – Province magmatiche e distribuzione del magmatismo del Neogene-Quaternario in Toscana e nel Lazio settentrionale. Età da PECCERILLO (2017), complessi vulcanici nella Provincia romana da VEZZOLI *et alii* (1987), modificato.

livello del mantello, ma contengono firme isotopiche ed elementi in tracce simili alle rocce crostali. La particolare composizione di questi magmi rivela sorgenti mantelliche contaminate da fusi derivanti da rocce crostali (es. metapeliti), subdotte durante il Paleogene e il Neogene.

Rocce intrusive (γ) affiorano all'Isola d'Elba (stock di monzogranito con apliti e pegmatiti), Isola di Montecristo (stock di monzogranito con apliti), Isola del Giglio (intrusioni multiple monzogranitiche, apliti e pegmatiti), Campiglia Marittima (da monzograniti a graniti a feldspati alcalini), Gavorrano (da monzograniti a graniti a feldspati alcalini) e vari altri corpi minori non affioranti, documentati solo in sondaggio (es. Larderello).

Rocce vulcaniche e subvulcaniche (β) sono rappresentate da centri vulcanici acidi e mafici. Edifici vulcanici acidi sono presenti a San Vincenzo (flussi lavici e duomi con rioliti calcoalcaline peralluminose), Roccastrada (duomi e depositi piroclastici con trachidaciti e rioliti ad alto contenuto in silice), Monte Amiata (lave

acide e duomi con trachidaciti e subordinate olivin-latiti e shoshoniti). Edifici vulcanici e subvulcanici mafici sono presenti all'Isola di Capraia (con resti di un'esteso strato-vulcano formato principalmente da andesiti calcoalcaline, lave dacitiche e basalti shoshonitici), Montecatini Val di Cecina (*plug* a flogopite e lamproiti ricche in silice), Orciatico (corpi mafici ipoabissali e lamproiti ricche in silice), Radicofani (*neck* mafico e flussi lavici a composizione da basaltico-andesitica a shoshonitica), Torre Alfina (*neck* mafici e lave con lamproiti ricche in silice).

All'estremità meridionale della Carta Geologica sono presenti rocce appartenenti alla Provincia Magmatica Romana con due importanti complessi vulcanici, il Complesso vulcanico di Vico e il Complesso vulcanico dei Monti Vulsini. Nel Complesso vulcanico dei Monti Vulsini possono essere distinti dei complessi vulcanici minori: il Complesso di Latera, di Bolsena, dei Paleovulsini, di Montefiascone e dei Vulsini meridionali (Fig. 26), in cui sono preservati coni e caldere.



Fig. 27 – Depositi piroclastici (depositi di caduta e colata piroclastica) non consolidati (tefra) del Complesso vulcanico di Latera, Latera. La freccia indica un piroclasto di dimensioni decimetriche (bomba) che deforma i sottostanti depositi inconsolidati.

Nel Complesso dei Monti Vulsini (0,6-0,13 Ma) prevalgono rocce piroclastiche (depositi di caduta, ignimbriti, *surge*, Fig. 27) e subordinate lave ad affinità da potassica ad ultra potassica sottosature in silice (da trachibasalti a trachiti, leucititi e da tefriti a leucite a fonoliti). Le variazioni degli elementi in tracce per le rocce dei Monti Vulsini indica un'evoluzione dominata da cristallizzazione frazionata a partire da differenti fusi originari.

La Provincia intra-appenninica è rappresentata nella Carta Geologica solamente dai limitati affioramenti di San Venanzo (0,26 Ma), Polino (0,25 Ma), Acquasparta (0,39 Ma) e Colle Fabbri (0,8 Ma), in Umbria. Il complesso vulcanico di San Venanzo comprende tre distinti edifici vulcanici: San Venanzo (*maar*), Pian di Celle (*tuff-ring*) e Celli (*tuff cone*) (ZANON, 2005). Rocce piroclastiche sono prevalenti (depositi di caduta e di *surge*), con lave olivin-melilitiche. Un complesso meccanismo di compressione, espulsione di fusi del mantello e attività di faglie normali è ipotizzato come responsabile per il magmatismo dell'area di San Venanzo (PECCERILLO, 2017).

3. EVOLUZIONE TETTONICA

Le successioni dell'Appennino Settentrionale sono interessate da varie fasi deformative che possono essere raggruppate in:

- a) fasi varisiche, legate alla formazione della Catena varisica (ercinica) durante il Carbonifero;
- b) fasi estensionali giurassiche legate all'apertura dell'Oceano Ligure-Piemontese;

- c) fasi liguri, che hanno portato alla formazione del prisma orogenico ligure;
- d) fasi toscane, che hanno portato alla formazione di unità tettoniche e associato metamorfismo a spese di termini di pertinenza del Dominio Toscano;
- e) tettonica miocenico-quadernaria del margine tirrenico;
- f) tettonica miocenico-quadernaria nell'Appennino umbro-marchigiano-romagnolo.

3.1. Fasi varisiche

Rocce di età paleozoica sono documentate nel Dominio Toscano e affiorano a Punta Bianca, nelle Alpi Apuane, nei Monti Pisani, lungo la dorsale Monticiano-Roccastrada, nell'Isola d'Elba orientale, ai Monti Romani e sono inoltre state rinvenute nel sottosuolo da pozzi esplorativi nell'area geotermica di Larderello-Travale e di Pontremoli, così come sempre in pozzo alla base della successione del Dominio Umbro. A causa della non buona qualità degli affioramenti, della loro limitata estensione e per la sovrapposizione deformativa alpina/appenninica, le correlazioni di queste rocce a scala regionale sono molto complicate e la ricostruzione dell'evoluzione varisica è ancora oggetto di discussione.

Nell'area delle Alpi Apuane sono presenti i migliori affioramenti di rocce paleozoiche con strutture tettoniche legate all'Orogenesi varisica di tutto l'Appennino Settentrionale (CONTI *et alii*, 1991b), con anticlinali a grande scala e sinclinali con rocce devoniane al nu-

cleo. Nessuna età assoluta è disponibile in per datare la deformazione varisica in queste aree, ma basandosi su correlazioni con il Basamento sardo può essere supposta un'età del Carbonifero medio (Viseano) anche per l'Orogenesi varisica in Toscana. Questa età è anche supportata dall'età delle formazioni non metamorfiche, discordanti sul Basamento varisico della Toscana meridionale, di età Carbonifero (LAZZAROTTO *et alii*, 2003).

In altre aree della Toscana centro-meridionale dove affiorano rocce di età paleozoica sono presenti strutture tettoniche di età varisica quali zone di taglio, scistosità a scala regionale, foliazioni milonitiche, melanges tettonici, ecc. (CONTI *et alii*, 1991a; BERTINI *et alii*, 1994; PANDELI *et alii*, 1994; BATINI *et alii*, 2003; FRANCESCHELLI *et alii*, 2004; PANDELI *et alii*, 2005b; LO PÒ *et alii*, 2016a,b, 2018). L'età varisica di queste strutture è documentata qui da datazioni assolute (BORSI *et alii*, 1967; DEL MORO *et alii*, 1982; MOLLI *et alii*, 2002; MUSUMECI *et alii*, 2011), ma la loro correlazione a scala regionale è difficoltosa.

3.2. Estensione giurassica

Il margine continentale adriatico inizia ad essere interessato da estensione nel Giurassico inferiore (Sinemuriano), la quale è legata alle prime fasi di *rifting* nell'Atlantico centrale, che portano poi alla formazione dell'Oceano Ligure-Piemontese. Questa estensione è documentata dalla frammentazione delle piattaforme carbonatiche triassiche della Successione Toscana e della Successione Umbro-Marchigiana (BERNOULLI & JENKINS, 1974; BERNOULLI *et alii*, 1979; CENTAMORE *et alii*, 1986; CIARAPICA & PASSERI, 1998; BOSELLINI, 2004).

Le fasi di *rifting* continuano durante il Giurassico medio e portano alla formazione dei margini continentali europeo e africano. Il *rifting* era probabilmente asimmetrico, con lo sviluppo di una zona di taglio che immerge al di sotto del margine europeo (LEMOINE *et alii*, 1987; STAMPFLI *et alii*, 1991; MARRONI *et alii*, 1998; MANATSCHAL & BERNOULLI, 1999; MANATSCHAL, 2004). Questo porta alla formazione di due margini continentali (margine europeo a tetto della zona di taglio: "*upper plate*"; margine africano a letto della zona di taglio: "*lower plate*") che avranno d'ora in poi un'evoluzione stratigrafica molto diversa (Fig. 4a).

Alla fine del Giurassico medio le fasi di *rifting* evolvono in uno stadio di *spreading*, con formazione dell'Oceano Ligure-Piemontese vero e proprio (Fig. 4b), caratterizzato da basse velocità di *spreading*, limitato spessore della litosfera oceanica, peridotiti del mantello serpentinite, gabbri, basalti con intercalazioni di

brecce ofiolitiche (DECANDIA & ELTER, 1972; ABBATE *et alii*, 1980; BORTOLOTTI *et alii*, 2001b).

Nell'Appennino Settentrionale non sono documentate porzioni di crosta oceanica di età più giovane del Giurassico superiore e nessuna attività vulcanica oceanica di tipo MORB significativa è testimoniata in rocce sedimentarie del Cretacico inferiore-Santoniano. Il Giurassico superiore segna quindi la fine delle fasi di *spreading* dell'Oceano Ligure-Piemontese, mentre con il Santoniano iniziano le fasi più intense di sedimentazione anche terrigena, che porteranno al suo riempimento (MARRONI *et alii*, 1992; PRINCIPI *et alii*, 2004).

È importante ricordare infine che fasi di *rifting* poi abortito di età Triassico medio (Ladinico) sono state proposte da vari autori e ritenute interessare il Dominio Toscano, con lo sviluppo di bacini continentali e di mare basso, caratterizzati da vulcanismo alcalino basaltico ("rift abortito" di Punta Bianca, Massa: PASSERI, 1985; RAU *et alii*, 1985; STOPPA, 1985; MARTINI *et alii*, 1986). Ulteriori locali fasi di *rifting* sogno segnalate per il Dominio Ligure esterno in Toscana meridionale, con la messa in posto di basalti alcalini di età cretacea inferiore (BRUNACCI *et alii*, 1983; FARAONE & STOPPA, 1990; BROGI *et alii*, 2000). L'interpretazione del contesto geodinamico in cui si colloca il vulcanismo medio-triassico è comunque oggetto di discussione, in quanto nelle Alpi meridionali bacini di età ladinica con basalti a pillow lava sono interpretati essere legati a zone trascorrenti regionali (DOGLIONI, 1984; BLENDINGER, 1985; MASSARI, 1986).

3.3. Fasi liguri

Il termine "Fasi liguri" (ELTER, 1973) è spesso usato con significati molto diversi nella letteratura geologica dell'Appennino Settentrionale. In queste Note è usato con il suo significato originale, cioè un termine generale che indica tutte le fasi tettoniche che hanno interessato le Unità Liguri durante l'intervallo Cretacico superiore - Eocene medio. La complicata struttura interna delle Unità Liguri ha portato alla presentazione nel corso degli anni di numerose ricostruzioni, talvolta contrastanti, per spiegare la loro evoluzione tettonica. È oggi comunemente accettato che la deformazione delle Unità Liguri è legata inizialmente allo sviluppo di una zona di subduzione "Alpina" immergente verso Est di età Cretacico superiore - Eocene medio (Fig. 4c) e in seguito allo sviluppo di una zona di subduzione "Appenninica" immergente verso Ovest di età Eocene superiore - Quaternario (Fig. 4d, BOCCALETTI *et alii*, 1971; ELTER & PERTUSATI, 1973; DOGLIONI, 1991;

MARRONI *et alii*, 2010; MOLLI & MALAVIEILLE, 2011; MARRONI *et alii*, 2017).

La presenza di un cuneo di accrezione a doppia vergenza, attivo dal Cretacico superiore, è testimoniata da risedimentazione di materiale ofiolitico (blocchi e arenarie ofiolitiche) nelle formazioni delle Unità Liguri interne e nelle Successioni interne delle Unità Liguri esterne (Fig. 4b). Il cuneo di accrezione rappresenta un'area topograficamente elevata che separa le due successioni ed è stato ipotizzato come elemento morfo-strutturale fin dai primi lavori sulle Unità Liguri dell'Appennino Settentrionale ("Ruga del Bracco" di ELTER & RAGGI, 1965). Il cuneo di accrezione incorpora in questo intervallo di tempo materiale derivante dalla subduzione e deformazione dell'Oceano Ligure-Piemontese (rocce del mantello, della crosta oceanica e della relativa copertura sedimentaria).

Il procedere della subduzione ha portato ad un progressivo ispessimento del cuneo di accrezione con continua incorporazione di crosta oceanica. Poiché nelle Liguridi interne non sono documentati depositi di età più recente dell'Eocene medio, questa età è comunemente assunta come l'età di completa chiusura dell'Oceano Ligure-Piemontese. La deformazione comunque non si interrompe con la chiusura oceanica e il perdurare della convergenza tra Europa ed Adria causa la deformazione anche delle Successioni esterne del Dominio Ligure esterno (Fig. 4d). Durante queste fasi deformative alcune successioni del Dominio Ligure esterno (es. Unità Antola) si mettono in posto al di sopra di unità tettoniche derivate dal Dominio Ligure interno.

Nell'Eocene medio-superiore si ha l'inizio della sedimentazione della Successione Epiligure, in discordanza e poco deformata al di sopra delle Unità Liguri; questa età è comunemente considerata la fine delle principali fasi deformative del Prisma di accrezione ligure. Difatti, a seguito della collisione continentale, la deformazione si trasferisce verso l'esterno della catena, producendo un prisma orogenico "appenninico" con relativi bacini e depositi di avanfossa (Fig. 4d). La sedimentazione si sviluppa così in questo intervallo di tempo in due diversi contesti: a) al di sopra delle Unità Liguri nell'ambito di bacini di *thrust-top* (Successione Epiligure); b) al fronte del Prisma orogenico, nell'ambito di bacini di avanfossa.

3.4. Fasi toscane

Durante l'Oligocene la continua convergenza e subduzione verso W causa lo sviluppo di bacini di avanfossa in aree sempre più esterne del margine continentale adriatico, con lo sviluppo delle successioni torbiditiche

delle Arenarie di M. Modino (parte dell'Unità Modino), del Macigno (parte della Falda Toscana), dello Pseudomacigno (parte dell'Unità Metamorfica Toscana), e secondo i dati biostratigrafici riportati in CORNAMUSINI *et alii* (2018), anche della porzione più interna delle Arenarie di M. Cervarola (sistema Torre Amorotti, parte dell'Unità Cervarola interna, Fig. 8c, Fig. 29a). La sedimentazione torbiditica si interrompe in tutte le rispettive successioni sedimentarie nell'Aquitano. Questa evidenza fa collocare al Burdigaliano l'inizio dello sviluppo principale delle "Fasi toscane", durante le quali il Prisma orogenico ligure è messo in posto al di sopra del Dominio Toscano. Durante queste fasi si ha anche la messa in posto definitiva delle Unità Liguri e sviluppo di marcata deformazione nelle Unità Subliguri, nell'Unità Modino, nella Falda Toscana e nella parte più interna dell'Unità Cervarola (Fig. 29b); tutti questi eventi sono legati ad una messa in posto delle unità tettoniche verso l'avampaese (oggi NE). Lungo il limite tra il Prisma ligure e il margine continentale adriatico si sviluppa una potente zona di taglio, rappresentata dall'Unità Sestola-Vidiciatico (REMITTI *et alii*, 2007; VANNUCCHI *et alii*, 2008), tettonicamente attiva almeno fino al Serravalliano inferiore.

Durante questo intervallo di tempo, porzioni di crosta continentale adriatica vengono subdotte e in parte subiscono un metamorfismo di alta pressione/bassa temperatura (Toscana centro-meridionale, Arcipelago toscano) e in parte un metamorfismo in facies scisti verdi (Unità Toscane Metamorfiche: Alpi Apuane, Monti Pisani, Unità Monticiano-Roccastrada, ecc.), con sviluppo di pieghe isoclinali chilometriche a scala regionale, foliazione metamorfica, lineazioni di estensione orientate NE-SW (CARMIGNANI *et alii*, 1978; CARMIGNANI & KLIGFIELD, 1990; JOLIVET *et alii*, 1998, Fig. 28). Nell'Unità Modino, nella Falda Toscana e nell'Unità Cervarola, la deformazione interna (*strain*) delle rocce non è alta e le successioni sono solitamente prive di pieghe evidenti a scala dell'affioramento, con tutti i caratteri primari delle rocce preservati. Durante il Burdigaliano superiore, gli stadi finali del raccorciamento hanno portato alla messa in posto finale della Falda Toscana sopra la parte centrale dell'Unità Cervarola (Zona di taglio di Libro Aperto) e allo sviluppo di pieghe chilometriche aperte ("Pieghe frontali della Falda toscana").

È importante comunque ricordare che molti altri modelli sono stati proposti negli anni per spiegare l'evoluzione tettonica dell'Appennino Settentrionale, anche con visioni molto differenti tra loro circa la posizione paleogeografica originaria delle varie successioni (DALLAN NARDI & NARDI, 1972; PLES, 1975a; SAGRI,

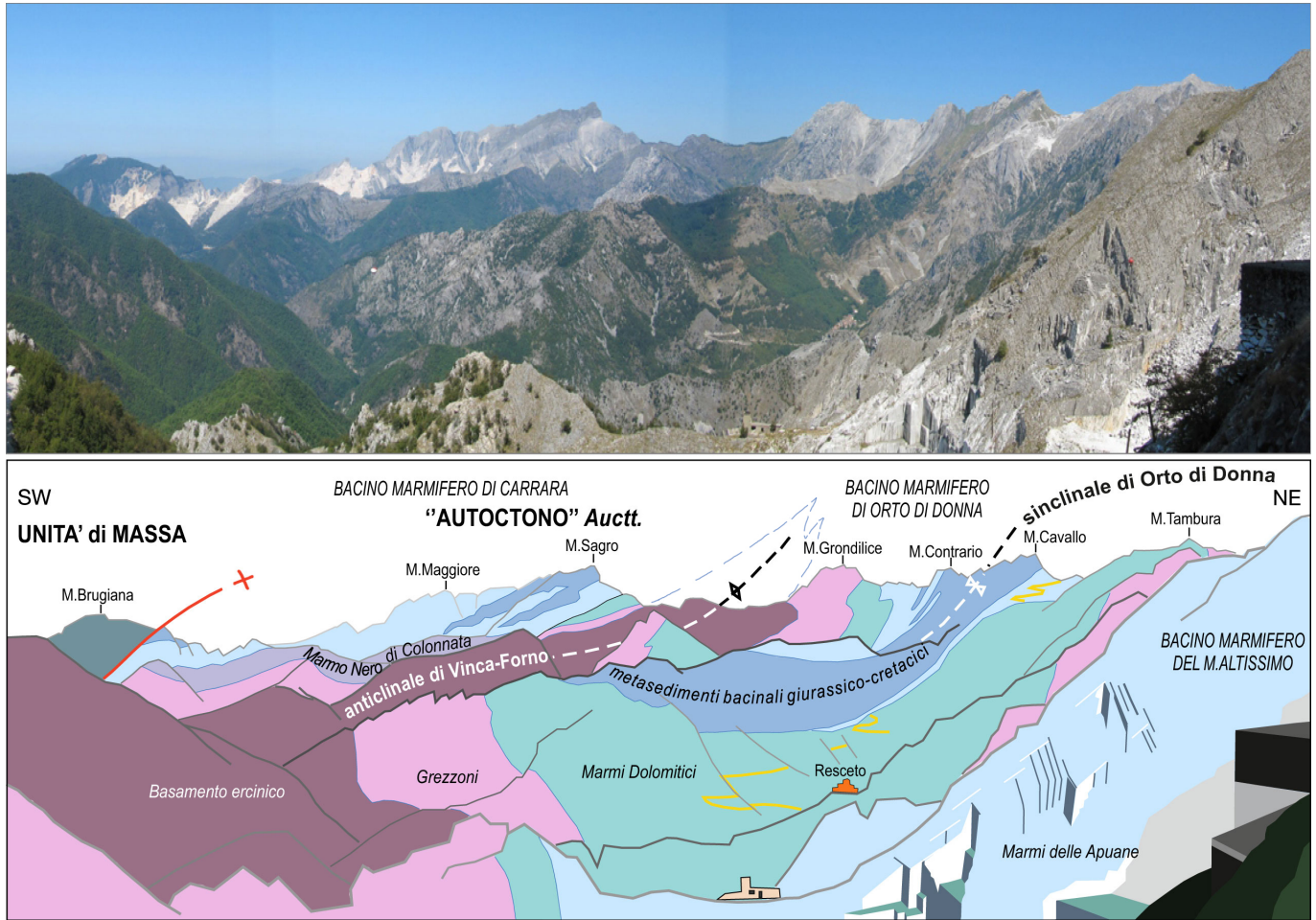


Fig. 28 – Vista panoramica della parte settentrionale della Successione Toscana Metamorfica delle Alpi Apuane, strada Antona-Arni (disegno di E. Patacca e P. Scandone in CONTI *et alii*, 2019a).

1975; MARTINI & SAGRI, 1977; BOCCALETTI *et alii*, 1980; ABBATE & BRUNI, 1987; BETTELLI *et alii*, 1987a; MARTINI & PLESI, 1988; ANDREOZZI, 1991; CHICCHI & PLESI, 1991; PLESI *et alii*, 2000; BRUNI *et alii*, 1994; BETTELLI *et alii*, 2002b; BOTTI *et alii*, 2002; CERRINA FERONI *et alii*, 2002b; PLESI *et alii*, 2002a; VESCOVI, 2005; LUCENTE & PINI, 2008; CORNAMUSINI *et alii*, 2018; CONTI *et alii*, 2019b; TINTERRI & PIAZZA, 2019).

Per ulteriori informazioni sulla tettonica del Domino Toscano si vedano i lavori di TREVISAN (1962); BALDACCINI *et alii* (1967b); BOCCALETTI *et alii* (1980); CERRINA FERONI *et alii* (1983); REUTTER *et alii* (1983); BETTELLI & PANINI (1991); DECANDIA *et alii* (1993); ELTER & SANDRELLI (1994); BOCCALETTI & SANI (1998); ZATTIN *et alii* (2002); BERNINI & PAPANI (2002); LIOTTA *et alii* (2015).

3.5. Tettonica miocenico-quadernaria del Margine Tirrenico

La fine (o riduzione) della convergenza tra la Placca europea e la Placca adriatica ha causato la cessazione

degli eventi compressivi regionali nella parte interna dell'Appennino Settentrionale. A partire dal Miocene inferiore-medio infatti a seguito dell'arretramento della Placca adriatica in subduzione (*slab retreat*), il fronte compressivo dell'Appennino Settentrionale ha migrato verso NE in posizione più esterna (Romagna, Appennino umbro-marchigiano), di conseguenza la parte interna dell'Appennino Settentrionale (Toscana, Mare Ligure e Mare Tirreno settentrionale) passa da un regime tettonico compressivo ad uno estensionale. Si ha quindi una cessazione della messa in posto delle unità tettoniche (JOLIVET *et alii*, 1990, 1998; CARMIGNANI *et alii*, 1995a; BRUNET *et alii*, 2000) e l'inizio di un'intensa tettonica estensionale e di esumazione (CARMIGNANI *et alii*, 1994, 2001, 2004; DOGLIONI *et alii*, 1999; BROGI, 2004; BROGI & LIOTTA, 2008), con il sollevamento di nuclei metamorfici (es. *core complex* delle Alpi Apuane). L'estensione è accompagnata anche da un magmatismo derivante da sorgenti miste crostali e mantelliche.

