

ANALISI STRATIGRAFICA E GEOMORFOLOGICA DELLA CONOIDE TARDO-QUATERNARIA DI CAMPOCHIARO ED IMPLICAZIONI PER LA CONCA DI BOJANO IN MOLISE

L. Guerrieri⁽¹⁾ – G. Scarascia Mugnozza⁽²⁾ – E. Vittori⁽³⁾

¹ Dottorato di ricerca in Scienze della Terra, Università di Roma "La Sapienza", Piazzale Aldo Moro, 5 - 00185 ROMA

² Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Roma "La Sapienza", Piazzale Aldo Moro, 5 - 00185 ROMA

³ ANPA, Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Via Vitaliano Brancati, 48 - 00144 ROMA,
email: vittori@anpa.it

RIASSUNTO - *Analisi stratigrafica e geomorfologica della conoide tardo-quadernaria di Campochiaro ed implicazioni per la conca di Bojano in Molise.* Nell'ambito di ricerche sull'evoluzione geologica tardo-quadernaria della conca di Bojano (Molise) è stata studiata in dettaglio la zona della conoide di Campochiaro, attraverso analisi geomorfologiche, stratigrafiche, pedologiche e radiometriche.

La conoide di Campochiaro si trova nel settore del versante matesino compreso tra Bojano e la sella di Vinchiatiuro. Da un punto di vista morfostratigrafico sono stati riconosciuti tre ordini di conoide sospesi rispettivamente di 30 metri, 15-20 metri e non oltre 10 metri rispetto al fondovalle attuale.

Dai log stratigrafici eseguiti in alcune pareti di cava nei depositi del III ordine è stato possibile ricostruire la stratigrafia della porzione più recente della conoide: sono state distinte tre unità conglomeratiche separate da suoli sepolti, colluvi di suolo e orizzonti ricchi di materiale vulcanoclastico. I profili di suolo sviluppati sulle superfici relative ai tre ordini di conoide sono confrontabili in termini di grado di evoluzione e suggeriscono tempi di pedogenesi non superiori ad alcune decine di migliaia di anni. Datazioni radiometriche hanno consentito di inquadrare cronologicamente il III ordine della conoide tra l'Ultimo Pleniglaciale e il Tardiglaciale. L'età del materiale vulcanoclastico su cui si sono impostati i suoli attuali risulta ben vincolata, consentendo di riferire tale materiale all'eruzione del Tufo Giallo Napoletano.

I dati a disposizione consentono di inquadrare i tre ordini della conoide di Campochiaro nell'ambito del Pleistocene superiore. L'inizio della degradazione della conoide è riferibile al passaggio tra il Pleistocene superiore e l'Olocene. La tettonica estensionale in questo settore si è esplicitata principalmente lungo due lineamenti orientati circa ONO-ESE con tassi di scorrimento nel tardo Quaternario anche superiori a 0,5 mm/anno. Infine da tale studio emergono nuovi vincoli cronologici anche per l'evoluzione della conca di Bojano: i rapporti di interdigitazione tra i depositi del III ordine di Campochiaro e i depositi lacustri nella piana consentono infatti di collocare anche la fine del riempimento lacustre nella piana verso la fine del Tardiglaciale.

ABSTRACT - *Stratigraphic and Geomorphological analysis of the Late Quaternary Campochiaro alluvial fan and implications for the Bojano basin (Molise).* As a part of a study aimed at constraining the geological evolution of the Bojano Basin (Molise, Southern Apennines), the area of Campochiaro alluvial fan has been studied in detail. New geomorphic, stratigraphic, pedologic and radiometric data complete previous geological knowledge about this area (Russo & Terribile, 1995).

The Bojano Basin is an intermontane depression located between the Matese massif and Sannio Hills. Extensional tectonic activity since Middle Pleistocene developed in this area a tectonic graben (Coltorti & Cremaschi, 1981; Naso *et al.*, 1998). The main faults of this graben, trending WNW-ESE, are located at the base of the slopes of Matese Mountain and Sannio Hills. Historical and instrumental seismicity suggest that extensional tectonic is still active (Esposito *et al.*, 1987; Federici *et al.*, 1992).

