

RICOSTRUZIONE DEI CAMPI DI SFORZI PLIO-QUATERNARI NEL PEDEAPPENNINO PIACENTINO (ITALIA SETTENTRIONALE)

G.L. Morelli - E. Costa

Istituto di Geologia, Università di Parma, Parma

ABSTRACT - *Reconstruction of Plio-quaternary palaeo-stress fields in the Apennines foothill area, province of Piacenza (Northern Italy)* - Il Quaternario *Italian Journal of Quaternary Sciences*, 10(2), 1997, 563-570 - Brittle deformation structures in Plio-Quaternary terranes outcropping along the margin of the Northwestern Apennines (Piacenza Province) were analysed from the mesostructural viewpoint. The analyses, based on conglomerate pitted pebbles and mesofaults, allowed the reconstruction of two Plio-Pleistocene paleo-stress fields with maximum compressional axes trending NW and NNE. The stratigraphic framework was well studied and allowed to reconstruct the relative chronology of stress fields: the NW trending stress field is Late Pliocene whereas the NNE trending one is Early Pleistocene.

Parole chiave: Campi di sforzi, analisi mesostrutturale, mesofaglie, strie, ciottoli improntati, Neoaotoceno, Plio-quaternario
Key Words: Stress-fields, mesostructural analysis, meso-faults, striae, pitted pebbles, Neoaotochthon, Plio-Quaternary

1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRUTTURALE

Nell'area di studio (Fig.1) affiorano estesamente dei depositi clastici di ambiente marino che costituiscono il "neoaotoceno" padano di questo settore pedeappenninico. Tali depositi sono tradizionalmente raggruppati in tre Formazioni litologiche (Boni *et al.*, 1971) denominate, in ordine stratigrafico, Formazione di Vernasca, Formazione di Lugagnano e Formazione di Castell'Arquato, le quali presentano nell'area considerata evidenti rapporti di eteropia (Fig. 2) e costituiscono una successione stratigrafica che si estende dal Messiniano terminale al Pleistocene inferiore. Alla base del "neoaotoceno" si colloca la Formazione di Vernasca. Essa risulta costituita da depositi prevalentemente conglomeratici datati al Messiniano superiore (Iaccarino & Papani, 1980), passanti superiormente a sedimenti arenaceo-sabbiosi e pelitici contenenti fauna del Pliocene inferiore (Barbieri, 1967). A questa Unità segue in "discordanza semplice" la Formazione di Lugagnano (Iaccarino & Papani, 1980), la quale rappresenta il primo ciclo sedimentario marino pliocenico della zona (ciclo P1 di Ricci Lucchi *et al.*, 1982) ed è formata dalle tipiche "argille azzurre" di ambiente epibatiale (Barbieri, 1967; Raffi *et al.*, 1989). Verso la parte superiore dell'Unità, in corrispondenza del passaggio alla soprastante Formazione di Castell'Arquato (ciclo P2 di Ricci Lucchi *et al.*, 1982), tali litotipi diventano sensibilmente più sabbiosi e, parallelamente, aumenta il loro contenuto in macrofossili marini.

La Formazione di Castell'Arquato, che chiude la sedimentazione marina nell'area, risulta prevalentemente costituita da sabbie giallastre di ambiente circolitorale (Barbieri, 1967; Raffi *et al.*, 1989), alle quali si intercalano localmente dei livelli argillosi di spessore metrico e dei corpi conglomeratici lenticolari di limitata estensione, più frequenti nel settore occidentale dell'area rilevata. Tale Formazione termina al tetto con depositi sabbiosi marini, affioranti solo nella zona circostante l'abitato di

Castell'Arquato (Rio Bertacca, Rio Montecucco, T. Arda), i quali vengono comunemente considerati di età pleistocenica inferiore (Calabriano; Barbieri, 1967).

L'assetto strutturale del "neoaotoceno" di questo settore pedeappenninico, limitato ad Est dalla struttura tettonica di Salsomaggiore e ad Ovest da un'ampia area nella quale non affiorano depositi marini plio-quaternari (Fig. 1), è piuttosto semplice. Tali Formazioni, infatti, si sovrappongono in generale concordanza angolare e costituiscono una regolare monoclinale immergente debolmente verso Nord con angoli compresi tra 10° e 15°. Verso Sud, le Unità "neoaotocene" si appoggiano in discordanza stratigrafica sulle varie Formazioni alloctone Liguridi, Epiliguridi e sul "Complesso caotico indifferenziato" ("Argille scagliose"), il quale, localmente (zona di Gropparello e Val Ottesola), risulta aver sovrascorso le argille del Pliocene inferiore (Laureri, 1964; Iaccarino *et al.*, 1982).

