

“Relazione tra geodinamica e morfostruttura e rapporto tra i piani di scollamento profondi e le strutture superficiali delle nuove opere in progetto”

Relazione per:
Forest CMI S.p.A.
Via Sardegna, 29
00187 Roma

A cura di:
Prof. Massimo Mattei, Prof.ssa Sveva Corrado, Dott. Giandomenico Fubelli
Dipartimento di Scienze Geologiche
Università Roma TRE
L.go S. Leonardo Murialdo 1
00146 – Roma

Dott.ssa Sabina Bigi,
Dipartimento di Scienze della Terra
Università Roma “La Sapienza”
P.zze A. Moro
00100 – Roma



Settembre 2011



PREMESSA

Allo scopo di fornire la risposta al quesito formulato dalla Regione Abruzzo: *“Approfondire l’analisi geodinamica e morfostrutturale come rapporto tra i piani di scollamento profondi e le strutture superficiali delle nuove opere in progetto”*, sono stati analizzati e descritti i rapporti geometrici e cinematici tra i principali elementi tettonici e l’assetto morfostrutturale dell’area, con particolare riguardo ai settori destinati alla messa in opera dei nuovi manufatti in progetto.

A questo scopo sono stati rivisti criticamente e discussi i diversi modelli proposti in letteratura sull’evoluzione tettonica dell’area e sono stati analizzati in dettaglio i sistemi deformativi che interessano la falda molisana e la struttura apula profonda. Sono stati poi descritti in dettaglio i principali sistemi di faglie affioranti nell’area e le loro relazioni con i fenomeni di dissesto ampiamente riconosciuti lungo i versanti della valle del F. Sangro.

Le analisi si basano, oltre che sulla revisione e discussione critica dei dati esistenti, sui risultati di nuove osservazioni speditive di terreno e sullo studio di foto aeree effettuate nel luglio-agosto 2011 allo scopo specifico di definire le relazioni tra assetto tettonico e caratteri geomorfologici dell’area d’interesse.



1. REVISIONE CRITICA DELLA CARTOGRAFIA GEOLOGICA ESISTENTE NELL'AREA, CON PARTICOLARE RIGUARDO ALLA DEFINIZIONE DELLO STILE DEFORMATIVO DELLE UNITÀ AFFIORANTI

1.1 - Foglio "Lanciano" 147 della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000.

Nell'area d'interesse, tra l'abitato di Pennadomo a Ovest e la cresta di M. Pallano a Est, la successione stratigrafica affiorante ha età prevalentemente cenozoica, è in facies marina e ha prevalente composizione argilloso-marnoso-arenacea (Fig. 1).

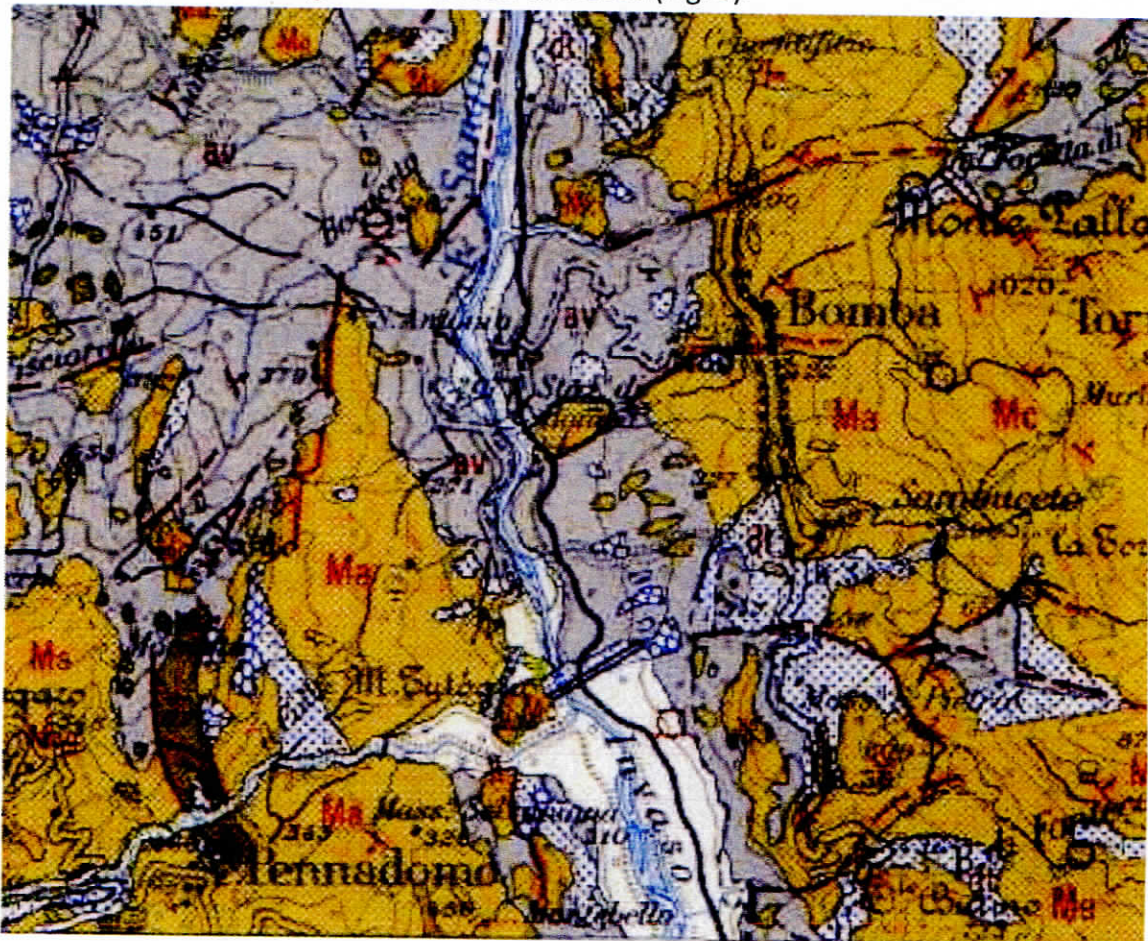


Fig. 1: Stralcio del Foglio "Lanciano" 147 della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000

Nel dettaglio gli Autori del rilevamento riconoscono quattro unità litostratigrafiche, come evidenziato dallo schema dei rapporti stratigrafici pubblicato a corredo della carta:

1. Argille varicolori (av), che occupano prevalentemente il fondovalle del F. Sangro, costituite da argilliti e marne argillose di colore grigio piombo e rosso vinaccia. Esse costituiscono la base della successione stratigrafica;
2. Unità "flyschioidi" (Ma) composta da argille siltose alternate ad arenarie e calcari che affiora prevalentemente lungo i versanti che salgono dolcemente verso i paesi di Pennadomo e Bomba, in prevalente contatto stratigrafico con le Argille varicolori. Inoltre lungo il fondovalle (a valle del paese di Bomba) alcuni blocchi di quest'unità sono inglobati all'interno delle Argille varicolori in contatto stratigrafico con queste e possono essere interpretati come olistoliti all'interno delle Argille varicolori;



3. Unità dei calcari e calcareniti (Mb-C) affioranti nei pressi di Pennadomo;
4. Unità dei calcari marnosi (Mc) che costituiscono rispettivamente la stretta dorsale allungata in direzione N-S su cui sorge l'abitato di Pennadomo e il versante occidentale di M. Pallano (a monte dell'abitato di Bomba).

Nell'interpretazione proposta nel foglio geologico in esame, tali litologie sono presenti come blocchi di diverse dimensioni inglobati in modo caotico all'interno della successione delle Argille varicolori a formare l'unità alloctona dell'Aventino-Sangro *Auct.*. Tale interpretazione è in contrasto con quanto attualmente noto per l'assetto lito-biostratigrafico della successione molisana (*sensu* Patacca et al. 1992; Patacca & Scandone 2007) a cui si possono ascrivere le quattro unità descritte. Tali unità, infatti, non sono eteropiche, ma progressivamente più giovani procedendo dalle Argille varicolori (ascrivibili all'Oligocene-Miocene basale secondo Patacca et al. 1992), ai calcari e calcari marnosi (compresi nella F.ne Tuffillo del Miocene inf.-medio) all'unità "flyschioida" marnoso-arenacea (depositi silicoclastici sinorogenici del Tortoniano altissimo?-Messiniano inferiore).

La differenza d'interpretazione può essere dovuta a due motivi principali:

1. Difficoltà di datazioni biostratigrafiche attendibili al tempo della realizzazione della carta (le successive e ancora valide datazioni effettuate da Patacca e coautori a partire dagli anni '90 riguardano in particolare i depositi silicoclastici marnoso-arenacei e sono state eseguite mediante l'analisi delle associazioni a nannofossili calcarei, e non a foraminiferi come nella letteratura anteriore);
2. L'effettiva presenza di blocchi decametrici appartenenti alle diverse litologie descritte all'interno della porzione inferiore delle Argille varicolori, interpretabili come olistoliti e affioranti sia nella zona in esame sia nelle aree più a nord.

Gli elementi di tettonica fragile riportati in carta sono riconducibili a due orientazioni prevalenti: E-W e, subordinatamente, N-S.

Il primo sistema è relativo alle faglie cartografate con maggiore frequenza, prevalentemente caratterizzate da pendenze molto elevate (piani sub-verticali di cui è difficile definire l'immersione) a direzione principale da WSW-ENE a E-W con scarso o nullo rigetto stratigrafico, talora a dislocare il limite stratigrafico tra le Argille varicolori e l'unità "flyschioida". La seconda orientazione caratterizza invece piani di taglio a direzione variabile tra N-S e NNE-SSW, ancora sub-verticali, rilevati prevalentemente nel fondovalle del F. Sangro e sepolti dalle alluvioni del fiume, e a Ovest di questo all'altezza della dorsale di Pennadomo.

Dal punto di vista della cartografia dei dissesti, nel foglio in esame gran parte dei corpi franosi sono localizzati sulle Argille varicolori a NNE della sponda orientale della diga, allineati lungo il versante e a valle della strada che conduce al paese di Bomba. Sul versante opposto, sono presenti dissesti franosi a valle della dorsale su cui sorge Pennadomo, nell'unità "flyschioida" marnoso-arenacea.

1.2 - Tavoletta 1:25.000 d'autore per la redazione della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 e ulteriore cartografia inedita alla scala 1: 10.000.



Questo documento cartografico (Fig. 2) rappresenta il dettaglio in scala 1:25.000 dei rilevamenti eseguiti per la redazione della cartografia geologica ufficiale in scala 1:100.000 ed è reperibile in rete sul sito dell'APAT. Le litologie riconosciute sono le stesse già descritte in precedenza, tuttavia, integrando questi dati con rilevamenti inediti di maggior dettaglio in nostro possesso, è possibile riconoscere una sostanziale continuità stratigrafica tra i diversi termini descritti nell'area di interesse. Lungo il versante orientale del F. Sangro questi sono organizzati con giacitura a reggipoggio, in cui è possibile riconoscere alla base le Argille varicolori, a cui si sovrappongono, in continuità, le unità calcaree e calcareo-marnoso-arenacee (note in letteratura come unità Tuffillo *sensu* Patacca et al., 1992) affioranti in corrispondenza del paese di Bomba e le unità arenaceo-marnose (corrispondenti alle unità flyschiodi nel venticinquemila d'autore e nel Foglio geologico precedentemente descritto) affioranti in corrispondenza della sommità del Monte Pallano.