Nelle Alpi Apuane è evidente come le strutture ed i contatti tettonici della precedente fase compressiva

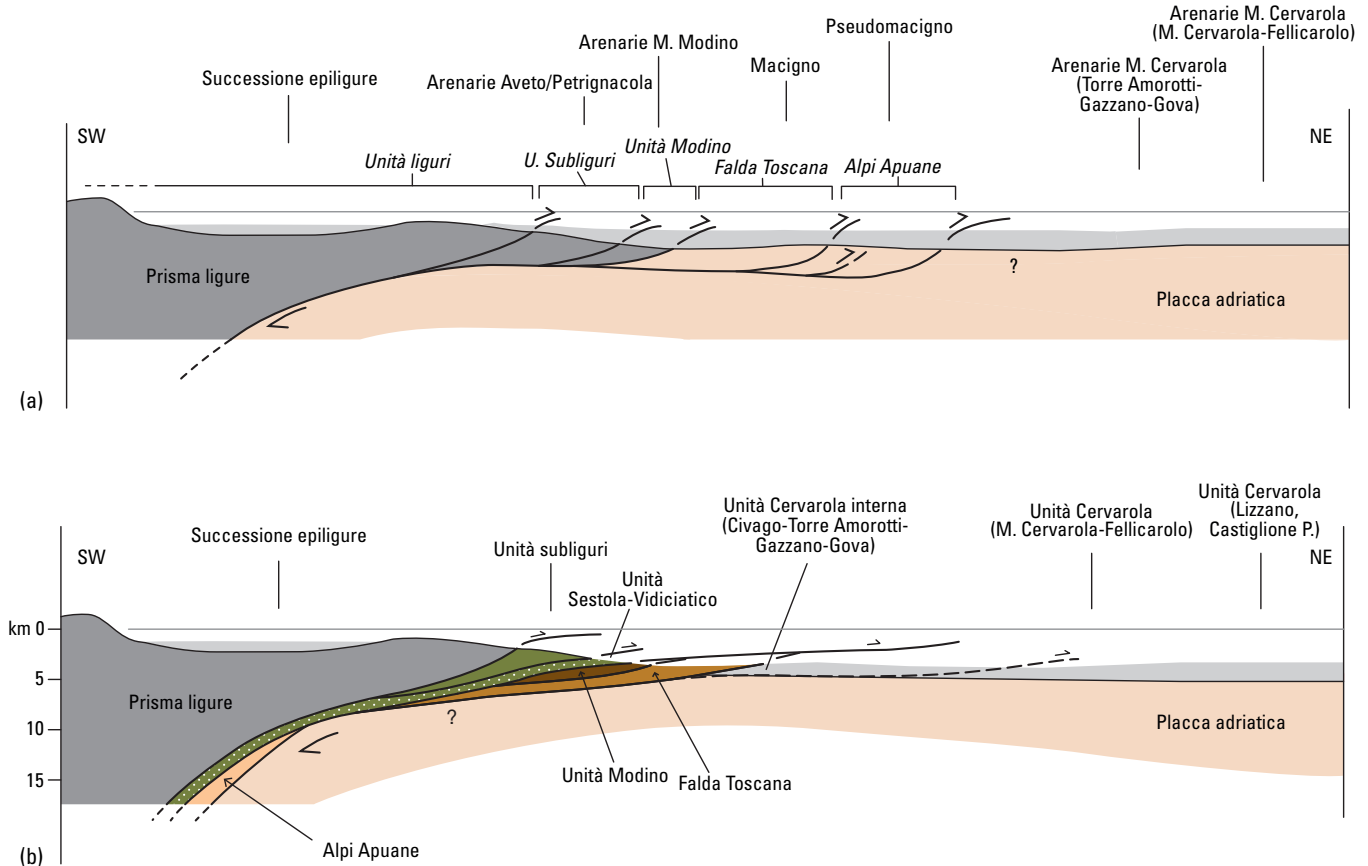


Fig. 29 – (a) Ricostruzione paleogeografica per le successioni del Dominio Subligure del Dominio Toscano durante le fasi di sedimentazione dei flysch (Chattiano-Aquitano inferiore). (b) Schema dello sviluppo delle unità tettoniche durante le fasi tettoniche toscane (Burdigaliano). Da CONTI *et alii* (2019b).

(fase D1) vengano deformati da una serie di strutture successive (fase D2), rappresentate da zone di taglio sin-metamorfiche, pieghe a piano assiale generalmente suborizzontale e varie generazioni di strutture fragili quali faglie e cataclasi (CARMIGNANI & GIGLIA, 1979; CARMIGNANI & KLIGFIELD, 1990). L'evoluzione tettonica dal Tortoniano superiore all'Attuale sviluppa in quest'area faglie dirette con direzione NW-SE ("Graben" della Garfagnana, Lunigiana), che hanno avuto un ruolo fondamentale nello sviluppo dell'attuale orientazione della linea di costa ligure-tirrenica.

In Toscana meridionale, un primo evento estensionale durante il Miocene medio-superiore ha sviluppato faglie normali a basso angolo, ed è stato responsabile di una significativa elisione tettonica ed assottigliamento crostale, originando la cosiddetta "serie ridotta" (TREVISAN, 1955; GIANNINI *et alii*, 1971; BERTINI *et alii*, 1991). Durante questa fase si sono formati degli alti strutturali caratterizzati da affioramenti di rocce del Paleozoico-Miocene inferiore (deformate e metamorfosate durante le precedenti fasi collisionali). A partire dal Miocene superiore e fino al Pleistocene si sono formate faglie normali ad alto angolo che tagliano tutte le precedenti strutture e sviluppano bacini a subsiden-

za elevata (bacini neoautoctoni) (MARTINI & SAGRI, 1993; BALDI *et alii*, 1994; DALLMEYER & LIOTTA, 1998; MARTINI *et alii*, 2001; BONCIANI *et alii*, 2005; PAUSELLI *et alii*, 2006; BROGI & LIOTTA, 2008; BARCHI, 2010). Questi bacini sono anche interessati da una significativa tettonica trascorrente, che limita loro continuità laterale e controlla lo sviluppo di strutture e dell'attività magmatica (LIOTTA, 1991; ACOCELLA & FUNICIELLO, 2002; PASCUCI *et alii*, 2007; BROGI *et alii*, 2010). Tutta questa importante tettonica estensionale in Toscana centro-meridionale ha portato ad un significativo assottigliamento crostale, con uno spessore stimato della litosfera di circa 30 km, con valori molto elevati di flusso di calore ed anomalie positive di Bouguer (CALCAGNILE & PANZA, 1981; DECANDIA *et alii*, 1998; DELLA VEDOVA *et alii*, 2001).

Un modello tettonico differente è stato proposto da vari autori negli ultimi decenni per spiegare l'evoluzione dei bacini neogenici della parte interna dell'Appennino Settentrionale (BERNINI *et alii*, 1990; BONINI & SANI, 2002; BOCCALETTO *et alii*, 1995, 1999; SANI *et alii*, 2009; BONINI *et alii*, 2013b, 2014). Questo modello propone un ruolo importante della tettonica compressiva e trascorrente per lo sviluppo di bacini

tipo *thrust-top* in questo intervallo di tempo, almeno fino al Pliocene superiore - Pleistocene inferiore. Questo scenario così diverso dal precedente, rappresenta un forte elemento di dibattito, che ancora necessita di essere definitivamente risolto.

Per ulteriori informazioni circa la tettonica di questa parte dell'Appennino Settentrionale si rimanda ai lavori di DECANDIA (1982); LAVECCHIA *et alii* (1983); LAVECCHIA (1985); DE FEYTER *et alii* (1986); MENICHETTI & PIALLI (1986); BARCHI *et alii* (1988); LAVECCHIA *et alii* (1988); BOCCALETTI *et alii* (1990a); CALAMITA (1990); CALAMITA *et alii* (1991); BERTOTTI *et alii* (1997); TAVARNELLI (1997); BARCHI *et alii* (1998b); PIALLI *et alii* (1998); CALAMITA *et alii* (1999); BONCIO *et alii* (2000); LAVECCHIA *et alii* (2003); PICOTTI & PAZZAGLIA (2008).

3.6. Tettonica miocenico-quadernaria dell'Appennino umbro-marchigiano-romagnolo

I dati cartografici e multidisciplinari emersi nel settore orientale della catena (Val Tiberina, Casentino, Mugello e Val Marecchia) permettono di ipotizzare che le Unità Liguri avessero ricoperto gran parte delle unità più esterne dell'Appennino Settentrionale e che il loro progressivo avanzamento sia stato responsabile dell'interruzione della sedimentazione nelle successioni di avanfossa; più precisamente l'interruzione della sedimentazione nella Formazione della Marnoso-arenacea nel Serravalliano dell'Appennino romagnolo occidentale e nel Tortoniano per quella dell'Appennino romagnolo orientale (MENICHETTI *et alii*, 1991; PIZIOLO & RICCI LUCCHI, 1991; CONTI, 1994; LANDUZZI, 1994; CERRINA FERONI *et alii*, 1997; BARCHI *et alii*, 2001). L'avanzamento delle Unità Liguri è inoltre accompagnato dalla messa in posto di olistostromi precursori nei bacini di avanfossa.

Come documentato nell'area della Val Marecchia, la messa in posto delle Unità Liguri si è verificata nella parte più esterna dell'Appennino marchigiano-romagnolo nel Messiniano superiore - Pliocene inferiore, al di sopra di successioni già deformate (Fig. 30). Questo testimonia un'importante fase deformativa nel Messiniano, come anche evidenziato dalla presenza di una discordanza regionale "intra-messiniana". L'esteso affioramento di Unità Liguri ed Epiliguri che costituiscono la cosiddetta "Coltre della Val Marecchia" è stato negli anni oggetto di numerosi studi e varie sono le ipotesi circa le modalità (gravità-tettonica-mista) della messa in posto di queste unità (RICCI LUCCHI & ORI, 1985; VENERI, 1986; DE FEYTER, 1991; CONTI, 1994; BETTELLI *et alii*, 1994; CONTI & TOSATTI,

1996; LUCENTE *et alii*, 2002; LUCENTE & PINI, 2008; CORNAMUSINI *et alii*, 2017).

Nell'Appennino toso-umbro-romagnolo il sovrascorrimento dell'Unità Cervarola-Falterona sulla più esterna Successione umbro-marchigiano-romagnola avviene lungo contatti tettonici immergenti verso W e con senso di trasporto tettonico verso NE. In prossimità di questi sovrascorrimenti principali la successione dell'Unità Cervarola-Falterona è interessata da sovrascorrimenti minori anch'essi con senso di trasporto verso NE, che individuano locali scaglie tettoniche, come evidente nell'area a NW di Perugia.

In Umbria, Romagna e nelle Marche interne, la tettonica è caratterizzata da numerosi sovrascorrimenti che originano complicate strutture imbricate che interessano il Basamento e la copertura mesozoica (Fig. 31). I sovrascorrimenti solitamente si sviluppano lungo le principali discontinuità reologiche della successione stratigrafica, cioè al tetto del Basamento, al tetto delle evaporiti triassiche, nella formazione delle Marne a Fucoidi, al tetto della Formazione della Scaglia cinerea, al tetto della formazione dello Schlier (Fig. 16) e originano tipiche strutture compressive (BARCHI *et alii*, 2001; DEIANA & PIALLI, 1994), quali: a) sovrascorrimenti imbricati e pieghe superficiali scollate a livello delle Marne a Fucoidi, Scaglia cinerea e Schlier; b) anticlinali con geometria "a scatola" ("pieghe nei carbonati" *Auctt.*) e sinclinali serrate che si nucleano nelle evaporiti triassiche e che interessano l'intera successione carbonatica giurassico-cretacea, originando le principali creste morfologiche dell'area montuosa umbro-marchigiana; c) sovrascorrimenti che interessano la parte sommitale del basamento metamorfico ("scaglie di basamento"), con importante continuità laterale e che sono responsabili dello sviluppo delle maggiori strutture anticlinali dell'area ("Massicci interni" e "Massicci esterni" in Fig. 31).

Nelle Marche esterne numerose strutture a pieghe e sovrascorrimenti si nucleano nelle evaporiti triassiche e nei depositi messiniani, producendo strutture antiformali quali le antiformali di Acquasanta Terme-Cingoli-Cesana (Fig. 32), l'antiforme della Montagna dei Fiori, le antiformali di Teramo-Bellante-Ortezzano-Montescudo, l'antiforme di M. Conero (CENTAMORE *et alii*, 1972; BALLY *et alii*, 1986; ORI *et alii*, 1986; DE FEYTER, 1991; CALAMITA *et alii*, 1995; ORI *et alii*, 1993; DEIANA & PIALLI, 1994; CAPOZZI *et alii*, 1998; DE DONATIS *et alii*, 1998; PIERANTONI *et alii*, 2019). Strutture analoghe sono documentate anche nell'area padana (pieghe del Monferrato, Emilia, pieghe ferraresi: PIERI & GROPPA, 1981; CASTELLARIN, 2001) e nell'offshore adriatico (ARGNANI *et alii*, 1991; ORI

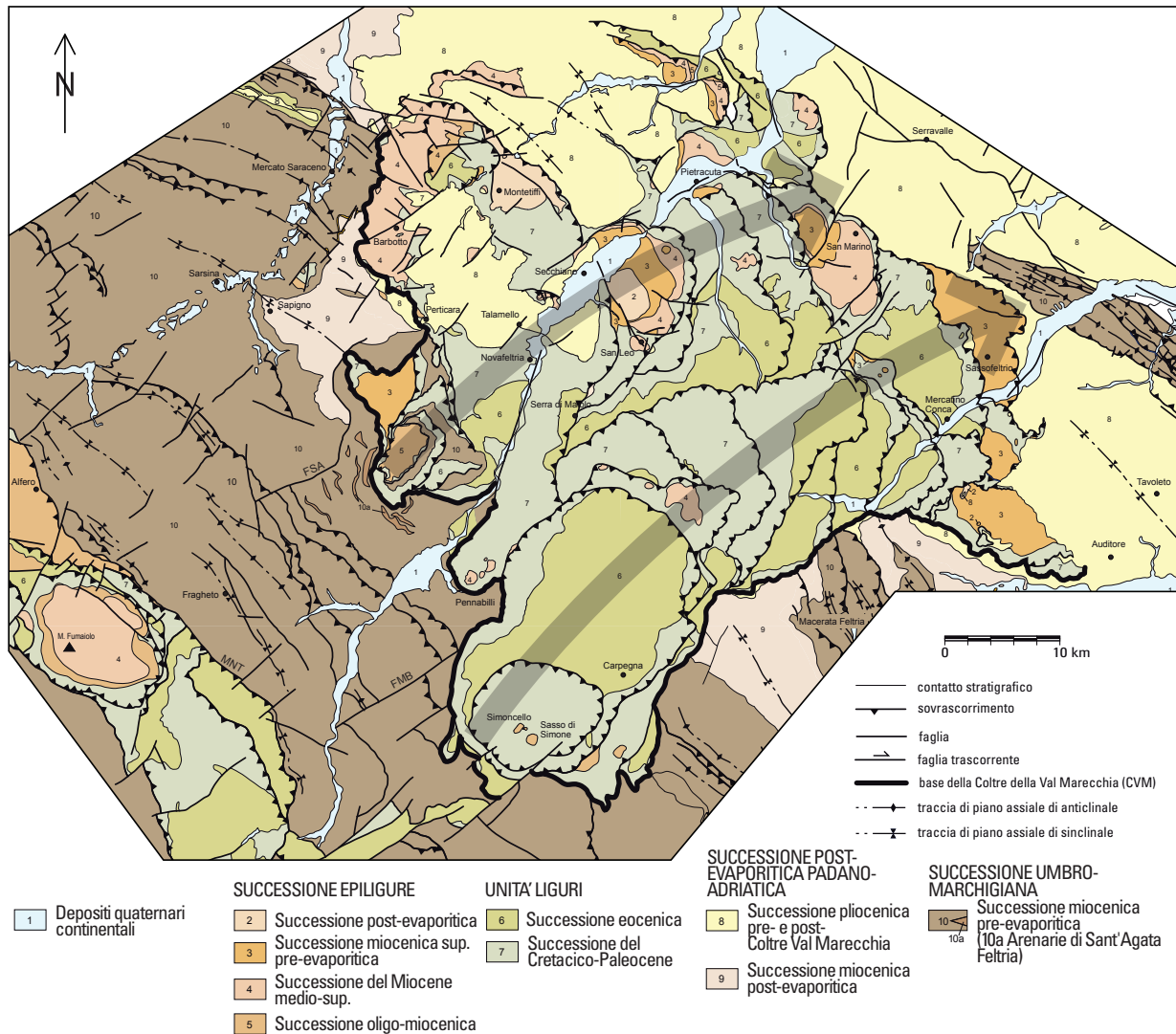


Fig. 30 – Schema tettonico dell'area della Val Marecchia (Appennino marchigiano-romagnolo) con evidenziata l'estensione della Coltre della Val Marecchia, costituita da scaglie di successioni liguri ed epiliguri. Sono indicati i principali lineamenti tettonici e le principali successioni. FSA: Faglia di Sant'Agata Feltria; FMB: Faglia di Molino di Bascio. Le due frecce in grigio indicano le due direzioni di messa in posto delle scaglie costituenti la Coltre. Da CORNAMUSINI *et alii* (2017).

et alii, 1993; ARGNANI & GAMBERI, 1995).

Una struttura tettonica particolare dell'Appennino Settentrionale è la cosiddetta "Linea del Sillaro" nell'Appennino romagnolo, un importante lineamento trasversale la cui cinematica e significato è ancora oggetto di discussione, come testimoniato dai numerosi lavori e interpretazioni. Negli anni è stata interpretata come: a) l'originale superficie di sovrascorrimento delle Unità Liguri sopra la Successione umbro-marchigiana; b) una zona trascorrente destra; c) una zona di taglio appartenente all'Unità Sestola-Vidiciatico; d) una faglia trascorrente che si sviluppa a seguito di variazioni longitudinali della velocità di *rollback* della placca in subduzione (BORTOLOTTI, 1966; DE JAGER, 1979; PATACCA & SCANDONE, 1985; TEN HAAF, 1985; CASTELLARIN & PINI, 1987; BETTELLI & PANINI, 1991; NIRTA *et alii*, 2007; BETTELLI *et alii*, 2012; VANNUC-

CHI *et alii*, 2012; ROSENBAUM & PIANA AGOSTINETTI, 2015).

La cronologia di tutti questi eventi deformativi può essere stabilita su basi stratigrafiche e permette di riconoscere (BARCHI *et alii*, 2001): un'età del Burdigaliano superiore per la messa in posto della Falda Toscana sulla Successione umbro-romagnola interna, mentre un'età del Serravalliano superiore-Tortoniano inferiore è documentata per lo sviluppo delle pieghe nella successione carbonatica nell'area dei Monti Martani, Assisi, Gubbio e Verghereto, a loro volta tagliate da sovrascorrimenti durante il Messiniano inferiore. Le pieghe che interessano la successione carbonatica nell'Umbria esterna si sviluppano durante il Tortoniano inferiore-Messiniano inferiore, mentre quelle dell'area marchigiana iniziano a svilupparsi nel Messiniano inferiore. Nello stesso intervallo di tempo inizia la defor-

3. EVOLUZIONE TETTONICA

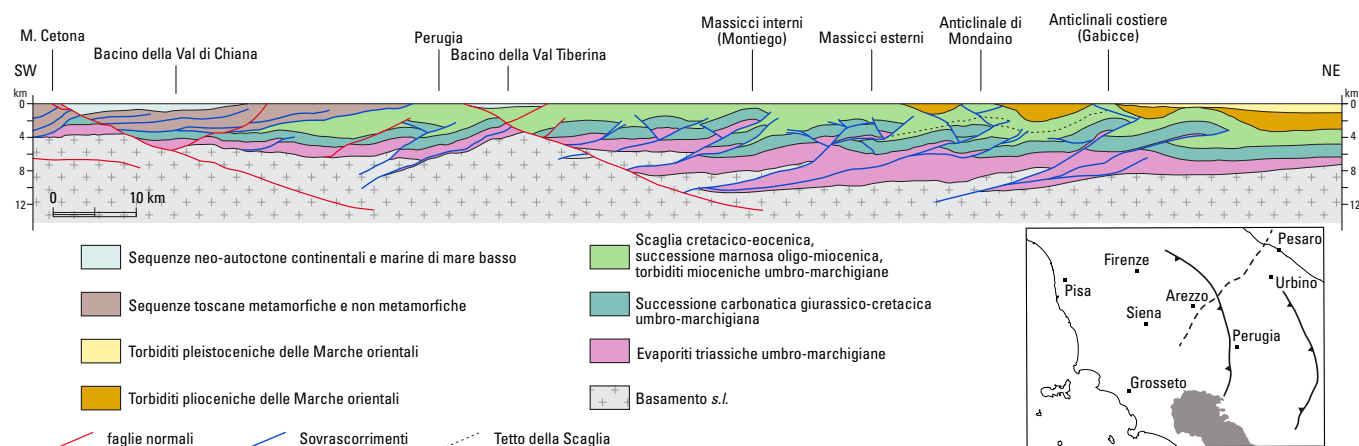


Fig. 31 – Sezione geologica tra M. Cetona (Toscana) e il Mare Adriatico, basata sull'interpretazione della sismica a riflessione della linea CROP 03. Nello schema a destra a tratteggio è indicata la traccia della sezione. Da BARCHI *et alii* (1998a).



Fig. 32 – Panorama dell'antiforme della Dorsale dei Monti della Cesana. Vista verso N, sullo sfondo i rilievi del Sasso Simone e del M. Carpegna.

mazione nel bacino della Laga, nell'area delle pieghe ferraresi e nel sottosuolo padano-adriatico. Le pieghe nella successione carbonatica nell'area di Acquasanta, Montagna dei Fiori, Cingoli e nei Monti della Cesana si sviluppano a partire dal Messiniano inferiore e sono successivamente tagliate da sovrascorrimenti durante il Pliocene inferiore. La tettonica compressiva inizia ad interessare la parte esterna dell'*offshore* adriatico nel Pliocene e continua fino all'Attuale, come documentato nella zona delle pieghe ferraresi.

L'area umbro-marchigiana è in seguito interessata da una tettonica estensionale a partire dal Pliocene superiore, con formazione di bacini sedimentari continentali e/o marini poco profondi, come testimoniato dai depositi del bacino della Val Tiberina (Fig. 31). Il bacino della Val Tiberina è il bacino recente più importante di questa porzione dell'Appennino Settentrionale e il suo sviluppo è legato all'attività di una faglia normale a basso angolo immergente verso NE, documentata fino

alla profondità di circa 12 km (BONCIO *et alii*, 1998). I bacini più orientali (Colfiorito, Norcia, ecc.) testimoniano un'estensione minore ed età di formazione più recente, come documentato dall'attività sismica attuale, che si origina lungo le faglie normali che bordano questi bacini (BONCIO & LAVECCHIA, 2000; BROZZETTI *et alii*, 2009; CHIARALUCE *et alii*, 2005; BARCHI, 2010).

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano Stefano Conti, William Cavazza, Claudio Di Celma, Luca Foresi, Giancarlo Molli e Marco Menichetti per le discussioni su alcuni degli argomenti trattati.