2. ANALISI STRUTTURALE

L'analisi mesostrutturale di dettaglio, basata sulle deformazioni legate alla tettonica fragile, è stata condotta essenzialmente sui livelli conglomeratici presenti entro le sabbie del Pliocene medio-superiore della Formazione di Castell'Arquato e sui conglomerati tardo messiniani della Formazione di Vernasca. Ulteriori informazioni sono derivate dai vari sistemi di mesofaglie che risultano diffusi sia nei sedimenti argillosi appartenenti alla Formazione di Lugagnano (Pliocene inferiore) che nelle sabbie pleistoceniche della Formazione di Castell'Arquato.

Nei conglomerati, al fine di determinare la direzione di massima compressione dell'ellissoide degli sforzi (σ_1), sono state analizzate le impronte di presso-soluzione presenti sulle superfici dei ciottoli. Tali figure stilolitiche, prodotte dalla mutua indentazione di ciottoli adiacenti in conseguenza di sforzi tettonici orientati, tendono a for-

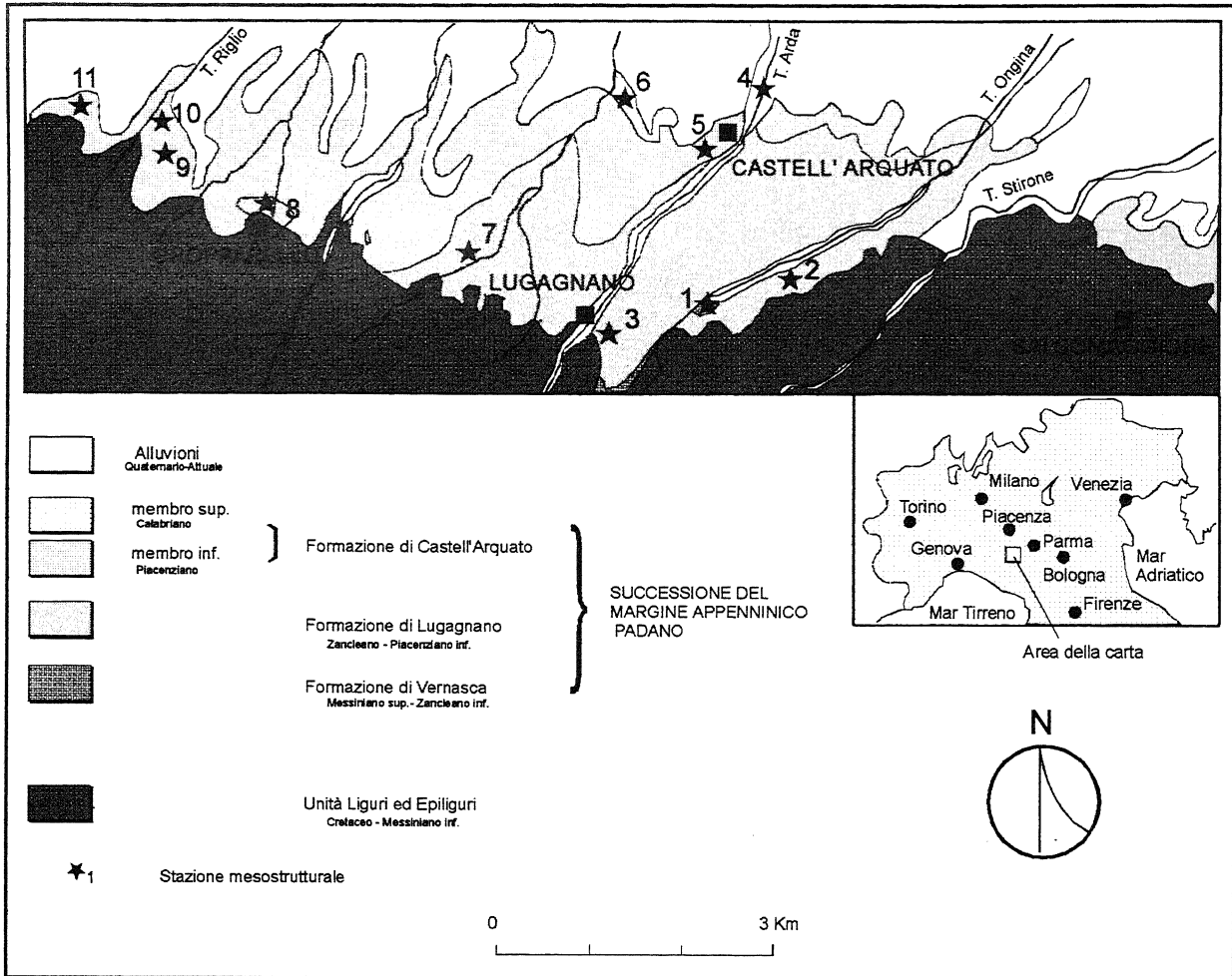


Fig. 1 - Carta geologica di riferimento dell'area studiata.
Reference geological map of the study area.