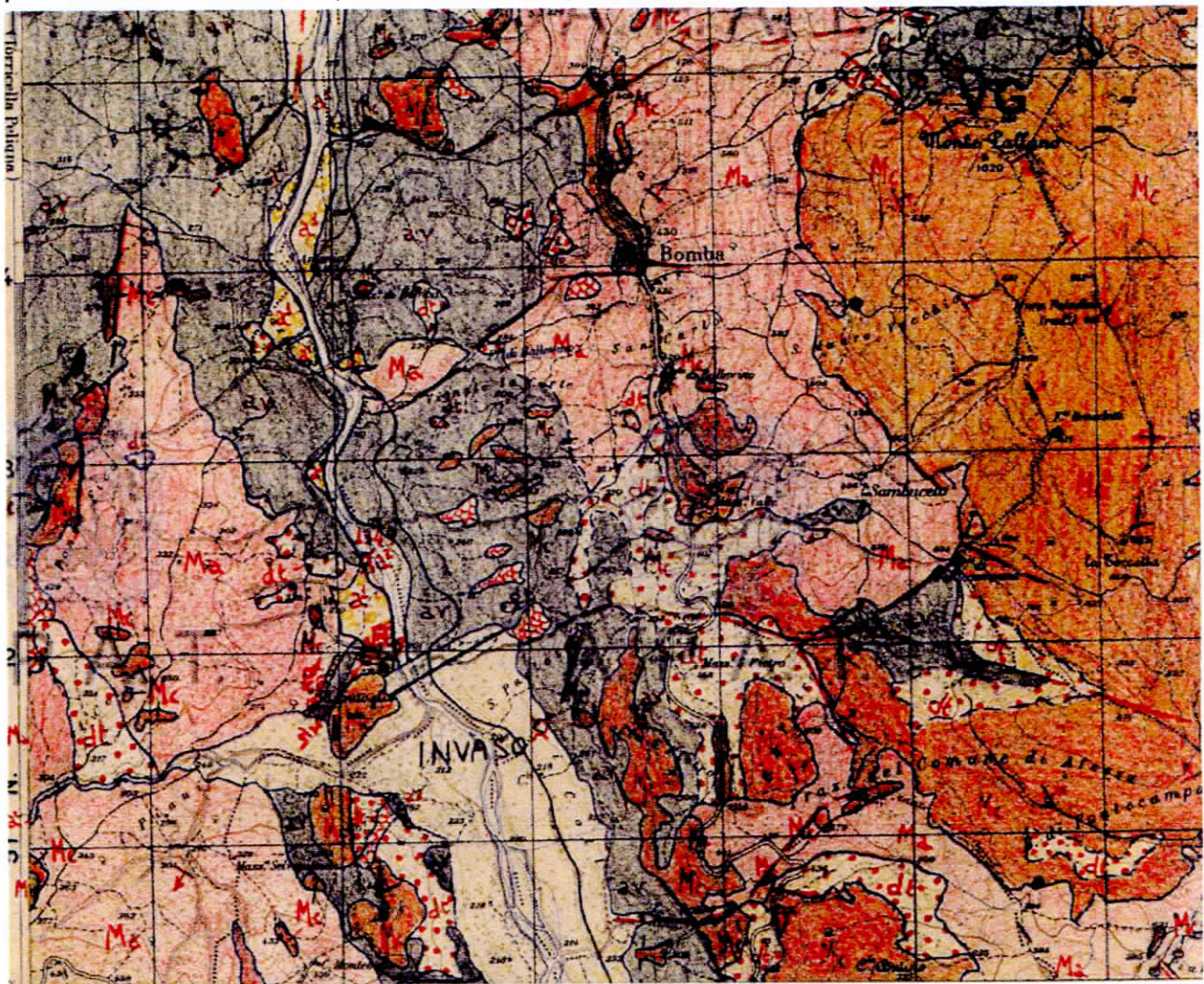


Fig. 2 - Stralcio dell'area in esame da "Tavoletta 1:25.000 d'autore per la redazione della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000"

Nel complesso le unità litostratigrafiche affioranti presentano una generale direzione N-S e immersioni opposte sulle due sponde del fiume Sangro con immersione verso i quadranti occidentali a Ovest del fiume, e verso quelli orientali a Est, a descrivere una blanda struttura antiforme con il nucleo di Argille varicolori. Questo implica che le litologie più competenti, affioranti a quote maggiori, siano esposte a processi di erosione e instabilità che comportano



Handwritten signature or mark in blue ink.

distacchi e frane di blocchi rocciosi. Questi processi sono stati osservati a valle del paese di Bomba, dove blocchi rocciosi appartenenti alle unità Tufillo (*sensu* Patacca et al., 1992) sono appoggiati al di sopra delle Argille varicolori a causa di movimenti franosi attuali o sub-attuali.

1.3- Carta Geologica dell'Abruzzo 1:100.000 e Geological-structural map of the Central-Southern Apennines in scala 1:250.000 di Vezzani et al. (2009).

Si tratta di documenti di sintesi regionale il cui scopo è quello di evidenziare i rapporti geometrico-cinematici tra i principali domini e unità tettoniche dell'Appennino centro-meridionale (Fig. 3) per cui scarsa rilevanza viene data ai fenomeni di dissesto legati alla modellazione di versante. Nell'area d'interesse si riconoscono secondo gli Autori due gruppi di unità: unità molisano-sannitiche (p.e. Flysch rosso o simili, F.ne Tufillo-Gamberale-Pizzoferrato sovrastate da depositi silicoclastici sinorogenici del Flysch di Agnone) e unità di pertinenza sicilide (Argille scagliose). Questi due gruppi di unità appartengono a domini paleogeografici pre-orogenici originariamente distanti tra loro e attualmente in contatto tettonico (Fig.3).

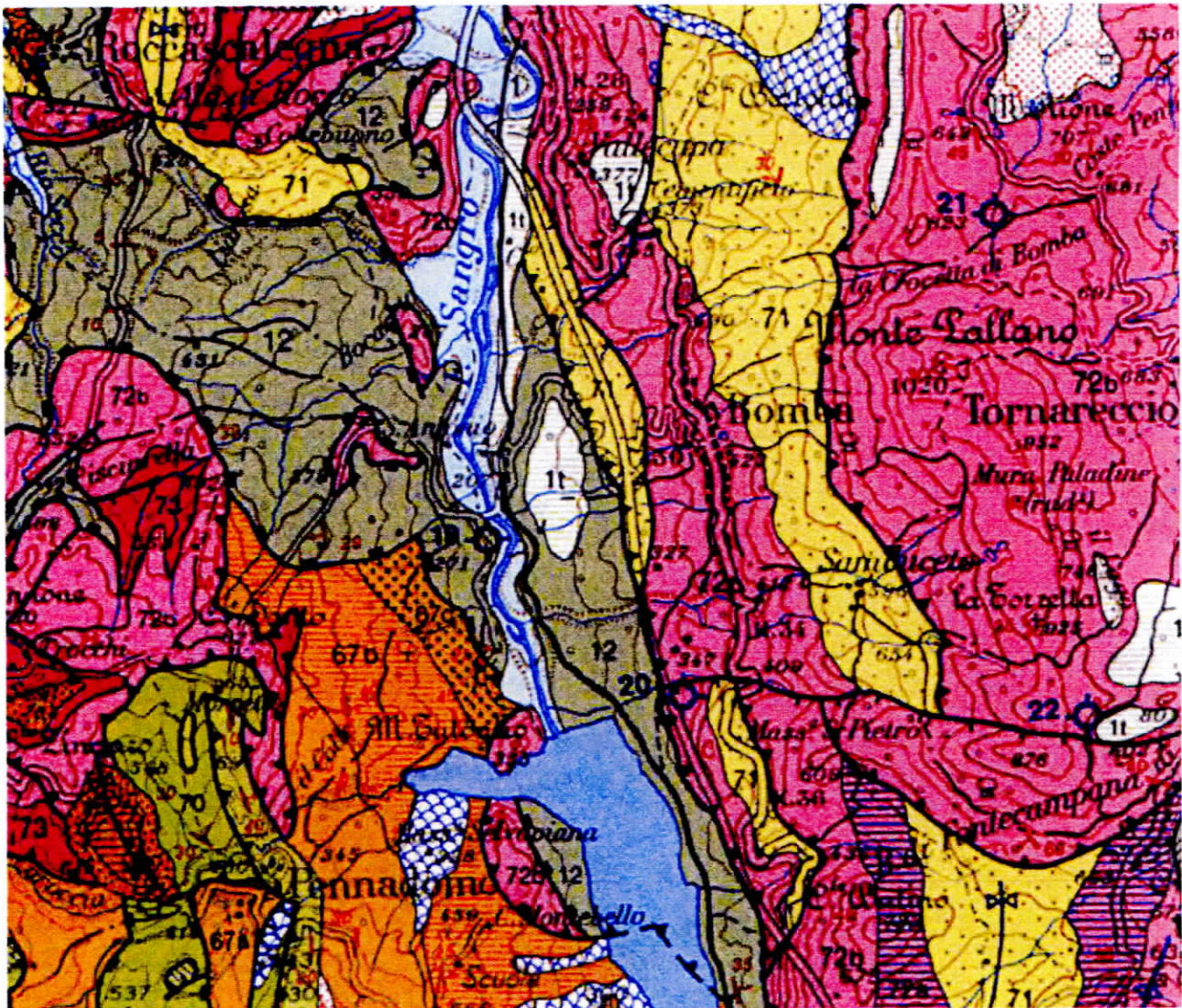


Fig. 3 - Stralcio dell'area in esame dalla Carta Geologica dell'Abruzzo (http://www.regione.abruzzo.it/xcartografia/index.asp?modello=CGeologica100_89_91&servizio=xList&stileDiv=mono&template=default&b=caStampa12).



h

In particolare da Est verso Ovest gli Autori riconoscono nell'area d'interesse una struttura allungata in direzione N-S costituita dalla F.ne Tufillo-Gamberale-Pizzoferrato passante verso l'alto a depositi flyschoidi. Tale struttura rappresenta nell'area di interesse un *pop-up*, limitato ad Est e ad Ovest da due piani inversi ad alto angolo, con un andamento rettilineo che si sviluppa regionalmente per diverse decine di chilometri. Nell'area a tetto del *pop-up*, tra M. Pallano e il fondovalle del F. Sangro affiora una monoclinale immergente a Est con pendenze moderate. Lungo il versante occidentale di M. Pallano tale monoclinale è localmente dislocata da due faglie normali a direzione N-S che definiscono un graben all'interno del quale è conservato un affioramento di limitata estensione dei depositi flyshoidi.

Il letto occidentale del *pop-up* è rappresentato dalle Argille scagliose di pertinenza sicilide affioranti nel fondovalle del F. Sangro che a loro volta, si accavallano sulla struttura composta dall'insieme F.ne Tufillo-Gamberale-Pizzoferrato e Flysch di Agnone, orientata in direzione N-S su cui sorge l'abitato di Pennadomo. Quest'ultima definisce una struttura monoclinale dritta immergente a Est a direzione meridiana con locali strati rovesci nella porzione più giovane del Flysch di Agnone.

In sintesi lo stile deformativo delineato in questa carta è caratterizzato dalla presenza nelle unità alloctone di pertinenza sia molisana sia sicilide di una serie di retroscorrimenti d'importanza regionale a direzione variabile da N-S a NNW-SSE (si seguono con continuità in carta per decine di chilometri) che deformano la successione pre- e sin-orogena. Al contrario di quanto riportato nel Foglio Lanciano, gli affioramenti delle unità più competenti (F.ne Tufillo e simili) si contraddistinguono per l'elevata continuità di affioramento in direzione N-S che non è confermata dalle nostre osservazioni di terreno. Tuttavia trattandosi di un documento di sintesi si ritiene che gli Autori abbiano privilegiato la definizione dello stile deformativo regionale rispetto ai dettagli locali e di conseguenza, che tale documento non possa essere utilizzato per studi di dettaglio.

