

Roma e contesto geodinamico recente dell'Italia Centrale

Rome and recent geodynamic evolution of Central Italy

M. MATTEI*, R. FUNICIELLO*, M. PAROTTO*

RIASSUNTO - Lo sviluppo della città di Roma è stato favorevolmente condizionato dalla sua posizione geografica ai piedi della catena appenninica e in prossimità del mare. L'assetto attuale del territorio romano è il risultato di una complessa evoluzione geologica che si è sviluppata con fenomeni particolarmente intensi durante il Neogene ed il Quaternario. Durante il Neogene e fino al Pleistocene inferiore il principale processo geodinamico attivo nell'area italiana è stato quello della subduzione della litosfera africana al di sotto di quella europea, le cui tracce sono ancora oggi riconoscibili nell'area dell'Arco Calabro e del Tirreno meridionale. Nella parte alta del Pleistocene inferiore (circa 1 Ma) si assiste ad un sostanziale cambiamento nel regime geodinamico, che diviene prevalentemente controllato dalla cinematica della microplacca adriatica, indipendente da Africa e in movimento verso NE rispetto ad Eurasia, come testimoniato dai dati geodetici attualmente disponibili. In Italia Centrale la costruzione della catena appenninica è avvenuta principalmente durante il Miocene medio-superiore, con lo sviluppo di una struttura a pieghe e sovrascorrimenti. L'attivazione di una serie di importanti elementi tettonici ad andamento meridiano, con rilevante componente di movimento trascorrente destro, ha causato l'ulteriore deformazione di questo settore della catena, con l'individuazione dei diversi domini strutturali attualmente riconoscibili nell'area. Con la fine del Miocene nell'area laziale ha inizio il progressivo smembramento della catena appenninica ad opera della tettonica estensionale, il cui risultato principale è la formazione del bacino di retroarco del Mar Tirreno. I processi tettonici legati all'apertura del Tirreno sono costantemente accompagnati da un'intensa attività magmatica e vulcanica, particolarmente importante nell'area laziale a partire dal Pleistocene medio, a cui è anche attribuibile il forte innalzamento del flusso di calore e la produzione di una grande quantità di fluidi profondi (in particolare CO₂) attualmente misurati nell'area. La tettonica estensionale nell'area del margine tirrenico ha dato luogo alla formazione di una serie di bacini sedimentari, discordanti sulle strutture appenniniche, che diventano progressivamente più giovani a partire dall'area tirrenica verso i settori assiali della catena. I bacini estensionali sono generalmente bordati da faglie normali, ad andamento prevalente NW-SE, che nell'area del crinale appenninico sono responsabili dei principali eventi sismici registrati nella penisola italiana. Nell'area della campagna romana e fino al litorale tirrenico lo sviluppo di questi bacini e la loro evoluzione è stata fortemente condizionata dalla complessa interazione tra attività tettonica, variazioni relative del livello del mare ed attività vulcanica. L'insieme di questi processi ha dato luogo alla costruzione del paesaggio romano sul quale si è innestato con successo lo sviluppo della civiltà romana, prima che la crescita urbanistica recente ne mascherasse la straordinario equilibrio.

PAROLE CHIAVE: margine Tirrenico, Neogene-Quaternario, tettonica.

ABSTRACT - The development of the city of Rome has been favourably influenced by its geographic location, comprised between the Apennine foothills and the Tyrrhenian Sea. The present-day geology and morphology of the Roman area result from a complex geological evolution, which was particularly intense during the Neogene and Quaternary. During the Neogene and Early Pleistocene the main geodynamic process active in the Italian region was the subduction of the African-Adriatic lithosphere underneath the European one, whose evidences are still recognizable in the Calabrian Arc region and in the Southern Tyrrhenian Sea. During the uppermost Early Pleistocene (about 1 Ma) a significant change of geodynamic regime occurred, and the tectonics of the area was mainly controlled by the kinematics of the Adriatic microplate, which moves toward NE respect to Eurasia with an independent kinematics respect to the Africa plate. In Central Italy the Apennine chain formed mainly during the Middle-Late Miocene, with the progressive development of a fold and thrust belt migrating toward the Adriatic foreland. At the same time N-S oriented right-lateral transpressional structures were also activated, which further complicated the structural architecture of this portion of the chain, with the formation of different structural domains. Starting from the Late Miocene the Latium Tyrrhenian margin was interest-

* Dipartimento di Scienze Geologiche - Università degli Studi "Roma Tre", Largo San Leonardo Murialdo, 1 - 00146 Roma

ed by extensional tectonics, which was responsible of the opening of the Tyrrhenian Sea back-arc basin, and caused the progressive dismembering of the Apennine chain. Extensional processes active along the Tyrrhenian margin were also accompanied by an intense magmatic and volcanic activity, which, in the Latium area, has been particularly intense during the Middle Pleistocene. The area of extensional deformation is characterized by an anomalous heat flow and deep fluids emission (mainly CO₂) presently measured all along the Tosco-Latium Tyrrhenian margin. Extensional processes have been also responsible of the formation of several sedimentary basins, which unconformably lie on top of the Apennine orogenic structures. Such basin are Late Miocene in age along the western portion of the Tosco-Latium Tyrrhenian margin, and become younger toward the east, following the progressive migration of the orogenic system toward the Adriatic foreland. Extensional sedimentary basins are generally bounded by NW-SE oriented normal faults, which, along the axial part of the Apennine are presently active and are responsible of the strongest seismic events in the Italian peninsula.

In the Roman area the evolution of such extensional basin during the Quaternary has been strongly influenced by the complex interaction among tectonics, sea-level changing and volcanic activity. These interactions were ultimately responsible of the formation of the actual landscape of the Roman region, whose beauty and harmony is one of the main reasons of the successfully development of the Roman civilization, until an indiscriminate urban development did not hide the beautiful harmony.

KEY WORDS: Tyrrhenian Margin, Neogene-Quaternary, tectonics.

1 - INTRODUZIONE

Roma è ubicata sul margine tirrenico laziale, in un'area compresa tra i rilievi della struttura appenninica e quelli dei grandi edifici vulcanici quaternari dei Sabatini, a nordovest, e dei Colli Albani, a

sudest. Questi ultimi fanno parte di una fascia vulcanica, di età pleistocenica e olocenica, che si estende per circa 400 chilometri, con andamento NO-SE, sul margine occidentale della penisola italiana dalla Toscana meridionale, a nord, fino al Vesuvio, a sud (fig. 1). Il territorio della città di Roma si

