

Geologia e Vulcanismo del Lago di Bolsena

Il vulcanismo e la sismicità della zona del Lago di Bolsena sono collegati ai processi che hanno portato alla formazione degli Appennini, la cui causa fondamentale è la convergenza della placca Eurasiatica con quella Africana, con lo sprofondamento della microplacca Adriatica sotto il Blocco Sardo-Corso. Questo processo di subduzione avviene a partire dal medio Miocene lungo una linea che separa la zona compressionale Appenninico-Adriatica (o zona di convergenza degli Appennini) a est, dalla zona estensionale Tirrenica a ovest ^{1, 2, 3}.

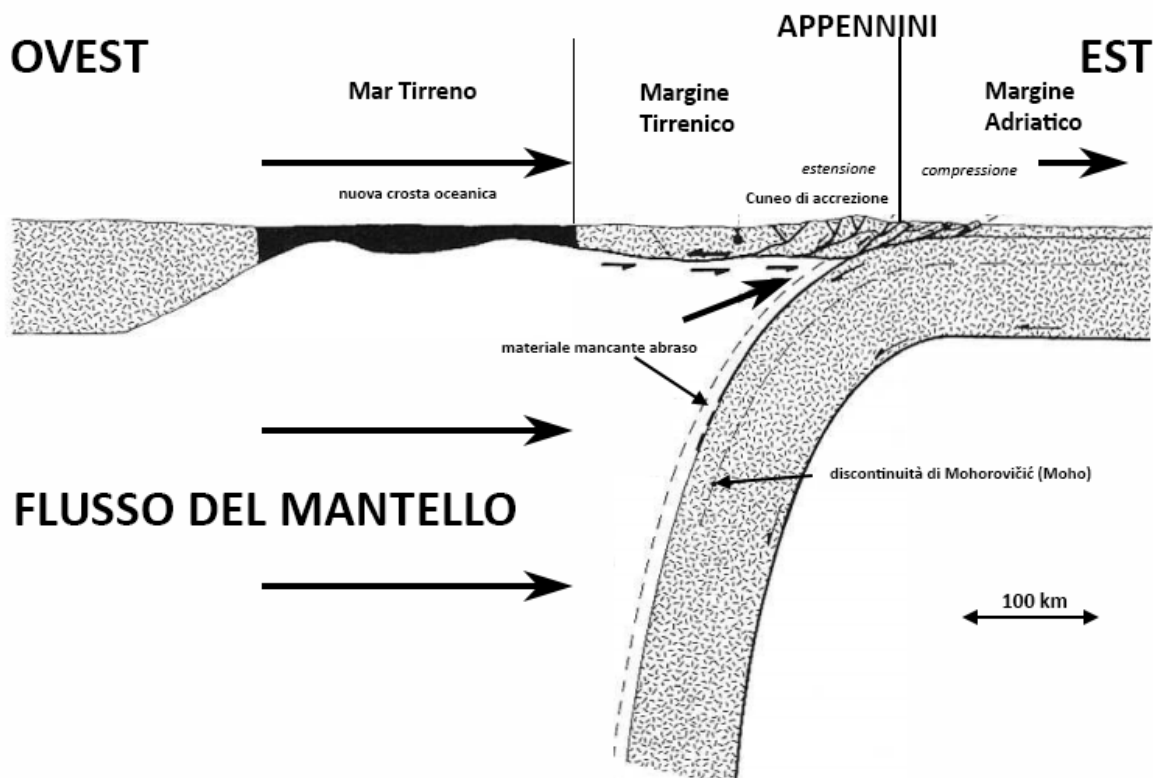


Figura 1: Adattato da C. Doglioni (1991) ⁴

A est di questa linea (Fig. 1) che migra lentamente da W a E, si accumulano nel cuneo di accrezione⁵ porzioni abrasate della crosta terrestre per formare le strutture appartenenti agli Appennini. Più ad est ancora è situato il bacino di avanfossa (o avanpaese, 'foredeep'). Sul lato ovest degli Appennini, dalla Toscana fino alla Calabria, troviamo la zona del retroarco (retropaese, 'rift') in condizione tettonica distensiva, con strutture a horst (cioè alti tettonici evidenziati da creste o catene di colline e montagne) e graben (depressioni tettoniche a forma di fossa), caratterizzata da lunghi segmenti paralleli di faglie normali ⁶, con direzione perpendicolare alla minima tensione di compressione. Nel margine tirrenico dell'Italia, queste faglie hanno direzione NNW-SSE.