La cinematica che si può dedurre da questa carta prevede un primo evento di sovrapposizione tettonica delle Argille scagliose di pertinenza sicilide al di sopra della successione molisana e in seguito la creazione di una serie di retroscorrimenti che deformano l'insieme molisano+sicilide, producendo apparenti contatti di natura compressiva di tipo più giovane su più vecchio.

Tuttavia, sulla base delle nostre osservazioni risulta difficile attribuire le argille affioranti nel fondovalle al dominio sicilide. Infatti analisi di vario tipo (diffattometria a Raggi X, petrografia organica, ecc.) sulle successioni di sicura pertinenza molisana e di supposta pertinenza sicilide in tutto l'Appennino centrale, con particolare riguardo all'alto Molise (Di Bucci et al. 1996; Corrado et al. 1998), portano ad escludere la presenza di Argille di pertinenza sicilide in questo tratto dell'Appennino.

1.4 - Assetto stratigrafico, schema geologico strutturale e relativi profili schematici tratti da Patacca & Scandone (2007).



Nello schema tettonico (Fig. 4) e nei profili schematici (Fig. 5) associati alla recente revisione di dati stratigrafici relativi all'Appennino centro-meridionale di Patacca & Scandone (2007), gli Autori descrivono come un retroaccavallamento a direzione circa N-S, localizzato a mezza costa tra la cresta di Monte Pallano e il paese di Bomba, il contatto tra la successione Tufillo di pertinenza molisana e il sottostante flysch dell'unità di Agnone (anch'essa di pertinenza molisana) (Fig. 6). Queste due unità sono composte da successioni che rappresentano diverse porzioni del medesimo bacino di sedimentazione, in cui la successione Tufillo è relativamente più distale rispetto alla successione Agnone, e sono entrambe sovrastate da depositi silicoclastici sin-orogenici di medesima età (Tortoniano altissimo?-Messiniano inferiore).

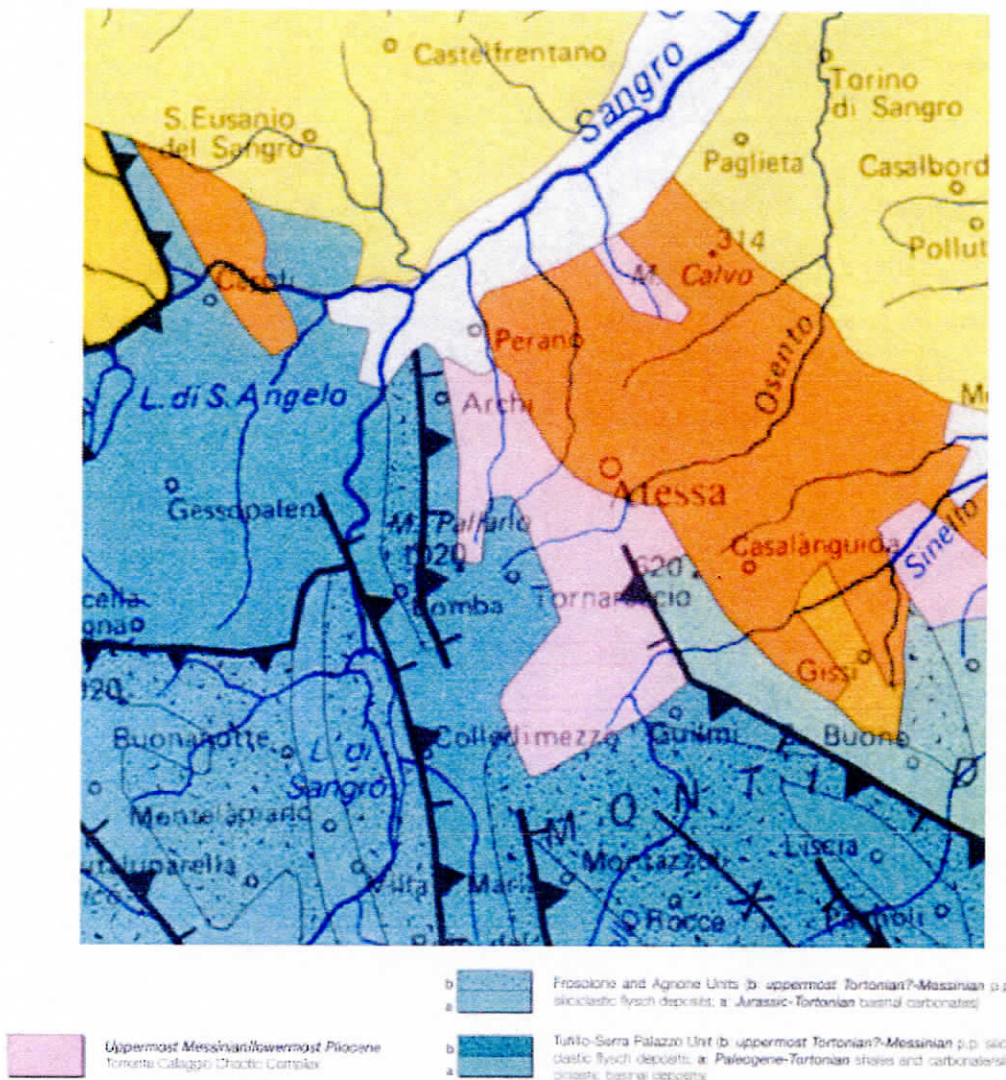


Fig. 4 – Stralcio dell'area in esame da "Central-Southern Apennines Simplified Geological-Structural map", scala 1:500.000 (Patacca e Scandone, 2007)".

Nel dettaglio la successione Tufillo, come descritta da Patacca & Scandone nel 2007, è costituita dal basso verso l'alto, da:

- Argille varicolori con intercalazioni subordinate di calcitorbiditi («Argille varicolori» p.p. Auct., Paleogene-Miocene inferiore, spesse alcune centinaia di metri).



- Marne emipelagiche e arenarie numidiche (Burdigaliano superiore) con spessore di queste ultime estremamente esiguo in Abruzzo.
- Calcitorbiditi e calcari emipelagici a foraminiferi con spesse intercalazioni di calcareniti di età Langhiano-Tortoniano. Lo spessore non supera i 500 m.
- Argille grigie con intercalazioni di torbiditi silicoclastiche fini (formazione Olmi del Tortoniano altissimo ?-Messiniano inferiore), spessa alcune centinaia di metri.

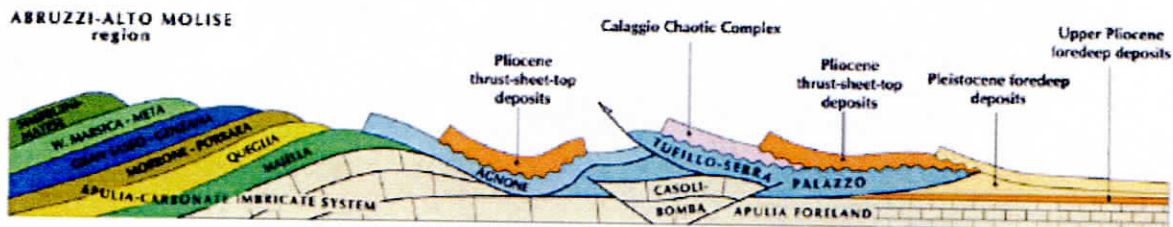


Fig. 5 – Profilo schematico attraverso l'Appennino centrale in cui sono riportati i principali rapporti geometrici cartografati nell'area in esame (Tufillo su Agnone al di sopra dell'alto strutturale di Casoli-Bomba). Da "Central-Southern Apennines Simplified Geological-Structural map", scala 1:500.000 (Patacca e Scandone, 2007).

D'altro canto la successione dell'unità di Agnone così come descritta in Patacca et al. (1992) e subordinatamente in Patacca & Scandone (2007) è costituita a partire dal basso da:

- Argille varicolori costituite da marne grigie, verdastre e rossastre con intercalazioni di calcitorbiditi (Oligocene-Miocene inferiore);
- Breccie calcaree e subordinatamente calcareniti (Langhiano, spessore di alcuni metri) seguite da calcari emipelagici e marne ricche in foraminiferi planctonici (Serravalliano-Tortoniano, spessore di 150-200 m);
- Flysch di Agnone suddiviso in tre membri denominati a partire dal basso: membro Verrino, membro Poggio Villanelle, membro Sente.

Il primo ha le caratteristiche di una megasequenza negativa. Nel membro Poggio Villanelle si ha il massimo sviluppo di arenarie grossolane in bancate metriche, talora amalgamate, con all'interno bio-calcareniti e bio-calciruditi risedimentate e olistoliti di calcari a briozoi e litotamni, calcari a rudiste e calciluti a lepidocycline. Nel membro Sente si sviluppa, infine, un'associazione pelitico-arenacea decisamente distale con intercalazioni centimetriche di arenarie all'interno di una successione prevalentemente pelitico-marnosa.



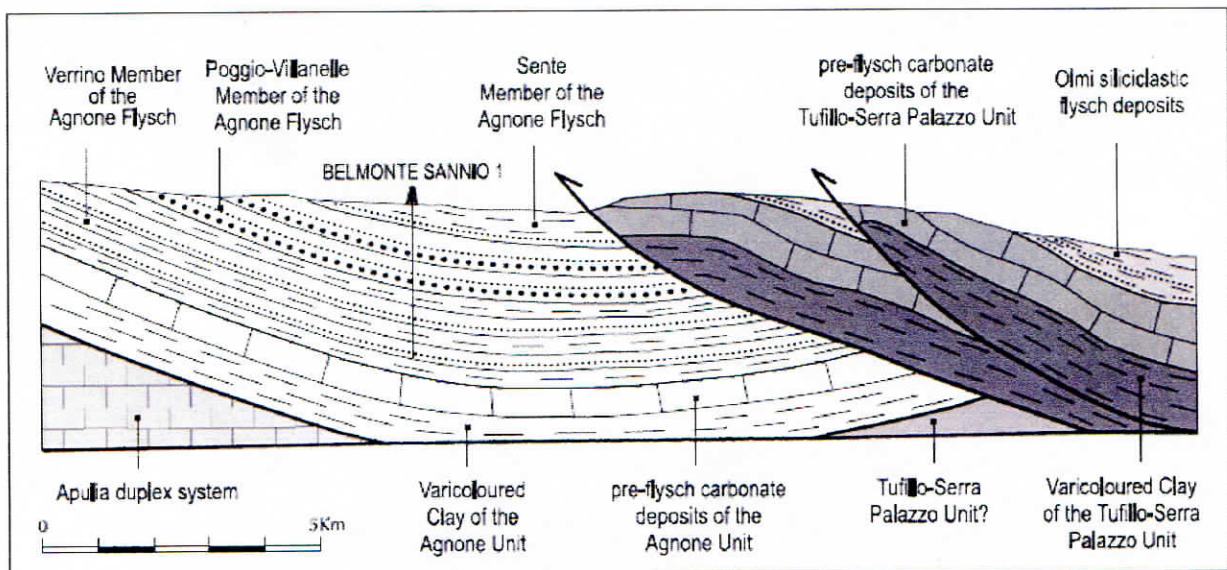


Fig. 6 – Profilo schematico dell'area in esame, mostrandone il contatto per retro scorrimento tra la successione Tufillo di pertinenza molisana e la sottostante Membro di Sente della successione di Agnone (da Patacca e Scandone, 2007).