The Campochiaro alluvial fan is located in the south-eastern side of the Bojano Basin: fan deposition is now inactive and the fan deposits are entrenched by the La Valle Creek and Quirino River. Boreholes data indicates that fan deposits are thicker than 90 m.

Three alluvial fan units have been distinguished based on geomorphological data: the height of the alluvial fan surfaces above the current talweg is respectively more than 30 m (I order), between 15 m and 20 m (II order), and less than 10 m (III order).

The master fault is active as suggested by large fault scarps located at the base of Colli della Difesa slope. Moreover, it cuts pliocenic paleosurfaces with more than 600 m of vertical displacement. Detailed mountain topographic profiles along the fault scarps suggest a Holocene recent vertical slip-rate between 0.7 and 1 mm/yr. Another fault, synthetic with the master fault and located valleyward, cuts the two older units of Campochiaro alluvial fan. The estimated recent vertical slip-rate is between 0.3 and 0.8 mm/yr.

Detailed stratigraphic analysis in the third unit allowed us to constrain the recent evolution of the Campochiaro alluvial fan: about 20 m of conglomerates have been divided in three different stratigraphic units, separated by paleosoils and sandy levels. Radiometric data on paleosoils and bone fragments dates the deposition of the younger alluvial fan between the Last Maximum Glacial stage and the Late Glacial period in a cold and arid climatic context. Thus, the deposition rate of the alluvial fan in this period was between 0.7 and 0.8 mm/yr. Soil profiles data suggests similar time of soil development on the three alluvial fan surfaces. Thus, the older alluvial fan units must also be Upper Pleistocene in age.

The current entrenchment of the alluvial fan started between the end of the Late Glacial period and the beginning of Holocene. This data allows us to constrain in the same period the end of lacustrine deposition in the Bojano Basin and the arrival of tephra material (very likely related to the Neapolitan Yellow Tuff eruption from the Phlegrean Fields).

Parole chiave: geomorfologia, stratigrafia, conoide di Campochiaro, Appennino Meridionale, Pleistocene superiore-Olocene

Key-words: geomorphology, stratigraphy, Campochiaro alluvial fan, Southern Apennines, Upper Pleistocene-Holocene

1. INTRODUZIONE

Le aree di conoide pedemontana costituiscono ambienti geologici particolarmente sensibili alle oscillazioni

climatiche ed all'attività tettonica recente. Studi di dettaglio su questi ambienti sedimentari hanno spesso fornito importanti vincoli per l'evoluzione recente delle conche intermontane.

In questo lavoro vengono presentati i risultati di uno studio geomorfologico, stratigrafico e pedologico coadiuvato da analisi radiometriche, che ha consentito di definire l'evoluzione tardo-quadernaria e di approfondire il quadro sismotettonico della conca di Campochiaro. Da questo studio emergono nuovi vincoli per l'evoluzione recente della conca di Bojano e conseguentemente una stima dei processi morfoevolutivi attuali e nel prossimo futuro. In questo senso questo lavoro si inserisce nell'ambito di una ricerca a carattere multidisciplinare finalizzata alla valutazione della pericolosità geologica nella conca di Bojano (Guerrieri, 2000).

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELLA CONCA DI BOJANO

La conca di Bojano, Molise (Fig. 1), è una depressione allungata in direzione appenninica, posta mediamente a quote intorno a 500 m s.l.m., compresa tra il massiccio del Matese (quota massima di poco superiore ai 2200 m, Monte Miletto) e i rilievi collinari del Sannio (quote massime poco oltre gli 800 m). Le precipitazioni medie nel bacino sono nell'ordine dei 1400 mm/anno.

Le formazioni geologiche che compongono i versanti della conca sono riferibili fondamentalmente alla successione carbonatica della piattaforma abruzzese-campana, affiorante soprattutto nella zona centrale del Matese, e alla successione pelagica del Bacino molisano e/o lagonegrese, affiorante nel settore nordoccidentale del Matese e sul versante sannitico. Dal punto di vista strutturale, le due unità tettoniche principali (Unità Matese-Monte Maggiore e Falda Sannitica) sono sovrapposte secondo *thrusts* non coassiali rispetto ai domini paleogeografici mesozoici (Di Bucci *et al.*, 1999). Per la descrizione delle due successioni stratigrafiche nonché dell'evoluzione paleogeografica e strutturale di questo settore dell'Appennino meridionale si rimanda alla ricca bibliografia disponibile (ad es. Ferranti, 1994; Di Bucci *et al.*, 1999 e lavori ivi citati).