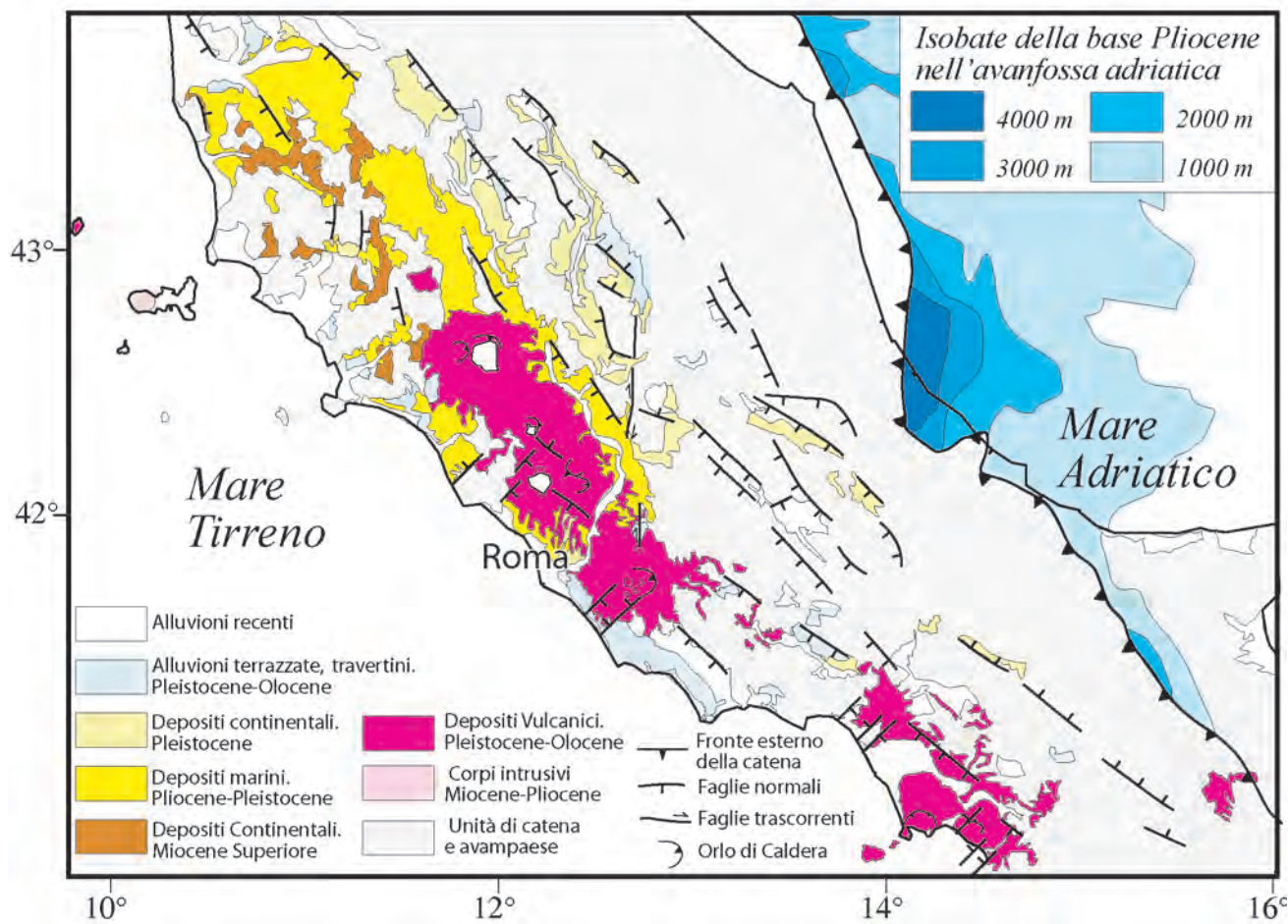



Fig. 1 - Schema strutturale del margine tirrenico centro-settentrionale della penisola italiana. Sono anche riportati i valori delle isobate della base del Pliocene dei depositi di avanfossa dell'area adriatica.

- Synthetic structural map of the northern-central Tyrrhenian margin in the Italian peninsula. The base of Pliocene isobaths of the foredeep deposits in the Adriatic region are also reported.





caratterizza per la presenza di modesti rilievi e piane alluvionali, ubicati tra il mare e le prime alture dell'Appennino. L'insieme di questi elementi ha dato luogo ad un ambiente estremamente favorevole, con una grande disponibilità di risorse idriche di eccellente qualità, con terreni ricoperti da fertili depositi vulcanici e caratterizzato da una grande facilità nelle vie di accesso e di comunicazione. Questi aspetti favorevoli sono stati presupposti fondamentali per lo sviluppo dell'antica Roma ed hanno concorso alla straordinaria integrazione tra attività antropica e paesaggio naturale, che ha costantemente accompagnato lo sviluppo della città in tempi storici, fino a che l'incontrollato sviluppo urbanistico degli ultimi decenni non ne ha modificato in maniera profonda la natura.

2 - EVOLUZIONE GEODINAMICA DELL'AREA ITALIANA DAL NEOGENE ALL'ATTUALE

2.1 - L'EVOLUZIONE DELL'AREA ITALIANA NEL QUADRO DELLA GEODINAMICA DEL MEDITERRANEO

L'assetto geologico attuale dell'area romana, così come dell'intera penisola italiana, deriva dai processi di convergenza tra la placca africana e quella europea che hanno portato alla costruzione della catena appenninica e al suo successivo smembramento e conseguente apertura del bacino tirrenico (OGNIBEN *et alii*, 1975; BIGI *et alii*, 1989; 1992; VAI & MARTINI, 2001). In questo contesto generale un ruolo fondamentale nel determinare l'evoluzione tettonica dell'area italiana è stato svolto dalla subduzione della placca africana al di sotto di quella europea, che è stata particolarmente attiva durante il Miocene ed il Pliocene e le cui evidenze sismologiche sono ancora riconoscibili al di sotto dell'Arco Calabro e del Tirreno meridionale (ANDERSON & JACKSON, 1987; GIARDINI & VELONÀ, 1991; SPAKMAN *et alii*, 1993; SELVAGGI & CHIARABBA, 1995; PIROMALLO & MORELLI, 2003). I processi di convergenza e subduzione hanno causato la progressiva formazione delle catene montuose che si estendono dall'Appennino alla Sicilia, che costituiscono l'ossatura della penisola italiana e la coeva apertura, alle loro spalle, di importanti bacini estensionali di retroarco (bacino Ligure-Provenzale e bacino Tirrenico) (BOCCALETTI & GUAZZONE, 1974; ALVAREZ *et alii*, 1974; PATACCA *et alii*, 1989). Questa evoluzione è stata costantemente accompagnata dalla messa in posto di corpi

plutonici e da una estesa attività vulcanica che si estende sino ai nostri giorni (BARBERI *et alii*, 1974; CIVETTA *et alii*, 1978; SERRI, 1990; PECCERILLO, 2005) e che ha rappresentato uno dei principali fattori nell'evoluzione recente del paesaggio nell'area romana (FUNICIELLO *et alii*, 2003).

I dati di geodesia spaziale, la distribuzione della sismicità, le indagini paleomagnetiche e geologico-strutturali forniscono un quadro dell'evoluzione tettonica recente ed attuale dell'area italiana sostanzialmente diverso da quello attivo durante il Neogene e fino al Pleistocene inferiore (circa 1 Ma), nel quale i processi di subduzione e di apertura dei bacini di retroarco non sembrano più attivi in maniera significativa (D'AGOSTINO & SELVAGGI, 2004; GOES *et alii*, 2004). I dati GPS indicano che nell'area italiana l'attuale convergenza tra Eurasia e Nubia (la placca africana con esclusione della regione ad oriente del Rift Africano orientale) è di circa 5-6 mm/anno in direzione NO (fig. 2) (SELLA *et alii*, 2002; D'AGOSTINO & SELVAGGI, 2004). Tuttavia lo studio dei terremoti e della tettonica recente suggerisce che le modalità con le quali questa convergenza viene assorbita lungo il margine tra le due placche è estremamente complessa, data la coesistenza di deformazione compressiva ed estensionale lungo una ampia fascia di deformazione che si estende dal nord Africa sino alla Grecia, interessando l'intera penisola italiana (MCKENZIE, 1972; PONDRELLI *et alii*, 1995; GOES *et alii*, 2004). L'esistenza di aree caratterizzate da bassa o nulla sismicità ha suggerito la possibile presenza di microplacche cinematicamente indipendenti comprese tra Eurasia e Africa. In particolare la distribuzione dei terremoti (ANDERSON & JACKSON, 1987) ed i recenti dati geodetici (WARD, 1994; D'AGOSTINO & SELVAGGI, 2004; GOES *et alii*, 2004) hanno evidenziato come la regione adriatica si muova attualmente verso NE rispetto ad Eurasia, e abbia pertanto una cinematica indipendente sia rispetto alla placca africana che alla placca europea (fig. 2). Questi risultati concordano con numerosi dati geologici e paleomagnetici che mostrano una graduale disattivazione dei fronti compressivi più esterni della catena appenninica e della Sicilia, relativa ad un progressivo arresto dei processi di subduzione nell'area italiana, e la fine dei processi di arcuatura dell'Appennino settentrionale e dell'Arco Calabro (MATTEI *et alii*, 2004; CIFELLI *et alii*, 2007; MATTEI *et alii*, 2007), suggerendo che parte della convergenza tra Africa ed Eurasia è attualmente assorbita dal moto della microplacca