Riferimenti bibliografici

- ABBATE E. (1969) - *Geologia delle Cinque Terre e dell'entroterra di Levante (Liguria orientale)*. Memorie della Società Geologica Italiana, **8** (923-1014).
- ABBATE E. & BORTOLOTTI V. (1961) - *Tentativo di interpretazione dei livelli di "Argille Scagliose" intercalate nella parte alta del "Macigno" lungo l'allineamento M. Prado - Chianti mediante colate sottomarine*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **80**, 335-342.
- ABBATE E., BORTOLOTTI V., CONTI M., MARCUCCI M., PRINCIPI G., PASSERINI P. & TREVES B. (1986) - *Apennines and Alps ophiolites and the evolution of the western Tethys*. Memorie della Società Geologica Italiana, **31**, 23-44.
- ABBATE E., BORTOLOTTI V. & PASSERINI P. (1970) - *Olistostromes and olistoliths*. In: G. SESTINI (Ed.), *Development of the Northern Apennines Geosyncline*, Sedimentary Geology, vol. 4, pp. 521-557. Elsevier.
- ABBATE E., BORTOLOTTI V. & PRINCIPI G. (1980) - *Apennine ophiolites: a peculiar oceanic crust*. Ofioliti, **5** (1), 59-96.
- ABBATE E. & BRUNI P. (1987) - *Modino-Cervarola o Modino e Cervarola? Torbiditi oligo-mioceniche ed evoluzione del margine nord-appenninico*. Memorie della Società Geologica Italiana, **39**, 19-33.
- ABBATE E., FANUCCI F., BENVENUTI M., BRUNI P., CIPRIANI N., FALORNI P., FAZZUOLI M., MORELLI D., PANDELI E., PAPINI M., SAGRI M., REALE V. & VANNUCCHI P. (2005) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 248 - La Spezia*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 204 pp.
- ABBATE E. & SAGRI M. (1967) - *Suddivisioni litostratigrafiche nei calcari ad Elmintoidi Auctt. della placca dell'Ebro-Antola e correlazioni con terreni simili affioranti tra Voghera e Castelnovo né Monti (Appennino Settentrionale)*. Memorie della Società Geologica Italiana, **6** (1), 23-65.
- ABBATE E. & SAGRI M. (1970) - *The eugeosynclinal sequences*. In: G. SESTINI (Ed.), *Development of the Northern Apennines Geosyncline*, Sedimentary Geology, vol. 4, pp. 251-340. Elsevier, Amsterdam.
- ABBAZZI L., BENVENUTI M., CECI M.E., ESU D., FARANDA C., ROOK L. & TANGOCCHI F. (2008) - *The end of the Lago-Mare time in the SE Val d'elsa Basin (Central Italy): interference between local tectonism and regional sea-level rise*. Geodiversitas, **30** (3), 611-639.
- ACOCCELLA V. & FUNICIELLO R. (2002) - *Transverse structures and volcanic activity along the Tyrrhenian margin of central Italy*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **121** (1), 739-747.
- ALDINUCCI M., BIGAZZI G., DALL'ANTONIA B., DA PRATO S., DONIA F., D'ORAZIO M., FORESI L.M., MAZZEI R., RIFORGIATO F., SANDRELLI F. et alii (2005) - *The upper Messinian post-evaporitic succession of Serredi Quarry (southern Tuscany, Italy): new stratigraphic data and geochronology of an ash layer*. GeoActa, **4**, 67-82.
- ALDINUCCI M., GANDIN A. & SANDRELLI F. (2008a) - *The Mesozoic continental rifting in the Mediterranean area: insights from the Verrucano tectofacies of southern Tuscany (Northern Apennines, Italy)*. International Journal of Earth Sciences, **97**, 1247-1269.
- ALDINUCCI M., GHINASSI M. & SANDRELLI F. (2007) - *Climatic and tectonic signature in the fluvial infill of a late Pliocene Valley (Siena Basin, Northern Apennines, Italy)*. Journal of Sedimentary Research, **77** (5), 398-414.
- ALDINUCCI M., PANDELI E. & SANDRELLI F. (2008b) - *Tectono-sedimentary evolution of the Late Paleozoic-Early Mesozoic metasediments of the Monticiano-Roccastrada Ridge (southern Tuscany, Northern Apennines, Italy)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **127** (3), 567-579.
- ALVAREZ W., COCOZZA T. & WEZEL F.C. (1974) - *Fragmentation of the Alpine orogenic belt by microplate dispersal*. Nature, **248**, 309-314.
- AMBROSETTI P., CARBONI M., CONTI M., COSTANTINI A., ESU D., GANDIN A., GIROTTI O., LAZZAROTTO A., MAZZANTI R., NICOSIA U., PARISI G. & SANDRELLI F. (1978) - *Evoluzione paleogeografica e tettonica nei bacini tosco-umbro-laziali nel Pliocene e nel Pleistocene inferiore*. Memorie della Società Geologica Italiana, **19**, 573-580.
- AMBROSETTI P., CARBONI M.G., CONTI M.A., ESU D., GIROTTI O., LA MONICA G.B., LANDINI B. & PARISI G. (1987) - *Il Pliocene ed il Pleistocene inferiore del bacino del Fiume Tevere nell'Umbria meridionale*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, **10** (1), 10-33.
- AMOROSI A. (1992) - *Correlazioni stratigrafiche e sequenze deposizionali nel Miocene epiligure delle formazioni di Bismantova, San Marino e Monte Fumaiolo (Appennino settentrionale)*. Giornale di Geologia, **54** (1), 95-105.
- AMOROSI A., COLALONGO M. & VAIANI S. (1996a) - *Detecting a sequence boundary across different tectonic domains: an example from the Middle Miocene of the northern Apennines (Italy)*. Terra Nova, **8**, 334-346.
- AMOROSI A., COLALONGO M. & VAIANI S. (1996b) - *Revisione litostratigrafica dell'Unità Bismantova (Miocene epiligure, Appennino settentrionale)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **115**, 355-366.

- AMOROSI A., FARINA M., SEVERI P., PRETI D., CAPORALE L. & DI DIO G. (1996c) - *Genetically related alluvial deposits across active fault zones: an example of alluvial fan-terrace correlation from the upper Quaternary of the southern Po Basin, Italy*. *Sedimentary Geology*, **102** (3-4), 275–295.
- AMOROSI A., RICCI LUCCHI F. & TATEO F. (1995) - *The Lower Miocene siliceous zone: a marker in the paleogeographic evolution of the northern Apennines*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **118** (1-2), 131–149.
- AMOROSI A., ROSSI V., SARTI G. & MATTEI R. (2013) - *Coalescent valley fills from the late Quaternary record of Tuscany (Italy)*. *Quaternary International*, **288**, 129–138.
- ANDREOZZI M. (1991) - *Stratigrafia fisica delle Arenarie di M. Cervarola nel settore nord-occidentale dell'Appennino settentrionale tra la Val Secchia (RE) e la Val Panaro (MO)*. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, **46**, 269–285.
- ANDREOZZI M., CASANOVA S., CHICCHI S., FERRARI S., PATERLINI P., PESCI M. & ZANZUCCHI G. (1987) - *Riflessioni sulle evaporiti triassiche dell'Alta Val Secchia (RE)*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **39**, 69–75.
- ANDREOZZI M., FORNACIARI E., RIO D. & ZANZUCCHI G. (1991) - *Biostratigrafia a nannofossili calcarei ed età dell'Unità Cervarola nell'Appennino reggiano-bolognese*. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, **46**, 185.
- ANELLI L., GORZA M., PIERI M. & RIVA M. (1994) - *Subsurface well data in the northern Apennines (Italy)*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **48**, 461–471.
- ARGENTINO C., REGHIZZI M., CONTI S., FIORONI C., FONTANA D. & SALOCCHI A.C. (2017) - *Strontium isotope stratigraphy as a contribution for dating Miocene shelf carbonates (S. Marino Fm., northern Apennines)*. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, **123** (1), 39–50.
- ARGNANI A., ARTONI A., ORI G. & ROVERI M. (1991) - *L'avanfossa centro-adriatica: stili strutturali e sedimentazione*. *Studi Geologici Camerti. Volume Speciale*, **vol. spec 1991/1**, 371–381.
- ARGNANI A. & GAMBERI F. (1995) - *Stili strutturali al fronte della catena appenninica nell'Adriatico centro-settentrionale*. *Studi Geologici Camerti. Volume Speciale*, **1995/1**, 19–27.
- ARGNANI A. & RICCI LUCCHI F. (2001) - *Tertiary silicoclastic turbidite systems of the Northern Apennines*. In: G.B. VAI & I.P. MARTINI (Eds.), *Anatomy of an Orogen: the Apennines and Adjacent Mediterranean Basins*, pp. 327–350. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- ARTONI A. (2007) - *Growth rates and two-mode accretion in the outer orogenic wedge-foreland basin system of Central Apennine (Italy)*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **126** (3), 531–556.
- ARTONI A. (2013) - *The Pliocene-Pleistocene stratigraphic and tectonic evolution of the central sector of the Western Periadriatic Basin of Italy*. *Marine and Petroleum Geology*, **42**, 82–106.
- ARUTA G., BRUNI P., CIPRIANI N. & PANDELI E. (1998) - *The siliciclastic turbidite sequences of the Tuscan Domain in the Val di Chiana-Val Tiberina area (eastern Tuscany and north-western Umbria)*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **52**, 579–593.
- ARUTA G. & PANDELI E. (1995) - *Lithostratigraphy of the M. Cervarola-M. Falterona Fm. between Arezzo and Trasimeno Lake (Tuscan-Umbria, Northern Apennines, Italy)*. *Giornale di Geologia*, **57** (1-2), 131–157.
- BAGNOLI G., GIANELLI G., PUXEDDU M., RAU A., SQUARCI P. & TONGIORGI M. (1979) - *A tentative stratigraphic reconstruction of the Tuscan Paleozoic basement*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **20**, 99–116.
- BALDACCİ F., BRANDI G.P., NARDI R., SQUARCI P. & TAFFI L. (1967a) - *Sulla giacitura dei calcari cavernosi e dei gessi di Sassalbo, del Passo del cerreto e della Val di Secchia (Appennino tosco-emiliano)*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **6**, 199–211.
- BALDACCİ F., CERRINA FERONI A., ELTER P., GIGLIA G. & PATACCA E. (1972) - *Il margine del paleocontinente nord-appenninico dal Cretaceo all'Oligocene: nuovi dati sulla ruga insubrica*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **11**, 367–390.
- BALDACCİ F., ELTER P., GIANNINI E., GIGLIA G., LAZZAROTTO A., NARDI R. & TONGIORGI M. (1967b) - *Nuove osservazioni sul problema della Falda Toscana e sulla interpretazione dei flysch arenacei tipo "Macigno" dell'Appennino settentrionale*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **6** (2), 213–244.
- BALDETTI A., CORNAMUSINI G. & CONTI P. (2011) - *Structural and stratigraphic setting of the "Pseudoverrucano" in the Montebrandoli area, southern Tuscany*. *Rendiconti online della Società Geologica Italiana*, **15**, 1–5.
- BALDI P., BERTINI G., CAMELI G., DECANDIA F., DINI I., LAZZAROTTO A. & LIOTTA D. (1994) - *La tettonica distensiva post-collisionale nell'area geotermica di Larderello (Toscana meridionale)*. *Studi Geologici Camerti, Volume speciale*, **1**, 183–193.
- BALLY A., BURBI L., COOPER C. & GHELARDONI R. (1986) - *Balanced sections and seismic reflection profiles across the*

- Central Apennines*. Memorie della Società Geologica Italiana, **35** (1), 257–310.
- BAMBINI A.M., BROGI A., CORNAMUSINI G., COSTANTINI A. & LAZZAROTTO A. (2009) - *Nuovi dati litostratigrafici e biostratigrafici sulla Scaglia Toscana nella Toscana Meridionale (area di Rapolano Terme)*. Italian Journal of Geosciences, **128** (3), 669–693.
- BARBERI F., BUONASORTE G., CIONI R., FIORELISI A., FORESI L., IACCARINO S., LAURENZI M., SBRANA A., VERNIA L. & VILLA I. (1994) - *Plio-Pleistocene geological evolution of the geothermal area of Tuscany and Latium*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, **49**, 77–134.
- BARBIERI M., CHIOCCHINI U. & MADONNA S. (2003) - *Nuovi dati sull'età dell'arenaria di Manciano (Miocene) sulla base dei valori di rapporto isotopico $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ (Italia centrale)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **122** (3), 351–354.
- BARCHI M. (2015) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 324 - Foligno"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- BARCHI M., DE FEYTER A., MAGNANI M.B., MINELLI G., PIALLI G. & SOTERA M. (1998a) - *Extensional tectonics in the Northern Apennines (Italy): evidence from the CROP 03 deep seismic reflection line*. Memorie della Società Geologica Italiana, **52**, 527–538.
- BARCHI M., GUZZETTI F., LAVECCHIA G., LOLLI O. & BONTEMPO R. (1988) - *Sezioni geologiche bilanciate attraverso il sistema a pieghe umbro-marchigiano; I, La sezione Trevi-Valle dell'Ambro*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **107** (1), 109–130.
- BARCHI M., LANDUZZI A., MINELLI G. & PIALLI G. (2001) - *Outer Northern Apennines*. In: G.B. VAI & I.P. MARTINI (Eds.), *Anatomy of an Orogen, The Apennines and Adjacent Mediterranean Basins*, pp. 215–254. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- BARCHI M. & MARRONI M. (2014) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 310 - Passignano sul Trasimeno"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 196 pp.
- BARCHI M., MINELLI G. & PIALLI G. (1998b) - *The CROP 03 profile: a synthesis of results on deep structures of the Northern Apennines*. Memorie della Società Geologica Italiana, **52**, 383–400.
- BARCHI M.R. (2010) - *The Neogene-Quaternary evolution of the Northern Apennines: crustal structure, style of deformation and seismicity*. In: M. BELTRANDO, A. PECCERILLO, M. MATTEI, S. CONTICELLI & C. DOGLIONI (Eds.), *The Geology of Italy: Tectonics and Life Along Plate Margins*, vol. 36, pp. 1–24. Journal of the Virtual Explorer.
- BARCHI M.R., DE FEYTER A., MAGNANI M.B., MINELLI G., PIALLI G. & SOTERA B.M. (1998c) - *The structural style of the Umbria-Marche fold and thrust belt*. Memorie della Società Geologica Italiana, **52**, 557–578.
- BASSETTI M.A. (1994) - *Coarse-grained clastics (fan delta deposits) in the Messinian of Montefeltro (Pesaro Province, northern Apennines)*. Giornale di Geologia, **56** (2), 259–273.
- BASSETTI M.A. (2000) - *Stratigraphy, sedimentology and paleogeography of Upper Messinian ("Post-evaporitic") deposits in Marche area (Apennines, central Italy)*. Memorie della Società Geologica Italiana, **52**, 319–349.
- BASSETTI M.A., RICCI LUCCHI F. & ROVERI M. (1994) - *Physical stratigraphy of the Messinian post-evaporitic deposits in Central-southern Marche area (Apennines, Central Italy)*. Memorie della Società Geologica Italiana, **48**, 275–288.
- BATINI F., BROGI A., LAZZAROTTO A., LIOTTA D. & PANDELI E. (2003) - *Geological features of Larderello-Travale and Mt. Amiata geothermal areas (southern Tuscany, Italy)*. Episodes, **26** (3), 239–244.
- BECCALUVA L., MACCIOTTA G., PICCARDO G.B. & ZEDA O. (1984) - *Petrology of Iherzolitic rocks from Northern Apennine ophiolites*. Lithos, **17** (299–316).
- BELLOTTI P., CAPUTO C., DAVOLI L., EVANGELISTA S., GARZANTI E., PUGLIESE F. & VALERI P. (2004) - *Morpho-sedimentary characteristics and Holocene evolution of the emergent part of the Ombrone River delta (southern Tuscany)*. Geomorphology, **61** (1–2), 71–90.
- BENINI A., DE NARDO M.T. & SEVERI P. (2009) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 238 - Castel S. Pietro Terme"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 124 pp.
- BENINI A., MARTELLI L., POCCIANI C. & ROSSELLI S. (2014) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 253 - Marradi"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 86 pp.
- BENVENUTI M. (2003) - *Facies analysis and tectonic significance of lacustrine fan-deltaic successions in the Pliocene–Pleistocene Mugello Basin, Central Italy*. Sedimentary Geology, **157** (3–4), 197–234.
- BENVENUTI M. & DEGLI INNOCENTI D. (2001) - *The Pliocene deposits in the Central-Eastern Valdelsa Basin (Florence, Italy), revised through facies analysis and unconformity-bounded stratigraphic units*. Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia, **107** (2), 265–286.
- BENVENUTI M., DEL CONTE S., SCARSELLI N. & DOMINICI S. (2014) - *Hinterland basin development and infilling through tectonic and eustatic processes: Latest Messinian–Gelasian Valdelsa Basin, Northern Apennines, Italy*. Basin Research,

- 26 (3), 387–402.
- BENVENUTI M., MORATTI G., SANI F., BONINI M., OMS O.L., PAPINI M., ROOK L., CAVALLINA C. & CAVINI L. (2015) - *Messinian-earliest Zanclean tectonic-depositional dynamics of the Cinigiano-Baccinello and Velona basins (Tuscany, Italy)*. Italian Journal of Geosciences, **134** (2), 237–254.
- BENVENUTI M., PAPINI M. & ROOK L. (2001) - *Mammal biochronology, IBSU and paleoenvironment evolution in a post-collisional basin: evidence from the Late Miocene Baccinello-Cinigiano basin in southern Tuscany, Italy*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **120** (1), 97–118.
- BENVENUTI M., PAPINI M., TESTA G., AGUSTÍ J., ROOK L. & ANDREWS P. (1999) - *Sedimentary facies analysis in paleoclimatic reconstructions. Examples from the upper Miocene-Pliocene successions of south-central Tuscany (Italy)*. In: *Hominoid Evolution and climatic change in Europe, Volume 1: The Evolution of Neogene Terrestrial Ecosystems in Europe*, pp. 355–377. Cambridge University Press, Cambridge.
- BERNINI M., BOCCALETTI M., MORATTI G., PAPANI G., SANI F. & TORELLI L. (1990) - *Episodi compressivi neogenico-quadernari nell'area estensionale tirrenica nord-orientale. Dati a mare e a terra*. Memorie della Società Geologica Italiana, **45**, 577–589.
- BERNINI M. & PAPANI G. (2002) - *La distensione della fossa tettonica della Lunigiana nord-occidentale (con carta geologica alla scala 1:50.000)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **121**, 313–341.
- BERNOULLI D. & JENKINS H.C. (1974) - *Alpine Mediterranean and central Atlantic Mesozoic facies in relation to the early evolution of the Tethys*. In: R.H. DOTT & R.H. SHAVER (Eds.), *Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation*, SEPM Special Publication, vol. 19, pp. 129–160. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa.
- BERNOULLI D., KÄLIN O. & PATACCA E. (1979) - *A sunken continental margin of the Mesozoic Tethys: the northern and central Appennines*. In: B. BEAUDOIN & B.H. PURSER (Eds.), *Symposium Sédimentation jurassique W européen*, A.S.F. Publication spéciale, vol. 1, pp. 197–210. Association Sédimentologique Française, Paris.
- BERTINI G., CORNAMUSINI G., LAZZAROTTO A. & MACCATELLI M. (2000) - *Stratigraphic and tectonic framework of the Ligurian Units in the Castellina M.ma Hills (southern Tuscany, Italy)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **119**, 687–701.
- BERTINI G., COSTANTINI A., CAMELI G., DI FILIPPO M., DECANDIA F., ELTER F.M., LAZZAROTTO A., LIOTTA D., PANDELI E., SANDRELLI F. & TORO B. (1991) - *Struttura geologica dai Monti di Campiglia a Rapolano terme (Toscana meridionale): stato delle conoscenze e problematiche*. Studi Geologici Camerti, **1**, 155–178.
- BERTINI G., ELTER F.M. & TALARICO F.M. (1994) - *Evidenze di una fase estensionale pre-triassica nel complesso degli gneiss nell'area geotermica di Larderello (Toscana meridionale)*. Studi Geologici Camerti, Volume speciale, **1994/1**, 129–137.
- BERTOTTI G., CAPOZZI R. & PICOTTI V. (1997) - *Extension controls Quaternary tectonics, geomorphology and sedimentation of the N-Appennines foothills and adjacent Po Plain (Italy)*. Tectonophysics, **282** (1), 291–301.
- BETTELLI G., BOCCALETTI M., CIBIN U., PANINI F., POCCIANI C., ROSSELLI S. & SANI F. (2002a) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 252 - Barberino di Mugello"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 130 pp.
- BETTELLI G., BONAZZI U., FAZZINI P. & GELMINI R. (1987a) - *Macigno, Arenarie di Monte Modino e Arenarie di Monte Cervarola del Crinale Appenninico Emiliano*. Memorie della Società Geologica Italiana, **39**, 1–17.
- BETTELLI G., BONAZZI U., FAZZINI P. & PANINI F. (1987b) - *Schema introduttivo alla geologia delle Epiliguridi dell'Appennino Modenese e delle aree limitrofe*. Memorie della Società Geologica Italiana, **39**, 215–244.
- BETTELLI G., CONTI S. & PANINI S. (1994) - *Brecce poligeniche a matrice argillosa alla base della successione epiligure della coltre della Val Marecchia (Appennino tosco-marchigiano): implicazioni tettoniche*. Atti Ticinensi di Scienze della Terra, **37**, 111–131.
- BETTELLI G., FAZZINI P. & GELMINI R. (1980) - *Evoluzione strutturale della Toscana meridionale*. Memorie della Società Geologica Italiana, **21**, 137–141.
- BETTELLI G. & PANINI F. (1991) - *Liguridi, mélanges e tettoniti nel complesso caotico lungo la "Linea del Sillaro" (Appennino Settentrionale, Province di Firenze e Bologna)*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, **46**, 387–415.
- BETTELLI G., PANINI F., FIORONI C., NIRTA G., REMITTI F., VANNUCCHI P. & CARLINI M. (2012) - *Revisiting the Geology of the "Sillaro Line", Northern Apennines, Italy*. Rendiconti online della Società Geologica Italiana, **22**, 14–17.
- BETTELLI G., PANINI F. & PIZZIOLO M. (2002b) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 236 - Pavullo nel Frignano"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 168 pp.
- BIANCO C., BROGI A., CAGGIANELLI A., GIORGETTI G., LIOTTA D. & MECCHERI M. (2015) - *HP-LT metamorphism in Elba*

- Island: Implications for the geodynamic evolution of the Inner Northern Apennines (Italy)*. Journal of Geodynamics, **91**, 13–25.
- BIANCO C., GODARD G., HALTON A., BROGI A., LIOTTA D. & CAGGIANELLI A. (2019) - *The lawsonite-glaucophane blueschists of Elba Island (Italy)*. Lithos, **348-349**, 1–18.
- BIGI G., COSENTINO D., PAROTTO M., SARTORI R. & SCANDONE P. (1990) - *Structural Model of Italy*. Scale 1:500,000, C.N.R. - Progetto Finalizzato Geodinamica, Roma.
- BIGI S., CALAMITA F., CELLO G., CENTAMORE E., DEIANA G., PALTRINIERI W. & RIDOLFI M. (1995) - *Evoluzione messiniano-pliocenica del sistema catena-avanfossa nell'area marchigiano-abruzzese esterna*. Studi Geologici Camerti, Volume speciale, **1995/1**, 29–35.
- BISERNI G. & VAN GEEL B. (2005) - *Reconstruction of Holocene palaeoenvironment and sedimentation history of the Ombrone alluvial plain (South Tuscany, Italy)*. Review of Palaeobotany and Palynology, **136** (1-2), 16–28.
- BLENDINGER W. (1985) - *Middle Triassic strike-slip tectonics and igneous activity of the Dolomites (Southern Alps)*. Tectonophysics, **113**, 105–121.
- BOCCALETTI M., BONINI M., CORTI G., GASPERINI P., MARTELLI L., PICCARDI L., SEVERI P. & VANNUCCI G. (2004) - *Carta Sismotettonica della regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000. Note Illustrative*. Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Bologna, 62 pp.
- BOCCALETTI M., BONINI M., MORATTI G. & SANI F. (1995) - *Le fasi compressive neogenico-quadernarie nell'Appennino settentrionale: relazioni con l'evoluzione dei bacini interni*. Studi Geologici Camerti, Volume speciale, **1995/1**, 51–72.
- BOCCALETTI M., BONINI M., MORATTI G. & SANI F. (1999) - *Compressive Neogene-Quaternary tectonics in the hinterland area of the Northern Apennines*. Journal of Petroleum Geology, **22** (1), 37–60.
- BOCCALETTI M., CALAMITA, DEIANA G., GELATI R., MASSARI F., MORATTI G. & RICCI LUCCHI F. (1990a) - *Migrating foredeep-thrust belt system in the northern Apennines and southern Alps*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **77**, 3–14.
- BOCCALETTI M., CIARANFI N., COSENTINO D., DEIANA G., GELATI R., LENTINI F., MASSARI F., MORATTI G., PESCATORE T., RICCI LUCCHI F. & TORTORICI L. (1990b) - *Palinspastic restoration and paleogeographic reconstruction of the peri-Tyrrhenian area during the Neogene*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **77** (1), 41–50.
- BOCCALETTI M. & COLI M. (1982) - *Carta Strutturale dell'Appennino Settentrionale, 1:250.000*. Pubblicazione n. 429 C.N.R. - Progetto Finalizzato Geodinamica, Sottoprogetto 5 - Modello Strutturale. SELCA, Firenze.
- BOCCALETTI M., COLI M., DECANDIA A., GIANNINI E. & LAZZAROTTO A. (1980) - *Evoluzione dell'Appennino settentrionale secondo un nuovo modello strutturale*. Memorie della Società Geologica Italiana, **21**, 359–373.
- BOCCALETTI M., DECANDIA F.A., GASPERI G., GELMINI R., LAZZAROTTO A. & ZANZUCCHI G. (1987) - *Carta Strutturale dell'Appennino Settentrionale: Note Illustrative*. Pubblicazione n. 429 C.N.R. - Progetto Finalizzato Geodinamica, Sottoprogetto 5 - Modello Strutturale, Tipografia Senese, 203 pp.
- BOCCALETTI M., ELTER P. & GUAZZONE G. (1971) - *Plate tectonic models for the development of the Western Alps and Northern Apennines*. Nature, **234**, 108–111.
- BOCCALETTI M. & SANI F. (1998) - *Cover thrust reactivations related to internal basement involvement during Neogene-Quaternary evolution of the Northern Apennines*. Tectonics, **17**, 112–130.
- BONCIANI F., CALLEGARI I., CONTI P., CORNAMUSINI G. & CARMIGNANI L. (2005) - *Neogene post-collisional evolution of the internal Northern Apennines: insights from the upper Fiora and Albegna valleys (Mt. Amiata geothermal area, southern Tuscany)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, Volume speciale, **3**, 103–118.
- BONCIO P., BROZZETTI F. & LAVECCHIA G. (2000) - *Architecture and seismotectonics of a regional low-angle normal fault zone in central Italy*. Tectonics, **19** (6), 1038–1055.
- BONCIO P., BROZZETTI F., PONZIANI F., BARCHI M., LAVECCHIA G. & PIALLI G. (1998) - *Seismicity and extensional tectonics in the northern Umbria-Marche Apennines*. Memorie della Società Geologica Italiana, **52**, 539–555.
- BONCIO P. & LAVECCHIA G. (2000) - *A structural model for active extension in Central Italy*. Journal of Geodynamics, **29** (3-5), 233–244.
- BONINI L., MONTOMOLI C. & PERTUSATI P.C. (2013a) - *Le evaporiti triassiche di Sassalbo e della Val di Secchia (Appennino Tosco-Emiliano): dati geometrici e cinematici*. Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A, **120**, 5–23.
- BONINI M., MORATTI G., SANI F. & BALESTRIERI M.L. (2013b) - *Compression-to-extension record in the Late Pliocene-Pleistocene Upper Valdarno Basin (Northern Apennines, Italy): structural and thermochronological constraints*. Italian Journal of Geosciences, **132** (1), 54–80.