L'attuale conca di Bojano si è impostata su una depressione formatasi probabilmente già nel Pliocene in un regime di tettonica compressiva e trascorrente (Naso *et al.*, 1998).

Almeno il settore occidentale dell'odierna conca di Bojano è stato sede di deposizione di tipo lacustre (Bacino di S. Massimo): datazioni K-Ar eseguite sulle piroclastiti intercalate ai depositi lacustri inquadrano tale deposizione tra la fine del Pleistocene inferiore (Brancaccio *et al.*, 1979a) ed il Pleistocene medio basale (Corrado *et al.*, 2000).

A partire dal Pleistocene medio, l'evoluzione della conca di Bojano è comunque legata essenzialmente alla tettonica estensionale (Coltorti & Cremaschi, 1981; Naso *et al.*, 1998), che ha determinato la progressiva evoluzione di un graben ad orientazione circa appenninica, dove le faglie bordiere del massiccio del Matese e dei monti del Sannio costituiscono i due elementi tettonici principali. La tettonica distensiva ha in molti casi ripreso precedenti elementi deformativi trascorrenti, probabilmente di età pliocenica (Ascione & Cinque, 1995), favorendo la formazione di versanti ad orientazione circa ONO-ESE. Anche le conche di Sepino e Morcone

verso SE ed il bacino di Isernia verso NO si inquadrano nell'ambito di questa evoluzione.

I dati di sismicità storica e strumentale testimoniano del perdurare degli sforzi tensionali nell'area. In particolare, la zona del Matese è stata colpita da almeno due eventi sismici di magnitudo superiore a 6.5: il terremoto del Sannio del 1688 (Serva, 1981) e il terremoto molisano del 1805 (Esposito *et al.*, 1987). I dati strumentali rivelano attualmente una sismicità di media energia, prevalentemente a sciame e concentrata soprattutto nel settore orientale del Matese secondo allineamenti generalmente N-S e meccanismi focali distensivi (Federici *et al.*, 1992; Chiarabba *et al.*, 1997).

Da un punto di vista geomorfologico si può osservare che a quote superiori ai 1100 metri si ritrovano i lembi relitti di un paesaggio a bassa energia di rilievo (Paleosuperficie *Auct.*), cui si raccorda la parte superiore del versante matesino. Il modellamento di tale paleosuperficie viene attribuito ad un periodo di relativa stasi del sollevamento della catena tra il Pliocene e il Pleistocene inferiore basale (Coltorti & Cremaschi, 1981; Brancaccio & Cinque, 1988; Ortolani & Pagliuca, 1988). Un secondo gruppo di paleosuperfici, riconoscibile su entrambi i lati della conca tra 600 e 800 m, risulta abbastanza ben correlabile con la superficie sommitale del bacino di S. Massimo (Fig. 1). Altre superfici erosive si trovano sul margine sannitico della conca sospese di alcune decine di metri rispetto alla piana attuale (Ascione *et al.*, 1998).

I depositi di riempimento sono di natura prevalentemente lacustre e palustre con intercalazioni fluviali prevalentemente sul lato matesino. Dalle stratigrafie di sondaggi geognostici (GE.MI.NA, 1963) risulta che lo spessore dei depositi di riempimento al centro della piana è sicuramente superiore ai 160 m e che il riempimento della conca, iniziato nel Pleistocene inferiore, sarebbe continuato fino ad oggi attraverso periodi di prevalente deposizione cui si sono alternati momenti a più intensa attività erosiva, condizionati fondamentalmente dalle variazioni climatiche. In analogia con altre aree interne della catena appenninica (ad es. la valle del F. Giovenco e i terrazzi posti al bordo orientale della conca del Fucino, Giraudi, 1989; Raffy, 1983; Blumetti *et al.*, 1993), nella piana di Bojano condizioni climatiche fredde e aride hanno in generale favorito la produzione di detrito sui versanti e conseguentemente i processi di aggradazione. Condizioni climatiche più calde ed umide hanno causato un minor trasporto solido nel bacino del Fiume Biferno, favorendone la capacità di reincisione dei depositi di riempimento. Alcuni fattori locali nella zona di soglia del bacino di Bojano, all'inizio della valle bifemina, potrebbero aver provocato momentanei periodi di sbarramento del corso del Fiume Biferno condizionando in tal modo i processi deposizionali verso monte: tra questi l'elevata franosità, dovuta fondamentalmente alle caratteristiche geomeccaniche delle formazioni terregene affioranti, e l'attività tettonica lungo le faglie bordiere, analogamente ad altri versanti montuosi controllati da faglie attive (p.es. Monte Le Scalette relativamente al bacino di Colfiorito, Centamore *et al.*, 1978; Vittori *et al.*, 2000).