marsi su facce del clasto ortogonali alla direzione di massima compressione e consentono di ricostruire direttamente in campagna la direzione del σ_1 relativa ad ogni singolo elemento. Gli assi di massima compressione, dedotti per ogni ciottolo di un determinato sito mesostrutturale, vengono poi elaborati con il programma Stereonet, installato su PC, il quale permette la costruzione di diagrammi di densità (ret. di Schmidt, emisf. inf.), i cui massimi di addensamento forniscono la direzione o le direzioni di massima compressione relative alla singola stazioni di misura (Fig. 3). Negli affioramenti analizzati in questo lavoro, tuttavia, i ciottoli non si sono dimostrati ovunque intensamente e frequentemente improntati. Le strutture stilolitiche, infatti, si sono rivelate più abbondanti ed evidenti nei conglomerati più ricchi in ciottoli carbonatici a grana fine, essendo questi ultimi i più vulnerabili ai fenomeni di dissoluzione per pressione.

Abbastanza comuni nei terreni argillosi sono risultati i sistemi di mesofaglie, la cui analisi, effettuata con l'ausilio di specifici programmi di calcolo, ha permesso la ricostruzione analitica degli ellissoidi degli *stress* relativi ai singoli affioramenti. Per tale elaborazione è stato utilizzato il programma *Stress*, installato su PC, il quale si basa sul metodo analitico proposto da E. Carey (1976; 1979) e fornisce direttamente la giacitura degli assi prin-

cipali dell'ellissoide degli sforzi relativo ad una popolazione di faglie. Per applicare questo metodo occorre quindi rilevare per ogni faglia la giacitura del piano di frattura, la direzione del movimento avvenuto lungo esso (*pitch*) ed il senso del movimento relativo dei due blocchi di faglia, quest'ultimo non sempre individuabile con certezza nelle litologie analizzate. Tuttavia, l'individuazione sui piani di frattura di finissime strie di frizione e di varie "microconchette", alla terminazione delle quali è stato talvolta rinvenuto l'originario elemento striatore, ha consentito di applicare le metodologie suddette, fornendo nella maggior parte dei casi tensori degli sforzi di buona qualità (bassi valori di scarto angolare).

3. RISULTATI OTTENUTI

Nell'area studiata (Fig.1) sono state effettuate 11 stazioni mesostrutturali per un totale di circa 237 misure. Di queste, quattro stazioni sono ubicate nei conglomerati alto-pliocenici della Formazione di Castell'Arquato (St. n°5, 9, 10, 11) ed una in quelli Messiniani della Formazione di Vernasca (St. n°1), mentre altre quattro stazioni risultano situate nei depositi argillosi della Formazione di Lugagnano (St. n°2, 3, 7, 8) e due nei sedimenti di età