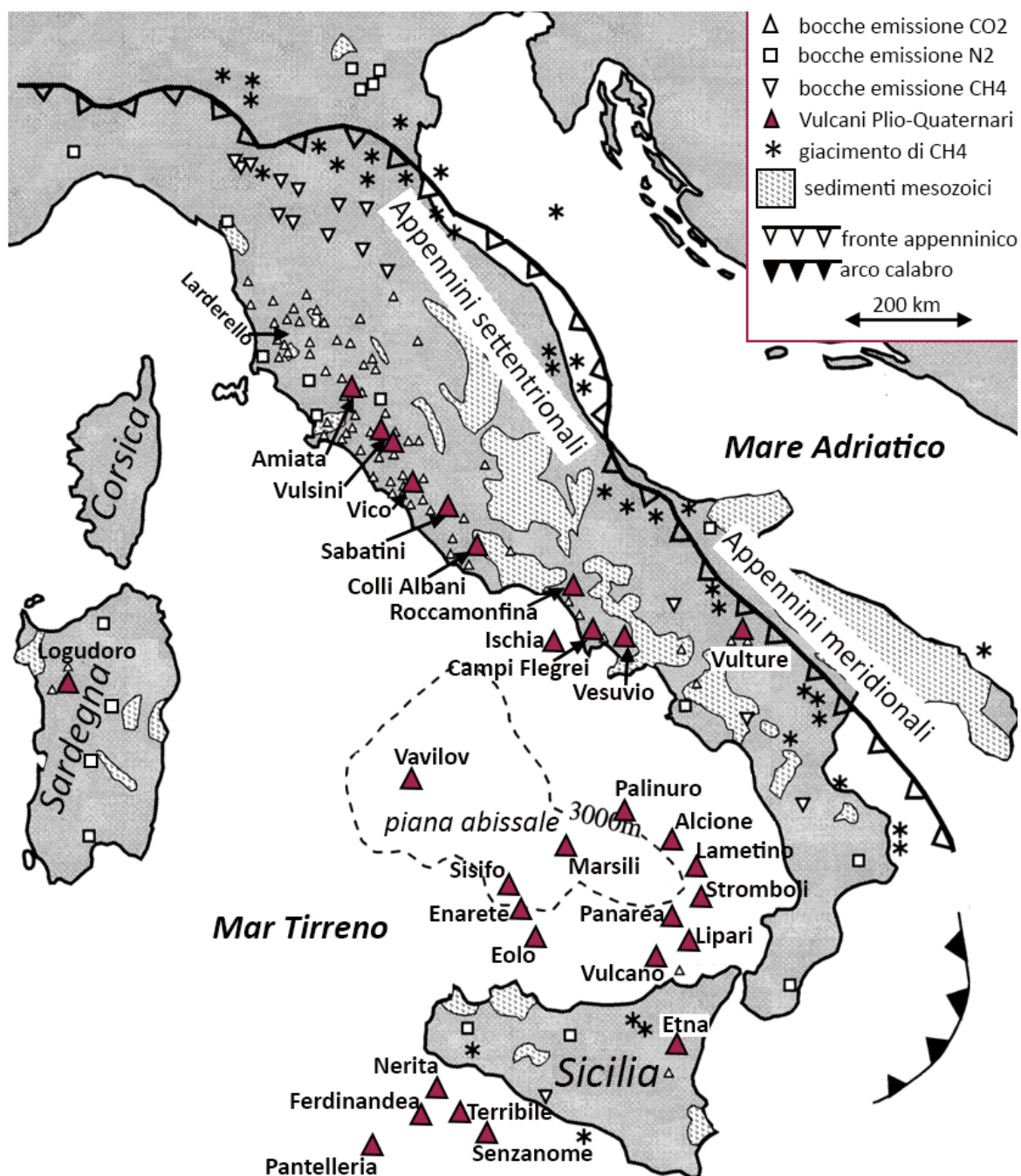


Figura 2: Mappa schematica dell'Italia, con vulcani plio-quadernari, campi geotermici, bocche di emissione di gas e fronti di sovrascorrimento. Adattato da Minissale et al. (2000)⁷

Tutto questo processo è comune alle zone di subduzione tettonica, e non sono rari i casi in cui il sistema di faglie di retroarco è strutturato da un secondo sistema coevo, con faglie parallele alla direzione di estensione, che quindi incrociano quelle del primo sistema. Nell'area tirrenica questo secondo sistema ha direzione approssimativa di NE-SW⁸. Le sue faglie sia rimangono ristrette ai margini delle depressioni primarie del primo sistema, sia le intersecano a una distanza abbastanza regolare di circa 40 km, circoscrivendo così assieme a loro vari bacini di retroarco. I principali bacini separati da alti strutturali, che si sono formati nell'area toско-umbro-laziale del settore peritirrenico, sono nell'ordine Toscana (o Tarquinia)⁹, Albenga, Siena-Radicofani-Cimino e Chiani-Paglia-Tevere¹⁰. Corrono in direzione NNW-SSE e sono paralleli alla catena appenninica.

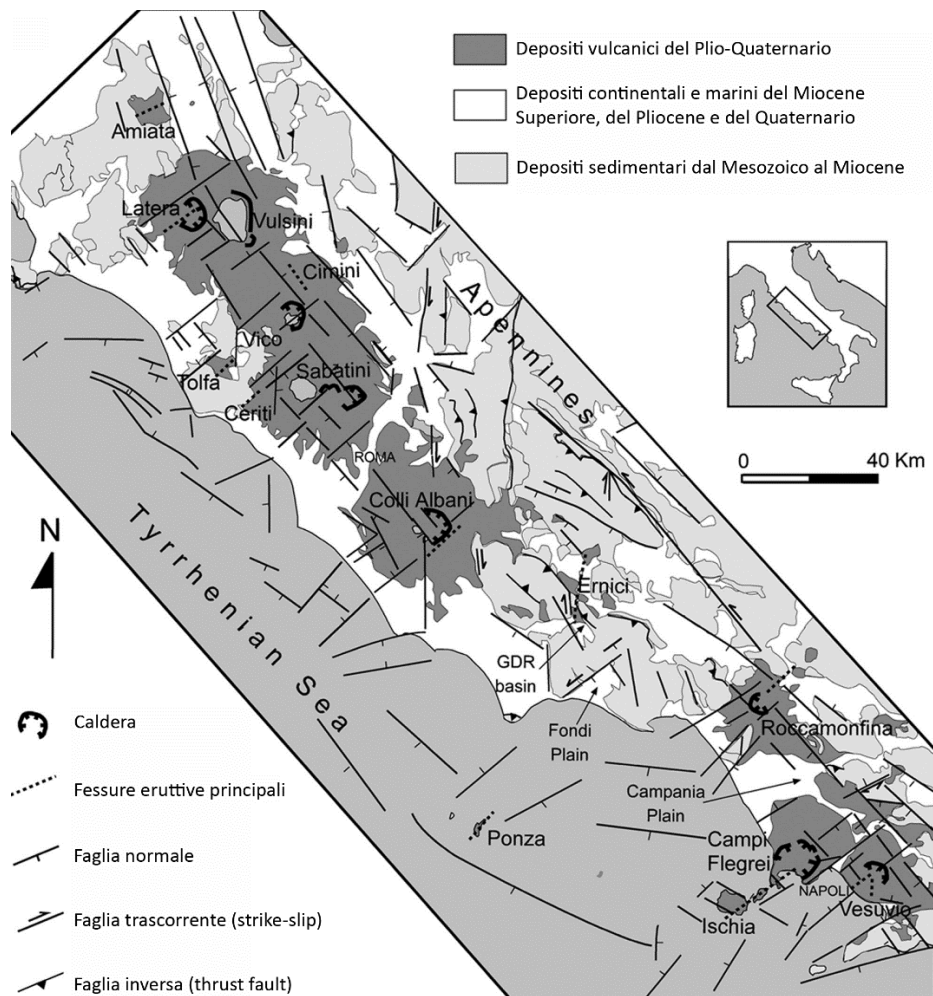


Figura 3: Geologia dell'Italia centrale – vulcani, caldere, depositi sedimentari, faglie e fessure eruttive (adattato da V. Acocella e R. Funiciello (2006))

Nel corso delle epoche geologiche ([vedi la scala cronostatigrafica allegata](#)), questi fossi o bacini tettonici si riempiono di sedimenti marini, fluviali e lacustri, di materiale eroso e di ricadute o colate di lava provenienti da vulcani. La formazione delle sequenze sedimentarie, il cui spessore molto variabile raggiunge fino a 3000 m, avvenne durante due fasi distinte. La prima è caratterizzata dalla subsidenza connessa al periodo di estensione tettonica del Miocene superiore (Jolivet et al. (1998) ¹¹ e referenze vi citate) e del Neogene-Quaternario ^{12, 13, 14}. La seconda è la fase di sollevamento, tuttora in atto, che interessa il margine occidentale della catena appenninica dal tardo Pleistocene Inferiore, probabilmente dovuta alla risalita ('upwelling') del mantello al di sopra della placca adriatica in subduzione ¹⁵.

Nella zona estensionale tirrenica, l'assottigliamento della crosta fino a uno spessore di poco più di 20 km ha dato luogo, probabilmente assieme a processi legati alla risalita del mantello, a un magmatismo e vulcanismo prolungato. Sembra che le risalite di magma nei bacini tirrenici siano facilitate o addirittura determinate dalle faglie NE-SW ¹⁶. Questi fenomeni interessano dapprima, dal Pliocene superiore, le zone occidentali in parte allora sommersi – la Provincia Magmatica Toscana, la Tolfa e la zona di Cerveteri e Manziana (da 4,2 a 2,3 milioni di anni fa).