- BONINI M. & SANI F. (2002) - *Extension and compression in the Northern Apennines (Italy) hinterland: Evidence from the late Miocene-Pliocene Siena-Radicofani Basin and relations with basement structures*. *Tectonics*, **21** (3), TC900024.
- BONINI M., SANI F., STUCCHI E.M., MORATTI G., BENVENUTI M., MENANNO G. & TANINI C. (2014) - *Late Miocene shortening of the Northern Apennines back-arc*. *Journal of Geodynamics*, **74**, 1–31.
- BORSI S., FERRARA G. & TONGIORGI E. (1967) - *Determinazione con il metodo del K/Ar dell'età delle rocce magmatiche della Toscana*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **86**, 403–410.
- BORTOLOTTI V. (1962a) - *Contributo alla conoscenza della stratigrafia della serie Pietraforte-Alberese*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **81**, 225–314.
- BORTOLOTTI V. (1962b) - *Stratigrafia e tettonica dei terreni alloctoni (ofioliti e Alberese) nei dintorni di Pieve S. Stefano (Arezzo)*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **81** (3), 257–306.
- BORTOLOTTI V. (1964) - *Nota illustrativa della carta della distribuzione geografica della Formazione di Monte Morello (Alberese)*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **83**, 155–190.
- BORTOLOTTI V. (1966) - *La tettonica trasversale dell'Appennino. 1 - La linea Livorno-Sillaro*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **85**, 529–540.
- BORTOLOTTI V. (1967) - *Le paleocorrenti della Pietraforte*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **86**, 687–701.
- BORTOLOTTI V., FAZZUOLI M., PANDELI E., PRINCIPI G., BABBINI A. & CORTI S. (2001a) - *Geology of central and eastern Elba Island, Italy*. *Ofioliti*, **26** (2a), 97–150.
- BORTOLOTTI V., MANNORI G., PRINCIPI G. & SANI F. (2008) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 278 - Pieve Santo Stefano"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 96 pp.
- BORTOLOTTI V., PASSERINI P., SAGRI M. & SESTINI G. (1970) - *The miogeosynclinal sequences*. In: G. SESTINI (Ed.), *Development of the Northern Apennines Geosyncline*, *Sedimentary Geology*, vol. 4, pp. 341–444. Elsevier.
- BORTOLOTTI V., PRINCIPI G. & TREVES B. (2001b) - *Ophiolites, Ligurides and the tectonic evolution from spreading to convergence of a Mesozoic Western Tethys segment*. In: G.B. VAI & I.P. MARTINI (Eds.), *Anatomy of an Orogen: the Apennines and Adjacent Mediterranean Basins*, pp. 151–164. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- BOSELLINI A. (2004) - *The western passive margin of Adria and its carbonate platforms*. In: U. CRESCENTI, S. D'OFFIZI, S. MERLINO & L. SACCHI (Eds.), *Geology of Italy. Special Volume of the Italian Geological Society for the IGC Florence 2004*, pp. 79–92. Società Geologica Italiana, Roma.
- BOSSIO A., BRADLEY F., ESTEBAN M., GIANNELLI L., LANDINI W., MAZZANTI R., MAZZEI R. & SALVATORINI G. (1981) - *Alcuni aspetti del Miocene superiore del Bacino del Fiume*. In: *IX Convegno della Società Paleontologica Italiana (3-8 ottobre 1981)*, pp. 21–54. Pacini, Pisa.
- BOSSIO A., CERRI R., MAZZEI R., SALVATORINI G. & SANDRELLI F. (1996) - *Geologia dell'area Spicchiaiola-Pignano (settore orientale del Bacino di Volterra)*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **115**, 393–438.
- BOSSIO A., CORNAMUSINI G., FERRANDINI J., FERRANDINI M., FORESI L.M., MAZZANTI R., MAZZEI R. & SALVATORINI G. (2000) - *L'evoluzione sedimentaria neogenica dell'area tirrenica settentrionale (Toscana marittima, Isola di Pianosa, Bacino di Aléria in Corsica orientale)*. In: *Actes du Congrès "Environnement et Identité en Méditerranée"*, pp. 72–79. Corte, juin 2000.
- BOSSIO A., COSTANTINI A., FORESI L., LAZZAROTTO A., MAZZANTI R., MAZZEI R., PASCUCCHI V., SALVATORINI G., SANDRELLI F. & TERZUOLI A. (1998) - *Neogene-Quaternary sedimentary evolution in the western side of the Northern Apennines (Italy)*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **52**, 513–525.
- BOSSIO A., COSTANTINI A., LAZZAROTTO A., LIOTTA D., MAZZANTI R., MAZZEI R., SALVATORINI G. & SANDRELLI F. (1993) - *Rassegna delle conoscenze sulla stratigrafia del Neautoctono Toscano*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **49**, 17–98.
- BOSSIO A., DA PRATO S., BAMBINI A.M., FORESI L.M., CATANZARITI M., CERRINA FERONI A., ELLERO A., MARRONI M., PALANDRI S., PRINCIPI G., LAZZAROTTO A. & ABBATE E. (2010) - *Atlante dei Dati Biostratigrafici della Toscana*. Regione Toscana - Servizio Geologico Regionale, 89 pp.
- BOSSIO A., ESTEBAN M., GIANNELLI L., LONGINELLI A., MAZZANTI R., MAZZEI R., RICCI LUCCHI F. & SALVATORINI G. (1978) - *Some aspects of the Upper Miocene in Tuscany*. In: *Messinian Seminar N. 4, Rome, October 9-14, 1978, Field Trip Guidebook*, vol. 4, pp. 1–88.
- BOSSIO A., FORESI L.M., MAZZEI R., PASCUCCHI V., SALVATORINI G. & SANDRELLI F. (1997) - *Allostratigraphy and seismic stratigraphy of the Miocene sediments of the Spicchiaiola-Pomarance area, southern side of the Volterra Basin (Tuscany, Italy)*. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia (Research In Paleontology and Stratigraphy)*, **103** (3), 357–368.
- BOSSIO A., MAZZANTI R., MAZZEI R., PASCUCCHI V., SALVATORINI G.F. & SANDRELLI F. (1994) - *Il bacino di Volterra:*

- notizie preliminari sull'evoluzione della sua area centro meridionale durante il Pliocene*. Studi Geologici Camerti, Volume speciale, **1994/1**, 19–31.
- BOSSIO A., MAZZEI R., SALVATORINI G. & SANDRELLI F. (2002) - *Geologia dell'area compresa tra Siena e Poggibonsi ("Bacino del Casino")*. Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A, **107**, 69–86.
- BOTTI F., DANIELE G. & BALDACCIO F. (2017) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 251 - Porretta Terme"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 194 pp.
- BOTTI F., PALANDRI S. & PLESI G. (2002) - *The Mt. Cervarola Sandstones in the T. Fellicarolo and T. Dardagna Valleys (Northern Apennines): petrographic and biostratigraphic features, regional correlations*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **121** (1), 305–317.
- BROGI A. (2004) - *Miocene low-angle detachments and upper crust megaboudinage in the Mt. Amiata geothermal area (Northern Apennines, Italy)*. Geodinamica Acta, **17** (6), 375–387.
- BROGI A., CORNAMUSINI G., COSTANTINI A., DI VINCENZO G. & LAZZAROTTO A. (2000) - *Cretaceous volcanism of the southern Tuscany: record of volcanic bodies from Tuscan succession of Rapolano Terme*. Memorie della Società Geologica Italiana, **55**, 329–337.
- BROGI A. & GIORGETTI G. (2012) - *Tectono-metamorphic evolution of the siliciclastic units in the Middle Tuscan Range (inner Northern Apennines): Mg-carpholite bearing quartz veins related to syn-metamorphic syn-orogenic foliation*. Tectonophysics, **526-529**, 167–184.
- 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, **27** (5), TC5002.
- BROGI A., LIOTTA D., MECCHERI M. & FABBRINI L. (2010) - *Transtensional shear zones controlling volcanic eruptions: the Middle Pleistocene Mt Amiata volcano (inner Northern Apennines, Italy)*. Terra Nova, **22** (2), 137–146.
- BROZZETTI F. (2007) - *The Umbria Preapennines in the Monte Santa Maria Tiberina area: a new geological map with stratigraphic and structural notes*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **126** (3), 511–529.
- BROZZETTI F., BONCIO P., LAVECCHIA G. & PACE B. (2009) - *Present activity and seismogenic potential of a low-angle normal fault system (Città di Castello, Italy): Constraints from surface geology, seismic reflection data and seismicity*. Tectonophysics, **463** (1), 31–46.
- BROZZETTI F., LUCHETTI L. & PIALLI G. (2000) - *La successione del Monte Rentella (Umbria Occidentale); biostratigrafia a nannofossili calcarei ed ipotesi per un inquadramento tettonico regionale*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **119** (2), 407–422.
- BRUNACCI S., DONATI C., FARONE D., MANGANELLI V. & STOPPA F. (1983) - *Vulcanismo alcalino cretaceo post-ofiolitico nell'alloctono ligure della Toscana meridionale. I: L'area del T. Senna (Siena-Grosseto)*. Ofioliti, **8** (1), 47–76.
- BRUNET C., MONIÉ P., JOLIVET L. & CADET J.P. (2000) - *Migration of compression and extension in the Tyrrhenian Sea, insights from 40Ar/39Ar ages on micas along a transect from Corsica to Tuscany*. Tectonophysics, **321**, 127–155.
- BRUNI P., CIPRIANI N., NEBBIAI M. & PAPINI M. (2007) - *Dati litostratigrafici e petrografici delle arenarie silicoclastiche del complesso di Canetolo affiorante tra le Cinque Terre e la Val di Magra (Paleocene-Oligocene sup., Appennino Settentrionale)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **126** (3), 557–565.
- BRUNI P., CIPRIANI N. & PANDELI E. (1994) - *Sedimentological and petrographical features of the Macigno and the Monte Modino sandstones in the Abetone area (Northern Apennines)*. Memorie della Società Geologica Italiana, **48**, 331–341.
- BRUNI P. & PANDELI E. (1980) - *Torbiditi calcaree nel Macigno e nelle Arenarie del Cervarola nell'area del Pratomagno e del Falterona (Appennino sett.)*. Memorie della Società Geologica Italiana, **21**, 217–230.
- BURCKHARDT C.E. (1946) - *Il sondaggio di Belagajo (Grosseto) e il suo significato geologico*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **65** (1), 97–107.
- CALAMITA F. (1990) - *Thrust and fold-related structures in the Umbria-Marche Apennines (Central Italy)*. Annales Tectonicae, **4** (1), 83–117.
- CALAMITA F., CELLO G., CENTAMORE E., DEIANA G., MICARELLI A., PALTRINIERI W. & RIDOLFI M. (1991) - *Stile deformativo e cronologia della deformazione lungo tre sezioni bilanciate dall'Appennino umbro-marchigiano alla costa adriatica*. Studi Geologici Camerti, Volume speciale, **1991/1**, 295–314.
- CALAMITA F., CENTAMORE E., DEIANA G. & RIDOLFI M. (1995) - *Caratterizzazione geologico-strutturale dell'area marchigiano-abruzzese esterna (Appennino centrale)*. Studi Geologici Camerti. Volume Speciale, **1995/1**, 171–182.
- CALAMITA F., COLTORTI M., PIERUCCINI P. & PIZZI A. (1999) - *Evoluzione strutturale e morfogenesi plio-quadernaria dell'Appennino umbro-marchigiano tra il preappennino umbro e la costa adriatica*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **118** (1), 125–139.

- CALCAGNILE G. & PANZA G. (1981) - *The main characteristics of the lithosphere-asthenosphere system in Italy and surrounding regions*. Pure and Applied Geophysics, **199**, 865–870.
- CAMPETTI A., CAROSI R., DECANDIA F.A., ELTER P., LAZZAROTTO A., MONTOMOLI C., PERTUSATI P.C. & POLVEROSI B. (1999) - *Assetto ed evoluzione strutturale dei Monti dell'Uccellina (Toscana Meridionale)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **118**, 149–165.
- CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., COLALONGO M.L., MICARELLI A., NANNI T., PASINI G., POTETTI M., RICCI LUCCHI F., CRISTALLINI C. & DI LORITO L. (1986a) - *Il Plio-Pleistocene delle Marche*. Studi Geologici Camerti, Volume speciale "La Geologia delle Marche", pp. 61–82.
- CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., MICARELLI A. & POTETTI M. (1982) - *Tectonic-sedimentary evolution of the Northwestern part of the Laga Basin (Upper Miocene-Lower Pliocene, Central-Southern Marche)*. Memorie della Società Geologica Italiana, **24** (2), 221–232.
- CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., MICARELLI A. & POTETTI M. (1986b) - *Il Miocene delle Marche*. Studi Geologici Camerti, Volume speciale "La Geologia delle Marche", pp. 35–55.
- CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., DIDASKALOU P., MICARELLI A., NAPOLEONE G. & POTETTI M. (2002) - *Elementi di correlazione nella successione marina plio-pleistocenica del bacino periadriatico marchigiano*. Studi Geologici Camerti, Nuova Serie, **1**, 33–49.
- CANTALAMESSA G. & DI CELMA C. (2004) - *Sequence response to syndepositional regional uplift: insights from high-resolution sequence stratigraphy of late Early Pleistocene strata, Periadriatic Basin, central Italy*. Sedimentary Geology, **164** (3-4), 283–309.
- CANUTI P., FOCARDI P. & SESTINI G. (1965) - *Stratigrafia, correlazioni e genesi degli Scisti Policromi dei Monti del Chianti (Toscana)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **84** (5), 93–166.
- CAPEZZUOLI E., GANDIN A. & PEDLEY M. (2014) - *Decoding tufa and travertine (fresh water carbonates) in the sedimentary record: the state of the art*. Sedimentology, **61** (1), 1–21.
- CAPEZZUOLI E. & SANDRELLI F. (2004) - *I sedimenti quaternari del settore meridionale della Valdelsa (Provincia di Siena)*. Il Quaternario - Italian Journal of Quaternary Sciences, **17** (1), 33–40.
- CAPOZZI R., LANDUZZI A. & ZANOLI S. (1998) - *Neogene evolution of the Apennine foothill structures from northern Marche to eastern Romagna*. Memorie della Società Geologica Italiana, **52**, 631–646.
- CAPPONI G., CORTESOGNO L., GAGGERO L. & GIAMMARINO S. (1997) - *The Promontorio del Franco (Island of Giglio): a blueschist element in the Tuscan Archipelago (central Italy)*. Atti Ticinensi di Scienze della Terra, **39**, 175–192.
- CAPPONI G., GIAMMARINO S. & MAZZANTI G. (1990) - *Geologia e morfologia dell'Isola di Gorgona*. Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno, **11**, 115–137.
- CAPUANO N. (2009) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 279 - Urbino"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 109 pp.
- CAPUANO N., TONELLI G. & VENERI F. (1986) - *Ricostruzione dell'evoluzione paleogeografica del margine appenninico nell'area feltresca (Marche settentrionali) durante il Pliocene Inferiore e Medio*. Memorie della Società Geologica Italiana, **35**, 163–170.
- CARMIGNANI L., CONTI P., CORNAMUSINI G. & MECCHERI M. (2004) - *The internal Northern Apennines, the Northern Tyrrhenian Sea and the Sardinia-Corsica Block*. In: U. CRESCENTI, S. D'OFFIZI, S. MERLINO & L. SACCHI (Eds.), *Geology of Italy. Special Volume of the Italian Geological Society for the IGC Florence 2004*, pp. 59–77. Società Geologica Italiana, Roma.
- CARMIGNANI L., CONTI P., CORNAMUSINI G. & PIRRO A. (2013) - *The Geological Map of Tuscany (Italy)*. Journal of Maps, **9** (4), 487–497.
- CARMIGNANI L., DECANDIA F., DISPERATI L., FANTOZZI P.L., LAZZAROTTO A., LIOTTA D. & OGGIANO G. (1995a) - *Relationship between the Tertiary structural evolution of the Sardinia-Corsica-Provençal Domain and the Northern Apennines*. Terra Nova, **7** (2), 128–137.
- CARMIGNANI L., DECANDIA F., DISPERATI L., FANTOZZI P.L., LAZZAROTTO A., LIOTTA D., OGGIANO G. & TAVARNELLI E. (1995b) - *Relazioni tra il Bacino balearico, il Tirreno settentrionale e l'evoluzione neogenica dell'Appennino settentrionale*. Studi Geologici Camerti. Volume Speciale, **1995/1**, 255–268.
- CARMIGNANI L., DECANDIA F., 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: G.B. VAI & I.P. MARTINI (Eds.), *Anatomy of an Orogen: the Apennines and*

- Adjacent Mediterranean Basins*, pp. 197–214. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- CARMIGNANI L. & GIGLIA G. (1979) - *Large scale reverse "drag folds" in the late Alpine building of the Apuane Alps (N. Apennines)*. Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A, **86**, 109–125.
- CARMIGNANI L., GIGLIA G. & KLIGFIELD R. (1978) - *Structural evolution of the Apuane Alps; an example of continental margin deformation in the northern Apennines, Italy*. Journal of Geology, **86** (4), 487–504.
- CARMIGNANI L. & KLIGFIELD R. (1990) - *Crustal extension in the Northern Apennines: the transition from compression to extension in the Alpi Apuane core complex*. Tectonics, **9** (6), 1275–1303.
- CARMINATI E. & DOGLIONI C. (2012) - *Alps vs. Apennines: The paradigm of a tectonically asymmetric Earth*. Earth-Science Reviews, **112** (1-2), 67–96.
- CARNEVALE G., LANDINI W. & SARTI G. (2006) - *Mare versus Lago-mare: marine fishes and the Mediterranean environment at the end of the Messinian Salinity Crisis*. Journal of the Geological Society of London, **163** (1), 75–80.
- CASSINIS G., ELTER G., RAU A. & TONGIORGI M. (1979) - *Verrucano: a tectofacies of the alpine-mediterranean southern Europe*. Memorie della Società Geologica Italiana, **20** (1), 135–149.
- CASTELLARIN A. (2001) - *Alps-Apennines and Po Plain-frontal Apennines relations*. In: G.B. VAI & I.P. MARTINI (Eds.), *Anatomy of an Orogen, The Apennines and Adjacent Mediterranean Basins*, pp. 177–196. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- CASTELLARIN A., EVA C., GIGLIA G. & VAI G.B. (1985) - *Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano*. Giornale di Geologia, **47**, 47–75.
- CASTELLARIN A. & PINI G. (1987) - *L'arco del Sillaro: la messa in posto delle Argille Scagliose al margine appenninico padano (Appennino bolognese)*. Memorie della Società Geologica Italiana, **39**, 127–141.
- CASTELLUCCI P. & CORNAGGIA F. (1980) - *Gli olistostromi nel Macigno dei Monti del Chianti: analisi stratigrafico-strutturale*. Memorie della Società Geologica Italiana, **21**, 171–180.
- CATANZARITI R., CERRINA FERONI A., MARTINELLI P. & OTTRIA G. (1996) - *Le marne dell'Oligocene-Miocene inferiore al limite tra Dominio Subligure e Dominio Toscano: dati biostratigrafici ed evoluzione spazio-temporale*. Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A, **103**, 105–134.
- CATANZARITI R., OTTRIA G. & CERRINA FERONI A. (2002) - *Tavole Stratigrafiche*. In: A. CERRINA FERONI, G. OTTRIA, P. MARTINELLI & L. MARTELLI (Eds.), *Carta Geologico-Strutturale dell'Appennino Emiliano-Romagnolo, 1:250.000*, pp. 1–44. Regione Emilia-Romagna, C.N.R., Bologna.
- CATANZARITI R. & PERILLI N. (2009) - *Calcareous nannofossils: the key to revealing the relations between the Macigno and Monte Modino Sandstone, two widespread clastic wedges of the Northern Apennines*. Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia, **115** (2), 233–252.
- CELLO G. (2009) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 303 - Macerata"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 85 pp.
- CENTAMORE E. (1986) - *Carta geologica delle Marche*. Scala 1:250.000, Università di Camerino - Dipartimento Scienze della Terra, Regione Marche - Giunta Regionale, Amministrazione Provinciale Ascoli Piceno, Amministrazione Provinciale Macerata.
- CENTAMORE E., CANTALAMESSA G., MICARELLI A. & POTETTI M. (1993) - *Contributo alla conoscenza dei depositi terrigeni neogenici di avanfossa del Teramano (Abruzzo settentrionale)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **112** (1), 63–81.
- CENTAMORE E., CANTALAMESSA G., MICARELLI A., POTETTI M., BERTI D., BIGI S., MORELLI C. & RIDOLFI M. (1991) - *Stratigrafia e analisi di facies dei depositi del Miocene e del Pliocene Inferiore dell'avanfossa marchigiano-abruzzese e delle zone limitrofe*. Studi Geologici Camerti. Volume Speciale, **1991/2**, 125–131.
- CENTAMORE E., CANTALAMESSA G., MICARELLI A., POTETTI M. & RIDOLFI M. (1990) - *I depositi terrigeni di avanfossa (Messiniano-Pliocene inferiore) dell'Abruzzo settentrionale*. Memorie della Società Geologica Italiana, **45**, 563–568.
- CENTAMORE E., CHIOCCHINI M., DEIANA G., MICARELLI A. & PIERUCCINI U. (1971) - *Contributo alla conoscenza del Giurassico dell'Appennino umbro-marchigiano*. Studi Geologici Camerti, **1**, 7–89.
- CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., CIPRIANI N., DEIANA G. & MICARELLI A. (1978) - *Analisi dell'evoluzione tettonico-sedimentaria dei "Bacini Minori" torbiditici del Miocene medio-superiore nell'Appennino umbro-marchigiano e laziale-abruzzese*. Memorie della Società Geologica Italiana, **18**, 135–170.
- CENTAMORE E., CHIOCCHINI U. & MICARELLI A. (1977) - *Analisi dell'evoluzione tettonico-sedimentaria dei "Bacini Minori" torbiditici del Miocene Medio-Superiore nell'Appennino umbro-marchigiano e laziale-abruzzese. 3) Le Arenarie di M. Vicino, un modello di conoide sottomarina affogata (Marche settentrionali)*. Studi Geologici Camerti, **3**, 7–55.
- CENTAMORE E., DEIANA G., MICARELLI A. & POTETTI M. (1986) - *Il Trias-Paleogene delle Marche*. Studi Geologici Camerti,