In sintesi in questa carta le differenze rilevanti per la presente relazione rispetto alle cartografie precedentemente descritte sono le seguenti:

- I depositi affioranti nel fondovalle del F. Sangro a nord della diga sono riferibili alle unità molisane e non a unità di pertinenza sicilide (come nella carta di Vezzani et al. 2009) né a depositi gravitativi della colata gravitativa dell'Aventino-Sangro (come nel Foglio Lanciano alla scala 1:100.000). Questa interpretazione trova conferma nei dati di Di Bucci et al. 1996; Corrado et al. 1998, che escludono la presenza di unità di pertinenza sicilide in questo settore della catena appenninica.
- Il contatto per retroscorrimento della struttura del Monte Pallano sul suo *footwall* (affiorante nel fondovalle del F. Sangro) è caratterizzato da basse pendenze (visibili nel profilo schematico), al contrario di quanto segnalato nella cartografia di Vezzani et al. (2009). A questo proposito occorre tuttavia rilevare che quanto riportato nella Fig. 4 è uno schema di estrema sintesi, privo di base topografica, non utilizzabile per la descrizione puntuale delle relazioni geometriche tra le unità affioranti nell'area in esame.



Handwritten signature in blue ink.

2. DESCRIZIONE DELL'ASSETTO TETTONICO DELL'AREA E CARATTERI GEOMETRICI E CINEMATICI DEI PRINCIPALI ELEMENTI DEFORMATIVI

L'assetto tettonico dell'area in esame è stato ricavato dall'analisi di terreno, dall'esame dei pozzi profondi esistenti nell'area e dallo studio delle foto aeree. I risultati ottenuti sono stati integrati e comparati con quelli di uno studio geologico-strutturale di dettaglio eseguito in passato dagli scriventi sulle unità molisane affioranti nell'area compresa tra Villa S. Maria, Pescopennataro, Capracotta, ai confini SW dell'area d'interesse (Corrado et al. 1997a). Tale area mostra caratteri deformativi analoghi a quelli dell'area di Bomba.

Nei seguenti paragrafi saranno descritti nel dettaglio i principali caratteri tettonici della struttura apula e quelli dell'unità alloctona della falda molisana nell'area d'interesse.

2.1 - La struttura della Piattaforma Apula profonda

Com'è possibile dedurre dalle stratigrafie dei pozzi presenti nell'area e dall'interpretazione di linee sismiche pubblicate in diversi lavori nell'area, la successione affiorante, appartenente alle unità molisane, è sovrapposta tettonicamente ai depositi del Pliocene inferiore mediante un piano di sovrascorrimento a basso angolo che nell'area d'interesse è localizzato ad una profondità intorno o superiore ai 1.000m (vedi stratigrafie pubblicate dei pozzi Bomba2 e Bomba7).

Al di sotto di tale piano la successione stratigrafica è composta, dal basso verso l'alto da: calcari di piattaforma carbonatica cretaco-miocenici, genericamente indicati come unità della Piattaforma apula; formazione Gessoso Solfifera (Messiniano) e depositi arenaceo-argillosi del Pliocene inferiore. Questa successione costituiva l'avampaese della catena appenninica in costruzione durante il Miocene ed è stata coinvolta nell'orogenesi a partire dalla fine del Pliocene inferiore.

La descritta unità apula è deformata da piani inversi ad alto angolo, che determinano la formazione di culminazioni positive (strutture a *pop-up*), bordate da faglie e potenziali sedi di accumulo d'idrocarburi. I sistemi inversi ad alto angolo sono diversamente interpretati dagli Autori. Una prima interpretazione documenta la presenza di faglie normali di età messiniana che dislocano il tetto della successione carbonatica e che sarebbero state invertite durante l'orogenesi appenninica (Scisciani et al., 2000; Butler et al., 2005; Scisciani, 2009), tra il Pliocene medio e il superiore; una seconda ipotesi considera tali strutture ad alto angolo come il risultato di una tettonica trascorrente, con faglie destre a direzione N-S, che determina lo sviluppo di strutture a fiore positivo (Corrado et al., 1997a). Questa fase tettonica sarebbe successiva alla strutturazione principale compressiva della catena e avrebbe dislocato i precedenti piani di sovrascorrimento (Fig. 7).



h

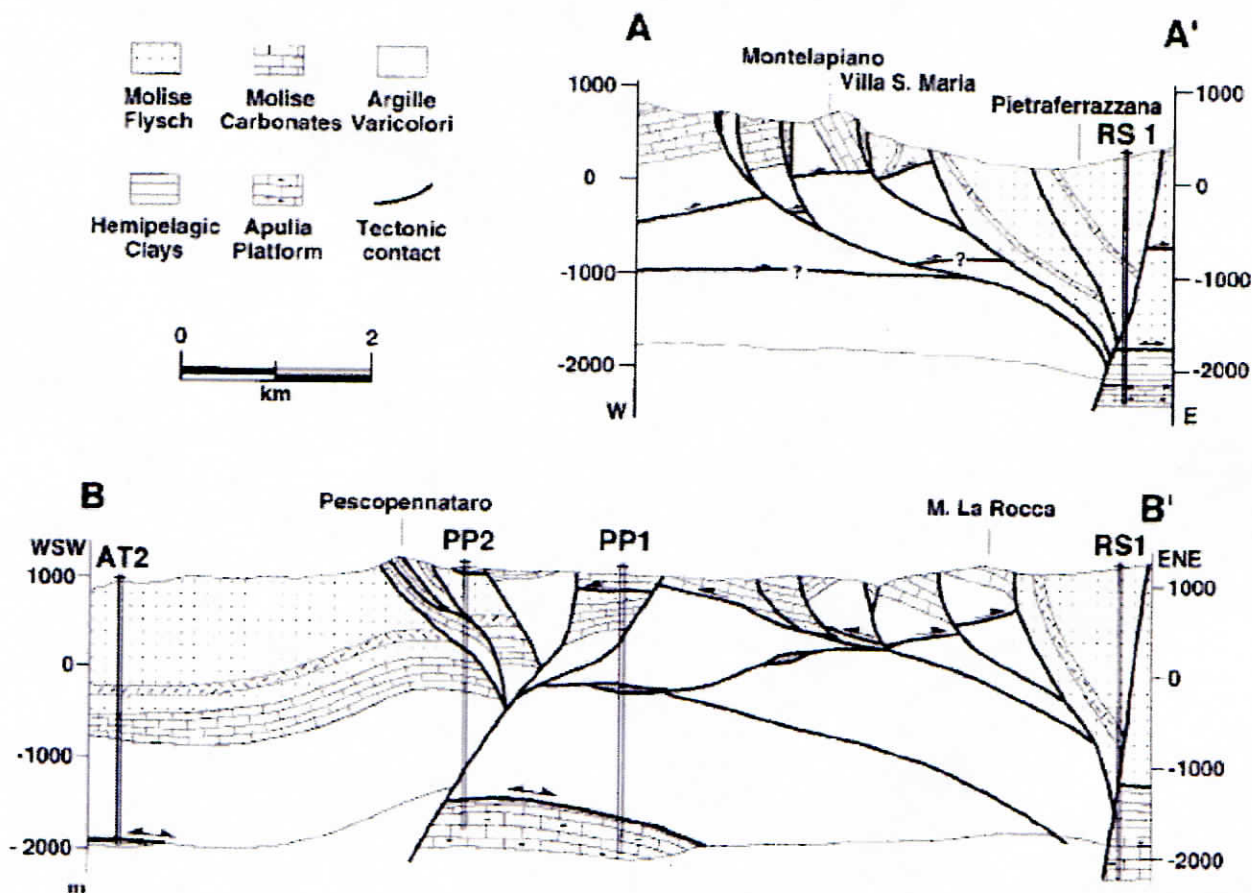


Fig. 7 – Assetto strutturale profondo e relazioni geometriche tra Piattaforma Apula sepolta e copertura alloctona molisana nell'area immediatamente a meridione del lago di Bomba (da Corrado et al., 1997a). Le tracce delle sezioni sono riportate in Fig. 8.

2.2 - Assetto tettonico delle Unità alloctone delle falde molisana e sannitica.

A livello regionale lo stile deformativo delle falde molisana e sannitica si differenzia notevolmente dalle unità strutturali carbonatiche che costituiscono l'ossatura dell'Appennino centrale (Bigi et al. 2003; Corrado et alii, 1998a). La presenza di un imponente livello di scollamento in corrispondenza dell'unità litostratigrafica delle Argille varicolori (Oligocene superiore-Miocene inferiore) ha profondamente influenzato le geometrie compressive delle unità molisano-sannitiche, caratterizzate dallo sviluppo di sovrascorrimenti con una lunghezza dei *flat* di gran lunga superiore a quella delle zone di rampa (Di Bucci et alii, 1999); tali unità risultano accavallate tra loro determinando imponenti raccorciamenti delle successioni stratigrafiche, come evidenziato dall'analisi di alcuni sondaggi profondi (Corrado et alii, 1997a). Questi contatti sono responsabili di evidenti ispessimenti tettonici soprattutto nell'unità delle Argille varicolori, rilevati nel sottosuolo dopo un'attenta analisi delle stratigrafie dei pozzi e linee sismiche nelle zone in cui la copertura alloctona è spessa alcuni chilometri (a S e SW dell'area d'interesse).

Gli ispessimenti dovuti a superfici di *thrust* a basso angolo non sembrano interessare l'area discussa nella presente relazione. Infatti le stratigrafie dei pozzi perforati a Nord e a Est del Lago di



Bomba (pozzi Bomba, Pennadomo e Monte Pallano) mostrano come la Piattaforma apula sepolta si attesti a circa un chilometro di profondità e come l'alloctono al tetto del ricoprimento principale sia sostanzialmente in successione stratigrafica, con facies ascrivibili alla sedimentazione del bacino molisano (successioni Tufillo e Agnone del bacino molisano).

Regionalmente la tettonica trascorrente ridisegna, successivamente alla tettonica da *thrusting*, lo stile deformativo dell'intero alto Molise e di parte dell'Abruzzo meridionale ed è responsabile della definizione di una firma morfologica peculiare di questo settore dell'Appennino: le cosiddette "penne", di cui nell'area abbiamo un esempio presso l'abitato di Pennadomo.

Si tratta di speroni più resistenti all'erosione, allungati generalmente in direzione meridiana, costituiti da esigui spessori della porzione prevalentemente calcarea ben stratificata delle successioni molisane, in giacitura sub-verticale. Queste strette dorsali sono generalmente limitate, almeno su un bordo, da faglie trascorrenti ad alto angolo di pendenza e svettano dai circostanti terreni prevalentemente argilloso-marnosi, modellati in blande colline.

Nell'intero alto Molise la tettonica trascorrente ha agito secondo due direttrici principali (N-S e NNE-SSW con movimenti prevalentemente destri e ENE-WSW con movimenti sinistri) producendo la dislocazione delle strutture compressive (Pliocene sup. p.p.- Pleistocene inf.), generando strutture a fiore positivo localizzate in strette fasce d'intensa deformazione, che hanno talora obliterato completamente le originarie geometrie compressive (Corrado et al, 1997a) (Fig. 8).