Più tardi si formano i Monti Cimini (da 1,4 a 0,9 mila anni fa) e nel Pleistocene superiore infine nascono i vulcani dell'Amiata, della Provincia Magmatica Romana e della Campania.

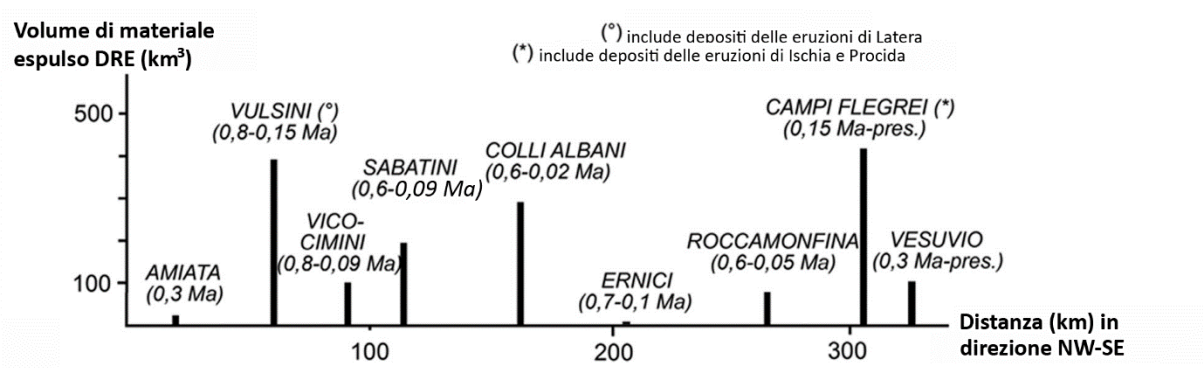


Figura 4: I vulcani dell'Italia Centrale – periodi di attività e volume di materiale espulso. Adattato da V. Acocella e R. Funiciello (2006) ¹⁷

Per la zona del Lago di Bolsena troviamo quindi in profondità (fino a circa 10 km), la struttura tettonica collegata all'orogenesi degli Appennini, il graben Siena-Radicofani-Cimino. Il suo asse è parallelo a quello degli Appennini ed ha direzione NNW-SSE, i suoi limiti sono, a nord del Lago, la dorsale Montalcino - Castell'Azzara - Monte Razzano a occidente, e la dorsale Monte Cetona – Monte Rufeno a est. L'andamento di questa depressione tettonica fu identificato da Baldi et al. (1974) ¹⁸, Brandi et al. (1970) ¹⁹ ed Ambrosetti et al. (1978) ²⁰; successivamente, vari autori hanno studiato le sue proprietà. Più a sud, tra Acquapendente e l'area cimina, i suoi elementi strutturali non sono distinguibili in superficie poiché l'intera area è ricoperta da depositi vulcanici Pleistocenici, ma sono stati individuati attraverso i dati stratigrafici ottenuti dai sondaggi geotermici dell'ENEL-AGIP. A nord, il graben è attraversato dalla soglia di Pienza (linea di Grosseto-Pienza ²¹), a sud delimitato dal complesso cimino.

Nel Pleistocene, l'area del Lago di Bolsena è interessata dall'intensa attività vulcanica del Distretto Vulcanico Vulsino (DVV), durante un periodo approssimativamente compreso tra 600 mila anni fino a 100 mila anni fa ^{22, 23, 24}. Il DVV si è sviluppato su un substrato sollevato di unità di sedimenti calcarei (carbonati) e flysch arenacei, nella parte meridionale del graben Siena-Radicofani-Cimino. L'evoluzione vulcano-tettonica del DVV è controllata dalle strutture tettoniche preesistenti. Perforazioni profonde hanno rilevato che alti strutturali di direzione NNE-SSW hanno determinato luogo ed evoluzione delle caldere di Bolsena e Latera; i centri eruttivi di Latera sono allineati lungo una struttura di direzione NE-SW, mentre quelli del bordo orientale della caldera di Bolsena seguono un lineamento antico di direzione N-S.

L'attività vulcanica di cinque complessi vulcanici principali - Paleobolsena, Bolsena-Orvieto, Latera, Montefiascone e Neo-Bolsena (secondo la terminologia di Nappi) – e di vari centri eruttivi minori ²⁵ sconvolse drasticamente tutta l'area.

Una prima illustrazione di queste sequenze e sovrapposizioni danno Locardi et al. nel 1976 (figura 5):