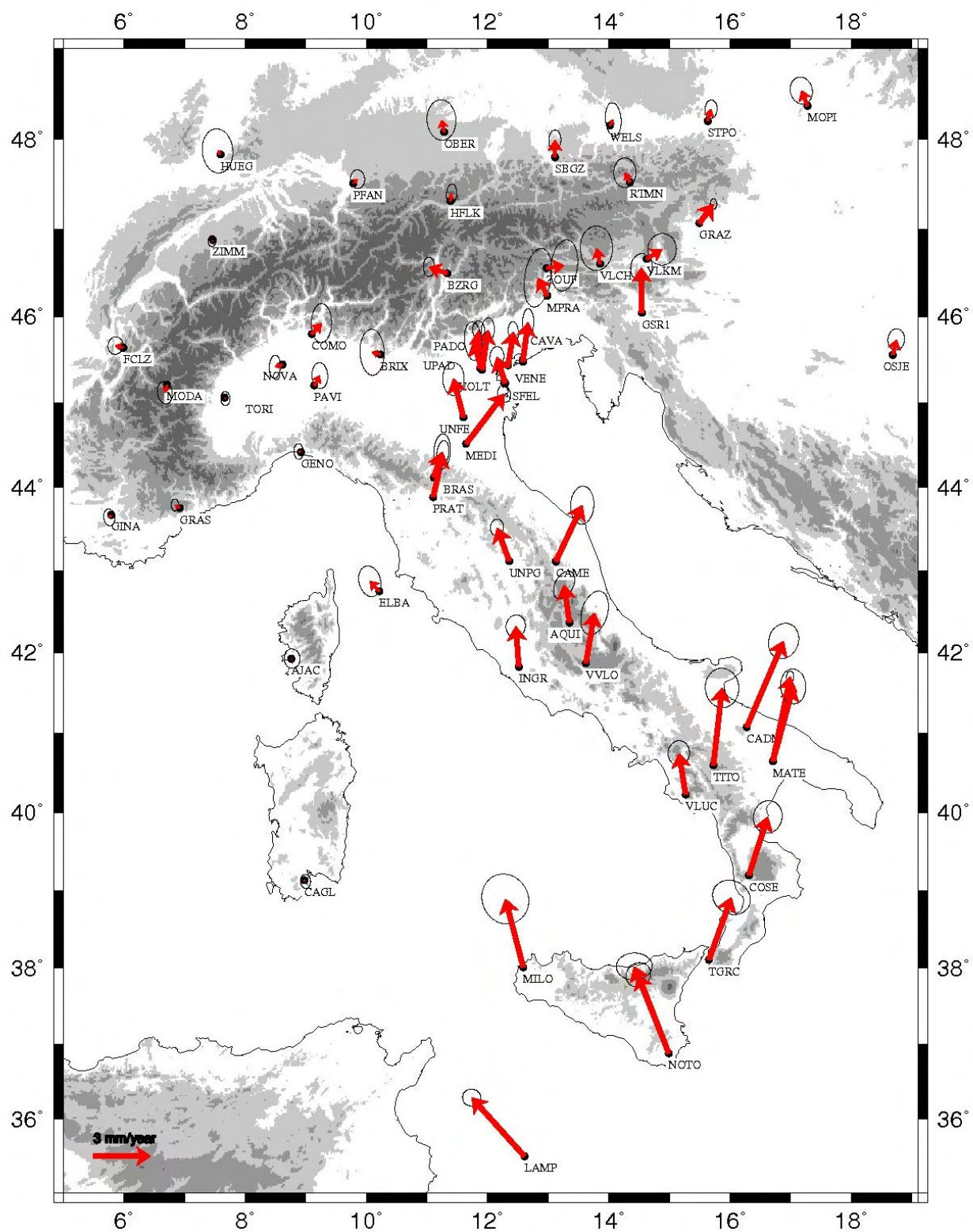


Fig. 2 – Velocità GPS relative ad Eurasia delle stazioni continue nell'area italiana. Le ellissi di errore rappresentano il 95% di intervallo di confidenza (dati da MATTEI *et alii*, 2004; D'AGOSTINO & SELVAGGI, 2004).

- GPS velocities relative to Eurasia of continuous stations in Italy. Error ellipse represent the 95% confidence interval (data from MATTEI *et alii*, 2004; D'AGOSTINO & SELVAGGI, 2004).

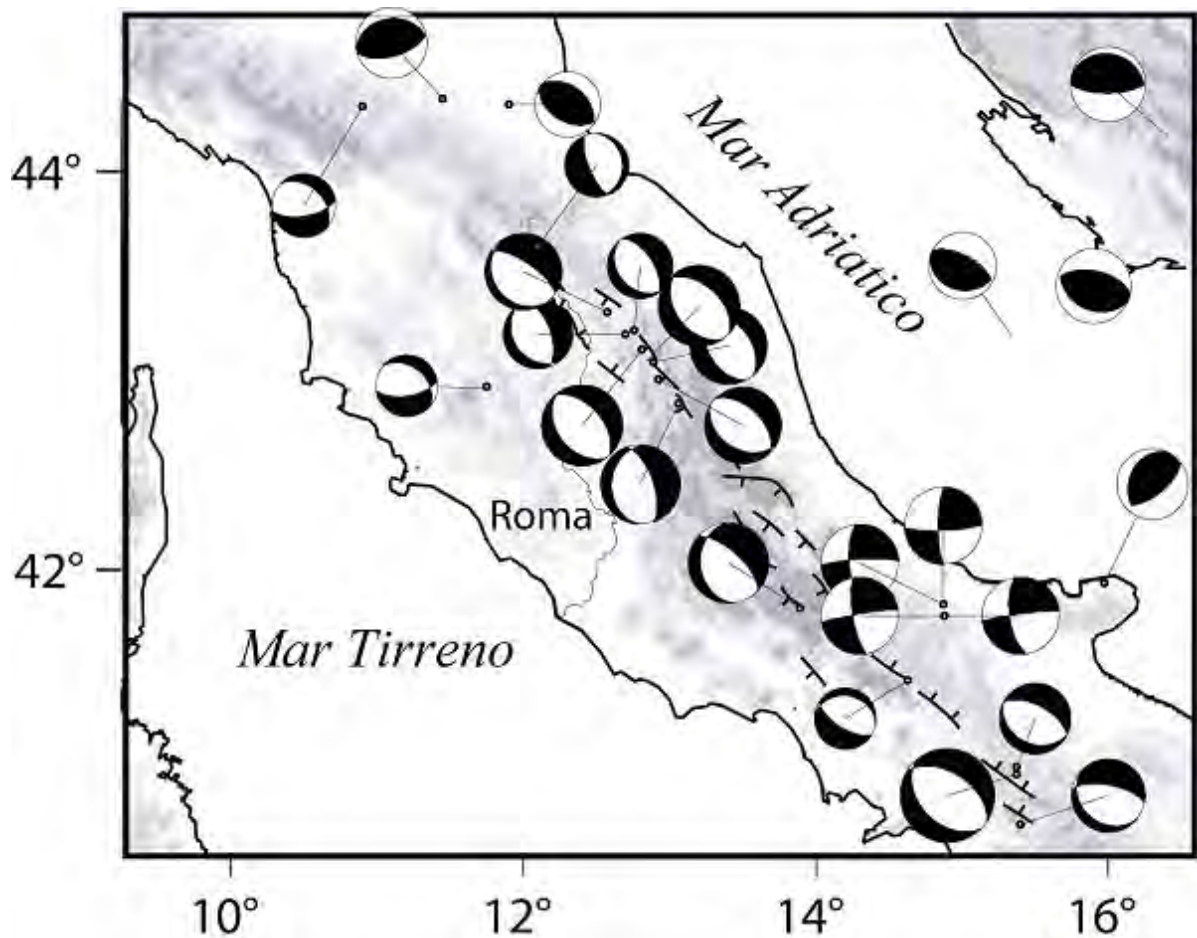


Fig. 3 – Distribuzione dei maggiori terremoti e delle principali faglie attive in Italia centrale. La distribuzione della sismicità evidenzia come i processi estensionali siano oggi particolarmente attivi nella dorsale appenninica, sede dei terremoti maggiormente distruttivi dell'area ($M > 6.5$) (da www.ingv.it/terremoti/terremoti.html).

- Distribution of the main active faults and large earthquakes in Central Italy. The seismicity shows that extensional processes are active along the internal part of the Apennine, where the large earthquakes ($M > 6.5$) have been measured (from www.ingv.it/terremoti/terremoti.html).

adriatica piuttosto che dalla subduzione della litosfera adriatico-ionica.