- Volume speciale "La Geologia delle Marche", pp. 9–27.
- CENTAMORE E., JACOBACCI A. & MARTELLI G. (1972) - *Modello strutturale umbro-marchigiano. Correlazioni possibili con le regioni adiacenti*. Bollettino del Servizio Geologico d'Italia, **93**, 155–188.
- CENTAMORE E. & MICARELLI A. (1991) - *Stratigrafia*. In: A. MINETTI, T. NANNI, F. PERILLI, L. POLONARA & M. PRINCIPI (Eds.), *L'Ambiente Fisico delle Marche*, pp. 5–58. Regione Marche, Assessorato Urbanistica e Ambiente, Ancona.
- CERRINA FERONI A., GHISELLI F., LEONI L., MARTELLI L., MARTINELLI P., OTTRIA G. & SARTI G. (1997) - *L'assenza delle Liguridi nell'Appennino romagnolo: relazioni tra il sollevamento quaternario e implicazioni strutturali*. Il Quaternario, **10**, 371–376.
- CERRINA FERONI A., LEONI L., MARTELLI L., MARTINELLI P., OTTRIA G. & SARTI G. (2001) - *The Romagna Apennines, Italy: an eroded duplex*. Geological Journal, **36** (1), 39–54.
- CERRINA FERONI A., MARTELLI L., MARTINELLI P., OTTRIA G. & CATANZARITI R. (2002a) - *Note Illustrative della Carta Geologico-Strutturale dell'Appennino Emiliano-Romagnolo a scala 1:250.000*. Regione Emilia-Romagna, C.N.R., Bologna, 118 pp.
- CERRINA FERONI A., MARTINELLI P. & PERILLI N. (1991) - *Stratigrafia e struttura dell'Unità di Canetolo in Val Cedra (Appennino parmense)*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, **46**, 301–312.
- CERRINA FERONI A., OTTRIA G. & ELLERO A. (2004) - *The Northern Apennine, Italy: geological structure and transpressive evolution*. In: U. CRESCENTI, S. D'OFFIZI, S. MERLINO & L. SACCHI (Eds.), *Geology of Italy*, pp. 14–32. Special Volume of the Italian Geological Society for the IGC 32 Florence-2004, Società Geologica Italiana, Roma.
- CERRINA FERONI A., OTTRIA G., MARTINELLI P. & MARTELLI L. (2002b) - *Carta Geologico-Strutturale dell'Appennino Emiliano-Romagnolo*. Scala 1:250.000, Regione Emilia-Romagna, C.N.R., Bologna.
- CERRINA FERONI A., PATACCA E. & PLESI G. (1973) - *La zona di Lanciaia fra il Cretaceo inferiore e l'Eocene inferiore*. Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A, **80**, 162–187.
- CERRINA FERONI A., PLESI G., FANELLI G., LEONI L. & MARTINELLI P. (1983) - *Contributo alla conoscenza dei processi metamorfici di grado molto basso (anchimetamorfismo) a carico della Falda toscana nell'area del ricoprimento apuano*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **102** (2-3), 269–280.
- CHIARALUCE L., BARCHI M., COLLETTINI C., MIRABELLA F. & PUCCI S. (2005) - *Connecting seismically active normal faults with Quaternary geological structures in a complex extensional environment: The Colfiorito 1997 case history (northern Apennines, Italy)*. Tectonics, **24** (1).
- CHICCHI S., COSTA E., LUGLI L., MOLLI G., MONTANINI A., TORELLI L. & CAVOZZI C. (2002) - *The Passo del Cerreto-Val Secchia evaporites and associated rocks. Field Trip 5 October 2002 Guide Book, Real Mod Conference, San Donato Milanese (MI) 2-4 October 2002*. ENI, 46 pp.
- CHICCHI S. & PLESI G. (1991) - *Il Complesso di M. Modino-M. Cervarola nell'alto Appennino emiliano (tra il Passo del Lagastrello e il M. Cimone) e i suoi rapporti con la Falda toscana, l'Unità di Canetolo e le Liguridi*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, **46**, 139–163.
- CIARAPICA G. & PASSERI L. (1976) - *Deformazioni da fluidificazione ed evoluzione diagenetica della formazione evaporitica di Burano*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **95**, 1175–1199.
- CIARAPICA G. & PASSERI L. (1994) - *The Tuscan Nappes in the Northern Apennines: data, doubts, hypotheses*. Memorie della Società Geologica Italiana, **48** (1), 7–22.
- CIARAPICA G. & PASSERI L. (1998) - *Evoluzione paleogeografica degli Appennini*. Atti Ticinensi di Scienze della Terra, **40**, 233–290.
- CIBIN U. (1993) - *Evoluzione composizionale delle areniti nella successione epiligure eo-oligocenica (Appennino settentrionale)*. Giornale di Geologia, **55** (1), 69–92.
- CIBIN U., DI GIULIO A. & MARTELLI L. (2003) - *Oligocene-Early Miocene tectonic evolution of the northern Apennines (northwestern Italy) traced through provenance of piggy-back basin fill successions*. In: *Tracing Tectonic Deformation Using the Sedimentary Record*, Geological Society London Special Publications, vol. 208, pp. 269–288. Geological Society London.
- CIBIN U., SPADAFORA E., ZUFFA G.G. & CASTELLARIN A. (2001) - *Continental collision history from arenites of episutural basins in the Northern Apennines, Italy*. Geological Society of America Bulletin, **113** (1), 4–19.
- CIPRIANI A. (2016) - *Geology of the Mt. Cosce sector (Narni Ridge, Central Apennines, Italy)*. Journal of Maps, **12**, 328–340.
- CITA M.B. (1982) - *The Messinian salinity crisis in the Mediterranean: a review*. In: H. BERCKHEMER & K.J. HSÜ (Eds.), *Alpine-Mediterranean Geodynamics*, Geodynamic Series, vol. 7, pp. 113–140. American Geophysical Union.
- COLACICCHI R., PASSERI L. & PIALLI G. (1970) - *Nuovi dati sul Giurese Umbro-Marchigiano ed ipotesi per un suo*

- inquadramento regionale*. Memorie della Società Geologica Italiana, **9**, 839–874.
- COLALONGO M.L., RICCI LUCCHI F., GUARNERI P. & MANCINI E. (1982) - *Il Plio-Pleistocene del Santerno (Appennino romagnolo)*. In: G. CREMONINI & F. RICCI LUCCHI (Eds.), *Guida alla Geologia del Margine Appenninico-padano*, pp. 161–166. Società Geologica Italiana. Guide Geologiche Regionali, Bologna.
- COLANTONI P. & BORSETTI A. (1973) - *Geologia e stratigrafia dell'Isola di Pianosa*. Giornale di Geologia, **29**, 287–302.
- COMPAGNONI B., VALLETTA M., MARTELLI G., NAPPI G. & PIALLI G. (1980) - *Carta Geologica dell'Umbria*. Scala 1:250.000. Servizio Geologico d'Italia - Regione Umbria, Giunta Regionale, Dipartimento per l'Assetto del Territorio.
- CONTI P., CARMIGNANI L., MASSA G., MECCHERI M., PATACCA E., SCANDONE P. & PIERUCCIONI D. (2019a) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 249 - Massa Carrara"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- CONTI P., CORNAMUSINI G., CARMIGNANI L. & MOLLI G. (2019b) - *The geological structure of the Emilia-Tuscany Northern Apennines and Alpi Apuane*. Geological Field Trips & Maps, in press.
- CONTI P., CORNAMUSINI G., UCCELLETTI F. & BALDETTI A. (2010) - *Stratigraphic and structural setting of the "Pseudoverrucano" lithofacies in southern Tuscany*. Rendiconti online della Società Geologica Italiana, **11**, 324–325.
- CONTI P., COSTANTINI A., DECANDIA F., ELTER F., GATTIGLIO M., LAZZAROTTO A., MECCHERI M., PANDELI E., RAU A., SANDRELLI F., TONGIORGI M. & DI PISA A. (1991a) - *Structural frame of the Tuscan Paleozoic: a review*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **110**, 523–541.
- CONTI P., DI PISA A., GATTIGLIO M. & MECCHERI M. (1993) - *The pre-Alpine basement in the Alpi Apuane (Northern Apennines, Italy)*. In: J.F. VON RAUMER & F. NEUBAUER (Eds.), *Pre-Mesozoic Geology in the Alps*, pp. 609–621. Springer-Verlag, Berlin.
- CONTI P., GATTIGLIO M. & MECCHERI M. (1991b) - *The overprint of the Alpine tectono-metamorphic evolution on the Hercynian orogen: an example from the Apuane Alps (Northern Apennines, Italy)*. Tectonophysics, **191**, 335–346.
- CONTI S. (1994) - *La geologia dell'alta Val Marecchia (Appennino toscano-marchigiano)*. Atti Ticinensi di Scienze della Terra, **37**, 51–98.
- CONTI S. (2002) - *Palaeogeographic implications and relations between tectonics and sedimentation in satellite basins (Northern Apennines); insights from Neogene Epiligurian arcs*. Bollettino della Società Geologica Italiana, Volume speciale, **1**, 353–364.
- CONTI S., FIORONI C. & FONTANA D. (2017) - *Correlating shelf carbonate evolutive phases with fluid expulsion episodes in the foredeep (Miocene, northern Apennines, Italy)*. Marine and Petroleum Geology, **79**, 351–359.
- CONTI S., FIORONI C., FONTANA D. & GRILLENZONI C. (2016) - *Depositional history of the Epiligurian wedge-top basin in the Val Marecchia area (northern Apennines, Italy): a revision of the Burdigalian-Tortonian succession*. Italian Journal of Geosciences, **135** (2), 324–335.
- CONTI S. & TOSATTI G. (1996) - *Tectonic vs gravitational processes affecting Ligurian and Epiligurian units in the Marecchia Valley (Northern Apennines)*. Memorie di Scienze Geologiche, **48**, 107–142.
- CONTICELLI S., MELLUSO L., PERINI G., AVANZINELLI R. & BOARI E. (2004) - *Petrologic, geochemical, and isotopic characteristics of potassic and ultrapotassic magmatism in Central-Southern Italy: inferences on its genesis and on the nature of mantle sources*. Periodico di Mineralogia, **73** (Special issue 1), 135–164.
- CORNAMUSINI G. (2002) - *Compositional evolution of the Macigno Fm. of southern Tuscany along a transect from the Tuscan coast to the Chianti Hills*. Bollettino della Società Geologica Italiana. Volume Speciale, **1** (1), 365–374.
- CORNAMUSINI G. (2004a) - *Evoluzione deposizionale di un settore del sistema catena-avanfossa dell'Appennino settentrionale: stratigrafia fisica e sedimentologia del Macigno della Toscana meridionale*. Bollettino della Società Geologica italiana, **123** (2), 201–227.
- CORNAMUSINI G. (2004b) - *Sand-rich turbidite system of the Late Oligocene Northern Apennines foredeep: physical stratigraphy and architecture of the 'Macigno costiero'(coastal Tuscany, Italy)*. Geological Society, London, Special Publications, **222** (1), 261–283.
- CORNAMUSINI G., CONTI P. & BAMBINI A.M. (2018) - *The Late Oligocene to Early Miocene foredeep basin system evolution of the Northern Apennines (Emilia-Tuscany, Italy): review and new litho-biostratigraphic data*. Italian Journal of Geosciences, **137**, 396–419.
- CORNAMUSINI G., CONTI P., BONCIANI F., CALLEGARI I., CARMIGNANI L., MARTELLI L. & QUAGLIERE S. (2009a) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 267 - San Marino"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 125 pp.
- CORNAMUSINI G., CONTI P., BONCIANI F., CALLEGARI I. & MARTELLI L. (2017) - *Geology of the "Coltre della Val Marecchia"*

- (*Romagna-Marche Northern Apennines, Italy*). *Journal of Maps*, **13** (2), 207–218.
- CORNAMUSINI G., FORESI L.M., DALL'ANTONIA B., BOSSIO A., MAZZEI R. & SALVATORINI G. (2014) - *The Miocene of Pianosa Island: key to understanding the opening of the Northern Tyrrhenian back-arc basin (Central Mediterranean)*. *Journal of the Geological Society*, **171** (6), 801–819.
- CORNAMUSINI G., FORESI L.M., MASSA G., BONCIANI F., CALLEGARI I., DA PRATO S. & IELPI A. (2011) - *The Miocene successions of the Fiera Hills: considerations about the development of the minor basins of Southern Tuscany*. *Italian Journal of Geosciences*, **130** (3), 404–424.
- CORNAMUSINI G., IELPI A., BONCIANI F., CALLEGARI I. & CONTI P. (2012) - *Geological map of the Chianti Mts (Northern Apennines, Italy)*. *Journal of Maps*, **8**, 22–32 doi:10.1080/17445647.2012.668423.
- CORNAMUSINI G., LAZZAROTTO A., MERLINI S. & PASCUCCI V. (2002) - *Eocene-Miocene evolution of the north Tyrrhenian Sea*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, Volume speciale, **1**, 769–787.
- CORNAMUSINI G., MARTELLI L., CONTI P., PIERUCCINI P., BENINI A., BONCIANI F., CALLEGARI I. & CARMIGNANI L. (2009b) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 266 - Mercato Saraceno"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 124 pp.
- CORNAMUSINI G. & PASCUCCI V. (2014) - *Sedimentation in the Northern Apennines-Corsica tectonic knot (Northern Tyrrhenian Sea, Central Mediterranean): offshore drilling data from the Elba–Pianosa Ridge*. *International Journal of Earth Sciences*, **103** (3), 821–842.
- CORTESOGNO L., GALBIATI B. & PRINCIPI G. (1987) - *Note alla "Carta geologica delle ofioliti del Bracco" e ricostruzione della paleogeografia Giurassico-Cretacica*. *Ofioliti*, **12**, 261–342.
- COSENTINO D. & PASQUALI V. (2012) - *Carta Geologica Informatizzata della Regione Lazio*. Università degli Studi Roma Tre - Dipartimento di Scienze Geologiche, Regione Lazio - Agenzia Regionale Parchi - Area Difesa del Suolo; <http://dati.lazio.it/catalog/it/dataset/carta-geologica-informatizzata-regione-lazio-25000>.
- COSTA E., DI GIULIO A., PLESI G., VILLA G. & BALDINI C. (1997) - *I Flysch oligo-miocenici della trasversale Toscana meridionale-Casentino: dati biostratigrafici e petrografici*. *Atti Ticinensi di Scienze della Terra*, **39**, 281–302.
- COSTA E., TORELLI L., CAMURRI F., CHICCHI S., LUGLI S., MOLLI G., MONTANINI A., MASINI E. & CAVOZZI C. (2002) - *The role of the evaporites and associated metamorphic slices in the evolution of the Cerreto-Val Secchia area (Northern Apennines, Italy): an integrated approach*. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, **42** (1-2), 157.
- COSTANTINI A., DECANDIA F., GANDIN A., GIANNINI E., LAZZAROTTO A. & SANDRELLI F. (1980) - *Lo Pseudoverrucano nella Toscana meridionale*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **21**, 395–401.
- COSTANTINI A., DECANDIA F.A., LAZZAROTTO A., LIOTTA D., MAZZEI R., PASCUCCI V., SALVATORINI G. & SANDRELLI F. (2009) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 296 - Siena"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 129 pp.
- COSTANTINI A., LAZZAROTTO A., LIOTTA D., MAZZANTI R., MAZZEI R. & SALVATORINI G.F. (2002a) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 306 - Massa Marittima"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 172 pp.
- COSTANTINI A., LAZZAROTTO A., M. M., MAZZANTI R., SANDRELLI F. & TAVARNELLI E. (1995) - *Geologia della Provincia di Livorno a Sud del Fiume Cecina*. *Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno*, **13**, 1–164.
- COSTANTINI A., LAZZAROTTO A., MAZZANTI R., MAZZEI R., SALVATORINI G. & SANDRELLI F. (2002b) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 285 - Volterra"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 149 pp.
- CREMONINI G. & FARABEGOLI E. (1978) - *Tettonica sin-sedimentaria messiniana dell'Appennino romagnolo (Italia)*. *Rendiconti della Società Geologica Italiana*, **1**, 7–8.
- CREMONINI G. & RICCI LUCCHI F. (1982) - *Guida alla Geologia del Margine Appenninico-padano*. *Guide Geologiche Regionali*, Società Geologica Italiana, Roma, 248 pp.
- CRESCENTI U., CROSTELLA A., DONZELLI G. & RAFFI S. (1969) - *Stratigrafia della serie calcarea dal Lias al Miocene nella regione marchigiano-abruzzese (Parte II - Litostratigrafia, biostratigrafia, paleogeografia)*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **8**, 343–420.
- CRESCENTI U., D'OFFIZI S., MERLINO S. & SACCHI L. (2004) - *Geology of Italy. Special Volume of the Italian Geological Society for the IGC Florence 2004*. Società Geologica Italiana, Roma, 232 pp.
- CRESTA S., MONECHI S. & PARISI G. (1989) - *Mesozoic-Cenozoic stratigraphy in the Umbria-Marche area*, *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, vol. 39. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 185 pp.
- DALLAN L., PUCCINELLI A. & VERANI M. (1981) - *Geologia dell'appennino settentrionale tra l'alta val di Lima e Pistoia*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **100** (4), 567–586.
- DALLAN NARDI L. & NARDI R. (1972) - *Schema stratigrafico e strutturale dell'Appennino settentrionale*. *Memorie*

- dell'Accademia Lunigianese di Scienze "G. Capellini", **42**, 1–212.
- DALLMEYER R. & LIOTTA D. (1998) - *Extension, uplift of rocks and cooling ages in thinned crustal provinces: the Larderello Geothermal Area (Inner Northern Apennines, Italy)*. Geological Magazine, **135**, 193–202.
- DAMIANI A.V. (2011) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 336 - Spoleto"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 176 pp.
- DANIELE G., MOCHI E. & PLESI G. (1995) - *L'insieme ligure-emiliano dell'Appennino modenese: unità tettoniche e successioni stratigrafiche nella zona di Frassinoro*. Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A, **102**, 147–158.
- DANIELE G. & PLESI G. (2000) - *The Ligurian Helminthoid flysch units of the Emilian Apennines: stratigraphic and petrographic features, paleogeographic restoration and structural evolution*. Geodinamica Acta, **13**, 313–333.
- DE DONATIS M. (1993) - *Considerazioni stratigrafiche e tettoniche sulla successione Falterona-Vicchio nell'Alta Val Marecchia (Appennino Settentrionale)*. Giornale di Geologia, **55** (2), 35–49.
- DE DONATIS M., INVERNIZZI C., LANDUZZI A., MAZZOLI S. & POTETTI M. (1998) - *Crop 03: structure of the Montecalvo in Foglia-Adriatic sea segment*. Memorie della Società Geologica Italiana, **52**, 617–630.
- DE FEYTER A. (1991) - *Gravity tectonics and sedimentation of the Montefeltro, Italy*. Geologica ultraiectina, **35**, 1–168.
- DE FEYTER A.J., KOOPMAN A., MOLENAAR N. & VAN DEN ENDE C. (1986) - *Detachment tectonics and sedimentation, Umbro-Marchean Apennines (Italy)*. Memorie della Società Geologica Italiana, **105** (1-2), 65–85.
- DE JAGER J. (1979) - *The relation between tectonics and sedimentation along the Sillaro line (Northern Apennines, Italy)*. Geologica Ultraiectina, **19**, 1–98.
- DECANDIA F. & LAZZAROTTO A. (1980a) - *Le unità tettoniche del Monte Argentario (Toscana meridionale)*. Memorie della Società Geologica Italiana, **21**, 385–393.
- DECANDIA F. & LAZZAROTTO A. (1980b) - *L'Unità dello Pseudoverrucano negli affioramenti di Punta delle Rocchette, dei Monti dell'Uccellina e di Montebrandoli (Toscana meridionale)*. Memorie della Società Geologica Italiana, **21**, 403–412.
- DECANDIA F., LAZZAROTTO A. & LIOTTA D. (1993) - *La "Serie ridotta" nel quadro dell'evoluzione geologica della Toscana meridionale*. Memorie della Società Geologica Italiana, **49**, 181–191.
- DECANDIA F., LAZZAROTTO A., LIOTTA D., CERNOBORI L. & NICOLICH R. (1998) - *The Crop03 traverse: insights on post-collisional evolution of Northern Apennines*. Memorie della Società Geologica Italiana, **52**, 427–439.
- DECANDIA F.A. (1982) - *Geologia dei Monti di Spoleto (Provincia di Perugia)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **101**, 291–315.
- DECANDIA F.A. & ELTER P. (1972) - *La zona ofiolitifera del Bracco nel settore compreso tra Levante e la Val Graveglia (Appennino Ligure)*. Memorie della Società Geologica Italiana, **11**, 503–530.
- DEIANA G. (2009) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 302 - Tolentino"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 113 pp.
- DEIANA G. & PIALLI G. (1994) - *The structural provinces of the Umbro-Marchean Apennines*. Memorie della Società Geologica Italiana, **48**, 473–484.
- DEL MORO A., PUXEDDU M., RADICATI DI BROZOLO F. & VILLA I.M. (1982) - *Rb-Sr and K-Ar ages on minerals at temperatures of 300–400 °C from deep wells in the Larderello geothermal field (Italy)*. Contributions to Mineralogy and Petrology, **81** (4), 340–349.
- DEL TREDICI S. & PERILLI N. (1998) - *Stratigrafia ed evoluzione strutturale della Falda Toscana lungo la terminazione nord-occidentale delle Alpi Apuane (area di Castelpoggio-Tenerano Appennino Settentrionale)*. Atti Ticinensi di Scienze della Terra, **7**, 139–158.
- DELLA VEDOVA B., BELLANI S., PELLIS G. & SQUARCI P. (2001) - *Deep temperatures and surface heat flow distribution*. In: G.B. VAI & I.P. MARTINI (Eds.), *Anatomy of an Orogen: the Apennines and Adjacent Mediterranean Basins*, pp. 65–76. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- DI BUCCI D. & MAZZOLI S. (2002) - *Active tectonics of the Northern Apennines and Adria geodynamics: new data and a discussion*. Journal of Geodynamics, **34** (5), 687–707.
- DI CELMA C., PIERUCCINI P. & FARABOLLINI P. (2015) - *Major controls on architecture, sequence stratigraphy and paleosols of middle Pleistocene continental sediments ("Qc Unit"), eastern central Italy*. Quaternary Research, **83** (3), 565–581.
- DI GIULIO A. (1991) - *Detritismo nella parte orientale del Bacino Terziario Piemontese durante l'Eocene-Oligocene: composizione delle arenarie ed evoluzione tettono stratigrafica*. Atti Ticinensi di Scienze della Terra, **34**, 21–41.
- DI GIULIO A., MANCIN N. & MARTELLI L. (2002) - *Geohistory of the Ligurian orogenic wedge: first inferences from paleobathymetric data of the Epiligurian sediments*. Bollettino della Società Geologica Italiana, Volume speciale, **1**,