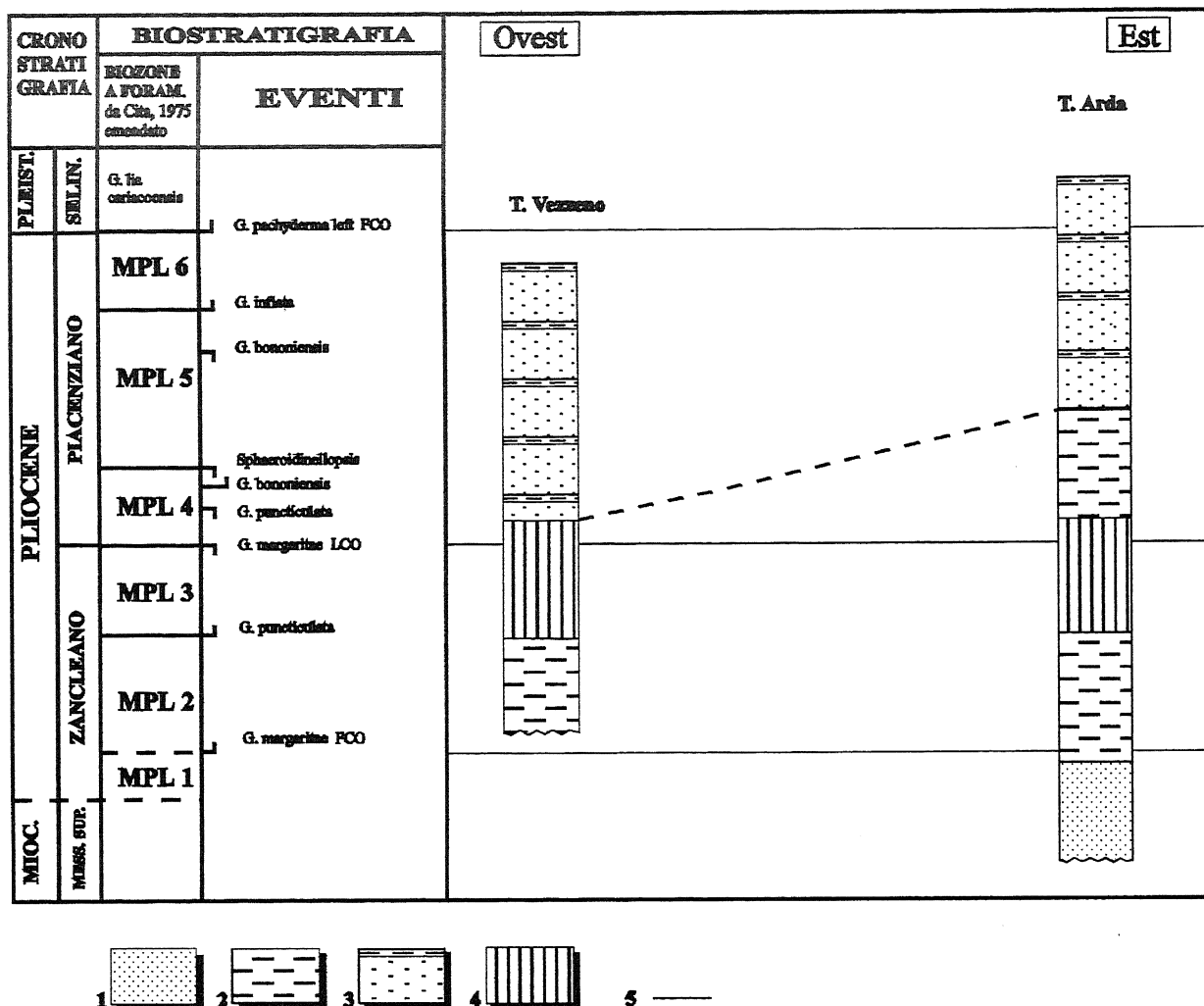


Fig. 2 - Schema cronostratigrafico di correlazione tra i settori occidentale ed orientale della zona studiata. 1: Formazione di Vernasca; 2: Formazione di Lugagnano; 3: Formazione di Castell'Arquato; 4: *Hiatus* deposizionale; 5: Linea isocrona.

Cronostratigraphic correlation sketch between the eastern and western sector of the study area. 1: Vernasca Formation; 2: Lugagnano Formation; 3: Castell'Arquato Formation; 4: Hiatus; 5: Isochronous line.

pleistocenica della Formazione di Castell'Arquato (St. n°4 e 6).

Nei ciottoli sono state ricostruite le direzioni di massima compressione dell'ellissoide degli sforzi unicamente dalle impronte di presso-soluzione presenti sulla superficie dei clasti. In tre delle cinque stazioni effettuate nei conglomerati sono state individuate due direzioni di massima compressione (confermate anche dalla presenza su alcuni ciottoli di entrambe le famiglie di strutture) indicative di raccorciamenti sub-orizzontali a direzione NO e NNE o, localmente (staz. n°1), ENE (Fig. 3). Nelle altre due stazioni, invece, è stata ottenuta una sola direzione di massima compressione (Fig. 3).

Anche la ricostruzione degli ellissoidi degli *stress*, realizzata mediante i vari sistemi di mesofaglie, ha messo in evidenza la presenza di due campi di sforzi con assi di massima compressione coincidenti con quelli ricostruiti dai ciottoli.

Nella Figura 4 sono stati riportati gli ellissoidi degli *stress* ricostruiti nelle argille del Pliocene inferiore e nelle sabbie del Pleistocene inferiore della zona. Da tali rico-

struzioni si può notare che nei terreni pliocenici è stata rilevata sia la compressione NO che quella NNE, mentre nei depositi pleistocenici è stata ricostruita solo la compressione a direzione NNE. Un caso particolare è rappresentato dalla stazione n°3, effettuata nelle argille marnose del Pliocene inferiore (Fig. 1); in tale sito, infatti, è stato ricostruito un tensore degli sforzi che presenta un σ_1 orizzontale a direzione N 60°, quindi sensibilmente ruotato rispetto alla direzione NNE rilevata in tutta l'area di studio. A questo proposito è utile ricordare che anche nella stazione n°1, molto prossima a questa (Fig. 1), le impronte dei ciottoli hanno permesso di ricostruire una direzione di massima compressione orizzontale a direzione circa N 60°.