W

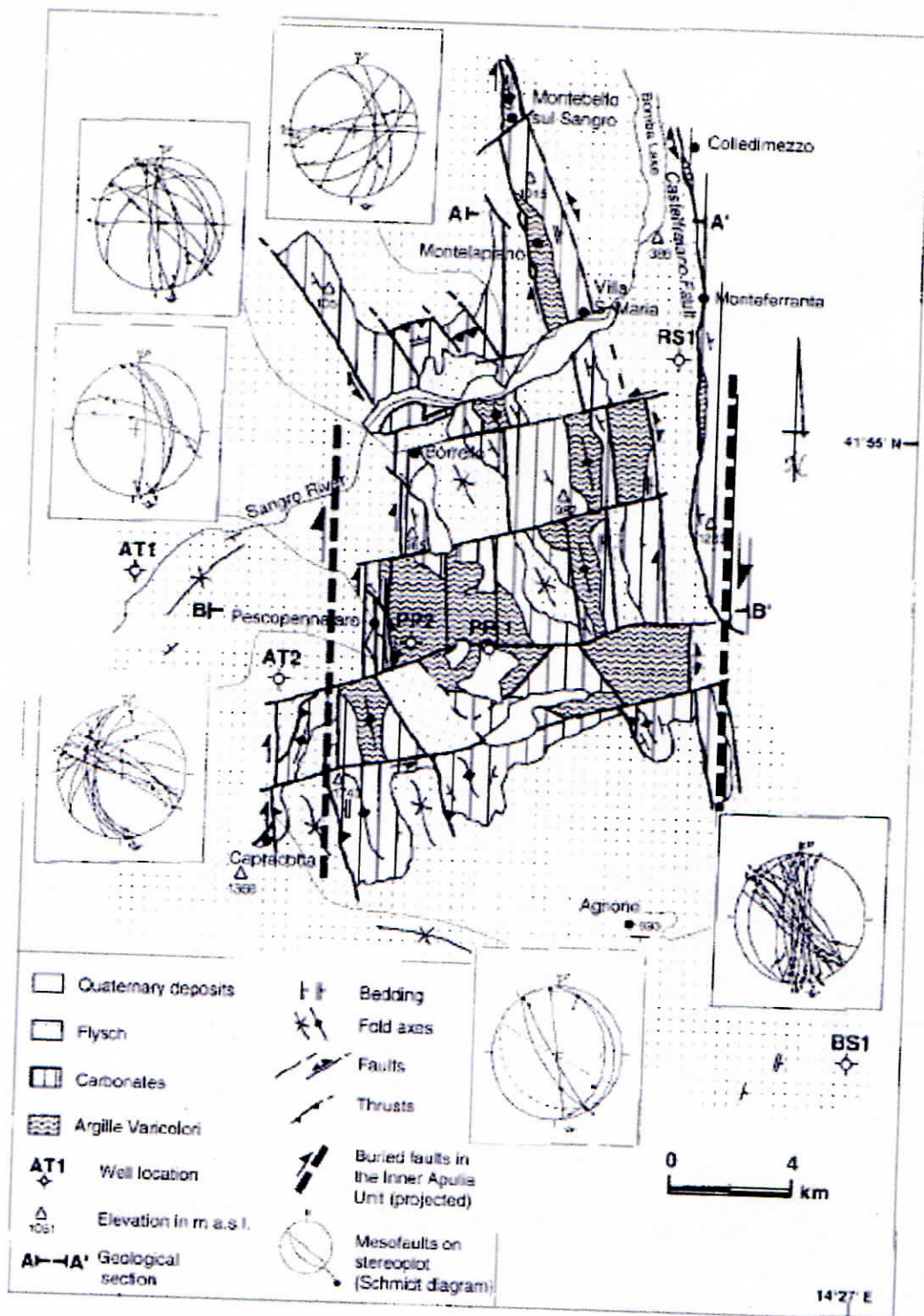


Fig. 8 – Carta strutturale delle unità del bacino molisano, immediatamente a sud dell'area studiata. Si noti la preponderanza degli elementi tettonici trascorrenti ad andamento sub-verticale (da Corrado et al., 1997a).

Nel dettaglio, nella copertura alloctona molisana, le faglie più frequenti rilevate in affioramento hanno cinematica trascorrente e obliqua (Fig. 9). Tra queste le più diffuse sono orientate N-S con pendenze molto elevate e con cinematica trascorrente destra.



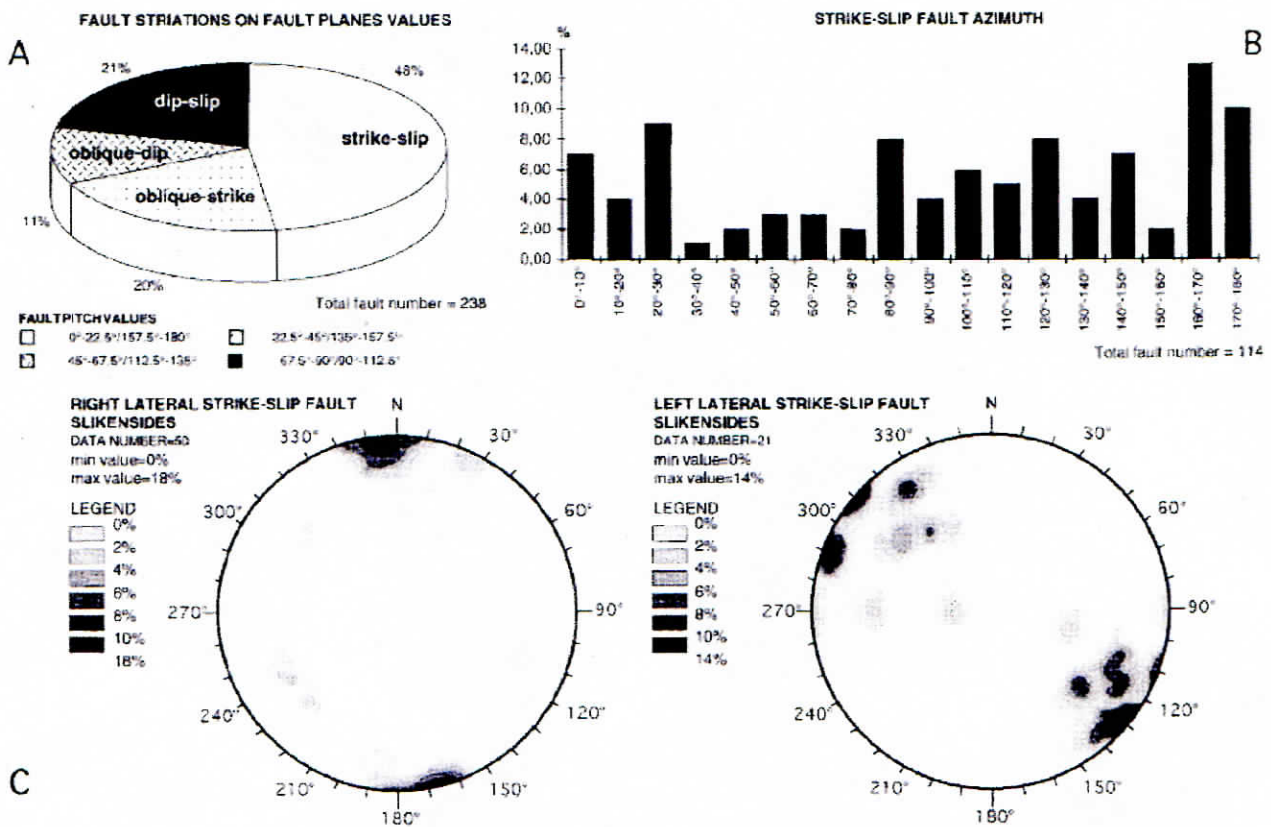


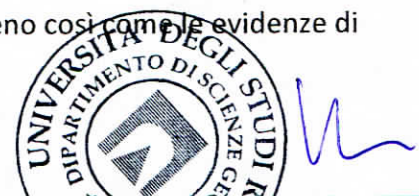
Fig. 9 – Analisi strutturale della deformazione fragile nell’area molisana immediatamente a sud del settore d’interesse. Si noti la preponderanza della tettonica trascorrente nell’area (da Corrado et al., 1997a).

A sud del paese di Pescopennataro, le faglie N-S trascorrenti destre evolvono in retroscorrimenti a cinematica obliqua orientati NNW-SSE affioranti nei pressi dell’abitato di Capracotta (Fig. 8). Nei pressi di Villa S. Maria, Montebello sul Sangro, e Montelapiano le faglie destre ad alto angolo invece ritagliano strutture compressive pre-esistenti esasperando l’inclinazione della stratificazione, riducendo il raggio di curvatura delle sinclinali, producendo rigetti anomali tra le unità litostratigrafiche della successione molisana. Tali elementi, molto diffusi nella copertura alloctona a definire zone di taglio complesse, si raccordano, a maggiori profondità, a due elementi di taglio sub-verticali che dislocano l’unità carbonatica apula sepolta (Figg. 7 e 8). Si ricava quindi uno stile deformativo con due zone di taglio nell’apula sepolta ben localizzate e distanti in pianta una decina di chilometri che evolvono nella copertura alloctona molisana a una deformazione delocalizzata con geometrie a fiore positivo (Corrado et al., 1997a).

Il secondo sistema di faglie trascorrenti cartografato (e ben evidente nelle foto aeree) ha orientazione prevalente WSW-ENE, pendenze elevate e cinematica sinistra.

Il terzo sistema, meno diffuso, ma evidente alla mesoscala e compatibile con i precedenti, ha direzione variabile da WNW-ESE a NW-SE, pendenze elevate e cinematica sinistra (Corrado et al. 1997a) (Fig. 9).

Le evidenze di piani di taglio a basso angolo chiaramente inverse a immersioni variabili (a Sud presso Civitaluparella e a W a Villa S. Maria) sono molto scarse sul terreno così come le evidenze di



tettonica estensionale rappresentate da graben decametrici limitati da faglie normali a direzione ENE-WSW con rigetti metrici. Queste ultime sono interpretate come strutture cinematiche legate all'attività trascorrente destra su elementi meridiani.

Alcune decine di chilometri a S e SW della zona d'interesse e dell'area appena descritta, nell'area d'Isernia e sui Monti di Venafro (Corrado et al. 1997b), i principali sistemi di faglie trascorrenti sopradescritti generalmente sono stati di frequente riattivati, a partire almeno dal Pleistocene medio, da una tettonica estensionale a direzione di massima estensione SW-NE (tuttora attiva), causando movimenti a componente sinistra sulle faglie a direzione N-S e NNE-SSW e movimenti a componente destra sulle faglie a direzione WSW-ENE.

Ricognizioni sul terreno, integrate con analisi di foto aeree eseguite nel periodo luglio-agosto 2011 nell'area di stretto interesse di questa relazione hanno evidenziato, rispetto alle informazioni esistenti riportate nelle cartografie pubblicate sopradescritte, uno stile deformativo in cui prevalgono in affioramento faglie sub-verticali a direzione NNE-SSW, con cinematiche oblique, in particolare sinistre a sud del paese di Pennadomo (Fig. 10) ed elementi a direzione circa ENE-WSW (con scarse indicazioni cinematiche) che ci fanno ritenere che lo stile deformativo nella copertura alloctona dell'area in esame sia analogo a quanto osservato nelle aree contermini studiate in dettaglio.