- 375–384.
- DI SABATINO B., NEGRETTI G. & POTENZA P.L. (1979) - *Metamorfismo ercinico ed alpino negli affioramenti del Passo del Cerreto (Appennino tosco-emiliano)*. Memorie della Società Geologica Italiana, **20**, 117–121.
- DINI A. (2003) - *Ore deposits, industrial minerals and geothermal resources*. Periodico di Mineralogia, **72** (2), 41 – 52.
- DOGLIONI C. (1984) - *Tettonica triassica compressiva nelle Dolomiti*. Giornale di Geologia, **46** (2), 47–60.
- DOGLIONI C. (1991) - *A proposal for the kinematic modelling of W-dipping subductions-possible applications to the Tyrrhenian-Appennines system*. Terra Nova, **3** (4), 423–434.
- DOGLIONI C., BELTRANDO M., CONTICELLI S., MATTEI M. & PECCERILLO A. (2010) - *The Geology of Italy: tectonics and life along plate margins*. Journal of Virtual Explorer, **36**.
- DOGLIONI C., GUEGUEN E., HARABAGLIA P. & MONGELLI F. (1999) - *On the origin of west-directed subduction zones and applications to the western Mediterranean*. In: B. DURAND, L. JOLIVET, F. HORVÁTH & M. SÉRANNE (Eds.), *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*, Special Publications, vol. 156, pp. 541–561. Geological Society London.
- DOGLIONI C., MONGELLI F. & PIALLI G. (1998) - *Boudinage of the Alpine belt in the Apenninic back-arc*. Memorie della Società Geologica Italiana, **52**, 457–468.
- ELTER F. & SANDRELLI F. (1994) - *La fase post-nappe nella Toscana meridionale: nuova interpretazione sull'evoluzione dell'Appennino settentrionale*. Atti Ticinensi di Scienze della Terra, **37**, 173–193.
- ELTER F.M. & PANDELI E. (1990) - *Alpine and Hercynian orogenic phases in the basement rocks of the Northern Apennines (Larderello geothermal fields, Southern Tuscany, Italy)*. Eclogae geologicae Helveticae, **83**, 241–264.
- ELTER P. (1973) - *Lineamenti tettonici ed evolutivi dell'Appennino Settentrionale*. In: B. SEGRE, B. ACCORDI, P. ELTER, L. OGNIBEN & A. SCHERILLO (Eds.), *Atti del Convegno sul Tema: Moderne Vedute sulla Geologia dell'Appennino*, Quaderni, vol. 183, pp. 97–109. Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.
- ELTER P. (1975) - *L'ensemble ligure*. Bulletin de la Société Géologique de France, **17**, 984–997.
- ELTER P., GRATZIU C. & LABESSE B. (1964) - *Sul significato dell'esistenza di una unità tettonica alloctona costituita da formazioni terziarie nell'Appennino settentrionale*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **83** (2), 373–394.
- ELTER P. & MARRONI M. (1991) - *Le Unità Liguri dell'Appennino settentrionale: sintesi dei dati e nuove interpretazioni*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, **46**, 121–138.
- ELTER P. & PERTUSATI P.C. (1973) - *Considerazioni sul limite Alpi-Appennino e sulle relazioni con l'arco delle Alpi occidentali*. Memorie della Società Geologica Italiana, **12**, 359–394.
- ELTER P. & RAGGI G. (1965) - *Contributo alla conoscenza dell'Appennino Ligure: 3) - Tentativo di interpretazione delle breccie ofiolitiche cretacee in relazione con i movimenti orogenetici nell'Appennino ligure*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **84** (5), 1–12.
- FARAONE D. & STOPPA F. (1990) - *Petrology and regional implications of Early Cretaceous Alkaline-Lamprophyres in the Ligure Maremmano Group (Southern Tuscany, Italy): an outline*. Ofioliti, **15** (1), 45–59.
- FAZZINI P. & PAREA G.C. (1966) - *Contributo alla conoscenza dello Pseudoverrucano*. Memorie della Società Geologica Italiana, **5** (3), 189–224.
- FAZZUOLI M., FERRINI G., PANDELI E. & SGUAZZONI G. (1985) - *Le formazioni giurassico-mioceniche della Falda Toscana a Nord dell'Arno: considerazioni sull'evoluzione sedimentaria*. Memorie della Società Geologica Italiana, **30**, 159–201.
- FAZZUOLI M., PANDELI E. & SANDRELLI F. (1996) - *Nuovi dati litostratigrafici sulla Scaglia Toscana (Scisti Policromi) dei Monti del Chianti (Appennino Settentrionale)*. Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A, **103**, 95–104.
- FAZZUOLI M., PANDELI E. & SANI F. (1994) - *Considerations on the sedimentary and structural evolution of the Tuscan domain since Early Triassic to Tortonian*. Memorie della Società Geologica Italiana, **48** (1), 31–50.
- FAZZUOLI M., SANI F., FERRINI G., GARZONIO C.A., SGUAZZONI G., BECARELLI S., BURCHIETTI G. & MANNORI G. (1998) - *Geologia del nucleo mesozoico della Val di Lima (province di Pistoia e Lucca, Appennino Settentrionale); note illustrative della carta geologica (scala 1:25.000)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **117** (2), 479–535.
- FIDOLINI F., GHINASSI M., MAGI M., PAPINI M. & SAGRI M. (2013) - *The Plio-Pleistocene fluvio-lacustrine Upper Valdarno Basin (central Italy): stratigraphy and basin fill evolution*. Italian Journal of Geosciences, **132** (1), 13–32.
- FINETTI I.R. (2005) - *CROP Project: Deep Seismic Exploration of the Central Mediterranean and Italy*, Atlases in Geoscience, vol. 1. Elsevier, 779 pp.
- FINETTI I.R., BOCCALETTI M., BONINI C., DEL BEN A., GELETTI R., PIPAN M. & SANI F. (2001) - *Crustal section based on*

- CROP seismic data across the North Tyrrhenian-Northern Apennines-Adriatic Sea*. Tectonophysics, **343**, 135–163.
- FIORONI C., FONTANA D., PANINI F. & PARMEGGIANI F. (1996) - *La successione Monte Venere-Monghidoro nell'Appennino modenese e bolognese*. Accademia Nazionale di Scienze, Lettere e Arti di Modena, Collana di Studi, **15**, 223–257.
- FONNESU M. & FELLETTI F. (2019) - *Facies and architecture of a sand-rich turbidite system in an evolving collisional-trench basin: a case history from the Upper Cretaceous-Palaeocene Gottero system (NW Apennines)*. Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia (Research In Paleontology and Stratigraphy), **125** (2), 449–487.
- FONTANA D., SPADAFORA E., STEFANI C., STOCCHI S., TATEO F., VILLA G. & ZUFFA G.G. (1994) - *The Upper Cretaceous Helminthoid flysch of the Northern Apennines: provenance and sedimentation*. Memorie della Società Geologica Italiana, **48**, 237–250.
- FORD T.D. & PEDLEY H.M. (1996) - *A review of tufa and travertine deposits of the world*. Earth-Science Reviews, **41** (3-4), 117–175.
- FORESI L., CORNAMUSINI G., BOSSIO A., MAZZEI R., SALVATORINI G. & ARGENTI P. (2000) - *La successione miocenica dell'Isola di Pianosa nel Mar Tirreno Settentrionale*. In: *Actes du Congrès Environnement et identité en Méditerranée*, pp. 175–178. Corte, juin 2000.
- FORESI L., PASCUCCI V. & SANDRELLI F. (1997a) - *Sedimentary and ichnofacies analysis of the Epiligurian Ponsano Sandstone (northern Apennines, Tuscany, Italy)*. Giornale di Geologia, **59**, 301–314.
- FORESI L.M., PASCUCCI V. & SANDRELLI F. (1997b) - *L'Arenaria Miocenica di Ponsano (Toscana, Italia): evoluzione paleoambientale e bio-cronostratigrafica*. Bollettino della Società Paleontologica Italiana, **36**, 213–231.
- FRANCESCHELLI M., GIANELLI G., PANDELI E. & PUXEDDU M. (2004) - *Variscan and Alpine metamorphic events in the northern Apennines (Italy): a review*. Periodico di Mineralogia, **73** (special issue 2), 43–56.
- FRANCESCHELLI M., LEONI L., MEMMI M. & PUXEDDU M. (1986) - *Regional distribution of Al-silicates and metamorphic zonation in the low-grade Verrucano metasediments from the Northern Apennines, Italy*. Journal of Metamorphic Geology, **4**, 309–321.
- FRANCESCHELLI M., MEMMI I., CARCANGIU G. & GIANELLI G. (1997) - *Prograde and retrograde chloritoid zoning in low temperature metamorphism, Alpi Apuane, Italy*. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, **77**, 41–50.
- FREGNI P. & PANINI F. (1988) - *Lacuna stratigrafica tra le Formazioni di Ranzano e di Antognola nelle zone di Roteglia e Montebaranzone (Appennino reggiano e modenese)*. Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia, **93**, 261–280.
- FROITZHEIM N. & MANATSCHAL G. (1996) - *Kinematics of Jurassic rifting, mantle exhumation, and passive margin formation in the Austroalpine and Penninic nappes (estern Switzerland)*. Geological Society of America Bulletin, **108** (9), 1120–1133.
- GALIBERTI A., GIANNELLI L., MAZZANTI R., SALVATORINI G. & SANESI G. (1982) - *Schema stratigrafico del Quaternario della zona compresa fra Castiglioncello, Guardistallo, S. Vincenzo (Toscana marittima)*. In: *Atti XXIII Riunione Scientifica Ist. It. Preist. e Protost., Firenze 7-9-Maggio 1980*, pp. 499–510.
- GANDIN A. (2012) - *Tectonic control on the sedimentary architecture of Early Mesozoic mixed siliciclastic-carbonate Pseudoverrucano successions (southern Tuscany, Italy)*. Italian Journal of Geosciences, **131** (1), 77–94.
- GANDOLFI G. & PAGANELLI L. (1992) - *Il Macigno costiero fra La Spezia e Grosseto*. Giornale di Geologia, **54** (1), 163–179.
- GARCIA-CASTELLANOS D., ESTRADA F., JIMÉNEZ-MUNT I., GORINI C., FERNÁNDEZ M., VERGÉS J. & DE VICENTE R. (2009) - *Catastrophic flood of the Mediterranean after the Messinian salinity crisis*. Nature, **462** (7274), 778–781.
- GASPERI G., BETTELLI G., PANINI F. & PIZZOLO M. (2005) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 219 - Sassuolo"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 195 pp.
- GENNARI R., MANZI V., ANGELETTI L., BERTINI A., BIFFI U., CEREGATO A., FARANDA C., GLIOZZI E., LUGLI S., MENICHETTI E., ROSSO A., ROVERI M. & TAVIANI M. (2013) - *A shallow water record of the onset of the Messinian salinity crisis in the Adriatic foredeep (Legnagnone section, Northern Apennines)*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **386**, 145–164.
- GHIELMI M., MINERVINI M., NINI C., ROGLEDI S. & ROSSI M. (2013) - *Late Miocene–Middle Pleistocene sequences in the Po Plain–Northern Adriatic Sea (Italy): the stratigraphic record of modification phases affecting a complex foreland basin*. Marine and Petroleum Geology, **42**, 50–81.
- GHIELMI M., SERAFINI G., ARTONI A., DI CELMA C. & PITTS A. (2019) - *From Messinian to Pleistocene: tectonic evolution and stratigraphic architecture of the Central Adriatic Foredeep (Abruzzo and Marche, Central Italy)*. In: *34th IAS Meeting of Sedimentology, Rome - Italy, September 10th-13th 2019, Field Trip A4 - Guide Book*, p. 44. International Association of Sedimentologists.
- GHINASSI M. (2011) - *Chute channels in the Holocene high-sinuosity river deposits of the Firenze plain, Tuscany, Italy*.

- Sedimentology, **58** (3), 618–642.
- GHINASSI M., FIDOLINI F., MAGI M. & SAGRI M. (2013) - *Depositional environments of the Plio-Pleistocene Upper Valdarno Basin (Tuscany, Italy)*. Italian Journal of Geosciences, **132** (1), 33–53.
- GIAMMARINO S., GIGLIA G., CAPPONI G., CRISPINI L. & PIAZZA M. (2002) - *Carta Geologica della Liguria*. Scala 1:250.000, Università di Genova - Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse, Genova.
- GIANNINI E. (1957) - *I fossili dell'arenaria di Manciano (Grosseto)*. Palaeontographia Italica, **51**, 97–103.
- GIANNINI E., LAZZAROTTO A. & SIGNORINI R. (1971) - *Lineamenti di stratigrafia e tettonica*. Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia, **27**, 33–168.
- GIORGETTI G., GOFFÉ B., MEMMI I. & NIETO F. (1998) - *Metamorphic evolution of Verrucano metasediments in northern Apennines: new petrological constraints*. European Journal of Mineralogy, **10**, 1295–1308.
- GUERRERA F. & TRAMONTANA M. (2011) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia 1:50.000 "Foglio 281 - Senigallia"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 116 pp.
- GUERRERA F. & TRAMONTANA M. (2012) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia 1:50.000 "Foglio 292 - Jesi"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 122 pp.
- GÜNTHER K. & REUTTER K.J. (1985) - *Il significato delle strutture dell'unità di M. Modino-M. Cervarola tra il Passo delle Radici e il M. Falterona in relazione alla tettonica dell'Appennino settentrionale*. Giornale di Geologia, **47** (1-2), 15–34.
- HOOGERDUIJN STRATING E.H. (1990) - *The evolution of the Piemonte-Ligurian ocean. A structural study of ophiolite complexes in Liguria (NW Italy)*. Geologica Ultraiectina, **74**, 1–127.
- HOOGERDUIJN STRATING E.H., RAMPONE E., PICCARDO G.B., DRURY M.R. & VISSERS R.L.M. (1993) - *Subsolidus emplacement of mantle peridotite during incipient oceanic rifting and opening of the Mesozoic Tethys (Voltri Massif, NW Italy)*. Journal of Petrology, **34**, 901–927.
- HOOGERDUIJN STRATING E.H. & VAN WAMEL W.A. (1989) - *The structure of the Bracco Ophiolite complex (Ligurian Apennines, Italy): a change from Alpine to Apennine polarity*. Journal of the Geological Society, **146** (6), 933–944.
- HSÜ K.J., MONTADERT L., BERNOULLI D., CITA M.B., ERICKSON A., GARRISON R.E., KIDD R.B., MÈLIERÉS F., MÜLLER C. & WRIGHT R. (1977) - *History of the Mediterranean salinity crisis*. Nature, **267** (5610), 399–403.
- HSÜ K.J., RYAN W.B.F. & CITA M.B. (1973) - *Late Miocene desiccation of the Mediterranean*. Nature, **242** (5395), 240–244.
- ICS (2018) - *International Commission on Stratigraphy, International Union of Geological Sciences (IUGS) - International Chronostratigraphic Chart - v. 2018/8*. www.stratigraphy.org.
- IELPI A. (2013) - *Frequency-reliant correlative patterns of asymmetric lacustrine–paralic sequences: a genetic approach to the late Miocene Bithynia marlstones of the southeastern Volterra Basin, Italy*. Journal of Sedimentary Research, **83** (5), 377–394.
- IELPI A. & CORNAMUSINI G. (2012) - *A progressive unconformity-bounded stratigraphic unit within extensional settings, SE Volterra Basin, Italy*. Rendiconti online della Società Geologica Italiana, **21**, 1047–1049.
- IELPI A. & CORNAMUSINI G. (2013) - *An outer ramp to basin plain transect: Interacting pelagic and calciturbidite deposition in the Eocene-Oligocene of the Tuscan Domain, Adria Microplate (Italy)*. Sedimentary Geology, **294**, 83–104.
- IELPI A. & CORNAMUSINI G. (2016) - *Geology of the late Miocene south-eastern Volterra Basin (Northern Apennines, Italy)*. Journal of Maps, **12** (1), 12–25.
- INNOCENTI I., SERRI G., FERRARA G., MANETTI P. & TONARINI S. (1992) - *Genesis and classification of the rocks of the Tuscan Magmatic Province: thirty years after Marinelli's model*. Acta Vulcanologica, **2**, 247–265.
- INVERNIZZI C., LANDUZZI A., NEGRI A. & POTETTI M. (1995) - *Stratigrafia ed evoluzione tettonico-sedimentaria miopliocenica dell'area pesarese tra il F. Foglia e il F. Metauro*. Studi Geologici Camerti, Volume speciale, **1995/1**, 451–464.
- JOLIVET L., DUBOIS R., FOURNIER M., GOFFÉ B., MICHARD A. & JOURDAN C. (1990) - *Ductile extension in Alpine Corsica*. Geology, **18**, 1007–1010.
- JOLIVET L., FACCENNA C., GOFFÉ B., MATTEI M., ROSSETTI F., BRUNET C., STORTI F., FUNICIELLO R., CADET J., D'AGOSTINO N. & PARRA T. (1998) - *Midcrustal shear zones in postorogenic extension: example from the northern Tyrrhenian Sea*. Journal of Geophysical Research, **103**, 12123–12160.
- KÄLIN O., PATACCA E. & RENZ O. (1979) - *Jurassic pelagic deposits from Southeastern Tuscany; aspects of sedimentation and new biostratigraphic data*. Eclogae geologicae Helveticae, **72** (3), 715–762.
- KLIGFIELD R. (1979) - *The Northern Apennines as a collision orogen*. American Journal of Science, **279** (6), 676–691.
- KLIGFIELD R., HUNZIKER J., DALLMEYER R.D. & SCHAMEL S. (1986) - *Dating of deformation phases using K-Ar and*

- ⁴⁰Ar/³⁹Ar techniques; results from the Northern Apennines. *Journal of Structural Geology*, **8** (7), 781–798.
- KRAMPE K.D. (1969) - *Sulla posizione dei terreni preliassici nell'Appennino tosco-emiliano fra Sassalbo e Busana (Massa-Carrara, Reggio Emilia)*. L'Ateneo Parmense - Acta Naturalia, **5** (1), 111–136.
- KRIJGSMAN W., HILGEN F.J., RAFFI I., SIERRO F.J. & WILSON D.S. (1999) - *Chronology, causes and progression of the Messinian salinity crisis*. *Nature*, **400** (6745), 652–655.
- LANDUZZI A. (1994) - *Relationships between the Marnoso-Arenacea formation of the inner Romagna units and the Ligurids (Italy)*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **48**, 523–534.
- LAVECCHIA G. (1985) - *Il sovrasconimento dei Monti Sibillini; analisi cinematica e strutturale*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **104** (1), 161–194.
- LAVECCHIA G., BONCIO P. & CREATI N. (2003) - *A lithospheric-scale seismogenic thrust in central Italy*. *Journal of Geodynamics*, **36** (1-2), 79–94.
- LAVECCHIA G., MINELLI G. & PIALLI G. (1983) - *Strutture plicative minori dell' Appennino umbro-marchigiano*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **102** (1), 95–112.
- LAVECCHIA G., MINELLI G. & PIALLI G. (1988) - *The Umbria-Marche arcuate fold belt (Italy)*. *Tectonophysics*, **146**, 125–137.
- LAZZAROTTO A., ALDINUCCI M., CIRILLI S., COSTANTINI A., DECANDIA F., PANDELI E., SANDRELLI F. & SPINA A. (2003) - *Stratigraphic correlation of the Upper Paleozoic-Triassic successions in southern Tuscany, Italy*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, Volume speciale, **2**, 25–35.
- LAZZAROTTO A., MARTELLINI F., MAZZANTI R., MAZZEI R. & SANDRELLI F. (1995) - *La Formazione di Lanciaia nelle aree a Sud di Micciano e a Nord di Montecerboli (Provincia di Pisa)*. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A*, **102**, 159–169.
- LAZZAROTTO A. & MAZZANTI R. (1976) - *Geologia dell'Alta Val di Cecina*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **95**, 1365–1487.
- LAZZAROTTO A., MAZZANTI R. & MAZZONCINI F. (1964) - *Geologia del Promontorio dell'Argentario (Grosseto) e del Promontorio del Franco (Isola del Giglio-Grosseto)*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **83**, 1–124.
- LAZZAROTTO A. & SANDRELLI F. (1979) - *Stratigrafia e assetto tettonico delle formazioni neogeniche nel bacino del Casino (Siena)*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **96**, 747–762.
- LAZZAROTTO A., SANDRELLI F., FORESI L.M., MAZZEI R., SALVATORINI G.F., CORNAMUSINI G. & PASCUCCHI V. (2002) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 295 - Pomarance"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 140 pp.
- LEMOINE M., BOILLOT G. & TRICART P. (1987) - *Ultramafic and gabbroic ocean floor of the Ligurian Tethys (Alps, Corsica, Apennines): in search of a genetic model*. *Geology*, **15** (7), 622–625.
- LEONI L., MONTOMOLI C. & CAROSI R. (2009) - *Il metamorfismo delle unità tettoniche dei Monti Pisani (Appennino settentrionale)*. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A*, **114**, 61–73.
- LEONI L. & PERTUSATI P.C. (2003) - *Il metamorfismo dei depositi clastici triassici di Lerici-S. Terenzo, del Passo del Cerreto, di Collagna (Val di Secchia) e di Soraggio (Appennino Settentrionale)*. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A*, **108**, 113–124.
- LIOTTA D. (1991) - *The Arbia-Val Marecchia line (Northern Apennines)*. *Eclogae geologicae Helvetiae*, **84** (2), 413–430.
- LIOTTA D., BROGI A., MECCHERI M., DINI A., BIANCO C. & RUGGIERI G. (2015) - *Coexistence of low-angle normal and high-angle strike- to oblique-slip faults during Late Miocene mineralization in eastern Elba Island (Italy)*. *Tectonophysics*, **660**, 17–34.
- LO PÒ D., BRAGA R. & MASSONNE H.J. (2016a) - *Petrographic, mineral and pressure–temperature constraints on phyllites from the Variscan basement at Punta Bianca, Northern Apennines, Italy*. *Italian Journal of Geosciences*, **135** (3), 489–502.
- LO PÒ D., BRAGA R., MASSONNE H.J., MOLLI G., MONTANINI A. & BARGOSSO G.M. (2018) - *High-pressure tectono-metamorphic evolution of mylonites from the Variscan basement of the Northern Apennines, Italy*. *Journal of Metamorphic Geology*, **36**, 23–39.
- LO PÒ D., BRAGA R., MASSONNE H.J., MOLLI G., MONTANINI A. & THEYE T. (2016b) - *Fluid-induced breakdown of monazite in medium-grade metasedimentary rocks of the Pontremoli basement (Northern Apennines, Italy)*. *Journal of Metamorphic Geology*, **34**, 63–84.
- LUCENTE C.C., MANZI V., RICCI LUCCHI F. & ROVERI M. (2002) - *Did the Ligurian Sheet cover the whole thrust belt in Tuscany and Romagna Apennines? Some evidences from gravity emplaced deposits*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, Volume speciale, **1**, 393–398.