Un'ultima considerazione riguarda la giacitura dei terreni analizzati, i quali presentano inclinazioni modeste che raramente superano i 15°. Ciò ha reso superfluo, prima di procedere con l'elaborazione analitica, riportare all'orizzontale le misure mesostrutturali effettuate, considerazione che si è rivelata sufficientemente corretta dal momento che gli ellissoidi calcolati presentano sempre

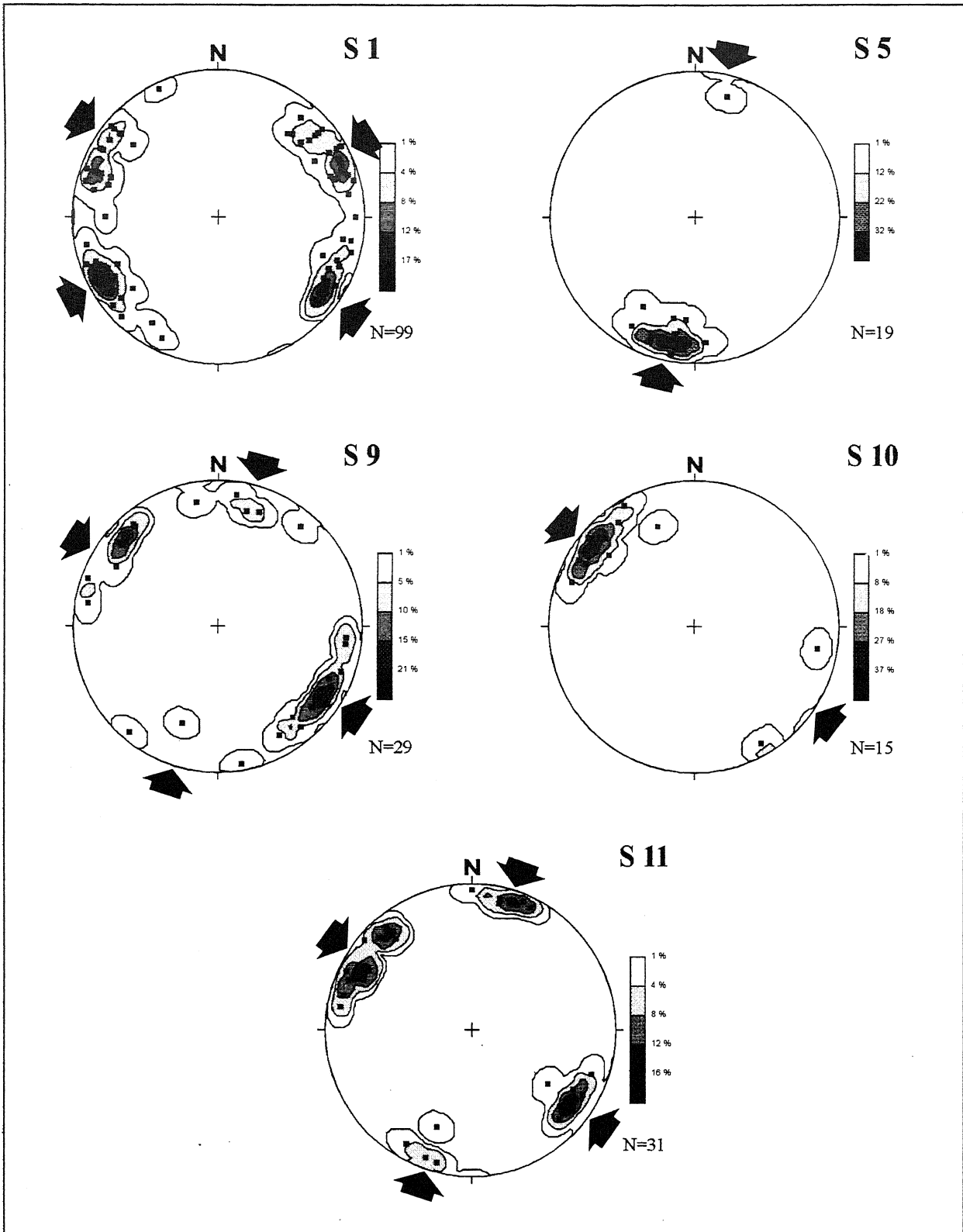


Fig. 3 - Diagrammi delle isodense relativi ai σ_1 dedotti dai ciottoli improntati. S.1 = Messiniano superiore; S.5, S.9, S.10, S.11 = Pliocene superiore.

σ_1 , frequency contours as obtained from pitted pebbles of the study area. S. 1 = Late Messinian; S.5, S.9, S.10, S.11 = Late Pliocene.