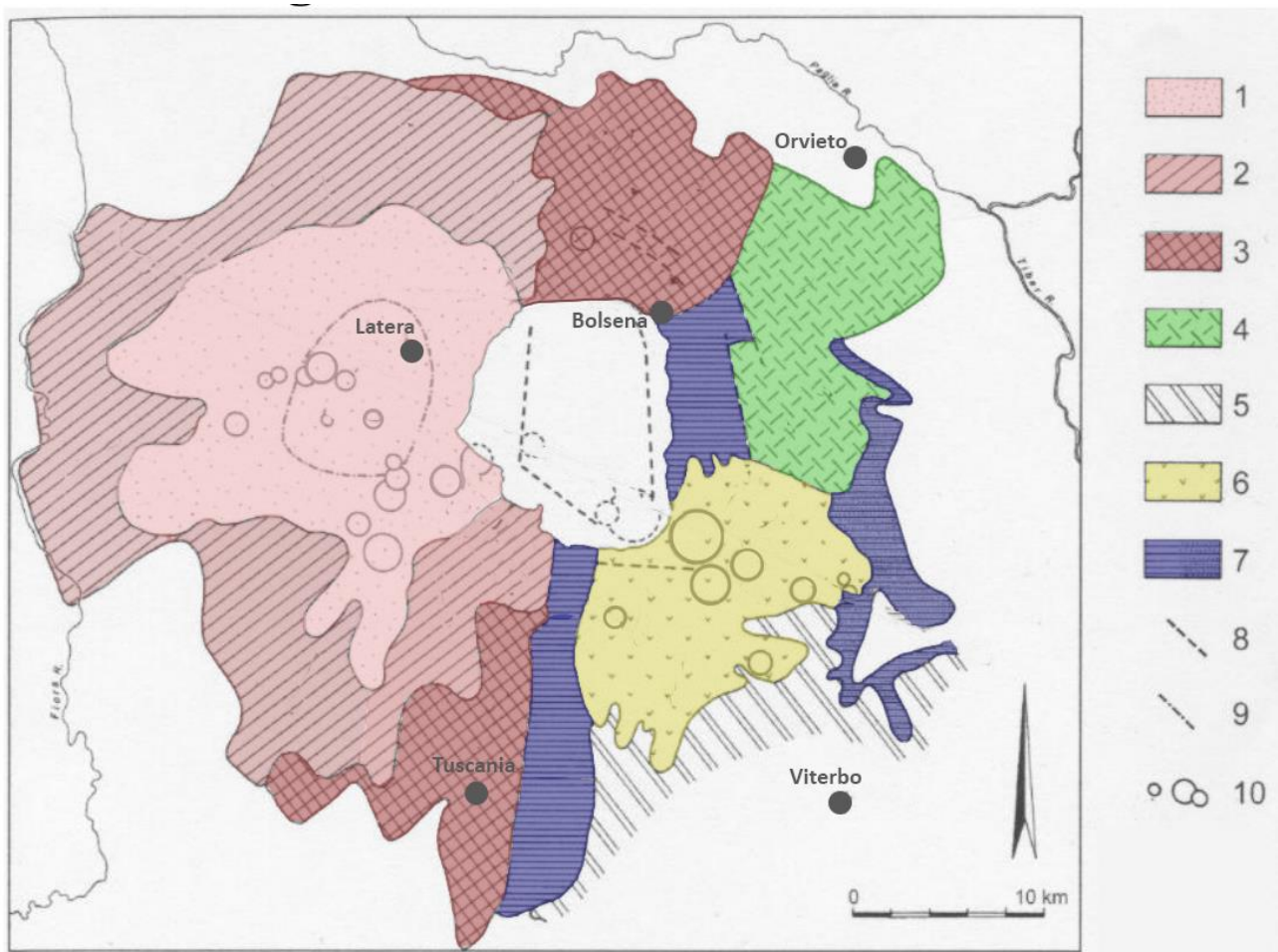


Figura 5: Distribuzione in superficie dei prodotti vulcanici nel comprensorio del Lago di Bolsena secondo Locardi et al. (1976) ²⁶.

Legenda:

1- Prodotti finali del vulcano di Latera, successivi e/o contemporanei alla formazione della caldera; 2- Margini esterni delle colate piroclastiche del Vulcano di Latera; 3- Margini dei prodotti prevalentemente lavici relativi alle fasi iniziali del Vulcano di Latera; 4 – Colate piroclastiche e lave del gruppo di Bagnoregio; 5 – Colate piroclastiche del Vulcano di Vico; 6 – Gruppo vulcanico di Montefiascone; 7 – Paleovulcano di Bolsena e relative facies vulcano-sedimentarie; 8 – Principali fratture alimentatrici dell'attività vulcanica; 9 – Orlo di caldera; 10 – Apparati vulcanici minori.

Vari degli autori citati qui hanno affinato questa prima immagine intuitiva, fino ad arrivare alla complessa illustrazione di Palladino et al. del 2010 ²⁷ (figura 6).

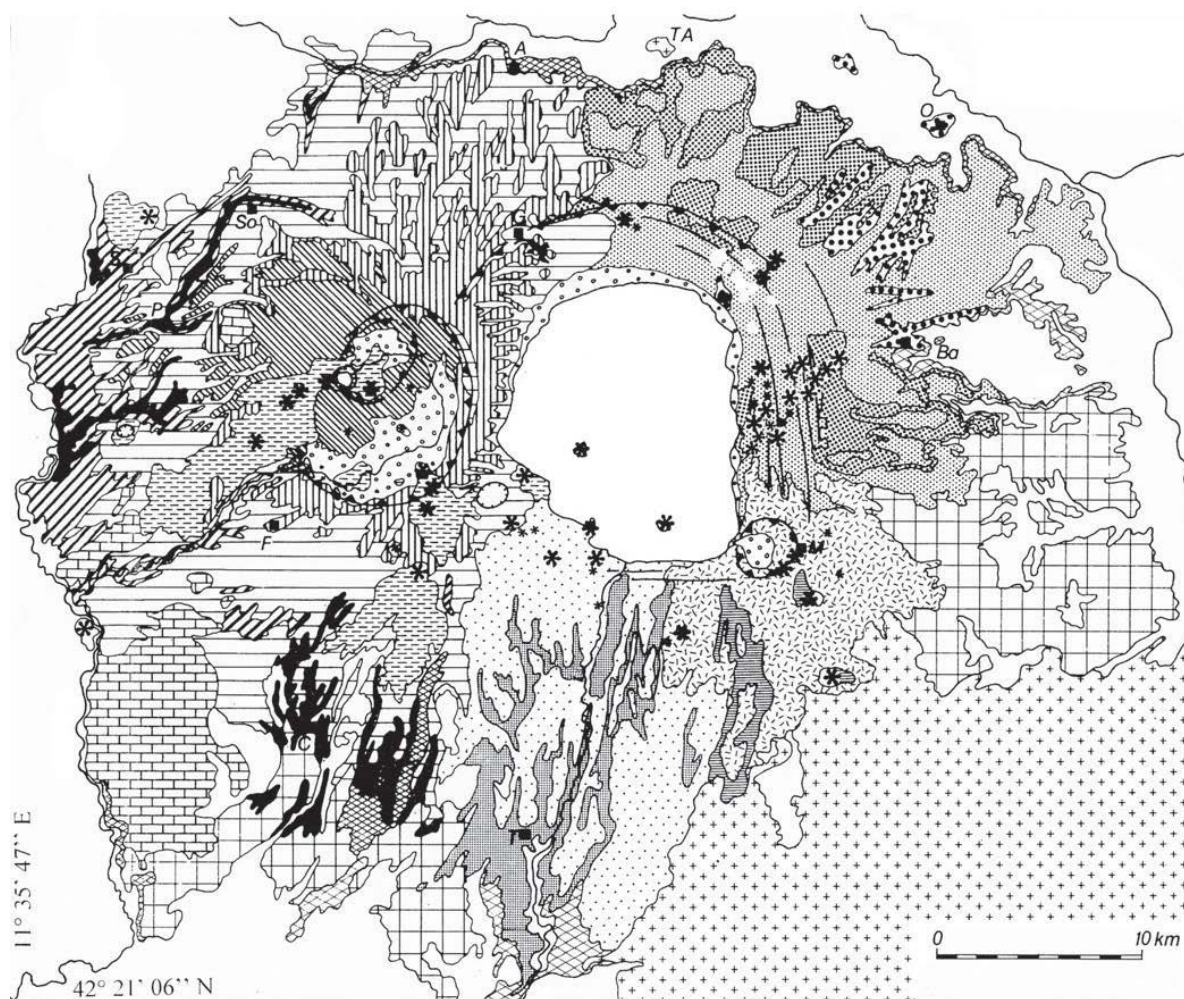


Figura 6: Mappa geologica indicativa del Distretto Vulcanico Vulsino (modificato da Palladino et al. (2010)²⁸⁾ ²⁹⁾.