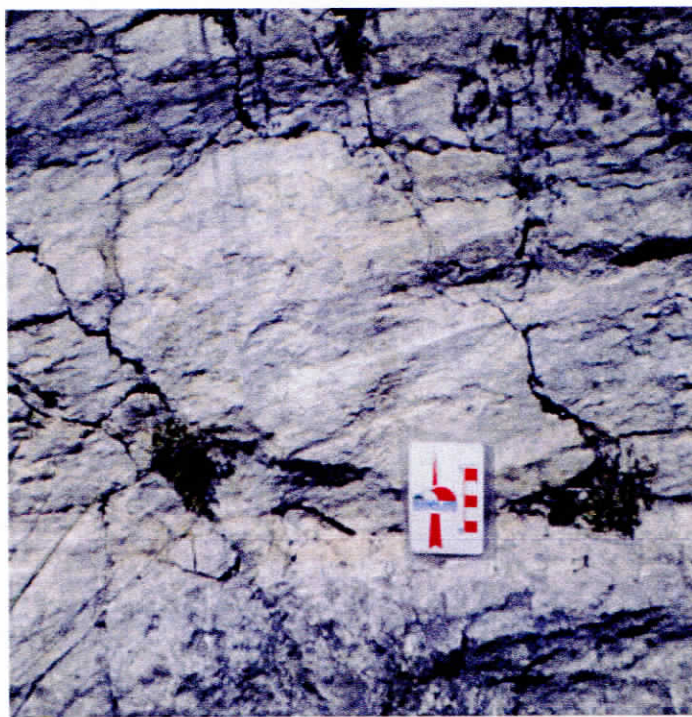


Fig. 10 – Faglia trascorrente sub-verticale orientata N20°E, che interrompe la continuità longitudinale della struttura di Pennadomo sulla strada principale che scende dal paese di Pennadomo verso il fondovalle del F. Sangro (Fig.13).



h

3. ASSETTO MORFOSTRUTTURALE DELL'AREA DI BOMBA

La ricostruzione dell'assetto morfostrutturale dell'area è stata compiuta attraverso rilievi sul terreno dedicati in maniera specifica alla caratterizzazione geometrica dei principali contatti tettonici. I dati raccolti sul terreno sono stati integrati da uno studio fotointerpretativo effettuato attraverso l'analisi comparata di foto aeree a diversa scala, relative a rilievi eseguiti nel periodo compreso tra il 1954 e il 2007 (Volo 1954: F.147 str. 70 foto da 2844 a 2846, F.147 str. 113 foto da 4649 a 4652, F.147 str. 71 foto da 2868 a 2870; Volo Casmez 74-75: F. 147 str. 21 foto da 491 a 497, F. 147 str. 22ter foto da 1736 a 1742, F. 147, str. 24, foto da 2102 a 2106; Volo a colori Regione Abruzzo 2007: str. 4013 foto da 1107 a 1110, str. 4021 foto da 1427 a 1432, str. 4102 foto da 1500 a 1502).

I risultati ottenuti hanno permesso di definire l'assetto strutturale dell'area e il ruolo svolto dai principali elementi tettonici nello sviluppo dei suoi caratteri geomorfologici.

L'assetto geomorfologico del settore della Valle del Sangro compreso tra Monte Pallano e il paese di Pennadomo è caratterizzato da forti contrasti di acclività, determinati dalla presenza di litologie (Argille varicolori, Formazione di Tufillo e Flysch di Agnone) con grado di erodibilità molto diverso. Allo stesso tempo il paesaggio è fortemente condizionato dall'evoluzione tettonica dell'area e dallo sviluppo di estesi fenomeni gravitativi che ne caratterizzano l'evoluzione recente. La presenza del bacino artificiale del Lago di Bomba è invece il fattore antropico che più condiziona il settore di studio.

La formazione delle Argille varicolori è costituita prevalentemente da argille e affiora diffusamente in prossimità della sinistra idrografica del F. Sangro e, più limitatamente, in destra idrografica. Le aree di affioramento sono caratterizzate da morfologie poco acclivi, ad esclusione dei versanti calanchivi in forte erosione a causa dell'azione delle acque correnti superficiali (Rocca Scalegna). Questa unità litostratigrafica è interessata in maniera diffusa da fenomeni franosi di tipo colata lenta e subordinatamente da scorrimenti rotazionali.

L'unità litostratigrafica Tufillo, costituita da calcari e calcari marnosi ben stratificati, rappresenta l'elemento di maggiore evidenza morfologica nell'area, essendo associata in genere a versanti piuttosto ripidi, fino a sub-verticali laddove le giaciture degli strati sono fortemente inclinate. Costituisce l'intera dorsale di Monte Pallano (ad Est) ed affiora in diversi settori dell'area fino a Pennadomo, formando rilievi stretti ed allungati (penne) a generale andamento N-S (es. rilievi di Pennadomo, Monte Tutoglio, Monte Moresco, Colle S. Pietro). L'unità litostratigrafica Tufillo è interessata da fenomeni di crollo o ribaltamento, più diffusi nelle aree di maggior contrasto morfologico.





Fig. 11 – Successione verticale (penne) dei carbonati della Formazione di Tufillo, ad andamento meridiano, affiorante ad Est dell'abitato di Pennadomo. E' visibile il passaggio stratigrafico dritto alla successione pelitico-arenacea del Flysch di Agnone, caratterizzato da una morfologia estremamente blanda.

Il Flysch di Agnone (in facies prevalentemente pelitica) affiora diffusamente al piede di Monte Pallano e ad Est di Pennadomo. Il Flysch di Agnone è associato a versanti mediamente acclivi (Fig. 11), con rari profili a dente di sega laddove sono presenti intercalazioni arenacee. La formazione è interessata da fenomeni franosi di tipo scorrimento rotazionale, crolli laddove sono presenti intercalazioni arenacee, e in misura subordinata, in corrispondenza delle aree di affioramento delle unità pelitiche, da colate lente.

Dal punto di vista dell'assetto tettonico, come già evidenziato, l'area è caratterizzata dalla presenza di strutture con prevalente andamento N-S. Questi elementi sono molto evidenti anche dal punto di vista morfologico, soprattutto quando mettono a contatto i calcari dell'unità litostratigrafica Tufillo con i litotipi delle Argille varicolori e del Flysch di Agnone. Di converso, gli elementi tettonici che mettono a contatto le Argille varicolori con il Flysch di Agnone sono meno visibili, sia in virtù della minor differenza litologica, ma anche perché spesso obliterati da materiale di accumulo di frana.

4. ANALISI DELLE RELAZIONI GEOMETRICHE E CINEMATICHE TRA DISSESTI SUPERFICIALI E STRUTTURE TETTONICHE

Allo scopo di definire le relazioni tra dissesti e assetto tettonico dell'area, vengono di seguito descritti in dettaglio i caratteri morfostrutturali dell'area di Pennadomo e del versante immediatamente ad Ovest dell'abitato di Bomba (che comprende l'area di ubicazione dei



manufatti). Le due aree sono esemplificative delle diverse tipologie di dissesto franoso e costituiscono specifici esempi delle relazioni esistenti tra discontinuità tettoniche e assetto geomorfologico.

4.1 - Area di Pennadomo

L'area di Pennadomo, localizzata sul versante occidentale della Valle del Sangro, è caratterizzata dalla presenza di strutture tettoniche ad andamento meridiano evidenziate dagli spettacolari affioramenti dei carbonati dell'unità litostratigrafica Tufillo che costituiscono rilievi molto stretti ed acclivi (penne) (Figg. 11, 12).

Queste strutture, spesso con andamento della stratificazione prossima alla verticale, sono frequentemente in contatto tettonico con i terreni delle Argille varicolori e del Flysch di Agnone tramite faglie ad alto angolo orientate N-S, con cinematica prevalentemente trascorrente. Elementi minori ad andamento NW-SE, anch'essi ad alto angolo, dislocano la struttura in diversi punti, interrompendone la continuità longitudinale (Fig. 10).

L'area è caratterizzata dalla presenza di una colata lenta in argilla che si origina nelle Argille varicolori (ubicata al di fuori dello schema) e il cui accumulo raggiunge il braccio del Lago di Bomba ad Ovest di Monte Tutoglio, con una zona di scorrimento lunga più di 2,5 km (Figg. 12,13).

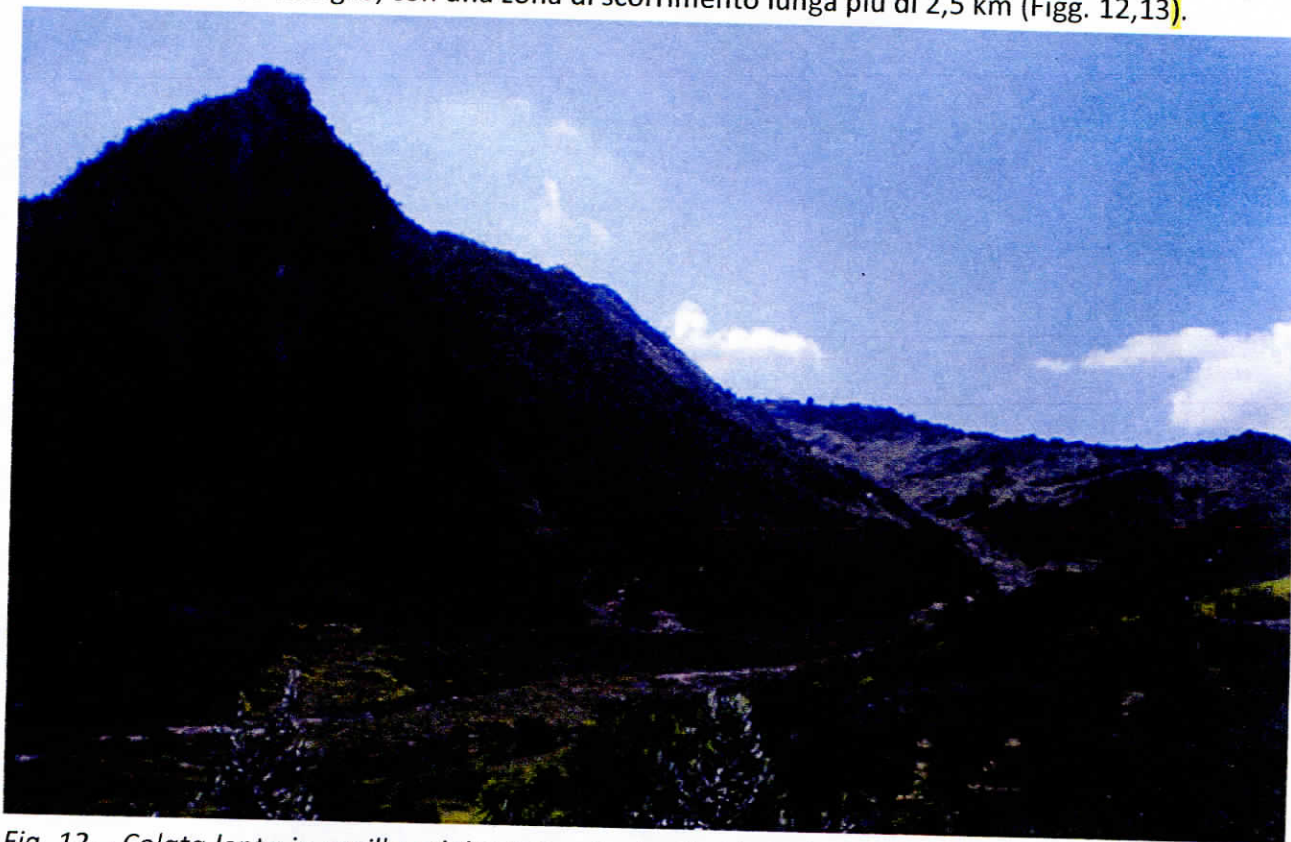


Fig. 12 – Colata lenta in argilla originatasi nelle Argille Varicolori a sud dell'abitato di Pennadomo. La colata taglia ad alto angolo i limiti stratigrafici e tettonici e s'incanala all'interno di una depressione morfologica delimitata a nord da una faglia trascorrente orientata N20°E (Fig. 13).