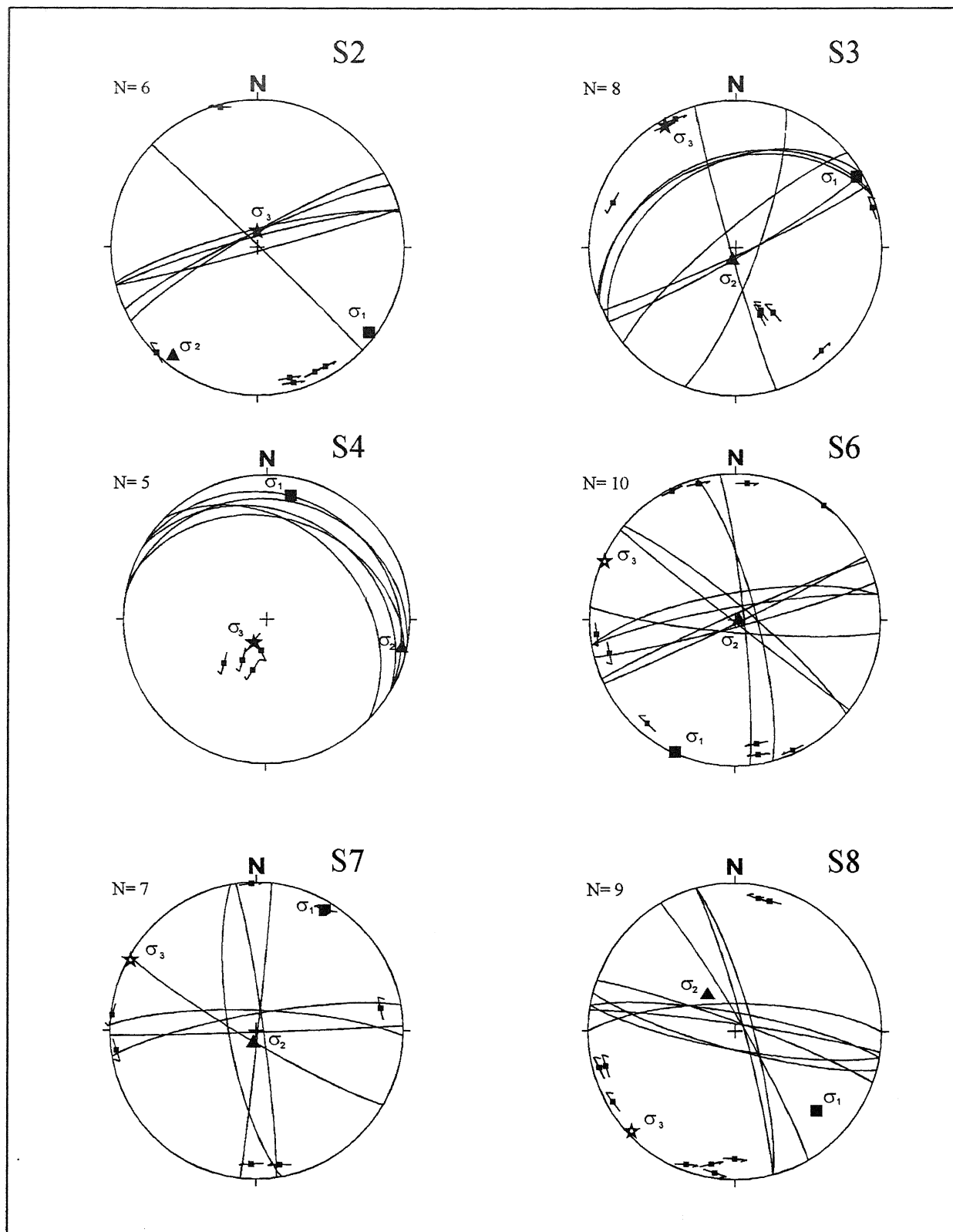


Fig. 4 - Ricostruzioni degli ellissoidi degli sforzi eseguiti con il metodo Carey utilizzando le mesofaglie rilevate nella zona. In figura sono riportati gli assi principali di sforzo, le tracce ciclografiche dei piani di faglia, i poli di tali piani e le relative strie di movimento. S.2, S.3, S.7, S.8 = Pliocene inf.; S.4 e S.6 = Pleistocene inf.; ■ = σ_1 ; ▲ = σ_2 ; ★ = σ_3 .

Reconstructions of paleostress tensors (Carey's method). The reconstructions are based on measured mesofaults. S. 2, S.3, S.7, S.8 = Early Pliocene; S.4, S.6 = Early Pleistocene. ■ = σ_1 ; ▲ = σ_2 ; ★ = σ_3 .

un asse principale di sforzo sub-verticale. Un'eccezione è rappresentata dalla stazione n°8 (Fig. 4), nella quale è stato ricostruito un tensore degli sforzi con un σ_1 inclinato di circa 25°. In questo caso, tuttavia, non è stato possibile riportare all'orizzontale le misure strutturali in quanto, a causa della particolare litologia di tali depositi (argille massive), non si è potuto determinare in alcun modo la giacitura della stratificazione.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'analisi mesostrutturale effettuata nei terreni "neo-autoctoni" di questa zona, ha permesso di riconoscere l'azione di almeno due campi di sforzi plio-pleistocenici, la cui esistenza risulta evidente nella proiezione stereografica di Figura 5 ove sono state riportate le direzioni dei σ_1 ricostruiti in tutta l'area di studio. In questo diagramma si possono infatti osservare le due direzioni preferenziali degli assi di massima compressione ricostruiti nella zona: una sub-orizzontale a direzione NO e l'altra, anch'essa sub-orizzontale, a direzione NNE. Da questo *trend* si discostano le due stazioni precedentemente menzionate (n°1 e n°3), nelle quali è stato ricostruito un asse di massima compressione a direzione ~N 60°.