Allo stesso tempo i dati geodetici mostrano come l'area adriatica sia cinematicamente indipendente rispetto all'area appenninica, che mostra vettori di velocità orientati verso NNO rispetto ad Eurasia, confermando l'esistenza di una fascia di deformazione attiva in corrispondenza dell'asse della catena, già evidenziata dallo studio della sismicità e dalle analisi geologiche (VALENSISE & PANTOSTI, 2001 e riferimenti citati). In questa stessa area gli studi di deformazione basati su triangolazioni geodetiche mostrano che la regione è attualmente soggetta ad un tasso di estensione di circa 3-5 mm/anno secondo una direzione NE-SO (HUNSTAD *et alii*, 2003), coerente con i meccanismi focali e con la distribuzione dei maggiori terremoti strumentali e storici avvenuti nella zona assiale della catena appenninica (fig. 3).

3 - CARATTERI GENERALI DELL' EVOLUZIONE TETTONICA DELL' ITALIA CENTRALE

3.1 - LA COSTRUZIONE DELLE STRUTTURE APPENNINICHE

La convergenza Africa-Eurasia e la subduzione della litosfera Adriatico-Ionica hanno dato luogo alla formazione della catena Appenninica, con un processo particolarmente intenso durante il Miocene ed il Pliocene, quando le unità paleogeografiche che costituivano il margine adriatico furono progressivamente deformate ed incorporate all'interno della catena (PAROTTO & PRATURLON, 1975; PATACCA & SCANDONE, 1989; CIPOLLARI & COSENTINO, 1995). Queste unità, formate prevalentemente da carbonati Mesozoici e Terziari sia in facies di piattaforma che di scarpata e di bacino,

costituiscono oggi gran parte della struttura appenninica e affiorano estesamente sui rilievi dei Monti Sabini, Tiburtini, Prenestini e Lepini e negli isolati rilievi dei Monti Cornicolani e del Monte Soratte, che emergono in maniera caratteristica dalla piana della campagna romana (PAROTTO & PRATURLON, 1975; PAROTTO, 1980; ACCORDI & CARBONE, 1988). Più in dettaglio occorre notare come proprio sui rilievi ai margini della campagna romana affiorino in maniera spettacolare le ultime propaggini della grande piattaforma carbonatica mesozoica Laziale-Abruzzese, i cui margini sono visibili nei classici affioramenti di Rocca di Cave, sui Monti Prenestini, e nei settori nord occidentali dei Monti Lepini (CARBONE *et alii*, 1971; PRATURLON & SIRNA, 1976; CASTELLARIN *et alii*, 1978). Verso occidente queste unità passano molto rapidamente ad unità di transizione e di bacino affioranti sulle strutture dei Monti Tiburtini e dei Sabini e conosciute, tramite sondaggi profondi e attraverso lo studio degli inclusi sedimentari nei prodotti piroclastici alban, come costituenti il substrato sepolto della campagna romana, dell'area sabatina e del territorio della città di Roma (FUNICIELLO & PAROTTO, 1978). L'instaurarsi della deformazione compressiva nell'attuale catena appenninica è marcato dal rapido passaggio ad una sedimentazione prevalentemente clastica e dalla formazione dei bacini di avanfossa che nell'area dei rilievi appenninici laziali è avvenuta principalmente nel Miocene medio e superiore, come testimoniato dall'età dei depositi sinorogenici affioranti nelle depressioni strutturali della Valle Latina e della Valle dell'Aniene (ACCORDI *et alii*, 1969; CIVITELLI & CORDA, 1988; CIPOLLARI & COSENTINO, 1992; PATACCA *et alii*, 1992). La peculiarità dell'assetto strutturale dei rilievi appenninici intorno a Roma è data dalla coesistenza di strutture tettoniche con orientamento e stile deformativo diversi, il cui limite è dato da una importante fascia di deformazione nota come Linea Olevano-Antrdoco (PAROTTO, 1980). Questo importante elemento strutturale marca il limite tra le strutture meridiane, con prevalente sedimentazione carbonatica in facies di scarpata e di bacino, che costituiscono i rilievi sabini e prenestini, e quelle ad andamento NO-SE, con sedimentazione in facies di piattaforma carbonatica e di margine, che costituiscono i rilievi dei Monti Lepini e Simbruini (CIVITELLI *et alii*, 1986; CORDA & MARIOTTI, 1986). L'attività tettonica della Linea Olevano-Antrdoco è avvenuta nel Miocene superiore-

Pliocene inferiore, successivamente alla formazione delle avanfosse della Valle Latina e della Val Roveto (CIPOLLARI & COSENTINO, 1992) e alla prima strutturazione dei principali rilievi appenninici che avevano dato luogo alla struttura a pieghe e sovrascorrimenti, ampiamente riconosciuta nell'area sia in affioramento che nei sondaggi profondi effettuati per le ricerche di idrocarburi (ACCORDI, 1966; PRATURLON & PAROTTO, 1975; PAROTTO, 1980; COSENTINO & PAROTTO, 1986). L'attivazione della linea Olevano-Antrdoco e delle altre strutture meridiane con componente di movimento trascorrente destro, quali ad esempio la Faglia Sabina (ALFONSI *et alii*, 1991), ha determinato l'instaurarsi di importanti e complesse rotazioni delle strutture tettoniche, testimoniate dai dati paleomagnetici raccolti negli ultimi anni (MATTEI *et alii*, 1995). Questi eventi hanno portato alla definizione dei diversi domini strutturali dell'area e alla ulteriore disarticolazione delle strutture deformative enucleatesi durante i primi stadi di evoluzione della catena appenninica, definendo l'attuale assetto delle strutture appenniniche affioranti e di quelle sepolte al di sotto della copertura sedimentaria e vulcanica plio-quadernaria della campagna romana. Con il Pliocene inferiore i processi tettonici responsabili dell'orogenesi appenninica migrarono verso i settori adriatici, come testimoniato dall'ingente spessore dei depositi silicoclastici plio-pleistocenici affioranti in questo settore della catena appenninica (fig. 1) (ROYDEN *et alii*, 1987; SARTORI *et alii*, 1989; PATACCA, *et alii*, 1990; PATACCA *et alii*, 1992). Allo stesso tempo nell'intero margine tirrenico laziale le strutture appenniniche iniziarono ad essere progressivamente dislocate e smembrate ad opera dei processi estensionali responsabili dell'apertura del bacino tirrenico.

3.2 - LO SMEMBRAMENTO DELLA CATENA E LO SVILUPPO DEL MARGINE TIRRENICO

Durante il Miocene superiore e fino al Quaternario lo sviluppo della tettonica estensionale ha dato luogo ad un significativo assottigliamento della crosta continentale e a un'importante attività magmatica e vulcanica particolarmente intensa a partire dal Pleistocene medio (si veda PECCERILLO, 2005 per una recente revisione). Questa attività trova oggi riscontro, in tutta l'area del margine tosko-laziale, nell'elevato flusso di calore (fig. 4) e nell'imponente produzione di fluidi profondi, che giocano un ruolo molto importan-



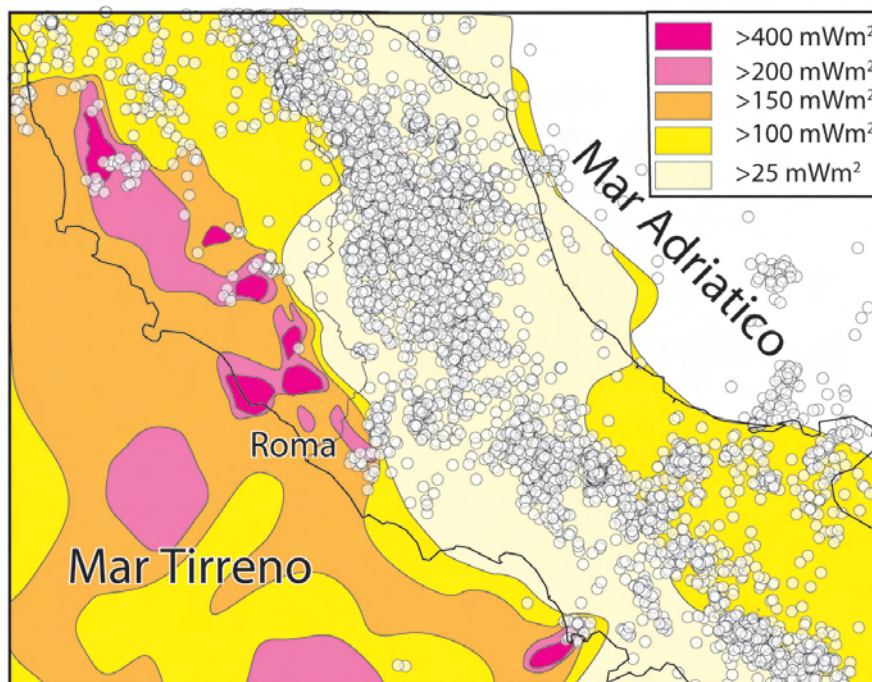


Fig. 4 – Distribuzione del flusso di calore e della sismicità nell'Italia centrale. Il flusso di calore è generalmente molto alto lungo tutto il margine tirrenico centro-settentrionale della penisola (MONGELLI & ZITO, 1991). Verso sudest i valori del flusso di calore sono generalmente più bassi a causa della presenza delle unità mesozoiche di piattaforma carbonatica, sede dei grandi acquiferi carsici dell'Appennino. Gli elevati valori di flusso dell'area tirrenica corrispondono ad una diminuzione della sismicità che, in questa area, è prevalentemente legata alla presenza di zone ricche di fluidi geotermici o sede di attività vulcanica recente o attuale.