- LUCENTE C.C. & PINI G.A. (2008) - *Basin-wide mass-wasting complexes as markers of the Oligo-Miocene foredeep-accretionary wedge evolution in the Northern Apennines, Italy*. Basin Research, **20** (1), 49–71.
- LUGLI S., MORTEANI G. & BLAMART D. (2002) - *Petrographic, REE, fluid inclusion and stable isotope study of magnesite from the Upper Triassic Burano Evaporites (Secchia Valley, northern Apennines): contributions from sedimentary, hydrothermal and metasomatic sources*. Mineralium Deposita, **37**, 480–494.
- MALAVIEILLE J., MOLLI G., GENTI M., DOMINGUEZ S., BEYSSAC O., TABOADA A., VITALE-BROVARONE A., CHIA-YU L. & CHIH-TUNG C. (2016) - *Formation of ophiolite-bearing tectono-sedimentary mélanges in accretionary wedges by gravity driven submarine erosion: Insights from analog models and case studies*. Journal of Geodynamics, **100**, 87–103.
- MALINVERNO A. & RYAN W.B.F. (1986) - *Extension in the Tyrrhenian Sea and shortening in the Apennines as result of arc migration driven by sinking of the lithosphere*. Tectonics, **5**, 227–246.
- MANATSCHAL G. (2004) - *New models for evolution of magma-poor rifted margins based on a review of data and concepts from West Iberia and the Alps*. International Journal of Earth Sciences, **93** (3), 432–466.
- MANATSCHAL G. & BERNOULLI D. (1999) - *Architecture and tectonic evolution of nonvolcanic margins: present-day Galicia and ancient Adria*. Tectonics, **18** (6), 1099–1119.
- MANCIN N., MARTELLI L. & BARBIERI C. (2006) - *Foraminiferal biostratigraphic and paleobathymetric constraints in geohistory analysis: The example of the Epiligurian succession of the Secchia Valley (northern Apennines, Mid Eocene-Late Miocene)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **125** (2), 163–186.
- MANTOVANI E., BABBUCCI D., TAMBURELLI C. & VITI M. (2009) - *A review on the driving mechanism of the Tyrrhenian–Apennines system: Implications for the present seismotectonic setting in the Central-Northern Apennines*. Tectonophysics, **476** (1-2), 22–40.
- MANZI V., GENNARI R., HILGEN F., KRIJGSMAN W., LUGLI S., ROVERI M. & SIERRO F.J. (2013) - *Age refinement of the Messinian salinity crisis onset in the Mediterranean*. Terra Nova, **25** (4), 315–322.
- MANZI V., LUGLI S., RICCI LUCCHI F. & ROVERI M. (2005) - *Deep-water clastic evaporites deposition in the Messinian Adriatic foredeep (northern Apennines, Italy): did the Mediterranean ever dry out?* Sedimentology, **52**, 875–902.
- MARCHI A., CATANZARITI R. & PANDOLFI L. (2017) - *Calcareous nannofossil biostratigraphy: a tool for deciphering the stratigraphic evolution of the Mt. Modino Unit*. Italian Journal of Geosciences, **136** (2), 171–185.
- MARINI M. (1991) - *Considerations on the sandstone bodies of the Monte Gottero Unit west of the Bracco Massif (Ligurian Apennines, Italy)*. Giornale di Geologia, **53** (2), 207–208.
- MARINI M. (1994) - *Le arenarie di Monte Gottero nella sezione del M. Ramaceto (Unità del Monte Gottero, Appennino Ligure)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **113** (283-302).
- MARRONI M., MENEGHINI F. & PANDOLFI L. (2010) - *Anatomy of the Ligure-Piemontese subduction system: evidence from Late Cretaceous–middle Eocene convergent margin deposits in the Northern Apennines, Italy*. International Geology Review, **52** (10-12), 1160–1192.
- MARRONI M., MENEGHINI F. & PANDOLFI L. (2017) - *A revised subduction inception model to explain the Late Cretaceous, double vergent orogen in the pre-collisional Western Tethys: evidence from the Northern Apennines*. Tectonics, **36**, 2227–2249.
- MARRONI M., MOLLI G., MONTANINI A. & TRIBUZIO R. (1998) - *The association of continental crust rocks with ophiolites in the Northern Apennines (Italy): implications for the continent-ocean transition in the Western Tethys*. Tectonophysics, **292**, 43–66.
- MARRONI M., MOLLI G., OTTRIA G. & PANDOLFI P. (2001) - *Tectono-sedimentary evolution of the External Liguride units (Northern Apennines, Italy): insights in the pre-collisional history of a fossil ocean-continent transition zone*. Geodinamica Acta, **14**, 307–320.
- MARRONI M., MONECHI S., PERILLI N., PRINCIPI G. & TREVES B. (1992) - *Late Cretaceous flysch deposits of the Northern Apennines, Italy: age of inception of orogenesis-controlled sedimentation*. Cretaceous Research, **13**, 487–504.
- MARRONI M., MORATTI G., COSTANTINI A., CONTICELLI S., BENVENUTI M.G., PANDOLFI L., BONINI M., CORNAMUSINI G. & LAURENZI M.A. (2015a) - *Geology of the Monte Amiata region, Southern Tuscany, Central Italy*. Italian Journal of Geosciences, **134** (2), 171–199.
- MARRONI M., PANDELI E., PANDOLFI L. & CATANZARITI R. (2015b) - *Updated picture of the Ligurian and Sub-Ligurian units in the Mt. Amiata area (Tuscany, Italy): elements for their correlation in the framework of the Northern Apennines*. Italian Journal of Geosciences, **134** (2), 200–218.
- MARRONI M. & PANDOLFI L. (2001) - *Debris flow and slide deposits at the top of the Internal Liguride ophiolitic sequence, Northern Apennines, Italy: a record of frontal tectonic erosion in a fossil accretionary wedge*. The Island Arc, **10** (1), 9–21.

- MARTELLI L. (2002) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 265 - Bagno di Romagna"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 106 pp.
- MARTELLI L., CIBIN U., DI GIULIO A. & CATANZARITI R. (1998) - *Litostratigrafia della Formazione di Ranzano (Priaboniano-Rupeliano, Appennino Settentrionale e Bacino Terziario Piemontese)*. Bollettino della Società Geologica italiana, **117** (1), 151–185.
- MARTINI G. & PLESI G. (1988) - *Scaglie tettoniche divelte dal complesso di M. Modino e trascinate alla base delle unità Subligure e Ligure; gli esempi del M. Ventasso e del M. Cisa (Appennino Reggiano)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **107** (1), 171–191.
- MARTINI I., CASCELLA A. & RAU A. (1995) - *The Manciano Sandstone: a shoreface deposit of Miocene basin of the Northern Apennines, Italy*. Sedimentary Geology, **99**, 37–59.
- MARTINI I.P., RAU A. & TONGIORGI M. (1986) - *Syntectonic sedimentation in a Middle triassic Rift, Northern Apennines, Italy*. Sedimentary Geology, **47** (3-4), 191–219.
- MARTINI I.P. & SAGRI M. (1977) - *Sedimentary fillings of ancient deep-sea channels: two examples from Northern Apennines (Italy)*. Journal of Sedimentary Petrology, **47** (4), 1542–1553.
- MARTINI I.P. & SAGRI M. (1993) - *Tectono-sedimentary characteristics of Late Miocene-Quaternary extensional basins of the Northern Apennines*. Earth-Science Reviews, **34**, 197–233.
- MARTINI I.P., SAGRI M. & COLELLA A. (2001) - *Neogene-Quaternary basins of the inner Apennines and Calabrian arc*. In: G.B. VAI & I.P. MARTINI (Eds.), *Anatomy of an Orogen: the Apennines and Adjacent Mediterranean Basins*, pp. 375–400. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- MARTINI B. & PIERI M. (1964) - *Alcune notizie sulla formazione evaporitica del Triassico superiore nell'Italia centrale e meridionale*. Memorie della Società Geologica Italiana, **4** (1), 649–678.
- MASSARI F. (1986) - *Some thoughts on the Permo-Triassic evolution of the South-Alpine area (Italy)*. Memorie della Società Geologica Italiana, **34**, 179–188.
- MAUFFRET A. & CONTRUCCI I. (1999) - *Crustal structure of the North Tyrrhenian Sea: first result of the multichannel seismic LISA cruise*. In: B. DURAND, L. JOLIVET, F. HORVATH & M. SÉRANNE (Eds.), *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension Within the Alpine Orogen*, Special Publications, vol. 156, pp. 169–193. Geological Society of London, London.
- MAUFFRET A., CONTRUCCI I. & BRUNET C. (1999) - *Structural evolution of the Northern Tyrrhenian Sea from new seismic data*. Marine and Petroleum Geology, **16**, 381–407.
- MAZZANTI R. (1983) - *Il punto sul Quaternario della fascia costiera e dell'arcipelago di Toscana*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **102** (4), 419–556.
- MAZZANTI R., MAZZEI R., MENESINI E. & SALVATORINI G. (1981) - *L'Arenaria di Ponsano: nuove precisazioni sopra l'età*. In: *IX Convegno della Società Paleontologica Italiana*, pp. 135–160. Società Paleontologica Italiana, Pisa.
- MAZZONCINI F. (1965) - *L'Isola di Gorgona. Studio geologico e petrografico*. Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A, **72**, 186–237.
- MENICHETTI M., DE FEYTER A. & CORSI M. (1991) - *Crop 03 - Il tratto Val Tiberina-Mare Adriatico sezione geologica e caratterizzazione tettonico-sedimentaria delle avansosse della zona umbro-marchigiano-romagnola*. Studi Geologici Camerti, Volume speciale, **1991/1**, 279–293.
- MENICHETTI M. & PIALLI G. (1986) - *Geologia strutturale del Preappennino umbro tra i Monti di Gubbio e la catena del M. Petrano-M. Cucco (Appennino Umbro-Marchigiano)*. Memorie della Società Geologica Italiana, **35** (1), 371–388.
- MERLA G. (1951) - *Geologia dell'Appennino settentrionale*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **70**, 95–382.
- MEZZADRI G. (1963) - *Petrografia delle Arenarie di Ostia*. Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia, **20**, 193–228.
- MICARELLI A. & CANTALAMESSA G. (2006) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 314 - Montegiorgio"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 90 pp.
- MILLI S., MOSCATELLI M., STANZIONE O. & FALCINI F. (2007) - *Sedimentology and physical stratigraphy of the Messinian turbidite deposits of the Laga basin (central Apennines, Italy)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **126** (2), 255–281.
- MOCHI E., PLESI G. & VILLA G. (1995) - *Biostratigrafia a nannofosili calcarei della parte basale della successione del M. Modino (nell'area dei Fogli 234 e 235) ed evoluzione strutturale dell'unità omonima*. Studi Geologici Camerti, **13**, 39–73.
- MOLLI G. (2008) - *Northern Apennine-Corsica orogenic system: an updated overview*. In: S. SIEGESMUND, B. FUGENSCHUH & N. FROITZHEIM (Eds.), *Tectonic Aspects of the Alpine-Dinaride-Carpathian System*, Geological Society of London Special Publications, vol. 298, pp. 413–442. Geological Society of London, London.

- MOLLI G., GIORGETTI G. & MECCHERI M. (2000) - *Structural and petrological constraints on the tectono-metamorphic evolution of the Massa Unit (Alpi Apuane, NW Tuscany, Italy)*. Geological Journal, **35**, 251–264.
- MOLLI G. & MALAVIEILLE J. (2011) - *Orogenic processes and the Corsica/Apennines geodynamic evolution: insights from Taiwan*. International Journal of Earth Sciences, **100**, 1207–1224.
- MOLLI G., MONTANINI A. & FRANK W. (2002) - *Morb-derived Variscan amphibolites in the Northern Apennine basement: The Cerreto metamorphic slices (Tuscan-Emilian Apennine, NW Italy)*. Ofioliti, **27** (1), 17–30.
- MOLLI G., VITALE BROVARONE A., BEYSSAC O. & CINQUINI I. (2018) - *RSCM thermometry in the Alpi Apuane (NW Tuscany, Italy): New constraints for the metamorphic and tectonic history of the inner northern Apennines*. Journal of Structural Geology, **113**, 200–2016.
- MONTANARI L. & ROSSI M. (1982) - *Evoluzione delle unità stratigrafico-strutturali terziarie del nordappennino; 1) L'Unità di Canetolo*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **101** (2), 275–289.
- MONTOMOLI C., CAROSI R. & PERTUSATI P.C. (2009) - *Tectonic history of the Monti dell'Uccellina range, Southern Tuscany, Italy*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **128**, 515–526.
- MORETTI A. (1991) - *Stratigrafia e rilevamento geologico dell'area di Monte Leoni-Roselle (Grosseto)*. Studi Geologici Camerti, Volume speciale, **1991/1**, 149–153.
- MUSUMECI G., MAZZARINI F., TIEPOLO M. & DI VINCENZO G. (2011) - *U-Pb and ⁴⁰Ar-³⁹Ar geochronology of Palaeozoic units in the northern Apennines: determining protolith age and alpine evolution using the Calamita Schist and Ortano Porphyroid*. Geological Journal, **46** (4), 288–310.
- MUTTI E., LUCCHI F.R., SEGURET M. & ZANZUCCHI G. (1984) - *Seismoturbidites: a new group of resedimented deposits*. Marine Geology, **55** (1-2), 103–116.
- MUTTI E., PAPANI L., DI BIASE D., DAVOLI G., MORA S., SEGADELLI S. & TINTERRI R. (1995) - *Il Bacino Terziario Epimesoalpino e le sue implicazioni sui rapporti tra Alpi ed Appennino*. Memorie di Scienze Geologiche, **47**, 217–244.
- NALIN R., GHINASSI M., FORESI L.M. & DALLANAVE E. (2016) - *Carbonate deposition in restricted basins: a Pliocene case study from the central Mediterranean (northwestern Apennines), Italy*. Journal of Sedimentary Research, **86** (3), 236–267.
- NARDI R. (1965) - *Schema geologico dell'Appennino tosco-emiliano tra il Monte Cusna e il Monte Cimone e considerazioni sulle unità tettoniche dell'Appennino*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **83** (4), 353–400.
- NILSEN T.H. & ABBATE E. (1984) - *Submarine-fan facies associations of the Upper Cretaceous and Paleocene Gottero Sandstone, Ligurian Apennines, Italy*. Geo-Marine Letters, **3** (2), 193–197.
- NIRTA G., PANDELI E., PRINCIPI G., BERTINI G. & CIPRIANI N. (2005) - *The Ligurian Units of Southern Tuscany*. Bollettino della Società Geologica Italiana, Volume speciale, **3**, 29–54.
- NIRTA G., PRINCIPI G. & VANNUCCHI P. (2007) - *The Ligurian Units of Western Tuscany (Northern Apennines): insight on the influence of pre-existing weakness zones during ocean closure*. Geodinamica Acta, **20** (1-2), 71–97.
- ORI G., SERAFINI G., VISENTIN C., LUCCHI F.R., CASNEDI R., COLALONGO M. & MOSNA S. (1993) - *Depositional history of the Pliocene-Pleistocene Adriatic foredeep (Central Italy) from surface and subsurface data*. In: A.M. SPENCER (Ed.), *Generation, Accumulation and Production of Europe's Hydrocarbons III*, Special Publication of the European Association of Petroleum Geoscientists, vol. 3, pp. 233–258. Springer.
- ORI G.C., ROVERI M. & VANNONI F. (1986) - *Plio-Pleistocene sedimentation in the Apenninic-Adriatic foredeep (Central Adriatic Sea, Italy)*. In: *Foreland Basins*, International Association of Sedimentologists Special Publications, vol. 8, pp. 183–198. Blackwell Scientific Publications.
- ORI G.G. & FRIEND P.F. (1984) - *Sedimentary basins formed and carried piggyback on active thrust sheets*. Geology, **12**, 475–478.
- ORSZAG-SPERBER F. (2006) - *Changing perspectives in the concept of "Lago-Mare" in Mediterranean Late Miocene evolution*. Sedimentary Geology, **188**, 259–277.
- PANDELI E., BARTOLINI C., DINI A. & ANTOLINI E. (2010) - *New data on the paleogeography of Southern Tuscany (Italy) since Late Miocene time*. International Journal of Earth Sciences, **99**, 1357–1381.
- PANDELI E., BERTINI G., CASTELLUCCI P., MORELLI M. & MONECHI S. (2005a) - *The sub-Ligurian and Ligurian units of the Mt. Amiata geothermal region (south-eastern Tuscany): new stratigraphic and tectonic data and insights into their relationships with the Tuscan Nappe*. Bollettino della Società Geologica Italiana, Volume speciale, **3**, 55–71.
- PANDELI E., FAZZUOLI M., SANDRELLI F., MAZZEI R., MONECHI S., NOCCHI M., MARTINI I. & VALLERI G. (2018) - *The Scaglia Toscana Formation of the Monti del Chianti: new lithostratigraphic and biostratigraphic data*. Italian Journal of Geosciences, **137** (1), 38–61.

- PANDELI E., GIANELLI G. & MORELLI M. (2005b) - *The crystalline units of the middle-upper crust of the Larderello geothermal region (southern Tuscany, Italy); new data for their classification and tectono-metamorphic evolution*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **Volume Speciale 3**, 139–155.
- PANDELI E., GIANELLI G., PUXEDDU M. & ELTER F.M. (1994) - *The Paleozoic basement of the northern Apennines: stratigraphy, tectono-metamorphic evolution and Alpine hydrothermal processes*. Memorie della Società Geologica Italiana, **48**, 627–654.
- PANDOLFI L. (1996) - *Le arenarie del M. Gottero nella sezione di Punta Mesco (Campaniano sup.-Paleocene inf., Appennino settentrionale): analisi stratigrafica e petrografica della parte proximale di un sistema torbiditico*. Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A, **103**, 197–208.
- PAPANI G., DE NARDO M.T., BETTELLI G., RIO D., TELLINI C. & VERNIA L. (2002) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 218 - Castelnuovo ne' Monti"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 140 pp.
- PAPANI G. & ZANZUCCHI G. (1969) - *Nuove unità litostratigrafiche dell'Appennino emiliano: il Flysch di Monte Cassio*. L'Ateneo Parmense - Acta Naturalia, **5** (1), 1–16.
- PAREA G.C. (1961) - *Contributo alle conoscenze del Flysch ad Elmintoidi dell'Appennino settentrionale. Strutture sedimentarie, modo di deposizione e direzione di apporto*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **80** (3), 185–214.
- PASCUCCI V., COSTANTINI A., MARTINI I.P. & DRINGOLI R. (2006) - *Tectono-sedimentary analysis of a complex, extensional, Neogene basin formed on thrust-faulted, Northern Apennines hinterland: Radicofani Basin, Italy*. Sedimentary Geology, **183** (1-2), 71–97.
- PASCUCCI V., MARTINI I.P., SAGRI M. & SANDRELLI F. (2007) - *Effects of transverse structural lineaments on the Neogene-Quaternary basins of Tuscany (inner Northern Apennines, Italy)*. In: G. NICHOLS, C. PAOLA & E.A. WILLIAMS (Eds.), *Sedimentary Processes, Environments and Basins – A Tribute to Peter Friend*, International Association of Sedimentologists Special Publication, vol. 38, pp. 155–183. Blackwell Publishing.
- PASCUCCI V., MERLINI S. & MARTINI I.P. (1999) - *Seismic stratigraphy of the Miocene-Pleistocene sedimentary basins of the Northern Tyrrhenian Sea and western Tuscany*. Basin Research, **11**, 337–356.
- PASQUARÈ G., CHIESA S., VEZZOLI L. & ZANCHI A. (1983) - *Evoluzione paleogeografica e strutturale di parte della Toscana meridionale a partire dal Miocene superiore*. Memorie della Società Geologica Italiana, **25**, 145–157.
- PASSERI L. (1985) - *Il Trias dell'Unità di Punta Bianca*. Memorie della Società Geologica Italiana, **30**, 105–114.
- PATACCA E., SARTORI R. & SCANDONE P. (1990) - *Tyrrhenian basin and Apenninic arcs: Kinematic relation since late Tortonian times*. Memorie della Società Geologica Italiana, **45**, 425–451.
- PATACCA E. & SCANDONE P. (1985) - *Struttura geologica dell'Appennino emiliano-romagnolo: ipotesi sismotettoniche*. In: *Atti del Seminario "Progetto Cartografia Geologica"*, Bologna, 22-23 Febbraio 1985, pp. 102–118. Regione Emilia-Romagna, Bologna.
- PATACCA E. & SCANDONE P. (1989) - *Post-Tortonian mountain building in the Apennines. The role of the passive sinking of a relic lithospheric slab*. In: A. BORIANI, M. BONAFEDE, G.B. PICCARDO & G.B. VAI (Eds.), *The Lithosphere in Italy*, Atti dei Convegni Lincei, vol. 80, pp. 157–176. Roma.
- PAUSELLI C., BARCHI M.R., FEDERICO C., MAGNANI M.B. & MINELLI G. (2006) - *The crustal structure of the northern Apennines (Central Italy): an insight by the CROP03 seismic line*. American Journal of Science, **306** (6), 428–450.
- PECCERILLO A. (2002) - *Plio-Quaternary magmatism in Central-Southern Italy: a new classification scheme for volcanic provinces and its geodynamic implications*. Bollettino della Società Geologica Italiana, Volume speciale, **1**, 113–127.
- PECCERILLO A. (2017) - *Cenozoic Volcanism in the Tyrrhenian Sea Region*. Advances in Volcanology, Springer International Publishing, 399 pp.
- PECCERILLO A. & FREZZOTTI M.L. (2015) - *Magmatism, mantle evolution and geodynamics at the converging plate margins of Italy*. Journal of the Geological Society of London, **172** (4), 407–427.
- PERILLI N., CATANZARITI R., CASCELLA A. & NANNINI D. (2009) - *The Calcari di Groppo del Vescovo Formation (Subligurian Units; Northern Apennines, Italy): new dating based on calcareous nannofossils*. Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A, **114**, 75–83.
- PERRONE V., MARTIN-ALGARRA A., CRITELLI S., DECANDIA F., D'ERRICO M., ESTEVEZ A., IANNACE A., LAZZAROTTO A., MARTIN-MARTIN M., MARTIN-ROJAS I., MAZZOLI S., MESSINA A., MONGELLI G., VITALE S. & ZAGHLOUL M. (2006) - *"Verrucano" and "Pseudoverrucano" in the Central-Western Mediterranean Alpine Chains: palaeogeographical evolution and geodynamic significance*. In: G. MORATTI & A. CHALAOUAN (Eds.), *Tectonics of the Western Mediterranean and North Africa*, Geological Society of London Special Publications, vol. 262, pp. 1–43. Geological Society of London.
- PIALLI G., BARCHI M. & MINELLI G. (1998) - *Results of the CROP03 deep seismic reflection profile*, Memorie della Società

- Geologica Italiana, vol. 52. Società Geologica Italiana, Roma, 657 pp.
- PIALLI G., PLESI G., DAMIANI A.V. & BROZZETTI F. (2009) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 289 - Città di Castello"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 133 pp.
- PIAZZA A., ARTONI A. & OGATA K. (2016) - *The Epiligurian wedge-top succession in the Enza Valley (Northern Apennines): evidence of a syn-depositional transpressive system*. Swiss Journal of Geosciences, **109** (1), 17–36.
- PIAZZA A. & TINTERRI R. (2020) - *Mass-transport deposits in the foredeep basin of the Miocene Cervarola Sandstones Formation (Northern Apennines, Italy)*. In: K. OGATA, A. FESTA & G.A. PINI (Eds.), *Submarine Landslides: Subaqueous Mass-Transport Deposits from Outcrops to Seismic Profiles*, Geophysical Monograph, vol. 247, pp. 27–43. American Geophysical Union.
- PICCARDO G., RAMPONE E. & SCAMBELLURI M. (1994) - *Ophiolitic peridotites from Liguria (NW Italy): implications on rifting and subduction processes*. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, **36**, 221–242.
- PICOTTI V. & PAZZAGLIA F.J. (2008) - *A new active tectonic model for the construction of the Northern Apennines mountain front near Bologna (Italy)*. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, **113** (B08412), 1–24.
- PIERANTONI P., DEIANA G. & GALDENZI S. (2013) - *Stratigraphic and structural features of the Sibillini Mountains (Umbria-Marche Apennines, Italy)*. Italian Journal of Geosciences, **132** (3), 497–520.
- PIERANTONI P.P., CHICCO J., COSTA M. & INVERNIZZI C. (2019) - *Plio-Quaternary transpressive tectonics: a key factor for the structural evolution of the outer Apennine-Adriatic system (Italy)*. Journal of the Geological Society, **176**, 1273–1283.
- PIERI M. & GROPPi G. (1981) - *Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy*, Progetto Finalizzato Geodinamica, Sottoprogetto "Modello Strutturale", vol. 414. C.N.R., Roma.
- PINI G.A. (1999) - *Tectonosomes and Olistostromes in the Argille Scagliose of the Northern Apennines, Italy*, Geological Society of America Special Paper, vol. 335. Geological Society of America, Boulder, 70 pp.
- PIZZIOLO M. & RICCI LUCCHI F. (1991) - *Le Marne di Vicchio nel quadro evolutivo dei bacini oligo-miocenici dell'Appennino Settentrionale (Zona del Casentino)*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, **66**, 287–300.
- PLESI, CHICCHI S., DANIELE & PALANDRI S. (2000) - *La struttura dell'alto Appennino reggiano-parmense, fra Valditacca, il Passo di Pradarena e il M. Ventasso*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **119**, 267–296.
- PLESI, DANIELE G., BOTTI F. & PALANDRI S. (2002a) - *Carta strutturale dell'alto Appennino tosco-emiliano (scala 1:100.000) fra il Passo della Cisa e il Corno alle Scale*. Atti del Terzo Seminario sulla Cartografia Geologica, Bologna 26-27 Febbraio 2002.
- PLESI G. (1974) - *L'Unità di Canetolo nella struttura di Bobbio (Val Trebbia), Montegroppi (Val Gotra) e lungo la trasversale Cinque Terre - Pracchiola*. Atti Società Toscana de Scienze Naturali, Memorie, Serie A, **81**, 121–151.
- PLESI G. (1975a) - *La giacitura del complesso Bratica-Petrignacola nella serie del Rio di Roccaferara (Val Parma) e dei Flysch arenacei tipo cervarola dell'Appennino settentrionale*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **94**, 157–176.
- PLESI G. (1975b) - *La nappe de Canetolo*. Bulletin de la Société Géologique de France, **17** (6), 979–983.
- PLESI G. (2002) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 235 - Pievepelago"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 138 pp.
- PLESI G. (2010) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 299 - Umbertide"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 142 pp.
- PLESI G., GALLI M. & DANIELE G. (2002b) - *The Monti Rognosi Ophiolitic Unit (cfr. Calvana Unit Auct.) paleogeographic position in the External Ligurian Domain, relationships with the tectonic units derived from the Adriatic margin*. Bollettino della Società Geologica Italiana, Volume speciale, **1**, 273–284.
- POLI G. (2004) - *Genesis and evolution of Miocene-Quaternary intermediate-acid rocks from the Tuscan Magmatic Province*. Periodico di Mineralogia, **73** (1), 187–214.
- PONZANA L. (1993) - *Caratteri sedimentologici e petrografici della Formazione di Monte Morello (Eocene inferiore-medio, Appennino Settentrionale)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **112**, 201–218.
- PRETI D. (1999) - *Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna*. Scala 1:250.000. Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna, Bologna.
- PRINCIPI G. (1994) - *Stratigraphy and evolution of the northern Apennine accretionary wedge with particular regard to the ophiolitic sequences: a review*. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, **36** (141-144), 243–269.
- PRINCIPI G., BORTOLOTTI V., CHIARI M., CORTESOGNO L., GAGGERO L., MARCUCCI M., SACCANI E. & TREVES B. (2004) - *The pre-orogenic volcano-sedimentary covers of the western Tethys oceanic basin: a review*. Ofioliti, **29** (2), 177–211.
- PRINCIPI G., BORTOLOTTI V., PANDELI E., FANUCCI F., BENVENUTI M., CHIARI M., DINI A., FAZZUOLI M., MENNA F.,