Vista l'impossibilità di dedurre direttamente in campagna, sulla base dei rapporti tra le strutture, una cronologia relativa di tali campi deformativi, la loro successione cronologica è stata ipotizzata considerando l'età dei terreni analizzati. Infatti, il campo di sforzi con massima compressione NO è stato ricostruito in depositi con un *range* di età che si estende dal Messiniano superiore al Pliocene superiore (Piacenziano), mentre il campo di sforzi con σ_1 a direzione NNE è stato rilevato in tutti i sedimenti analizzati, ovvero in terreni con un'età compresa tra il Messiniano superiore ed il Pleistocene inferiore (Calabrian). Da ciò è stato dedotto che quest'ultimo campo deformativo è il più recente ed ha agito nella zona presumibilmente dopo il Pleistocene inferiore, mentre il campo tensionale a compressione NO, che non "passa" nei sedimenti Pleistocenici, ha agito in un periodo sicuramente precedente, compreso tra il Pliocene superiore ed il Pleistocene inferiore.

Un'ulteriore considerazione si può fare a proposito delle due stazioni nelle quali è stato ricostruito un asse di massima compressione orientato circa N60° (Fig. 5). Tali siti, infatti, sono situati in prossimità di una ben documentata struttura tettonica trasversale, denominata "Linea del T. Stirone" (Castellarin *et al.*, 1985; Bernini & Papani, 1987), per la quale è stato ipotizzato un funzionamento da trascorrente sinistra nel Miocene e, sebbene in modo molto più attenuato, anche nel Pleistocene (Bernini & Papani, 1987). Questo ha consentito di affermare, considerando anche l'estrema localizzazione geografica di tali campi di sforzi "anomali" (Fig.1), che la compressione N60° registrata in questo settore sia imputabile ad una locale riorientazione del campo di sforzi a compressione NNE, causata dal presunto movimento pleistocenico di tale lineamento tettonico.

In conclusione, è opportuno ricordare che la presente ricostruzione cronologica dei campi deformativi plio-pleistocenici si trova in buon accordo con analoghi

lavori effettuati nel pedeappennino parmense, nei quali è stata ricostruita un'età post-Pleistocene medio per la compressione NNE (Bernini & Clerici, 1983) ed un'età più antica per quella NO (Papani, 1983). Tale cronologia sembra tuttavia non conciliarsi con quella ipotizzata nel pedeappennino pavese-alessandrino, per gli stessi campi tensionali, da Perotti (1995), sulla base di studi mesostrutturali effettuati su depositi tardo-messiniani. In tale zona, infatti, la compressione NO è stata considerata probabilmente più recente di quella NNE. Tale apparente contraddizione, tuttavia, potrebbe essere facilmente spiegata ipotizzando un'azione alternata dei due campi deformativi almeno durante il Pliocene, possibilità che non può essere esclusa dai dati raccolti in questo lavoro ma che, al contrario, potrebbe spiegare la maggiore intensità (intesa come numero di strutture rilevate) della compressione NNE nei terreni del Messiniano superiore e del Pliocene inferiore rispetto a quelli tardo-pliocenici della zona.

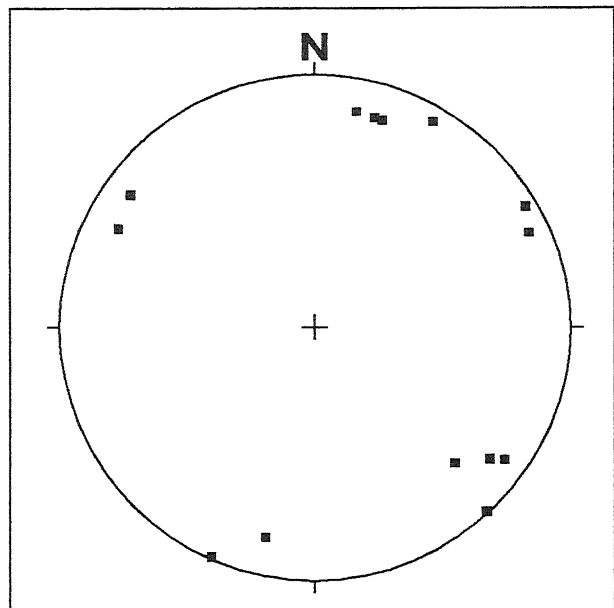


Fig.5 - Proiezione stereografica degli assi di massima compressione desunti in tutte le stazioni di misura.

Stereographic projection of maximum compressional axes as obtained in the structural measurement sites of the study area.

RINGRAZIAMENTI

Gli Autori ringraziano S. Iaccarino e S. Gaboardi per le analisi biostratigrafiche, nonché M. Bernini, G. Papani e C. Perotti per i preziosi consigli.