Legenda:

- Depositi sedimentari quaternari
- Travertini
- Prodotti del vulcano Torre Alfina e del Distretto Vulcanico di Vico

DISTRETTO VULCANICO VULSINO

Complesso Vulcanico di Latera

- Prodotti delle attività finali effusive e Stromboliane
- Formazione di Pitigliano
- Formazione di Poggio Pinzo
- Formazioni di Onano, Grotte di Castro e Sorano
- Formazione di Sovana
- Formazioni di Farnese e Canino

Complesso Vulcanico di Bolsena-Orvieto

- Flussi di lava
- Ignimbriti di Orvieto-Bagnoregio
- Successioni piroclastiche

Complesso Vulcanico di Montefiascone

- Flussi di lava
- Successioni piroclastiche

Complesso Vulcanico di Vulsini Sud

- Flussi di lava
- Successioni piroclastiche

Complesso Vulcanico Paleovulsino

- Flussi di lava
- Ignimbriti basali
- Successioni piroclastiche e vulcano-sedimentarie

- Substrato sedimentario dal Mesozoico al Quaternario

- Coni di scorie
- Crateri
- Orli di caldera
- Faglie e fratture

L'insieme di queste attività vulcaniche porta all'accumulo di ingenti volumi di materiale emesso dai vari centri vulcanici e alla formazione di tre caldere principali – la grande caldera poligenica di Bolsena, la caldera di Latera sul bordo occidentale della caldera Bolsena, e la caldera di Montefiascone, più piccola e sul bordo sud-orientale della caldera Bolsena. In tutta la zona sono presenti decine di centri eruttivi minori, isolati o aggregati con coni di scorie apparenti o sepolti, anelli e coni di tufo.

Seguendo Nappi, si distinguono cinque zone vulcaniche:

1 - Zona vulcanica del Paleo-Bolsena

L'attività vulcanica nell'area del Lago di Bolsena iniziò nel settore settentrionale con il complesso del Paleo-Bolsena (Paleo-Vulsini) circa 580 mila anni fa. Segue un'attività diffusa e, 505 mila anni fa, la maggiore eruzione ignimbritica (il "Nenfro degli Autori") del DVV, con un volume del materiale espulso di più di 10 km³ che copre tutti i settori (2000 km²) del distretto. Questi eventi causarono il primo collasso di caldera significativo.

2 - Zona vulcanica di Bolsena (Bolsena-Orvieto)

L'attività eruttiva seguente (da 490 a 320 mila anni fa) del DVV proviene da centri localizzati nel settore nord-orientale di questa caldera e al suo esterno e lungo il suo recinto. I centri si attivano seguendo uno spostamento progressivo, nel senso orario, lungo quell'orlo. Tra i loro prodotti è il deposito più rappresentativo del distretto, l'ignimbrite di Orvieto – Bagnoregio, connessa ad una eruzione avvenuta circa 333 mila anni fa.

L'attività successiva della Zona vulcanica di Bolsena è coeva alle manifestazioni iniziali del complesso di Montefiascone.

3 - Zona vulcanica di Latera

Il complesso vulcanico di Latera fu attivo nella fase finale dell'evoluzione del DVV (da circa 280 a 145 mila anni fa) nella sua parte occidentale. Vari centri eruttivi situati su un alto strutturale nel substrato carbonatico con direzione NNE-SSW contribuirono alla formazione di uno stratovulcano il cui collasso creò la caldera al centro dell'attuale depressione. Nuovi piccoli centri eruttivi sui bordi della caldera incrementarono la sua dimensione, di cui i due centri più importanti formarono a loro volta due piccole caldere, la caldera di Onano (circa 170 mila anni fa) e poi (circa 160 mila anni fa) la caldera Vepe (Lago di Mezzano), che in parte intersecano la caldera originale.

4 - Zona vulcanica di Montefiascone

Anche nella zona di Montefiascone, il vulcanismo (da 280 a 220 mila anni fa) è stato condizionato dalla struttura del basamento carbonatico. Sul bordo orientale della caldera di Bolsena, fratture in direzione nord-sud (N-S) hanno determinato una intensa attività effusiva, mentre sul bordo meridionale una faglia W-E ha alimentato i centri eruttivi.

5 - Zona vulcanica del Neo-Bolsena (Vulsini Fields, Southern Bolsena)

La zona vulcanica del Neo-Bolsena (attiva da 320 a 130 mila anni fa) corrisponde allo stadio finale dell'evoluzione del DVV. Il complesso del Neo-Bolsena si è sviluppato all'interno del Lago di Bolsena e l'attività finale è rappresentata da eruzioni sublacustri, che hanno dato luogo ai due apparati vulcanici delle isole Martana e Bisentina. In particolare, un piccolo flusso di lava sull'Isola Bisentina, datato a 127 mila anni fa, è il più recente prodotto vulcanico del DVV finora trovato ³⁰.

Tabella 1: Età, subsidenza stimata e volume dei prodotti espulsi, per i complessi delle caldere di Bolsena e Latera (adattato da Cioni (1993) ³¹

Caldera	Fase	Età [ka]	Subsidenza [m]	Volume [km ³]
Latera	Esplosiva	145-265	>300	>12
Montefiascone		200	280	10
Bolsena	Superiore (Bolsena-Orvieto, Vulsini Fields)	130-320	200-250	20
Bolsena	Media (Bolsena-Orvieto)	320-350	<200	<10
Bolsena	Inferiore (Bolsena-Orvieto, Vulsini Fields)	350-490	350±50	250
Bolsena	Inferiore (Paleo-Bolsena)	490-590	250±50	40
Nota:	Il massimo stimato errore nel calcolo del volume è del 20%			

Oggi, il Distretto Vulcanico Vulsino è dominato dall'ampia caldera che ospita il Lago di Bolsena, circondata da alture che si elevano a circa 600 metri ad ovest e nordest, e a meno di 100 metri a sud. Alla caldera principale si aggiungono, intersecandola, le caldere di Latera (ad ovest) e Montefiascone (a sudest). Appena distinguibile una zona connessa al collasso del complesso vulcanica di Bolsena-Orvieto, nella parte nordest.

La grande caldera vulcano-tettonica di Bolsena è il prodotto di uno sviluppo progressivo. La sua forma attuale in parte è dovuta alla subsidenza duttile condizionata da un fondo calderico incernierato nel settore sudoccidentale. In parte risale a collassi che si sono sviluppati lungo molteplici piani di rottura prevalentemente nel settore settentrionale e orientale, dove la subsidenza totale può superare anche mille metri.

Tutta l'area è coperta da coni e crateri isolati (il maar del Lagaccione, le Isole Bisentina e Martana ...) e agglomerati (i coni di scorie di Valentano, Marta, Montefiascone).

Ne risulta una zona geologicamente complessa, frantumata e sconvolta, le cui caratteristiche morfologiche, strutturali, geofisiche e geochimiche sono, malgrado molti studi, conosciute solo insufficientemente.

Questa struttura del sottosuolo complessa e fragile determina una sismicità del comprensorio importante, dove sono stati osservati sismi fino a una magnitudo di circa 6 sulla scala Richter, con un'intensità macrosismica tra IX e X sulla scala EMS-98. Sono terremoti distruttivi, come quello dello sciame più forte conosciuto dal 7 al 15 giugno 1695 di Civita di Bagnoregio ³².