- Heat flow and seismicity in Central Italy. Heat flow values are generally very high along the Central-Northern Tyrrhenian margin of the Italian peninsula (MONGELLI & ZITO, 1991). Toward SE the heat flow values tend to decrease because of the presence of carbonatic units which host huge fresh water reservoirs. High values of heat flow correspond to a decrease in seismic activity, which is concentrated along very small areas corresponding to recent or active volcanoes or geothermal fields.

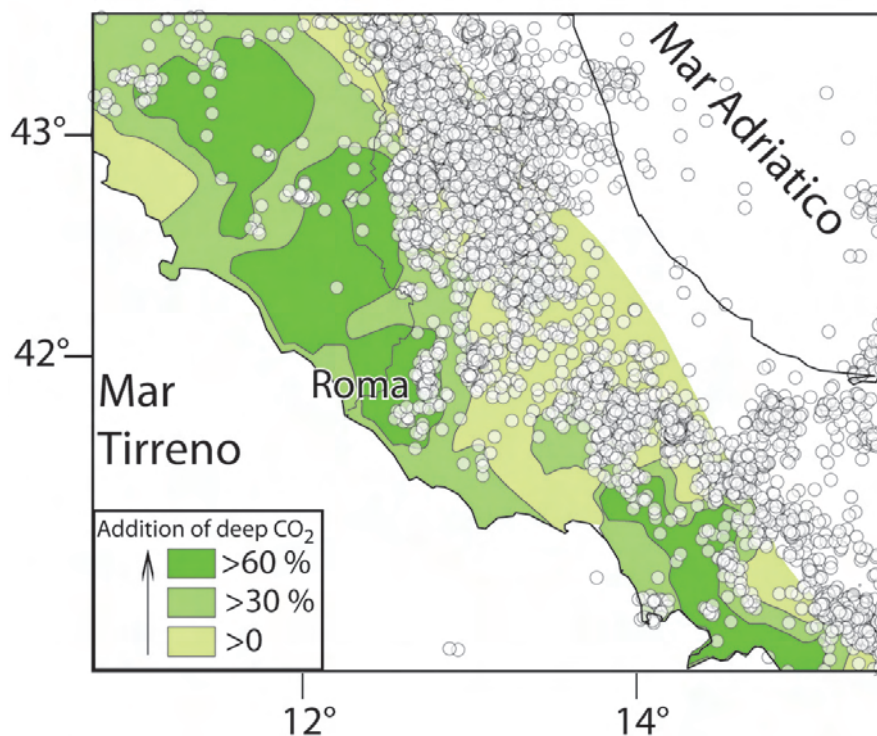


Fig. 5 – Distribuzione della probabilità della presenza di CO₂ di origine profonda e distribuzione della sismicità nell'Italia centrale. Il margine estensionale della catena appenninica è caratterizzato dall'emissione di grandi quantità di CO₂, che rappresenta uno dei principali fattori di controllo della sismicità dell'area. I valori di anomalia superficiale di CO₂ tendono a decrescere in maniera significativa verso la catena appenninica. In quest'area diverse perforazioni profonde hanno intercettato fluidi in sovrappressione al di sotto delle anidriti triassiche, suggerendo che i fluidi ricchi in CO₂ possano essere intrappolati all'interno di reservoirs profondi e che il loro rilascio possa causare l'innescio dei principali eventi sismici nella catena appenninica (ridisegnato da CHIODINI et alii, 2004).

- Map showing the probability that a deep source of CO₂ is present at any location in Central Italy. The extensional Tyrrhenian margin is characterized by huge emission of CO₂ which represents one of the more important controlling factor of the seismicity in the area. CO₂ values tend to decrease toward the internal part of the chain. In such a region several deep wells have reached CO₂ overpressured reservoirs below the Triassic anhydrites. The released of such deep fluids can trigger the main seismic events in the region. The map is compared with the recent seismic activity in Central Italy (redrawn from CHIODINI et alii, 2004).

te nella distribuzione della sismicità (fig. 5) (MILLER *et alii*, 2004; CHIODINI *et alii*, 2004).

Il risultato più evidente della progressiva disarticolazione della catena appenninica ad opera dei processi estensionali è lo sviluppo del bacino tirrenico. Il bacino tirrenico ha una forma triangolare ed è generalmente diviso in due settori distinti: quello settentrionale, a nord del 41° parallelo, e quello meridionale, delimitato a sud dalle strutture dell'Arco Calabro. I due settori hanno età ed evoluzione tettonica sostanzialmente differenti, principalmente connesse alle diverse modalità e tipologie di subduzione nell'area appenninica rispetto a quella dell'Arco Calabro (FACCENNA *et alii*, 1997). Nel Tirreno settentrionale i processi estensionali hanno avuto inizio a partire dal Miocene inferiore-medio, nell'area compresa tra la Corsica e l'Isola d'Elba (BARTOLE, 1995; FACCENNA *et alii*, 1997; JOLIVET *et alii*, 1998). In questo settore la tettonica estensionale si è esplicata attraverso la formazione di sistemi di faglie normali ad andamento meridiano, immergenti prevalentemente verso est, che sono stati riconosciuti sia ai margini dei bacini sedimentari che nei nuclei metamorfici dell'Elba e dell'Isola del Giglio. Queste zone di taglio si sono formate nella crosta a profondità dell'ordine di 12-15 km ed hanno accompagnato l'esumazione dei nuclei metamorfici e dei corpi intrusivi affioranti nell'area (JOLIVET *et alii*, 1998, COLLETTINI *et alii*, 2006). Sul margine continentale tirrenico la tettonica estensionale ha avuto il suo periodo di maggiore attività durante il Miocene superiore e il Pliocene, dando luogo alla formazione di una estesa fascia di bacini sedimentari che si sviluppano in netta discordanza sulle strutture orogeniche preesistenti (ELTER, *et alii*, 1975; MARTINI & SAGRI, 1993; CARMIGNANI *et alii*, 1994; BOSSIO *et alii*, 1998). Procedendo verso il margine tirrenico toscano e verso l'Umbria la tettonica estensionale diviene controllata prevalentemente da faglie normali ad andamento NO-SE a basso angolo ed immergenti verso oriente, a cui sono associate faglie normali ad alto angolo generalmente immergenti verso ovest, sulle quali si concentrano i maggiori eventi sismici dell'area. Nella parte assiale della catena l'attività tettonica estensionale ha inizio nel Pleistocene ed ha dato luogo alla formazione di numerosi bacini continentali intramontani (fig. 1).

Nel Tirreno meridionale i processi estensionali sono stati di maggiore intensità dando luogo nel Messiniano-Pleistocene inferiore alla formazione di nuova crosta oceanica nei bacini del Vavilov e

del Marsili (REHAULT, *et alii*, 1987; KASTENS *et alii*, 1988; SARTORI, 1990; NICOLosi *et alii*, 2006). I dati di sismica e le perforazioni effettuate nell'ambito della campagna ODP, insieme ai dati stratigrafici e strutturali raccolti sul margine tirrenico affiorante in Calabria, suggeriscono che i processi estensionali sono progressivamente migrati da NO verso SE come conseguenza dell'arretramento flessurale della placca ionica in subduzione (MALINVERNO & RYAN, 1986; PATACCA *et alii*, 1989). I processi di estensione sono infatti iniziati nel margine sud occidentale della Sardegna durante il Serravalliano (MATTEI *et alii*, 2002) e sono progressivamente migrati verso sudest nei bacini del Vavilov e del Marsili, causando la progressiva deriva del blocco Calabro-Peloritano verso sudest.