Su base geomorfologica, stratigrafica e pedologica, sono distinguibili nella piana due unità deposizionali riferibili alle fasi più recenti di riempimento: la prima unità è costituita da depositi prevalentemente lacustri e palustri

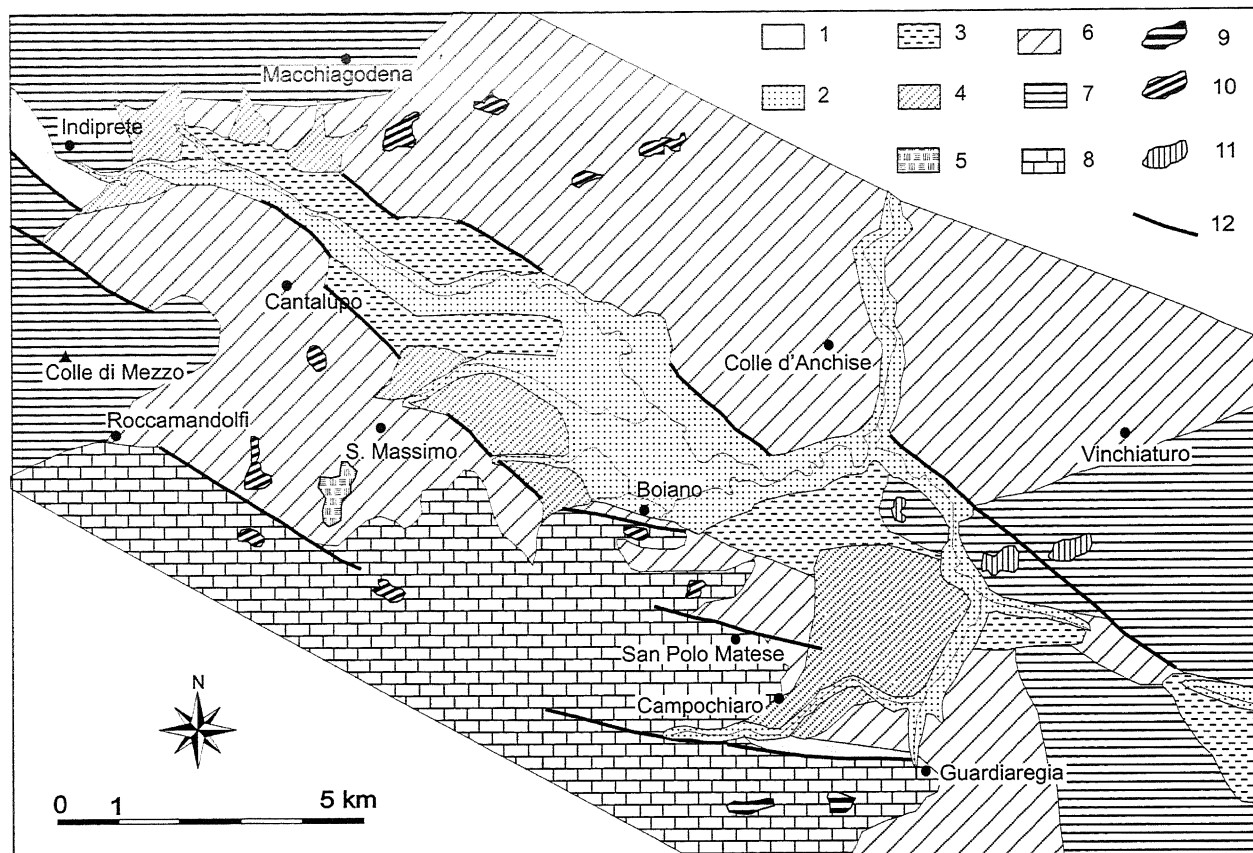


Fig. 1: Schema geologico della conca di Bojano.