Mentre sciame sismici di media intensità, come quelli avvenuti negli anni 2016 (Castel Giorgio) e 2020 (San Lorenzo-Castel Giorgio) a nord del lago possono essere attribuiti anche a strutture sismogenetiche più superficiali vulcano-tettoniche, i terremoti più forti sono legati all'attivazione di strutture tettoniche profonde del graben Siena–Radicofani-Cimino.

I due sistemi di strutture sismogenetiche sono collegati tra di loro, il che aumenta il rischio sismico da attività umane che possono attivare strutture prossime all'instabilità anche lontane di più di 10 km dal punto di intervento: Un fatto che da molti anni è stato postulato teoricamente, la cui prova "sperimentale" è stata apportata dai terremoti geotermici in Svizzera ³³, Corea del Sud ³⁴ e in Francia ³⁵.

Nelle due figure conclusive sono illustrati i sistemi di faglie e fratture conosciuti del graben Siena-Radicofani-Cimino, e il riassunto dei terremoti storici nella zona del graben.

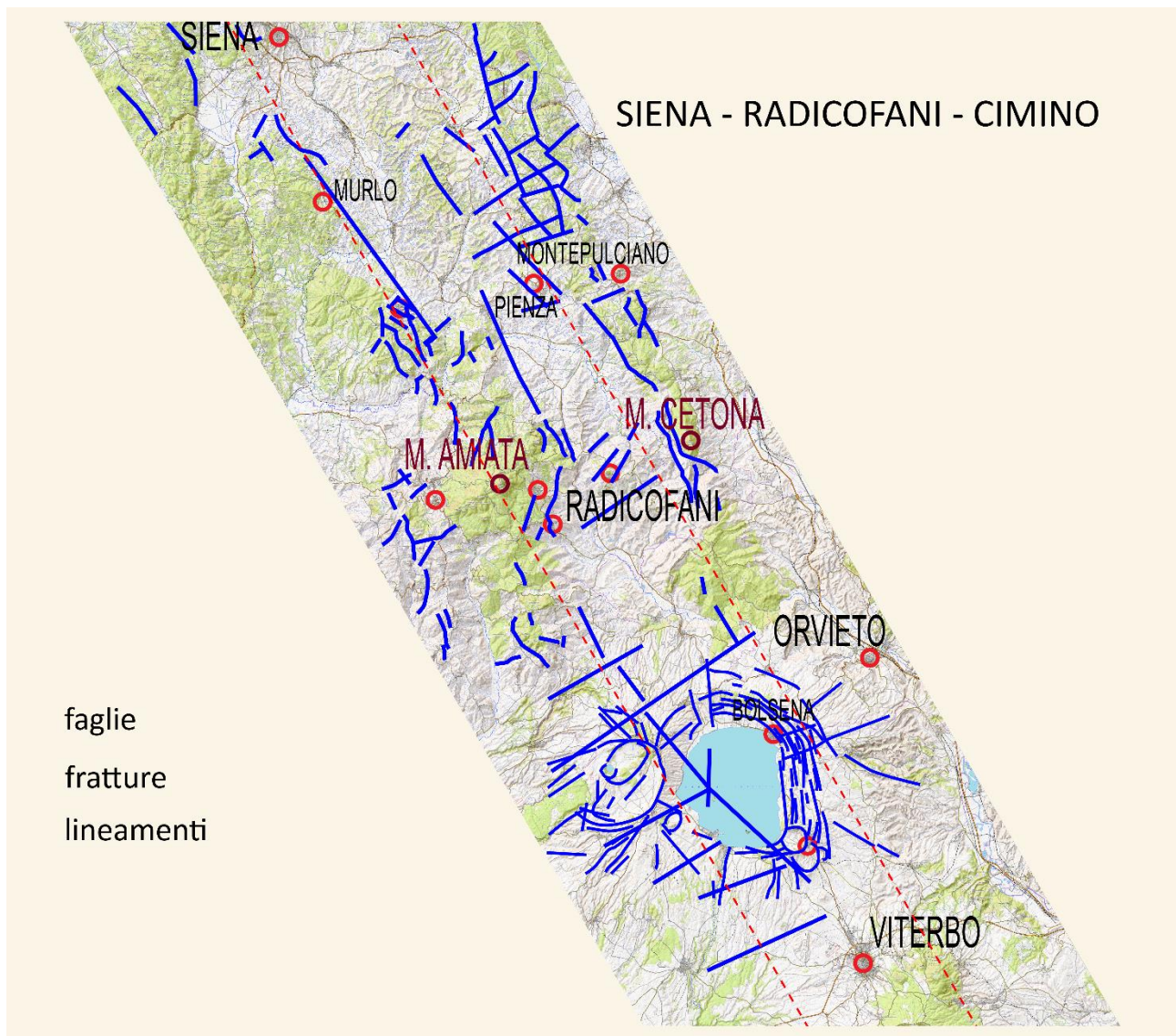


Figura 7:

Carta Geografica Italiana (100000) dove sono inserite le strutture geologiche (faglie, fratture, lineamenti) nella zona del graben Siena-Radicofani-Cimino riportate nella letteratura.

Le linee tratteggiate in rosso indicano i limiti approssimativi del graben.