4 - ASSETTO STRUTTURALE E EVOLUZIONE DEL MARGINE TIRRENICO LAZIALE

L'attività tettonica che ha accompagnato lo sviluppo del margine tirrenico laziale è prevalentemente legata alla presenza di faglie normali ad alto angolo, orientate NO-SE. Queste faglie sono oggi particolarmente evidenti nell'area appenninica, dove costituiscono i margini dei grandi bacini sedimentari intramontani riempiti di potenti sequenze sedimentarie continentali del Pliocene superiore-Quaternario (CAVINATO *et alii*, 1994). Verso il margine tirrenico le faglie normali sono generalmente sepolte al di sotto delle estese coperture vulcaniche quaternarie. In questa zona la loro esistenza è principalmente dedotta dallo studio del sottosuolo attraverso indagini geofisiche e pozzi profondi dedicati alla ricerca di fluidi geotermici (FUNICIELLO & PAROTTO, 1978; BARBERI *et alii*, 1994). In questa regione assume inoltre un ruolo notevole l'attività di fasce di taglio trascorrenti destre, ad andamento meridiano, la cui attività si protrae nel Pleistocene superiore, che condizionano l'assetto strutturale dell'area sabina a nord di Roma, sino ad interessare l'area di Bagni Albule e a condizionarne l'assetto strutturale recente (ALFONSI *et alii*, 1991; FACCENNA *et alii*, 1994a). In particolare nell'area immediatamente a sud dei Monti Cornicolani e di Bagni Albule gli elementi meridiani trascorrenti destri generano un esteso campo di fratturazione, ad andamento NE-SO, sede preferenziale di una importante circolazione di fluidi ricchi in carbonati che sono responsabili della deposizione delle estese placche di travertino



affioranti nell'area e che sono sede storica di attività estrattiva.

In tutto il margine tirrenico un ruolo molto importante nella definizione dell'assetto tettonico è rivestito dalle strutture trasversali, ad andamento NE-SO (FACCENNA *et alii*, 1994b; ACOCELLA & FUNICIELLO 2006; BARCHI *et alii*, 2007). In alcuni casi (es. Ceriti, Zannone, Ardea) le faglie normali ad andamento NE-SO bordano bacini sedimentari che si formano parallelamente alla direzione di estensione principale del margine tirrenico e che giocano un ruolo particolarmente importante nel trasferire i processi estensionali ai vari segmenti del margine. Gli elementi tettonici trasversali esercitano inoltre un notevole controllo sulla localizzazione del vulcanismo Pliocenico e Quaternario nell'area. Infatti molti dei centri principali si sono formati in corrispondenza dell'intersezione tra elementi tettonici appenninici ed elementi trasversali, che evidentemente rappresentano strutture preferenziali per la risalita del magma e per l'emissione di fluidi profondi (FUNICIELLO & PAROTTO, 1978; FACCENNA *et alii*, 1994c).

L'inizio della tettonica estensionale nell'area del margine tirrenico laziale può essere datata al Miocene superiore, sulla base dell'età dei depositi sintettonici riconosciuti nei bacini sedimentari estensionali nell'area compresa tra Tolfa-Ceriti e Roccamonfina (DE RITA *et alii*, 1994; COSENTINO *et alii*, 2006). Durante il Pliocene ed il Pleistocene inferiore il margine tirrenico laziale e l'area della campagna romana sono stati oggetto di ripetute fasi di ingressione e regressione marina che hanno portato allo sviluppo della successione sedimentaria che rappresenta il nucleo più antico affiorante nella città di Roma (BARBERI *et alii*, 1994; COSENTINO *et alii*, in stampa). Nelle fasi di maggiore ingressione il mare si spingeva sino a lambire i rilievi appenninici dei Monti Sabini e Lucretili, isolando i piccoli rilievi del Monte Soratte e dei Monti Cornicolani, nei quali sono ancora ben riconoscibili le tracce delle antiche linee di costa. Durante il Pleistocene inferiore si assiste ad un ritiro del mare verso i settori occidentali e il paesaggio della cam-

pagna romana diviene dominato da un reticolo fluviale organizzato intorno al Paleotevere e nel quale si individuano le dorsali strutturali corrispondenti agli attuali rilievi di Monte Mario e del Gianicolo. Con l'inizio del Pleistocene medio l'intero paesaggio della campagna romana viene profondamente influenzato dalla intensa attività vulcanica dei distretti vulcanici sabatino ed albano. I prodotti esplosivi ricoprono gli antichi depositi sedimentari lungo tutta l'area, spingendosi in alcuni casi fin dentro le prime strutture appenniniche. La grande quantità di depositi vulcanici modifica in maniera sostanziale l'andamento del reticolo di drenaggio e causa un ulteriore cambiamento nel percorso dell'antico Paleotevere, che si attesta all'incirca lungo il suo corso attuale. Successivamente, nel Pleistocene medio e fino all'Attuale, l'evoluzione del paesaggio romano diviene fortemente condizionata dalle variazioni relative del livello del mare. I processi di profonda incisione delle valli alluvionali ed il loro successivo riempimento definiscono l'attuale andamento del reticolo di drenaggio e determinano l'aspetto del paesaggio romano come vediamo ai nostri giorni.

5 - CONCLUSIONI

L'evoluzione del margine tirrenico laziale durante il Miocene superiore e sino all'Attuale rappresenta il risultato dell'interazione tra tettonica estensionale, vulcanismo ed eustatismo. Questa complessa evoluzione ha reso estremamente articolato e interessante l'assetto geologico e strutturale dell'area romana che, proprio per questo motivo, è stata l'oggetto di dettagliati studi sin dai primordi della ricerca geologica. Tuttavia è solo nelle ultime decadi che gli studi geologici di dettaglio effettuati nell'area hanno fatto emergere in maniera evidente il ruolo avuto dall'assetto e dall'evoluzione geologica del territorio nella nascita e nello sviluppo della città di Roma, fornendo un contributo sostanziale alla comprensione dei meccanismi di interazione tra sviluppo del territorio e crescita della città.