Legenda: 1. Coperture detritico-colluviali (Olocene); 2. UALR: alluvioni recenti (Olocene) 3. ULAC: depositi lacustri e palustri del Bacino di Bojano (Pleistocene superiore finale); 4. Depositi di conoide alluvionale (Pleistocene superiore); 5. Depositi lacustri del Bacino di S. Massimo; 6. Arenarie ed argille (Flysch e Argille Varicolori); 7. Calcareniti e marne pelagiche (Bacino Molisano e/o Lagonegrese); 8. Calcarei neritici (Piattaforma Abruzzese-Campana); 9. Superficie erosiva correlabile con la Paleosuperficie Auct. (Pliocene); 10. Superficie erosiva correlabile con la superficie sommitale del Bacino di S. Massimo (Pleistocene inferiore finale-Pleistocene medio basale); 11. Superficie erosiva del Bacino di Bojano (Pleistocene superiore); 12. Faglia diretta attiva.

Geological sketch of the Bojano Basin.

Legend: 1. Colluvial deposits (Holocene); 2. UALR: recent alluvial deposits (Holocene); 3. ULAC: lacustrine and marsh deposits of Bojano Basin (Upper Pleistocene); 4. Alluvial fan deposits (Upper Pleistocene); 5. Lacustrine deposits of S. Massimo Basin (Lower-Middle Pleistocene); 6. Sandstones and shales purple (Flysch and Argille Varicolori); 7. Calcarenites and pelagic marls (Bacino Molisano and/or Lagonegrese); 8. Shelf limestones and dolostones ("Piattaforma Abruzzese-Campana"); 9. Erosional surface related to Paleosuperficie Auct. (Pliocene); 10. Erosional surface related to the top surface of S. Massimo Basin (Lower Pleistocene-Middle Pleistocene); 11. Erosional surface related to the top surface of Bojano Basin (Upper Pleistocene); 12. Active normal fault.

(ULAC) riferibili al Pleistocene superiore (Russo & Terribile, 1995). La seconda unità, di età olocenica, è costituita dai depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi del Fiume Biferno e dei suoi affluenti (UALR). Le conoide alla base del versante matesino, in particolare la conoide di Campochiaro, sono interdipendenti con la porzione più alta dei depositi dell'unità ULAC.

3. LA CONOIDE DI CAMPOCHIARO

La conoide di Campochiaro (Fig. 2) si trova nel settore del versante matesino compreso tra Bojano e la sella di Vinchiaturo. L'area di alimentazione della conoide è costituita dal bacino del torrente La Valle ed è pari a circa 15 km². I depositi, che ricoprono una superficie

di oltre 10 km², sono esposti in una serie di pareti di cava poste a valle di Campochiaro per uno spessore di quasi venti metri. Dalle stratigrafie di sondaggi geognostici eseguiti nel corpo di conoide risulta che lo spessore massimo supera i 90 m (Ente Risorse Idriche Molisane, stratigrafie riservate). Attualmente la conoide non è più attiva ed è ampiamente incisa, oltre che dallo stesso torrente La Valle, anche dal torrente Quirino ad est e dal fosso del Perito ad ovest.

L'unico studio precedente che analizzi con un certo dettaglio l'area della conoide di Campochiaro è quello di Russo & Terribile (1995). Questi Autori hanno definito i caratteri stratigrafici della porzione più superficiale della conoide (due successioni detritico-alluvionali separate da una fascia pedogenizzata) e i caratteri pedologici dei suoli in superficie (Andosuoli)