L'esame della serie storica delle foto aeree evidenzia come la porzione alta dell'accumulo di colata ha avuto nuovi apporti nel periodo compreso tra il 1954 e il 2007, localizzati nell'area immediatamente a valle dell'abitato di Pennadomo. Lo stile di deformazione della colata è



compatibile con periodi di movimento lento e continuo nelle stagioni invernali e primaverili, alternati a fenomeni di stasi nei mesi estivi.

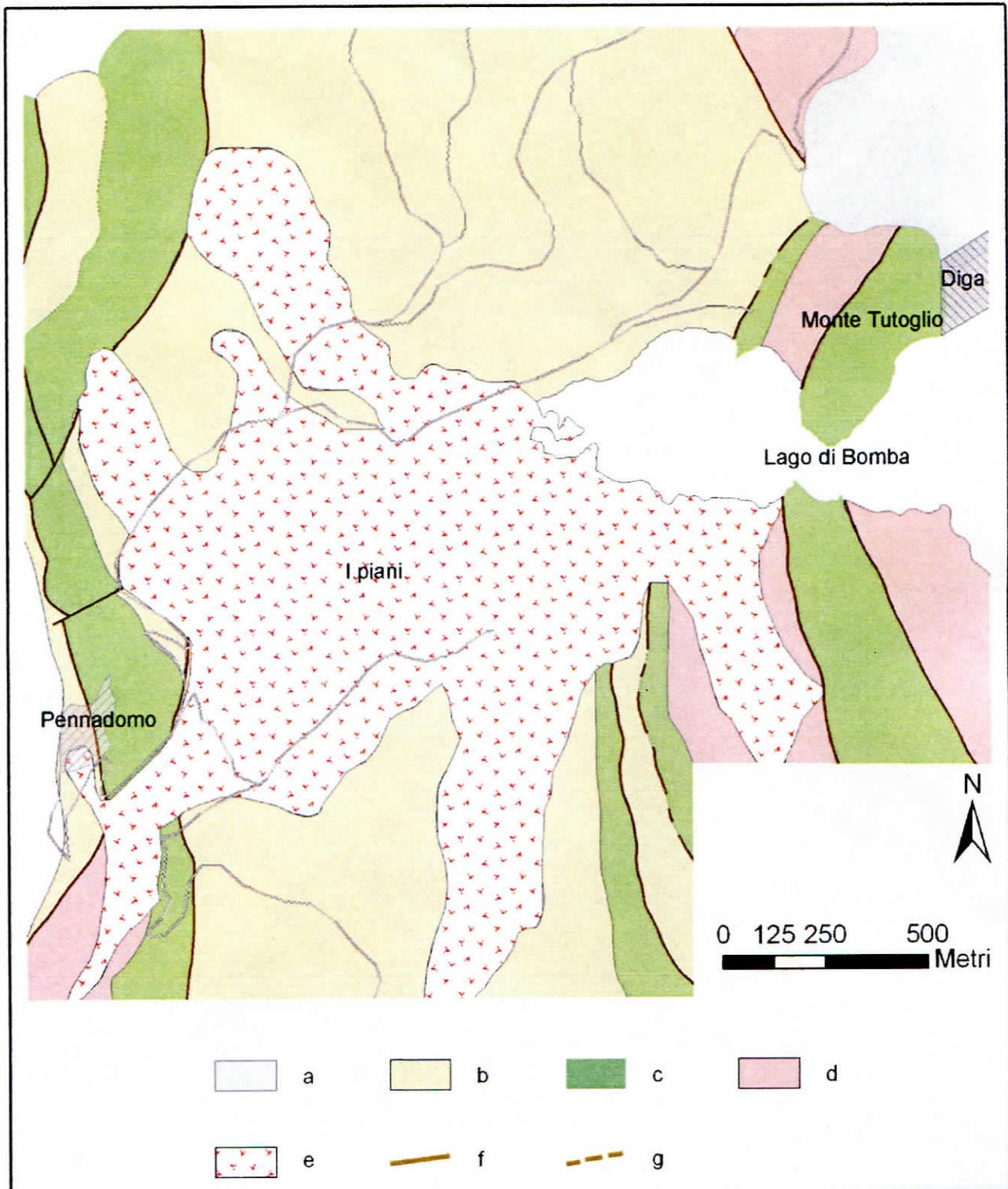


Fig. 13 – Schema tettonico dell'area compresa tra Pennadomo e la spalla sinistra della diga di Bomba; a) depositi alluvionali recenti; b) unità pelitico-arenacee del Flysch di Agnone; c) unità calcaree e calcareo-marnose della Formazione Tufillo; d) unità pelitiche delle Argille varicolori; e) dissesto franoso; f) faglia; g) faglia presunta.



Come noto per questi tipi di frane le velocità sono basse con accelerazioni progressive nel tempo (fino a metri/ora) in concomitanza di periodi di prolungate e intense precipitazioni. La zona di distacco della colata è impostata all'interno delle Argille Varicolori e non interessa le altre formazioni né è condizionata dagli elementi tettonici affioranti nell'area. Da notare come, all'altezza di Pennadomo, l'area di scorrimento sia delimitata da discontinuità tettoniche trasversali, che a loro volta hanno controllato la localizzazione di un'incisione valliva trasversale alla struttura meridiana.

Scorrimenti rotazionali di varia profondità e dimensione interessano il versante ad Est della dorsale montuosa di Pennadomo, laddove affiora il Flysch di Agnone. La zona di accumulo di queste frane è interessata spesso da ulteriori movimenti superficiali di scorrimento rotazionale e più raramente da colate lente. L'evoluzione di queste frane è a scatti, ovvero con attivazioni periodiche ed intervalli di stasi che possono superare anche i 50 anni. Tali frane si attivano con tempi di ritorno crescente al crescere della profondità della superficie di scorrimento. Da notare come in alcuni casi l'area di distacco di questi dissesti sia localizzata al contatto tra i carbonati dell'unità litostratigrafica Tufillo e i depositi pelitici del Flysch di Agnone.

Nell'unità litostratigrafica Tufillo sono infine stati osservati crolli e ribaltamenti in roccia, in particolar modo dove gli strati sono prossimi alla verticalità.

4.2 - Area di Bomba

Il versante orientale della valle del F. Sangro, nel settore comprendente il paese di Bomba e il Monte Pallano, è caratterizzato da strutture tettoniche a prevalente andamento meridiano, delimitate da faglie trasversali che ne interrompono la continuità longitudinale (Fig. 14). La successione stratigrafica, costituita dalle Argille varicolori, dai carbonati dell'unità litostratigrafica Tufillo e dalle peliti e arenarie del Flysch di Agnone, è generalmente immergente verso i quadranti orientali, con un assetto generale di tipo monoclinico. L'assetto strutturale è tuttavia complicato dalla presenza di un sistema di faglie ad alto angolo, ad andamento N-S, che genera numerose ripetizioni della successione affiorante. Il versante in destra idrografica del Fiume Sangro risulta, come il precedente, interessato da numerosi fenomeni di dissesto (Fig. 14).

La scarpata morfologica che costituisce il limite occidentale dell'affioramento dell'unità litostratigrafica Tufillo lungo il versante su cui è costruito l'abitato di Bomba è una scarpata di degradazione/frana. L'area di corona è caratterizzata da una serie di corone minori con tendenza all'arretramento verso monte. La parte terminale di accumulo della frana copre le sottostanti Argille varicolori che, a loro volta, sono interessate da colate lente. Ciò fa in modo che l'accumulo di frana sia a sua volta rimobilizzato. Dall'analisi di terreno emerge che i movimenti sono in genere a scatti per quanto riguarda la parte alta del versante, mentre sono più lenti e costanti nel tempo per quanto riguarda la parte inferiore del versante. Dal punto di vista delle relazioni tra assetto tettonico e dissesti di versante di particolare interesse è il settore ubicato a meridione dell'abitato di Bomba. In quest'area i rilievi morfologici associati all'affioramento dei calcari dell'unità litostratigrafica Tufillo sono bruscamente interrotti nella loro continuità strutturale dalla presenza di un esteso dissesto franoso a complessa evoluzione.



La frana ha la corona ai piedi del versante del Monte Pallano, poco a Est di Sanbuceto, dove talvolta raggiunge il limite tettonico con l'unità litostratigrafica Tufillo, mentre la superficie di scorrimento si trova all'interno del Flysch di Agnone.

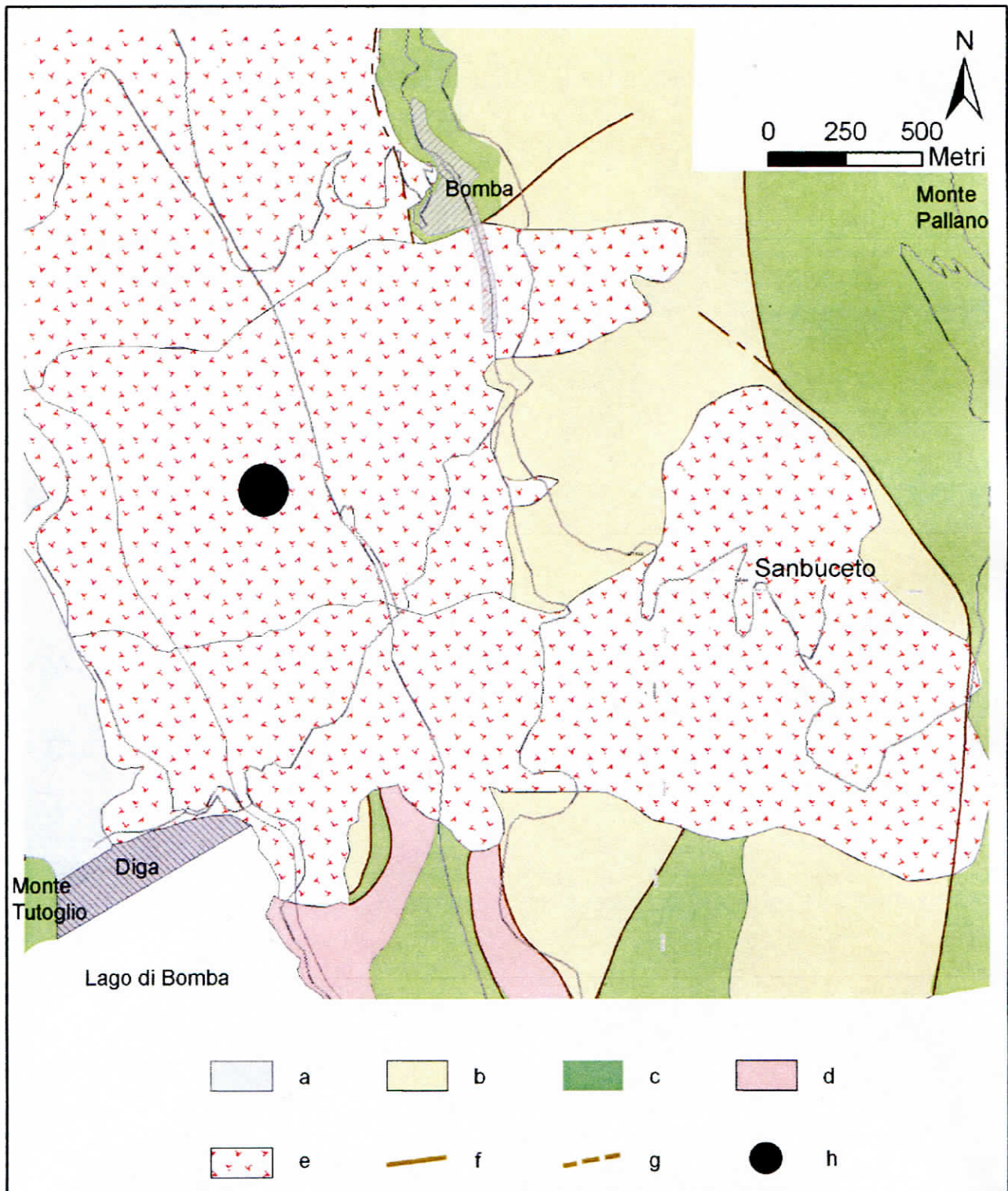


Fig. 14 – Schema tettonico dell'area compresa tra Monte Pallano e la spalla destra della diga di Bomba; a) depositi alluvionali recenti; b) unità pelitico-arenacee del Flysch di Agnone; c) unità calcaree e calcareo-marnose della Formazione Tufillo; d) unità pelitiche delle Argille varicolori; e) dissesto franoso; f) faglia; g) faglia presunta; h) sito del nuovo manufatto.