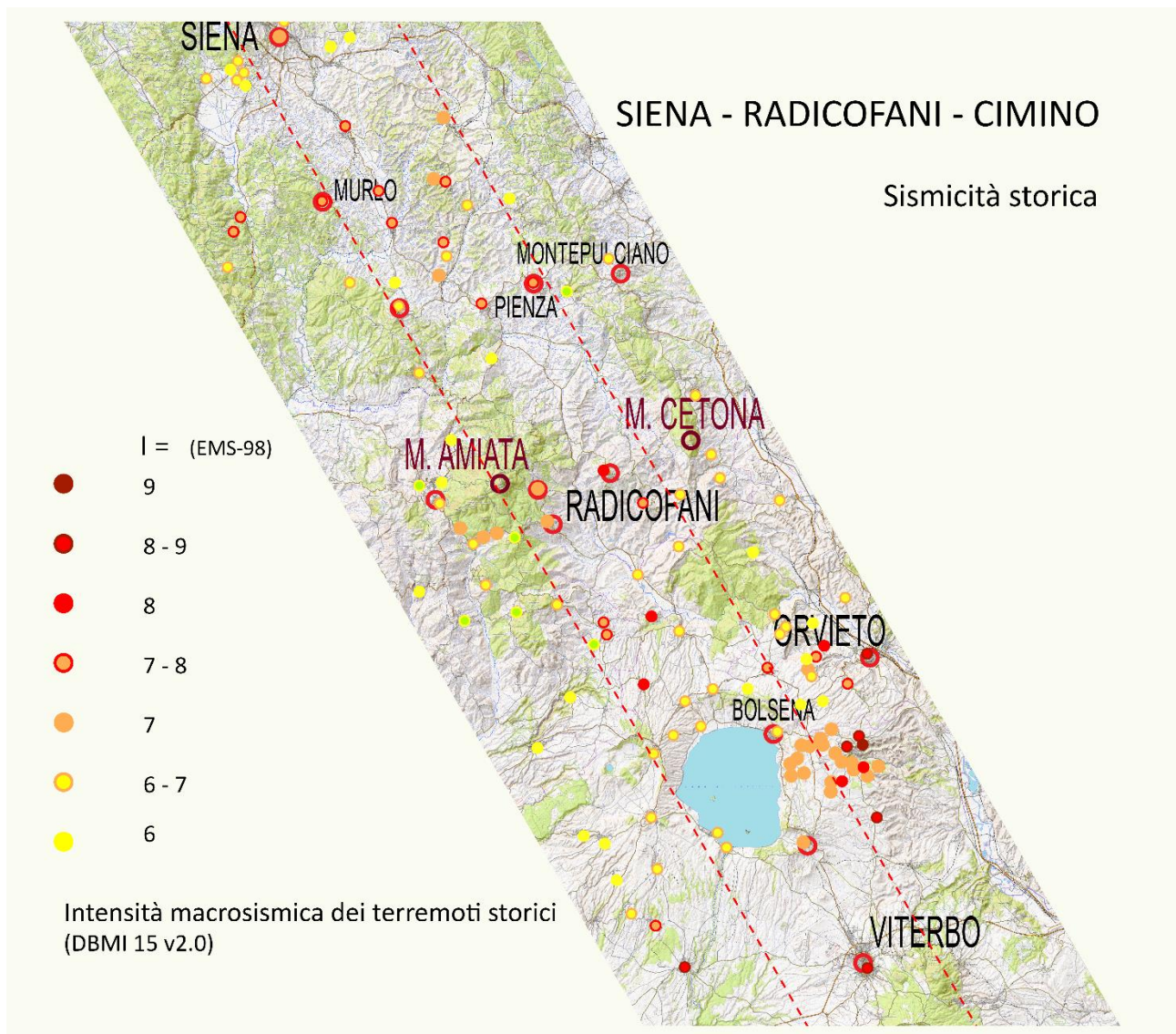


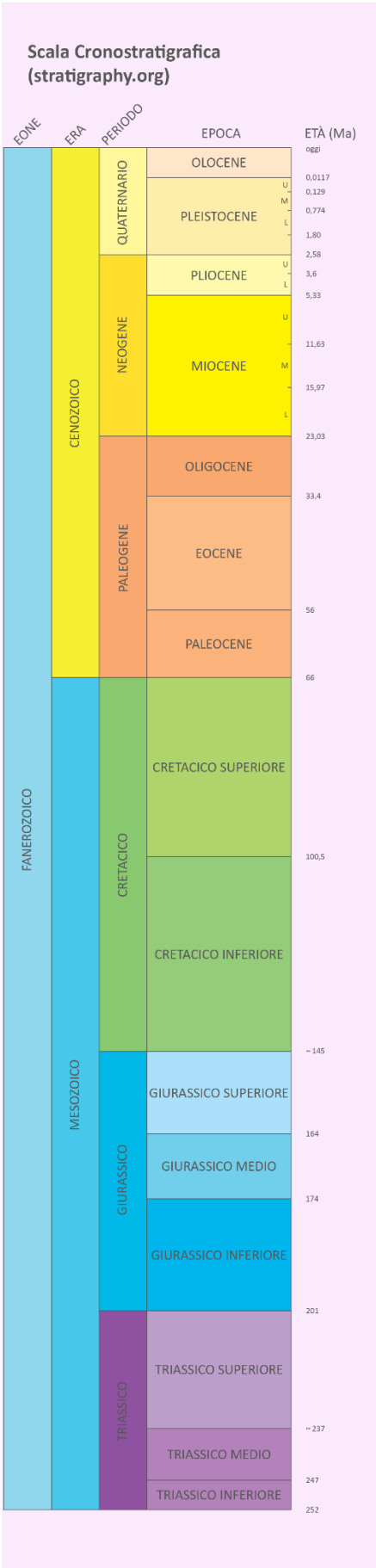
Figura 8:

Carta Geologica Italiana (1:100000) con i terremoti storici conosciuti avvenuti nella zona del graben Siena-Radicofani-Cimino.

Le linee tratteggiate in rosso indicano i limiti approssimativi del graben.

G. Wallner (2021)

ALLEGATO: Carta Cronostratigrafica



NOTE:

-
- ¹ Bigi, G., Cosentino, D., Parotto, M., Sartori, E., and Scandone, P. (1988), Structural Model of Italy: Rome, Italy, Progetto Finalizzato Geodinamica; Consiglio Nazionale delle Ricerche, Quaderni della Ricerca Scientifica, 114.
- ² Doglioni, C., 1991. A proposal for the kinematic modelling of W-dipping subductions; possible applications to the Tyrrhenian-Apennines system. *Terra Nova* 3, 423-434.
- ³ G. Serri, F. Innocenti, P. Manetti: Magmatism from Mesozoic to Present: petrogenesis, time-space distribution and geodynamic implications. In: Vai, G.B., Martini, I.P. (eds) *Anatomy of an Orogen: the Apennines and Adjacent Mediterranean Basins*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9829-3_8
- ⁴ Doglioni, C., 1991, op. cit.
- ⁵ In geologia, l'accrezione è un processo tramite il quale del materiale viene aggiunto a una zolla (o placca) tettonica lungo un bordo convergente. Cuneo di accrezione attivo, dove si accumulano frammenti degli strati superiori della litosfera in subduzione.
- ⁶ [Le Faglie \(ingv.it\)](http://ingv.it).
- ⁷ A. Minissale, G. Magro, G. Martinelli, O. Vaselli, G.F. Tassi: Fluid geochemical transect in the Northern Apennines (central-northern Italy): fluid genesis and migration and tectonic implications, *Tectonophysics* 319 (2000) 199–222.
- ⁸ Acocella, V., and Funiciello, R., 2006, Transverse systems along the extensional Tyrrhenian margin of central Italy and their influence on volcanism: *Tectonics*, v. 25, TC2003, doi:10.1029/2005TC001845, ed V. Acocella, R. Cioni, D. Palladino, P. Russo, S. Simei: Caldera structure, amount of collapse, and erupted volumes: The case of Bolsena caldera, Italy. *Geological Society of America Bulletin* (2012) 124, 9-10, 1562-1576.
- ⁹ E. Locardi, D. Molin (1974): Tettonica, Vulcanismo e Bacini uraniferi nel Lazio, in *L'Italia nell'ambito dell'evoluzione del Mediterraneo*. 67- Congr. Soc. Geol. It., Parma, 30 pp .
- ¹⁰ Acocella e Funiciello (2006), op. cit.
- ¹¹ L. Jolivet, C. Faccenna, B. Goffé, M. Mattei, F. Rossetti, C. Berune, F. Storti, R. Funiciello, J. P. Cadet, N. D'Agostino, T. Parr: Midcrustal shear zones in postorogenic extension: Example from the northern Tyrrhenian Sea. *Journal of Geophysical Research*, vol. 103, 6, 123 (1998).
- ¹² E. Patacca, R. Sartori, P. Scandone: Tyrrhenian Basin and Apenninic Arcs: Kinematic relations since late Tortonian times. *Memorie Societa Geologica Italiana* 45 (1990), 425-451.
- ¹³ I. P. Martini, M. Sagri: Tectono-sedimentary characteristics of Late Miocene-Quaternary extensional basins of the Northern Apennines, Italy. *Earth-Science Reviews*, 34: 197-233 (1993).
- ¹⁴ G.P. Cavinato, D. Cosentino, D. De Rita, R. Funiciello, M. Parotto: Tectonic-sedimentary evolution of intrapenninic basins and correlation with the volcano-tectonic activity in Central Italy. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia* 49, 63-76 (1994).
- ¹⁵ G.P. Cavinato, P.G.D. Celles: Extensional basins in the tectonically bimodal central Apennines fold-thrust belt, Italy: response to corner flow above a subducting slab in retrograde motion. *Geology* 27 (10), 955-958 (1999) ed D'Agostino N., Jackson J.A., Dramis F., Funiciello R., (2001) - Interactions between mantle upwelling, drainage evolution and active normal faulting: an example from the central Apennines (Italy) -