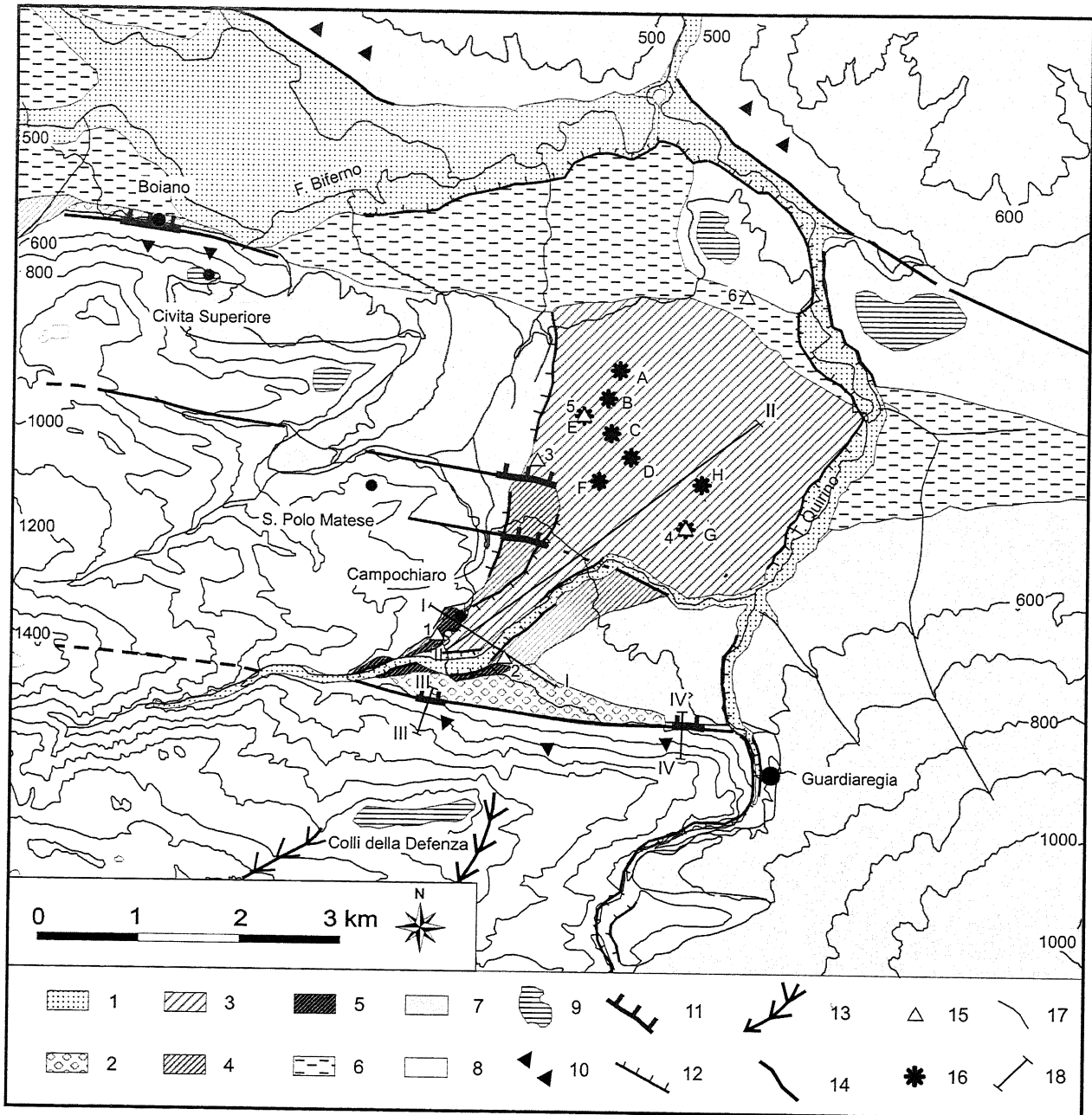


Fig. 2: Schema geologico-geomorfologico dell'area di Campochiario.