Lo scorrimento è di tipo rotazionale e la profondità della superficie di rottura sembra essere elevata, anche se dall'analisi di terreno sembra che non vi sia un'unica superficie di rottura ma piuttosto la coalescenza di più superfici di scorrimento rotazionale. La distanza totale tra i fianchi è di circa 700 m. La zona di accumulo si estende in un areale ancora più vasto, fino a più di 1 km, andando ad unirsi con l'accumulo della frana di scorrimento descritta precedentemente. La zona di accumulo, la cui parte terminale poggia sulle Argille varicolori, è interessata da ulteriori movimenti di frana di diversa tipologia: colata lenta, essenzialmente legata a movimenti delle sottostanti Argille varicolori; lateral spreading, dovuto allo scorrimento di porzioni di accumulo (formato da blocchi anche di grande dimensione del Flysch di Agnone e di Tufillo) sulle sottostanti Argille varicolori; scorrimenti rotazionali all'interno dei blocchi di frana, come nel caso della vasta frana in prossimità della spalla destra della diga di sbarramento del Lago di Bomba.

I movimenti sono comunque di tipo lento, con tempi di attivazione anche molto lunghi, legati a precipitazioni prolungate. Non essendoci studi dettagliati sul rapporto precipitazioni/innesco non si può fare una stima sulla soglia d'innesco di tali movimenti.



h

5. CONCLUSIONI

L'evoluzione geodinamica neogenico-quadernaria dell'Alto Molise e Abruzzo meridionale può essere sintetizzata in tre principali eventi deformativi:

- il Bacino pelagico molisano subisce una deformazione per *thrusting* attiva dal Messiniano inferiore sino al Pliocene superiore (Patacca *et al.*, 1992), secondo una direzione di massimo raccorciamento SW-NE, in un processo orogenico che coinvolge progressivamente settori appartenenti alla Piattaforma carbonatica laziale-abruzzese, al Bacino pelagico molisano e alla Piattaforma carbonatica apula. Nell'area in esame l'unico elemento tettonico individuato con certezza e riferibile a questa fase deformativa è costituito dal contatto per *thrusting* tra le unità molisane (al tetto) e i depositi terrigeni riferibili alla piattaforma apula sepolta (al letto). Questo contatto ha un andamento sub-orizzontale e si trova a profondità dell'ordine di 1 km nell'area in esame. Il contatto non ha alcuna connessione diretta con i movimenti di versante individuati in superficie. I dati a nostra disposizione non hanno messo in evidenza contatti tettonici certi a basso angolo all'interno della falda molisana.

- I domini apulo e molisano sono stati successivamente interessati da un evento deformativo trascorrente, che agisce secondo due direttrici e cinematiche: circa N-S, con movimenti destri, e circa N070°, con cinematica sinistra. La geometria dei principali elementi tettonici è caratterizzata da zone di taglio, localizzate nelle unità strutturali profonde (Piattaforma carbonatica apula), che evolvono nelle unità strutturali superficiali (Bacino pelagico molisano) in fasci di deformazione trascorrente e obliqua, con geometrie di tipo *flower*. L'attività trascorrente agisce nel Pliocene sup. pp.-Pleistocene inferiore. I piani trascorrenti ad alto angolo sono generalmente attraversati con un alto angolo dai fenomeni franosi. In alcuni casi ne definiscono le aree di corona e le superfici di distacco delle frane da crollo.

- L'ultimo evento deformativo è di carattere estensionale e agisce su direttrici prevalenti NW-SE con elementi ad alto angolo. Questo evento ha inoltre prodotto localmente la riattivazione dei principali sistemi di faglie trascorrenti pre-esistenti con cinematiche opposte a quelle originarie. Studi condotti nell'area matesina indicano un'età non più antica del Pleistocene inferiore (Ferranti, 1997) o del Pleistocene medio (Brancaccio *et al.* in 1997). Questo evento è, responsabile della formazione di alcune strutture depresse di primo ordine, sviluppate lungo direttrici tettoniche NW-SE, tra cui il bacino di Boiano *s.s.* (*sensu* Russo & Terribile, 1995) e la Valle del medio F. Volturno. Strutture analoghe per orientazione e dimensioni non sono, invece, altrettanto evidenti nel settore dell'Alto Molise.

Sulla base dei dati raccolti sul terreno e dell'analisi delle foto aeree di più annate si può inoltre concludere quanto segue:



- 1) L'intera area presenta propensione al dissesto per diverse tipologie di frana (scorrimenti rotazionali, colate lente, lateral spreading e crolli), con superfici di rottura a diversa profondità e, generalmente, a lenta evoluzione.
- 2) Le superfici di scorrimento di frana non corrispondono alle superfici di contatto tettonico o stratigrafico tra le formazioni presenti, che possono invece talvolta localizzare la corona o i fianchi dei dissesti franosi. A conferma di ciò non sono stati rilevati scorrimenti di tipo planare.
- 3) La presenza di contatti tettonici e di litologie caratterizzate da diversa competenza e permeabilità favorisce la creazione di scarpate ripide, con significativa presenza d'acqua in prossimità dei contatti tra carbonati e depositi pelitici. La concomitanza di questi due fattori predisponenti facilita lo sviluppo di frane in prossimità di tali contatti.



h

Bibliografia

- BIGI S., CALAMITA F. & CORRADO S. (2003) - Assetto strutturale dell'Appennino centrale esterno . In: Crescenti, U., Miccadei, E., Pratlurlon A. (eds.), *Guide Geologiche Regionali, Abruzzo*, **10**, 30-40, 5 ff. A cura della Società Geologica Italiana. BE-MA editrice.
- BRANCACCIO, L., CINQUE, A., DI CRESCENZO, G., SANTANGELO, N., SCARCIGLIA, F. (1997) - Alcune osservazioni sulla tettonica quaternaria nell'Alta Valle del F. Volturno. *Il Quaternario*, **10**, 321-328.
- BUTLER R.W.H., MAZZOLI S., CORRADO S., DE DONATIS M., DI BUCCI D., GAMBINI R., NASO G., NICOLAI C., SCROCCA D., SHINER P. & ZUCCONI V. (2005) - Applying thick-skinned tectonic models to the Apennine thrust belt of Italy: Limitations and implications. In: McClay, K. R. (ed.), *Thrust Tectonics and Petroleum Systems: A.A.P.G. Memoir*, **82**, 647-667. ISBN 0-89181-363-2, 2004.
- CORRADO S., DI BUCCI D., NASO G. & BUTLER R. W. H. (1997a) - Thrusting and strike-slip tectonics in the Alto Molise region (Italy): implications for the Neogene-Quaternary evolution of the Central Apennine orogenic system. *Journal of the Geological Society, London*, **154**, 679-688. doi:10.1144/gsjgs.154.4.0679, 9 ff
- CORRADO S., DI BUCCI D., LESCHIUTTA I., NASO G. & TRIGARI A. (1997b) - La tettonica quaternaria della piana d'Isernia nell'evoluzione strutturale del settore molisano. *Il Quaternario*, **10** (2), 609-614, 4 ff.
- CORRADO S., DI BUCCI D., NASO G. & FACCENNA C. (1998a) - Influence of paleogeography on thrust system geometries: an analogue modelling approach for the Abruzzi-Molise (Italy) case history. *Tectonophysics*, **296**, 437-453. doi:10.1016/S0040-1951(98)00147-4, 11 ff.
- CORRADO S., DI BUCCI D., NASO G. GIAMPAOLO C. & ADATTE T. (1998b) - Application of organic matter and clay mineral studies to the tectonic history of the Abruzzo-Molise-Sannio area, Central Apennines, Italy. *Tectonophysics*, **285**, 167-181. doi: 10.1016/S0040-1951(97)00195-9, 4 ff, 3 tabs.
- CRESCENTI U., MICCADEI E. & PRATURLON A. eds. (2003) - *Guide Geologiche Regionali, Abruzzo*, **10**. A cura della Società Geologica Italiana. BE-MA editrice.
- Di Bucci D., Parotto M., Adatte T., Giampaolo C., Kübler B., (1996) - Mineralogia delle argille varicolori dell'Appennino centrale: Risultati preliminari e prospettive di ricerca. *Bollettino della Società Geologica Italiana* **115**, 689-700
- DI BUCCI D., CORRADO S., NASO G., PAROTTO M. & PRATURLON A. (1999) - Evoluzione tettonica neogenico-quaternaria dell'area molisana. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **118**, 13-30, 12 ff.
- FERRANTI L. (1997) - Tettonica tardo pliocenica-quaternaria dei Monti del Matese (Appennino meridionale): raccorciamenti tardivi e distensione "neotettonica". *Il Quaternario*, **10** (2), 503-506.
- PATACCA E., SCANDONE P., BELLATALLA M., PERILLI N. & SANTINI U. (1992) - La zona di giunzione tra l'arco appenninico settentrionale e l'arco appenninico meridionale nell'Abruzzo e nel Molise: *Studi Geologici Camerti*, v. speciale 1991/2, 417-441.
- PATACCA E. & SCANDONE P. (2007) - Geology of the Southern Apennines. *Boll.Soc.Geol.It. (Ital.J.Geosci.)*, Spec. Issue **7**, 75-119, 14 figg., CROP-04 (A. Mazzotti, E. Patacca & P. Scandone eds).
- RUSSO F. & TERRIBILE F. (1995) - Osservazioni geomorfologiche, stratigrafiche e pedologiche sul Quaternario del Bacino di Boiano (Campobasso), *Il Quaternario*, **8** (1), 239-254.
- SCISCIANI, V. (2009) - Styles of positive inversion tectonics in the Central Apennines and in the Adriatic foreland: Implications for the evolution of the Apennine chain (Italy). *Journal of Structural Geology*, **31** (11), 1276-1294.
- SCISCIANI, V., CALAMITA, F., BIGI, S., DE GIROLAMO, C., PALTRINIERI, W., (2000) - The influence of synorogenic normal fault on Pliocene thrust system development: the Maiella structure (central Apennines, Italy). *Memorie della Società Geologica Italiana*, **55**, 193-204.
- SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1970) - Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 Foglio "Lanciano" 147.
- VEZZANI L., FESTA A. & GHISSETTI F. (2009) - Geological structural map of the Central-Southern Apennines (Italy), scala 1:250.000. Fogli 1 & 2. SELCA, Firenze.



Handwritten signature in blue ink.