BIBLIOGRAFIA

- ACCORDI B. (1966) - *La componente traslativa nella tettonica dell'Appennino laziale-abruzzese*. Geol. Romana, **5**: 355-406.
- ACCORDI B., DEVOTO G., LA MONICA G. B., PRATURLON A., SIRNA G. & ZALAFFI M. (1969) - Il Neogene nell'Appennino Laziale-Abruzzese. CMNS. Proc. IV sessione (Bologna, 19-30 Sett. 1967). Giorn. Geol. **35**: 235-268.
- ACCORDI G. & CARBONE F. (1988) - Sequenze carbonatiche meso-cenozoiche. In: ACCORDI & CARBONE (Eds), *Carta delle litofacies del Lazio-Abruzzo ed aree limitrofe C.N.R.*. Quaderni della Ricerca Scientifica, **114**: (5): 11-92.
- ACOCCELLA V., & FUNICIELLO R. (2006) - *Transverse systems along the extensional Tyrrhenian margin of central Italy and their influence on volcanism*, Tectonics, **25**, TC2003, doi:10.1029/2005TC001845.
- ALFONSI L., FUNICIELLO R., MATTEI M., GIROTTI O., MAIORANI A., PREITE MARTINEZ M., TRUDU C. & TURI B. (1991) - *Structural and geochemical features of the Sabina Strike-Slip Fault (Central Apennines)*. Boll. Soc. Geol. It., **110** (2): 217-230.
- ALVAREZ W., COCOZZA T., & WEZEL F.C. (1974) - *Fragmentation of the Alpine orogenic belt by microplate dispersal*. Nature, **248**, 309-314.
- ANDERSON H. & JACKSON J.A. (1987) - *Active tectonics in the Adriatic region*. Geophysical Journal R. Astron. Soc., **91**, 937- 983.
- BARBERI F., INNOCENTI F. FERRARA G. KELLER J. & VILLARI L. (1974) - *Evolution of Eolian arc volcanism (Southern Tyrrhenian Sea)*. Earth and Planetary Science Letters, **21**, 269-276.
- BARBERI F., BUONASORTE G., CIONI R., FIORELISI A., FORESI L., IACCARINO S., LAURENZI M.A., SBRANA A., VERNIA, L. & VILLA I.M (1994) - *Plio-Pleistocene geological evolution of the geo-thermal area of Tuscany and Latium*. Mem. descr. della Carta Geol. d'It, **49**, 77-134.
- BARCHI M.R., AMATO A., CIPPITELLI G., MERLINI S. & MONTONE P. (2007) - *Extensional tectonics and seismicity in the axial zone of the Southern Apennines*. Boll. Soc. Geol. It. (Ital. J. Geosci.), Spec. Issue No. 7, 47-56.
- BARTOLE R. (1995) - *The North Tyrrhenian-Northern Apennines post-collisional system: constraints for a geodynamic model*. Terra Nova, **7**, 7-30.
- BIGI G., CASTELLARIN A., CATALANO R. B., COLI M., COSENTINO D., DAL PIAZ G. V., LENTINI F., PAROTTO M., PATACCA E., PRATURLON A., SALVINI F., SARTORI R., SCANDONE P. & VAI G. B. (1989) - *Synthetic structural-kinematic map of Italy*, scale 1:2,000,000, Progetto Finalizzato Geodinamica. CNR, Roma
- BIGI G., COSENTINO D., PAROTTO M., SARTORI R. & SCANDONE P. (1992) - *Structural Model of Italy*, P.F.G., **114**, CNR, Roma.
- BOCCALETTI M. & GUAZZONE G. (1974) - *Remnant arcs and marginal basins in the Cenozoic development of the Mediterranean*. Nature, **252**, 5478, 18-21.
- BOSSIO A., COSTANTINI A., FORESI L.M., LAZZAROTTO A., MAZZANTI R., MAZZEI R., PASCUCCI V., SALVATORINI G., SANDRELLI F. & TERZUOLI A. (1998) - *Neogene-Quaternary sedimentary evolution in the western side of the Northern Apennines (Italy)*. Memorie Società Geologica Italiana, **52**, 513-525.
- CARBONE F., PRATURLON A. & SIRNA G. (1971) - *The Cenomanian shelf-edge facies of Rocca di Cave (Prenestini Mts., Latium)*. Geologica Romana, **10** : 131-198.
- CARMIGNANI L., DECANDIA F.A., FANTOZZI P.L., LORENZO P., LAZZAROTTO A., LIOTTA D. & MECCHERI M. (1994) - *Tertiary extensional tectonics in Tuscany (Northern Apennines, Italy)*. Tectonophysics, **238**, 295-315.
- CASTELLARIN A., COLACICCHI R. & PRATURLON A. (1978) - *Fasi distensive, trascorrenze e sovrascorimenti lungo la "linea Ancona-Anzio", dal Lias medio al Pliocene*. Geologica Romana, **17**, 161-189.
- CAVINATO G.P., COSENTINO D., DE RITA D., FUNICIELLO R. & PAROTTO M. (1994) - *Tectonic-sedimentary evolution of intra-penninic basins and correlation with the volcano-tectonic activity in Central Italy*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia XLIX, 63-76.
- CHIODINI G., CARDELLINI C., AMATO A., BOSCHI E., CALIRO S., FRONDI F. & VENTURA G. (2004) - *Carbon dioxide Earth degassing and seismogenesis in central and southern Italy*. Geophys. Res. Lett., **31**, L07615, doi:10.1029/2004GL019480.
- CIFELLI F., MATTEI M. & ROSSETTI F. (2007) - *The tectonic evolution of arcuate mountain belts on top of a retreating subduction slab: the example of the Calabrian arc*. Journal Geophysical Research, **112**, B09101, doi:10.1029/2006JB004848
- CIPOLLARI P. & COSENTINO D. (1992) - *La linea Olevano-Antròdoco: Contributo della biostratigrafia alla sua caratterizzazione cinematica*. Studi Geologici Camerti, Vol. Spec. CROP11, (1991/2):143-150.
- CIPOLLARI P. & COSENTINO D. (1995) - *Miocene unconformities in the Central Apennines: geodynamic significance and sedimentary basin evolution*. Tectonophysics, **252**, 375-389.
- CIVETTA L., ORSI G., SCANDONE P. & PECE, R. (1978) - *Eastward migration of the Tuscan Anatectic magmatism due to anticlockwise rotation of the Apennines*. Nature, v. **276**, p. 604-606.
- CIVITELLI G., CORDA L. & MARIOTTI G. (1986) - *Il bacino sabino: 3) evoluzione sedimentaria ad inquadramento regionale dall'Oligocene al Serravalliano*. Mem. Soc. Gol. It. **35**: 399-406.
- CIVITELLI G. & CORDA L. (1988) - *Successioni flyschoidi e complessi alloctoni*. In: *Note illustrative alla carta delle litofacies del Lazio-Abruzzo ed aree limitrofe*. Quaderni de "La Ricerca Scientifica", **114** (5): 93-168.
- COLLETTINI C., DE PAOLA N., HOLDSWORTH R.E. & BARCHI M.R. (2006) - *The development and behaviour of low-angle normal faults during Cenozoic asymmetric extension in the Northern Apennines, Italy*. Journal of Structural Geology **28** 333-352.
- CORDA L. & MARIOTTI G. (1986) - *Il Bacino Sabino: 1) Fenomeni di risedimentazione nella serie di Osteria Tancia*. Boll. Soc. Geol. It., **105** (1-2): 41-63.
- COSENTINO D., CIPOLLARI P., DI BELLA L., ESPOSITO A., FARANDA C., GIORDANO G., MATTEI M., MAZZINI I., PORRECA M. & FUNICIELLO R. (in stampa) - *The historical site of the Monte Mario Lower Pleistocene succession revisited: tectonics, sea-level changes and palaeoenvironments in the early Pleistocene of Rome (Italy)*. Quaternary Science Reviews.
- COSENTINO D., FEDERICI I., CIPOLLARI P. & GLIOZZI E. (2006) - *Environments and tectonic instability in central Italy (Gargliano Basin) during the late Messinian Lago-Mare episode: New data from the onshore Mondragone 1 well*. Sedimentary Geology, **188-189**, 297-317, doi:10.1016/j.sedgeo.2006.03.010
- D'AGOSTINO N. & SELVAGGI G. (2004) - *Crustal motion along the Eurasia-Nubia plate boundary in the Calabrian Arc and Sicily and active extension in the Messina Straits from GPS measurements*. Journal of Geophysical Research, **109**, B11402, doi:10.1029/2004JB002998
- DE RITA D., BERTAGNINI A., CARBONI G., CICCACCI S., DI