¹⁶ vedi V. Acocella et al. (2012), op. cit.

¹⁷ DRE: dense rock equivalent

¹⁸ P. Baldi, F.A. Decandia, A. Lazzarotto, A. Calamai. Studio geologico del substrato della copertura vulcanica laziale nella zona dei Laghi di Bolsena, Vico e Bracciano. *Mem. Soc. Geol. It.* 13, 575 (1974).

¹⁹ G. P. Brandi, C. Ferroni, F. A. Decandia, L. Giannelli, B. Monforti, G. Salvatorini: Il Pliocene del bacino del Tevere fra Celleno (Terni) e Civita Castellana (Viterbo). *Stratigrafia ed evoluzione tettonica. Atti Soc. Tosc. Nat. Nem.*, 77, 308–326.

²⁰ P. Ambrosetti, M.G. Carboni, M. A. Conti: Evoluzione paleogeografica e tettonica nei bacini Tosco-Umbro-Laziali nel Pliocene e nel Pleistocene inferiore. *Mem. Soc. Geol. It.* 18, 573–580 (1978).

²¹ D. Liotta: The Arbia – Val Marecchia Line (Northern Apennines). *Eclogae geol. Helv.* 84 (2), 413–430 (1991).

²² Nappi, G., Renzulli, A., and Santi, P., 1987, An evolutionary model for the Paleo-Bolsena and Bolsena volcanic complexes: A structural and petrographic study: *Periodico di Mineralogia*, v. 56, p. 241–267. Nappi, G., Renzulli, A., and Santi, P., 1991, Evidence of incremental growth in the Vulsinian calderas (central Italy), in Verma-Surendra, P., ed., *Calderas: Genesis, Structure, and Unrest: Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 47, p. 13–31.

Nappi, G., Capaccioni, B., Mattioli, M., Mancini, E., and Valentini, L., 1994, Plinian fall deposits from Vulsini Volcanic District (central Italy): *Bulletin of Volcanology*, v. 56, p. 502–515.

Nappi, G., Renzulli, A., Santi, P., and Gillot, Y., 1995, Geological evolution and geochronology of the Vulsini Volcanic District (central Italy): *Bollettino della Società Geologica Italiana*, v. 114, p. 599–613.

Nappi, G., Antonelli, F., Coltorti, M., Milani, L., Renzulli, A., and Siena, F., 1998, Volcanological and petrological evolution of the eastern Vulsini district, central Italy : *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 87, p. 211–232.

²³ Barberi, F., Innocenti, F., Landi, P., Rossi, U., Saitta, M., Santacroce, R., and Villa, I.M., 1984, The evolution of Latera caldera (central Italy) in the light of subsurface data: *Bulletin of Volcanology*, v. 47, p. 125–141.

Barberi, F., Buonasorte, G., Cioni, R., Fiordelisi, A., Foresi, L., Iaccarino, S., Laurenzi, M.A., Sbrana, A., Vernia, L., and Villa, I.M., 1994, Plio-Pleistocene geological evolution of the geothermal area of Tuscany and Latium: *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, v. XLIX, p. 77–134.

²⁴ Chiarabba, C., Amato, A., and Fiordelisi, A., 1995, Upper crustal tomographic images of the Amiata-Vulsini geothermal region, central Italy: *Journal of Geophysical Research*, v. 100, p. 4053–4066.

²⁵ Vezzoli, L., Conticelli, S., Innocenti, F., Landi, P., Manetti, P., Palladino, D.M., and Trigila, R., 1987, Stratigraphy of the Latera volcanic complex: Proposals for a new nomenclature: *Periodico di Mineralogia*, v. 56, p. 89–110.

²⁶ E. Locardi, G. Lombardi, R. Funiciello, M. Parotto: The main volcanic groups of Latium (Italy): Relations between structural evolution and petrogenesis. *Geologica Romana* 15, 279–300 (1976).

²⁷ D. M. Palladino, S. Simeì, G. Sottili, R. Trigila: Integrated approach for the reconstruction of stratigraphy and geology of Quaternary volcanic terrains: An application to the Vulsini volcanoes (central Italy), in Groppelli, G., and Viereck, L., eds., *Stratigraphy and Geology in Volcanic Areas: Geological Society of America Special Paper* 464, p. 66–84. (2010).

²⁸ D. Palladino et al., op. cit.

²⁹ Da V.Acocella et al. (2012), op. cit.

³⁰ Nappi et al., (1995), op. cit. Vari autori recenti si riferiscono a un'attività vulcanica primaria nel IX secolo a. C., oppure attorno all'anno 100 a. C. Come fonti di tale evento si citano Plinio il Vecchio, Tertulliano ("un incendio che distrusse Volsini"), Ammiano Marcellino e Sozione (che parlano di terremoto). Non si conosce nessun'evidenza geologica di tale attività vulcanica; tutt'al più si può parlare di vulcanismo secondario: emanazione di gas e vapori, terremoti di bassa energia.

³¹ R. Cioni: Il Complesso di Bolsena e il Vulcanismo Alcalino-Potassico del Lazio Settentrionale, Ph.D. thesis Università di Pisa, 235 pagine (1993).

³² Per un'ottima rappresentazione dell'accaduto, vedi l'articolo di Giancarlo Breccola ([vedi qui](#)), che dà anche un elenco dei terremoti storici attorno al lago, più completo e documentato di [quello dell'INGV](#).

³³ Per un recente riassunto dei terremoti geotermici in Svizzera: T. Kraft, Ph. Roth, S. Wiemer (2020) - Good-Practice Guide for Managing Induced Seismicity in Deep Geothermal Energy Projects in Switzerland (Version 2), Report ETH Zurich November 2020.

³⁴ [Vedi qui per un riassunto.](#)

³⁵ [Qui la prima analisi completa della sequenza di Vendenheim.](#)