- MORELLI D., MORETTI S., NIRTA G. & REALE V. (2015) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 316, 317, 328, 329 - Isola d'Elba"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 263 pp.
- PRINCIPI G. & TREVES B. (1984) - *Il sistema corso-appenninico come prisma d'accrescimento. Riflessi sul problema generale del limite Alpi-Appennini*. Memorie della Società Geologica Italiana, **28**, 549–576.
- RAU A. (1993) - *Paleozoico toscano: da segmento della catena Varisica sud-europea a margine passivo alpidico peri-adriatico*. Memorie della Società Geologica Italiana, **49**, 325–334.
- RAU A. & TONGIORGI M. (1974) - *Geologia dei Monti Pisani a Sud-Est della Valle del Guappero*. Memorie della Società Geologica Italiana, **13** (3), 227–408.
- RAU A., TONGIORGI M. & MARTINI I.P. (1985) - *La successione di Punta Bianca: un esempio di rift "abortivo" nel Trias medio del Dominio Toscano*. Memorie della Società Geologica Italiana, **30**, 115–125.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) - *Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna, Bologna.
- REMITTI F., BETTELLI G., PANINI F., CARLINI M. & VANNUCCHI P. (2012) - *Deformation, fluid flow, and mass transfer in the forearc of convergent margins: A two-day field trip in an ancient and exhumed erosive convergent margin in the Northern Apennines*. In: P. VANNUCCHI & D. FISHER (Eds.), *Deformation, Fluid Flow, and Mass Transfer in the Forearc of Convergent Margins: Field Guides to the Northern Apennines in Emilia and in the Apuan Alps (Italy)*, Geological Society of America Field Guide, vol. 28, pp. 1–34. The Geological Society of America.
- REMITTI F., BETTELLI G. & VANNUCCHI P. (2007) - *Internal structure and tectonic evolution of an underthrust tectonic mélange: The Sestola-Vidiciatico tectonic unit of the northern Apennines, Italy*. Geodinamica Acta, **20** (1-2), 37–51.
- REMITTI F., VANNUCCHI P., BETTELLI G., FANTONI L., PANINI F. & VESCOVI P. (2011) - *Tectonic and sedimentary evolution of the frontal part of an ancient subduction complex at the transition from accretion to erosion: The case of the Ligurian wedge of the northern Apennines, Italy*. Geological Society of America Bulletin, **123** (1-2), 51–70.
- REUTTER K.J. (1969) - *La Geologia dell'alto Appennino Modenese tra Civago e Fanano e considerazioni geotettoniche sull'Unità di M. Modino - M. Cervarola*. L'Ateneo Parmense - Acta Naturalia, **5** (2), 3–86.
- REUTTER K.J., TEICHMÜLLER M., TEICHMÜLLER R. & ZANZUCCHI G. (1983) - *The coalification pattern in the Northern Apennines and its paleogeothermic and tectonic significance*. Geologische Rundschau, **72**, 861–894.
- RICCI C.A. (1972) - *Geo-petrological features of the metamorphic formations of Tuscany*. Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A, **79**, 267–279.
- RICCI LUCCHI F. (1975) - *Miocene palaeogeography and basin analysis in the Periadriatic Apennines*. In: C.H. SQUYRES (Ed.), *Geology of Italy*, vol. 2, pp. 129–236. Petroleum Exploration Society of Libya, Tripoli.
- RICCI LUCCHI F. (1986) - *The Oligocene to Recent foreland basins of the northern Apennines*. In: P.A. ALLEN & P. HOMEWOOD (Eds.), *Foreland Basins*, International Association of Sedimentologists Special Publications, vol. 8, pp. 105–139. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- RICCI LUCCHI F. (1987) - *Semi-allochthonous sedimentation in the Apenninic thrust belt*. Sedimentary Geology, **50** (1), 119–134.
- RICCI LUCCHI F., BASSETTI M., MANZI V. & ROVERI M. (2002) - *Il Messiniano trant'anni dopo: eventi connessi alla crisi di salinità nell'avanfossa appenninica*. Studi Geologici Camerti, **2002/1**, 127–142.
- RICCI LUCCHI F., COLALONGO M., CREMONINI G., GASPERI G., IACCARINO S., RAFFI S. & RIO D. (1982) - *Evoluzione sedimentaria e paleogeografia nel margine appenninico*. In: G. CREMONINI & F. RICCI LUCCHI (Eds.), *Guida alla Geologia del Margine Appenninico-Padano*, pp. 17–46. Società Geologica Italiana, Guide Geologiche Regionali, Bologna.
- RICCI LUCCHI F. & ORI G. (1985) - *Field Excursion D: Syn-orogenic deposits of a migrating basin system in the NW Adriatic foreland*. In: P.H. ALLEN, P. HOMEWOOD & G. WILLIAMS (Eds.), *International Symposium on Foreland Basins*, pp. 137–176. International Association of Sedimentologists, Freiburg (CH), 2-4 Sept. 1985.
- RICCI LUCCHI F. & VALMORI E. (1980) - *Basin-wide turbidite in a Miocene, over-supplied deep-sea plain; a geometrical analysis*. Sedimentology, **27** (3), 241–270.
- RIFORGIATO F., FORESI L., ALDINUCCI M., MAZZEI R., DONIA F., GENNARI R., SALVATORINI G. & SANDRELLI F. (2008) - *Foraminiferal record and astronomical cycles: An example from the Messinian pre-evaporitic Gello Composite Section (Tuscany, Italy)*. Stratigraphy, **5** (3-8), 265–280.
- RIFORGIATO F., FORESI L.M., DI STEFANO A., ALDINUCCI M., PELOSI N., MAZZEI R., SALVATORINI G. & SANDRELLI F. (2011) - *The Miocene/Pliocene boundary in the Mediterranean area: New insights from a high-resolution micropaleontological and cyclostratigraphical study (Cava Serredi section, Central Italy)*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **305** (1-4), 310–328.

- RIFORGIATO F., FORESI L.M., MAZZEI R., SALVATORINI G. & SANDRELLI F. (2005) - *Chronostratigraphic revision of some Pliocene basins in Tuscany at the Zanclean/Piacenzian boundary*. Bollettino della Società Geologica Italiana. Volume speciale, **3**, 7–13.
- RIO D. & VILLA G. (1987) - *On the age of the Salti del Diavolo conglomerates and of the Monte Cassio Flysch Basal complex (Northern Apennines, Parma province)*. Giornale di Geologia, **49** (1), 63–79.
- ROOK L., GALLAI G. & TORRE D. (2006) - *Lands and endemic mammals in the late Miocene of Italy; constraints for paleogeographic outlines of Tyrrhenian area*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **238** (1-4), 263 – 269.
- ROOK L. & GHETTI P. (1997) - *Il bacino neogenico della Velona (Toscana, Italia); stratigrafia e primi ritrovamenti di vertebrati fossili*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **116** (2), 335–346.
- ROOK L., OMS O., BENVENUTI M.G. & PAPINI M. (2011) - *Magnetostratigraphy of the Late Miocene Baccinello–Cinigiano basin (Tuscany, Italy) and the age of Oreopithecus bambolii faunal assemblages*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **305** (1-4), 286–294.
- ROSENBAUM G. & PIANA AGOSTINETTI N. (2015) - *Crustal and upper mantle response to lithospheric segmentation in the northern Apennines*. Tectonics, **34**, 648–661.
- ROSSETTI F., FACCENNA C., JOLIVET L. & FUNICIELLO R. (1999a) - *Structural evolution of the Giglio Island, Northern Tyrrhenian Sea (Italy)*. Memorie della Società Geologica Italiana, **52**, 493–512.
- ROSSETTI F., FACCENNA C., JOLIVET L., FUNICIELLO R., GOFFÉ B., TECCE F., BRUNET C., MONIÉ P. & VIDAL O. (2001) - *Structural signature and exhumation P-T-t path of the Gorgona blueschist sequence*. Ofioliti, **26**, 175–186.
- ROSSETTI F., FACCENNA C., JOLIVET L., FUNICIELLO R., TECCE F. & BRUNET C. (1999b) - *Syn- versus post-orogenic extension; the case study of Giglio Island (northern Tyrrhenian Sea, Italy)*. Tectonophysics, **304** (1-2), 71–93.
- ROSSETTI F., FACCENNA C., JOLIVET L., GOFFÉ B. & FUNICIELLO R. (2002) - *Structural signature and exhumation P–T–t paths of the blueschist units exposed in the interior of the Northern Apennine chain, tectonic implication*. Bollettino della Società Geologica Italiana, Volume speciale, **1**, 829–842.
- ROSSI V., AMOROSI A., SARTI G. & POTENZA M. (2011) - *Influence of inherited topography on the Holocene sedimentary evolution of coastal systems: an example from Arno coastal plain (Tuscany, Italy)*. Geomorphology, **135** (1-2), 117–128.
- ROVERI M., ARGNANI A., LUCENTE C.C., MANZI V. & RICCI LUCCHI F. (1999) - *Guida all'Escursione nelle Valli del Marecchia e del Savio*. Gruppo Informale di Sedimentologia, Riunione autunnale, 3-6 Ottobre 1999, Rimini, 52 pp.
- ROVERI M., BASSETTI M.A. & RICCI LUCCHI F. (2001) - *The Mediterranean Messinian salinity crisis: an Apennine foredeep perspective*. Sedimentary Geology, **140** (3-4), 201–214.
- ROVERI M., BOSCOLO GALLO A., ROSSI M., GENNARI R., IACCARINO S.M., LUGLI S., MANZI V., NEGRI A., RIZZINI F. & TAVIANI M. (2005) - *The Adriatic foreland record of Messinian events (central Adriatic sea, Italy)*. GeoActa, **4**, 139–158.
- ROVERI M., FLECKER R., KRIJGSMAN W., LOFI J., LUGLI S., MANZI V., SIERRO F.J., BERTINI A., CAMERLENGHI A., DE LANGE G., GOVERS R., HILGEN F., HUBSCHER C., MEIJER P.T. & STOICA M. (2014) - *The Messinian Salinity Crisis: past and future of a great challenge for marine sciences*. Marine Geology, **352**, 25–58.
- ROVERI M., LANDUZZI A., BASSETTI M., LUGLI S., MANZI V., RICCI LUCCHI F. & VAI G.B. (2004) - *The record of Messinian events in the Northern Apennines foredeep basins*. In: *Field Trip Guide Book - B19, 32° International Geological Congress*, pp. 1–44. Firenze.
- ROVERI M. & MANZI V. (2006) - *The Messinian salinity crisis: Looking for a new paradigm?* Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **238** (1-4), 386–398.
- ROVERI M., MANZI V., BASSETTI M., MERINI M. & RICCI LUCCHI F. (1998) - *Stratigraphy of the Messinian post-evaporitic stage in eastern-Romagna (northern Apennines, Italy)*. Giornale di Geologia, **60** (3), 119–142.
- ROVERI M., MANZI V., RICCI LUCCHI F. & ROGLEDI S. (2003) - *Sedimentary and tectonic evolution of the Vena del Gesso basin (Northern Apennines, Italy): implications for the onset of the Messinian salinity crisis*. Geological Society of America Bulletin, **115**, 387–405.
- SAGRI M. (1975) - *Ambienti di deposizione e meccanismi di sedimentazione nella successione Macigno-olistostroma-Arenarie del Monte Modino (Appennino modenese)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **94** (4), 771–788.
- SAGRI M. & MARRI C. (1980) - *Paleobatimetria e ambienti di deposizione delle unità torbiditiche cretaceo-superiori dell'Appennino settentrionale*. Memorie della Società Geologica Italiana, **21**, 231–240.
- SALVADOR A. (1987) - *Unconformity-bounded stratigraphic units*. Geological Society of America Bulletin, **98**, 232–237.
- SAMES C.W. (1967) - *Sui conglomerati medio-cretacei della geosinclinale emiliana e la loro importanza per la paleogeografia*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **86**, 49–58.

- SANI F., BONINI M., PICCARDI L., VANNUCCI G., DONNE D.D., BENVENUTI M., MORATTI G., CORTI G., MONTANARI D., SEDDA L. & TANINI C. (2009) - *Late Pliocene-Quaternary evolution of outermost hinterland basins of the Northern Apennines (Italy), and their relevance to active tectonics*. *Tectonophysics*, **476** (1-2), 336–356.
- SANTANTONIO M. (1993) - *Facies associations and evolution of pelagic carbonate platform/basin systems: examples from the Italian Jurassic*. *Sedimentology*, **40** (6), 1039–1067.
- SARTI M. & COLTORTI M. (2010) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 293 - Osimo"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 139 pp.
- SARTORI R. (2001) - *Corsica-Sardinia block and the Tyrrhenian Sea*. In: G.B. VAI & I. MARTINI (Eds.), *Anatomy of an Orogen: the Apennines and Adjacent Mediterranean Basins*, pp. 367–374. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- SAVELLI D. & WEZEL F. (1978) - *Schema geologico del Messiniano del Pesarese*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **97** (1-2), 165–188.
- SCROCCA D., CARMINATI E., DOGLIONI C. & MARCANTONI D. (2007) - *Slab retreat and active shortening along the Central-Northern Apennines*. In: O. LACOMBE, J. LAVÉ, F. ROURE & J. VERGÉS (Eds.), *Thrust Belts and Foreland Basins*, pp. 471–487. Springer, Berlin.
- SELLI R. (1954) - *Il bacino del Metauro. Descrizione geologica, risorse minerarie, idrogeologia*. *Giornale di Geologia*, **24**, 1–214.
- SELLI R. (1973) - *An outline of the Italian Messinian*. In: C.W. DROOGER (Ed.), *Messinian Events in the Mediterranean*, pp. 150–171. Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Amsterdam.
- SERRI G., INNOCENTI F. & MANETTI P. (2001) - *Magmatism from Mesozoic to Present: petrogenesis, time-space distribution and geodynamic implications*. In: G.B. VAI & I. MARTINI (Eds.), *Anatomy of an Orogen: the Apennines and Adjacent Mediterranean Basins*, pp. 77–104. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- SERRI G., INNOCENTI F., MANETTI P., TONARINI S. & FERRARA G. (1991) - *Il magmatismo neogenico-quaternario dell'area tosco-laziale-umbra: implicazioni sui modelli di evoluzione geodinamica dell'Appennino settentrionale*. Studi Geologici Camerti, Volume speciale, **1991/1**, 429–463.
- SESTINI G. (1959) - *Osservazioni geologiche sui Monti della Calvana*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **78** (2), 207–231.
- SESTINI G. (1970) - *Development of the Northern Apennines Geosyncline*, *Sedimentary Geology*, vol. 4. Elsevier, Amsterdam, 445 pp.
- SIGNORINI R. (1967) - *Pseudoverrucano e anomalie della serie stratigrafica toscana nei dintorni di Grosseto*. Bollettino del Servizio Geologico d'Italia, **88**, 97–134.
- SIGNORINI R. & ALIMENTI M. (1968) - *La serie stratigrafica del M. Rentella fra il Lago Trasimeno e Perugia*. *Geologica Romana*, pp. 75–94.
- SIGNORINI R., CENTAMORE E. & CONATO V. (1963) - *La formazione di Lanciaia nella Val di Cecina*. Bollettino del Servizio Geologico d'Italia, **84**, 83–100.
- STAMPFLI G., MARCOUX J. & BAUD A. (1991) - *Tethyan margins in space and time*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **87**, 373–409.
- STOPPA F. (1985) - *Problematiche petrologiche e geologiche delle prasiniti di Punta Bianca*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **30**, 127–134.
- TAGLIAFERRI A. & TINTERRI R. (2016) - *The tectonically-confined Firenzuola turbidite system (Marnoso-arenacea Formation, northern Apennines, Italy)*. *Italian Journal of Geosciences*, **135** (3), 425–443.
- TANELLI G. & LATTANZI P. (1986) - *Metallogeny and mineral exploration in Tuscany: state of the art*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **31**, 299–304.
- TAVARNELLI E. (1997) - *Structural evolution of a foreland fold-and-thrust belt: the Umbria-Marche Apennines, Italy*. *Journal of Structural Geology*, **19** (3-4), 523–534.
- TEN HAAF E. (1985) - *A structural review of the Bolognese Apennines (with two field trip itineraries)*. *Giornale di Geologia*, **47** (1-2), 35–45.
- THEYE T., REINHARDT J., GOFFÉ B., JOLIVET L. & BRUNET C. (1997) - *Ferro and magnesioicarpholite from Mt. Argentario (Italy): first evidence for high-pressure metamorphism of the metasedimentary Verrucano sequence, and its significance for the P-T path reconstruction*. *European Journal of Mineralogy*, **9**, 859–873.
- TINTERRI R. & MUZZI MAGALHAES P. (2011) - *Synsedimentary structural control on foredeep turbidites: An example from Miocene Marnoso-arenacea Formation, Northern Apennines, Italy*. *Marine and Petroleum Geology*, **28** (3), 629–657.

- TINTERRI R. & PIAZZA A. (2019) - *Turbidites facies response to the morphological confinement of a foredeep (Cervarola Sandstones Formation, Miocene, northern Apennines, Italy)*. *Sedimentology*, **66**, 636–674.
- TINTERRI R. & TAGLIAFERRI A. (2015) - *The syntectonic evolution of foredeep turbidites related to basin segmentation: Facies response to the increase in tectonic confinement (Marnoso-arenacea Formation, Miocene, Northern Apennines, Italy)*. *Marine and Petroleum Geology*, **67**, 81–110.
- TREVES B. (1984) - *Orogenic belts as accretionary prisms: the example of the Northern Apennines*. *Ofioliti*, **9**, 577–618.
- TREVISAN L. (1955) - *Il Trias della Toscana e il problema del Verrucano triassico*. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A*, **62** (1), 1–30.
- TREVISAN L. (1962) - *Considérations sur deux coupes à travers l'Apennin septentrional*. *Bulletin de la Société Géologique de France, Sér. 7*, **9**, 675–681.
- VAI G.B. (1978) - *Tentative correlation of Palaeozoic rocks, Italian Peninsula and Islands*. *Oest. Akad. Wiss. Schrift. Erdw. Kom.*, **3**, 313–329.
- VAI G.B. (1987) - *Migrazione complessa del sistema fronte deformativo-avanfossa-cercine periferico: il caso dell'Appennino settentrionale*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **38**, 95–105.
- VAI G.B. (2001) - *Structure and stratigraphy: an overview*. In: G.B. VAI & I.P. MARTINI (Eds.), *Anatomy of an Orogen: the Apennines and Adjacent Mediterranean Basins*, pp. 15–32. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- VAI G.B. & CASTELLARIN A. (1992) - *Correlazione sinottica delle unità stratigrafiche nell'Appennino settentrionale*. *Studi Geologici Camerti, Volume speciale*, **1992/2**, 171–185.
- VAI G.B. & MARTINI I.P. (2001) - *Anatomy of an Orogen: the Apennines and Adjacent Mediterranean Basins*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 633 pp.
- VANNUCCHI P., REMITTI F. & BETTELLI G. (2008) - *Geological record of fluid flow and seismogenesis along an erosive subducting plate boundary*. *Nature*, **451** (7179), 699–703.
- VANNUCCHI P., REMITTI F. & BETTELLI G. (2012) - *Lateral variability of the erosive plate boundary in the Northern Apennines, Italy*. *Italian Journal of Geosciences*, **131** (2), 215–227.
- VENERI F. (1986) - *La colata gravitativa della Val Marecchia*. *Studi Geologici Camerti, volume speciale "La Geologia delle Marche"*, pp. 83–87.
- VESCOVI P. (1998) - *Le Unità Subliguri dell'alta Val Parma (Provincia di Parma)*. *Atti Ticinensi di Scienze della Terra*, **40**, 215–231.
- VESCOVI P. (2005) - *The Middle Miocene Mt. Ventasso-Mt. Cimone arcuate structure of the Emilia Apennines*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **124**, 53–67.
- VESCOVI P., FORNACIARI E., RIO D. & VALLONI R. (1999) - *The basal complex stratigraphy of the Helminthoid Monte Cassio Flysch: a key to the eoalpine tectonics of the Northern Apennines*. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, **105** (1), 101–128.
- VEZZANI L. & GHISETTI F. (1998) - *Carta Geologica dell'Abruzzo*. Scala 1:250.000, Università di Catania - Regione Abruzzo.
- VEZZOLI L., CONTICELLI S., INNOCENTI F., LANDI P., MANETTI P., PALLADINO D.M. & TRIGILA R. (1987) - *Stratigraphy of the Latara Volcanic Complex: proposals for a new nomenclature*. *Periodico di Mineralogia*, **56**, 89–110.
- VEZZONI S., BIAGIONI C., D'ORAZIO M., PIERUCCIONI D., GALANTI Y., PETRELLI M. & MOLLI G. (2018) - *Evidence of Permian magmatism in the Alpi Apuane metamorphic complex (northern Apennines, Italy): New hints for the geological evolution of the basement of the Adria plate*. *Lithos*, **318/319**, 104–123.
- VIGHI L. (1958) - *Sulla serie triassica "Calcare cavernoso-Verrucano" presso Capalbio (Orbetello - Toscana) e sulla brecciatura tettonica delle serie evaporitiche "rocce madri" del Cavernoso*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **77** (1), 221–235.
- WERNICKE B. (1985) - *Uniform-sense normal simple shear of the continental lithosphere*. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **22**, 108–126.
- ZANON V. (2005) - *Geology and volcanology of San Venanzo volcanic field (Umbria, central Italy)*. *Geological Magazine*, **142** (6), 683–698.
- ZANZUCCHI D. (1963) - *La geologia dell'alta Val Parma*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **82** (4), 131–167.
- ZATTIN M., PICOTTI V. & ZUFFA G.G. (2002) - *Fission-track reconstruction of the front of the northern Apennine thrust wedge and overlying Ligurian unit*. *American Journal of Science*, **302**, 346–379.
- ZUFFA G.G. (1980) - *Hybrid arenites: their composition and classification*. *Journal of Sedimentary Petrology*, **50**, 21–29.

Note