- FILIPPO M., FACCENNA C., FREDI P., FUNICIELLO R., LANDI P., SCIACCA P., VANNUCCI N. & ZARLENGA F. (1994) - *Geological-petrological evolution of the Ceriti Mountains area (Latium, central Italy)*. Mem. Des. Carta Geol. d'It. 49: 291-322.
- ELTER P., GIGLIA G., TONGIORGI M. & TREVISAN L. (1975) - *Tensional and compressional areas in the recent (Tortonian to Present) evolution of the Northern Apennines*. Bollettino Geofisica Teorica Applicata, 17, 3-18.
- FACCENNA C., FUNICIELLO R., MONTONE P., PAROTTO M. & VOLTAGGIO M. (1994a) - *Late Pleistocene strike-slip tectonics in the Acque Albule Basin (Tivoli, Latium)*. Mem. Des. Carta Geol. d'It. 49, 37-50.
- FACCENNA C., FUNICIELLO R., BRUNI A., MATTEI M. & SAGNOTTI, L. (1994b) - *Evolution of a transfer-related basin: the Ardea Basin (Latium, central Italy)*. Basin Research, 6: 35-46.
- FACCENNA C., FUNICIELLO R. & MATTEI M. (1994c) - *Late Pleistocene N-S shear zones along Latium Tyrrhenian margin: structural characters and volcanological implications*. Boll. Geof. Teor. Appl., Vol. XXXVI, 141-144.
- FACCENNA C., MATTEI M., FUNICIELLO R. & JOLIVET L. (1997) - *Styles of back-arc extension in the Central Mediterranean*. Terra Nova, 9, 126-130. Blackwell, Oxford.
- FUNICIELLO R., MATTEI M. & VOLTAGGIO M. (1992) - *Recent strike-slip faulting and possible reactivation in Rome area*. In: Earthquake prediction, M. DRAGONI & E. BOSCHI Eds., 225-236. Il Cigno, Roma.
- FUNICIELLO R., GIORDANO G. & DE RITA D. (2003) - *The Albano maar lake (Colli Albani Volcano, Italy): recent volcanic activity and evidence of pre-Roman Age catastrophic labar events*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 123(1-2), 43-61.
- FUNICIELLO R. & PAROTTO, M. (1978) - *Il substrato sedimentario nell'area dei Colli Albani: considerazioni geodinamiche e paleogeografiche sul margine tirrenico dell'Appennino centrale*. Geologica Romana 17, 233-287
- GIARDINI D. & VELONÀ M. (1991) - *The deep seismicity of the Tyrrhenian sea*. Terra Nova, 3, 57-64.
- GIORDANO G., DE BENEDETTI A.A., DIANA A., DIANO G., GAUDIOSO F., MARASCO F., MICELI M., MOLLO S., CAS R.A.F. & FUNICIELLO R. (2006) - *The Colli Albani caldera (Roma, Italy): stratigraphy, structure and petrology*. J. Volcanol, Geotherm. Res., 155, 49-80, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2006.02.009
- GOES S, GIARDINI D., JENNYA S., HOLLENSTEINB C., KAHLEB H.-G. & GEIGERB A. (2004) - *A recent tectonic reorganization in the south-central Mediterranean*. Earth and Planetary Science Letters, 226, 335- 345.
- HUNSTAD I., SELVAGGI G., D'AGOSTINO N., ENGLAND P., CLARKE P. & PIEROZZI M. (2003) - *Geodetic strain in Italy between 1875 and 2001*. Geophys. Res. Lett., 30, 1181, doi:10.1029/2002GL016447
- JOLIVET L., FACCENNA C., GOFFÉ B, MATTEI M., ROSSETTI F., BRUNET C., STORTI F, FUNICIELLO R., CADET J.P., D'AGOSTINO N. & PARRA T. (1998) - *Midcrustal shear zones in postorogenic extension: the northern Tyrrhenian Sea case*. Journal Geophysical Research, 103, B6, 12111-12586. AGU Washington, USA
- MALINVERNO A., & RYAN W.B.F. (1986) - *Extension in Tyrrhenian Sea and shortening in the Apennines as result of arc migration driven by sinking of the lithosphere*. Tectonics, 5, 227-254.
- MARTINI I.P. & SAGRI M. (1993) - *Tectono-sedimentary characteristics of late Miocene-Quaternary extensional basins of the Northern Apennines, Italy*. Earth Science Reviews, 34, 197-233.
- MATTEI M., CIFELLI F. & D'AGOSTINO N. (2007) - *The evolution of the Calabrian Arc: Evidence from paleomagnetic and GPS observation*. Earth and Planetary Science Letters, 263: 259-274, doi:10.1016/j.EPSL.2007.08.034.
- MATTEI M., FUNICIELLO R. & KISSEL C. (1995) - *Paleomagnetic and structural evidence of Neogene block rotation in the Central Apennines, Italy*. Journal Geophysical Research, 100, 17863-17883. AGU Washington USA.
- MATTEI M., CIPOLLARI P., COSENTINO D., ARGENTIERI A., ROSSETTI F., SPERANZA F., & DI BELLA L. (2002) - *The Miocene tectono-sedimentary evolution of the Southern Tyrrhenian Sea: stratigraphy, structural and paleomagnetic data from the on-shore Amantea basin (Calabrian arc, Italy)*. Basin Research, 14, 147-168. Blackwell, Oxford.
- MATTEI M., PETROCELLI V., LACAVA D. & SCHIATTARELLA M. (2004) - *Geodynamic implications of Pleistocene ultra-rapid vertical-axis rotations in the Southern Apennine (Italy)*. Geology, 32, 9; 789-792; doi: 10.1130/G20552.1.
- McKENZIE D.P. (1972) - *Active tectonics of the Mediterranean region*. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 30, 109-185.
- MILLER S.A., COLLETTINI C., CHIARALUCE L., COCCO M., BARCHI M.R. & KAUS B. (2004) - *Aftershocks driven by a high pressure CO2 source at depth*. Nature, 427, 724-727.
- OGNIBEN L., PAROTTO M. & PRATURLON A. (eds.) (1975) - *Structural Model of Italy*. Quaderni La Ricerca Scientifica, 90, 502 pp.
- PAROTTO M. & PRATURLON A., (1975) - *Geological summary of the Central Apennines*. Quaderni Ricerca Scientifica, 90, 257-311.
- PATACCA E. & SCANDONE P. (1989) - *Post-Tortonian mountain building in the Apennines. The role of the passive sinking of a relic lithospheric slab*. In: The lithosphere in Italy, Eds. A. Boriani, M. Bonafede, Piccardo G.B. & Vai G.B., pp. 157-176, Accademia dei Lincei, Roma.
- PATACCA E., SARTORI R. & SCANDONE P. (1992a) - *Tyrrhenian basin and Apenninic arcs: Kinematic relations since Late Tortonian times*. Memorie della Società Geologica Italiana, 45, 425-451.
- PATACCA E., SCANDONE P., BELLATALLA M., PERILLI N. & SANTINI U. (1992b) - *La zona di giunzione tra l'arco appenninico settentrionale e l'arco appenninico meridionale. Nell'Abruzzo e nel Molise*. Studi Geologici Camerti, Vol. Spec. CROP11 1991/2: 417-441.
- PECCERILLO A. (2005) - *Plio-Quaternary volcanism in Italy. Petrology, Geochemistry, Geodynamics*. Springer, Heidelberg, 365 pp.
- PIROMALLO C. & MORELLI A. (2003) - *P wave tomography of the mantle under the Alpine-Mediterranean area*. J. Geophys. Res., 108, doi:10.1029/2002JB001757.
- PONDRELLI S., MORELLI A. & BOSCHI E. (1995) - *Seismic deformation in the Mediterranean area estimated by moment tensor summation*. Geophys. J. Int., 122, 938-952.
- PRATURLON A. & SIRNA G. (1976) - *Ulteriori dati sul margine Cenomaniano della piattaforma carbonatica laziale abruzzese*. Geologica Romana, 15: 83-111.
- ROYDEN L.H., PATACCA E. & SCANDONE P. (1987) - *Segmentation and configuration of subducted lithosphere in Italy: an important control on thrust belt and foredeep basin evolution*. Geology, 15, 714-717.
- SELLA G.F., DIXON T.H. & MAO A. (2002) - *REVEL: a model for Recent plate velocities from space geodesy*. J. Geophys. Res., 107,

- (B4), doi: 10.1029/2000JB000033.
- SELVAGGI G. & C. CHIARABBA (1995) - *Seismicity and P-wave velocity image of the Southern Tyrrhenian subduction zone*. J. Geophys. Int., **121**, 818-826.
- SERRI G. (1990) - *Neogene-Quaternary magmatism of the Tyrrhenian region: characterization of the magma sources and geodynamic implications*. Memorie Società Geologica Italiana, **41**, 219-242.
- SPAKMAN W., S. VAN DER LEE & R. VAN DER HILST (1993) - *Travel-time tomography of the European-Mediterranean mantle down to 1400 km*. Physics of the Earth and Planetary Interiors, **79** (1-2), 3-74.
- VAI G.B. & MARTINI I., Eds., (2001) - *Anatomy of an orogen: The Apennines and adjacent Mediterranean basins*. Bodmin, Kluwer Academic, Dordrecht.
- VALENSISE G. & PANTOSTI D. (2001) - *Seismogenic faulting, moment release pattern and seismic hazard along the central and southern Apennines and the Calabrian Arc*. In: *Anatomy of an Orogen: the Apennines and Adjacent Mediterranean Basins* (Vai B. M., I.P., Eds.). Kluwer Academic, Dordrecht.
- WARD S.N. (1994) - *Constraints on the seismotectonics of the Central Mediterranean from Very Long Baseline Interferometry*. Geophys. J. Int., **117**, 441-452.