Il lavoro è stato finanziato con la convenzione R.E.R.

OPERE CITATE

Barbieri F., 1967 - *The Foraminifera in the Pliocene section Vernasca-Castell'Arquato including the "Piacenzian strato-type" (Piacenza Province)*. Mem. Soc. Ital. Sc. Nat. Museo Civ. St. Nat., 15, 145-163.

- Bernini M. & Clerici A., 1983 - *Individuazione di un campo di sforzi compressivo in alcuni affioramenti del Pleistocene continentale del margine appenninico presso Collecchio (Parma)*. Boll. Soc. Geol. It., **102**, 369-384.
- Bernini M. & Papani G., 1987 - *Alcune considerazioni sulla struttura del margine appenninico emiliano fra lo Stirone e l'Enza (e le sue relazioni con il Sistema del F. Taro)*. Ateneo Parmense, Acta Nat., **23**, 219-240.
- Boni A. et al., 1971 - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. F° 72 "Fiorenzuola d'Arda"*. Nuova Tecnica Grafica, Roma, 93 pp.
- Carey E., 1976 - *Analyse numérique d'un modèle mécanique élémentaire appliqué à l'étude d'une population de failles: calcul d'un tenseur moyen des contraintes à partir des stries de glissement*. Thèse 3ème cycle, Tectonique générale, Université Paris-Sud, 138 pp.
- Carey E., 1979 - *Recherche des directions principales de contraintes associées au jeu d'une population de failles*. Rev. Géol. dynam. et de Géogr. physique, **21**(1), 57-69.
- Castellarin A. et al., 1985 - *Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano*. Giorn. Geologia, ser. 3°, **47**, 47-75.
- Ghiselli F. & Martelli L., 1997 - *Evoluzione dei campi di stress lungo il margine appenninico padano dal Pleistocene medio all'Attuale: analisi strutturale dei depositi pleistocenici affioranti tra Castell'Arquato e Rimini*. Regione Emilia Romagna, Ufficio Geologico, presentato al Convegno "Tettonica quaternaria del territorio italiano: conoscenze, problemi ed applicazioni" Parma, 25-27 Febbraio 1997.
- Iaccarino S. & Papani G., 1980 - *Il Messiniano dell'Appennino Settentrionale dalla Val d'Arda alla Val Secchia: Stratigrafia e rapporti con il substrato e il Pliocene*. In: Volume dedicato a Sergio Venzo, STEP, Parma, 15-46.
- Iaccarino S., Papani G. & Raffi S., 1982 - *La trasgressione della Formazione di Castell'Arquato sulla Formazione di Lugagnano ad Ovest della Linea del T. Chiavenna (Pedeappennino piacentino)*. In: G. Cremonini & F. Ricci Lucchi (a cura di): *Guida alla geologia del margine appenninico-padano*. Guida Geol. Reg. S.G.I., Bologna, 131-135.
- Laureri S., 1964 - *Cenni sulla giacitura del Neogene nel Pedeappennino piacentino tra le valli dell'Arda e del Nure*. Ateneo Parmense, Acta Nat., **35**, 1-7.
- Mannori M.R., 1987 - *Analisi mesostrutturale della successione plio-pleistocenica del Santerno (pedeappennino imolese)*. In: Boccaletti M. & Papani G. (eds), *Brittle deformation analysis in neotectonics*, Ateneo Parmense, Acta Nat., **23**, 241-251.
- Papani G., 1983 - *Stato di avanzamento delle ricerche mesostrutturali sulla tettonica fragile nell'Appennino parmense e zone limitrofe*. Atti Riunione su "Meccanismi deformativi nelle catene perimediteranee: stato di avanzamento delle ricerche e problematiche emerse", Firenze, 5 dic. 1983, 27-34.
- Perotti C.R., 1995 - *Analisi strutturale dei depositi conglomeratici neogenici affioranti lungo il margine padano dell'appennino pavese-alessandrino*. Atti Tic. Sc. della Terra, Ser. Spec., **3**, 89-98.
- Raffi S. et al., 1989 - *New stratigraphic data on the Piacenzian stratotype*. Boll. Soc. Geol. It., **108**, 183-196.
- Ricci Lucchi F. et al., 1982 - *Evoluzione sedimentaria e paleogeografica nel margine appenninico*. In: G. Cremonini & F. Ricci Lucchi (eds.), *Guida alla geologia del margine appenninico-padano*. Guida Geol. Reg. S.G.I., Bologna, 17-46.

Ms. ricevuto il: 15. 4. 1997
 Inviato all'A. per la revisione il: 18. 11. 1997
 Testo definitivo ricevuto il: 26. 11. 1997

Ms received: Apr. 15, 1997
 Sent to the A. for a revision: Nov. 11, 1997
 Final text received: Nov. 26, 1997