Legenda: 1. Alluvioni recenti (UALR, Olocene); 2. Detrito di versante (Olocene); 3. Unità di Campochiario (UCON-III, Pleistocene superiore finale); 4. Unità di Fonte Frascarello (UCON-II, Pleistocene superiore); 5. Unità di La Valle (UCON-I, Pleistocene superiore); 6. Unità lacustre e palustre (ULAC, Pleistocene superiore finale); 7. Substrato prevalentemente marnoso ed argilloso; 8. Substrato prevalentemente carbonatico; 9. Superficie erosiva; 10. Faccette triangolari; 11. Scarpata di faglia; 12. Scarpata erosiva; 13. Traccia di antiche incisioni vallive troncate lungo la faglia; 14. Faglia attiva; 15. Ubicazione di profilo di suolo; 16. A = Cava Cantoni; B = Cava Ciancarrelle; C = Cava Morrione; D = Cava Morrione Piccola; E = Cava Cerreto; F = Cava Varriano; G = Cava Vicenne; H = Cava Vicenne Piccola; 17. Corsi d'acqua perenni ed effimeri; 18. I = Traccia profilo geologico di Fig. 3; II = Traccia del profilo topografico di Fig. 6; III e IV = Tracce dei profili topografici di dettaglio lungo la scarpata di faglia di Colli della Defenza (Fig. 5).

Geological and geomorphological map of Campochiario area.

Legend. 1. Alluvial deposits (UALR, Holocene); 2. Slope deposits ((Holocene); 3. Campochiario Unit (UCON-III, Late Upper Pleistocene); 4. Fonte Frascarello Unit. (UCON-II, Late Upper Pleistocene); 5. La Valle Unit (UCON-I, Upper Pleistocene); 6. Lacustrine and marsh deposits (ULAC, Late Upper Pleistocene); 7. Bedrock: sandstones and clay; 8. Bedrock: limestones and dolostones; 9. Erosional surface. 10. Triangular facets; 11. Fault scarp; 12. Erosional surface; 13. Trace of paleovalley displaced by the fault; 14. Active fault; 15. Soil profile location; 16. Quarry; 17. Rivers and streams; 18. I = Trace of geological cross-section (Fig. 3); II = Trace of topographic longitudinal profile (Fig. 6); III and IV = Traces of detailed topographic profiles along Colli della Defenza fault scarp (Fig. 5).

e dei suoli sepolti relativi alla fascia pedogenizzata (Vertisuoli e Entisuoli).

3.1. Unità morfostratigrafiche e deposizionali

L'analisi geomorfologica e stratigrafica ha consentito di distinguere tre unità di conoide (Fig. 3):

– *Unità La Valle (UCON-I)*: depositi di conoide alluvionale sospesi oltre 30 m rispetto al fondovalle del Torrente La Valle. Si tratta di conglomerati ben cementati e stratificati, generalmente in livelli di 20-30 cm di spessore, del tutto privi di matrice. I clasti sono carbonatici, di dimensioni centimetriche, molto arrotondati. Le migliori esposizioni si ritrovano in sinistra del Torrente La Valle, in località Grotti, nei pressi dell'abitato di Campochiaro.

– *Unità di Fonte Frascarello (UCON-II)*: depositi di conoide alluvionale sospesi circa 15-20 m sull'alveo attuale. Affiorano sia in sinistra (Case Simone) che in destra (Fonte Frascarello) del Torrente La Valle. I caratteri stratigrafici sono analoghi a quelli dell'Unità La Valle.

– *Unità di Campochiaro (UCON-III)*: costituita dai depositi della conoide più recente, comunque incisi dal T. La Valle per circa dieci metri. Si raccordano morfologicamente con l'unità ULAC, secondo rapporti di natura eteropica. Le relative caratteristiche stratigrafiche sono discusse in dettaglio nel capitolo 3.2.

3.2. Sezioni stratigrafiche nei depositi dell'Unità di Campochiaro (UCON-III)

L'esecuzione di 14 sezioni stratigrafiche (Fig. 4) lungo le pareti di scavo di otto cave ubicate in diversi punti della conoide (Fig. 2) ha consentito di ricostruire

una stratigrafia di massima della porzione più superficiale dell'Unità di Campochiaro. Dall'alto verso il basso si riconoscono i seguenti orizzonti:

– *Suolo recente* (si veda anche Tab. 1): suolo di colore bruno scuro generalmente impostato su materiale di natura vulcanoclastica, con proprietà andiche (Hapludand, Russo & Terribile, 1995). In alcuni casi è stato parzialmente eroso e ricolluviato all'interno di incisioni profonde fino a 2 m, con profilo a V (cava Cerreto, cava Morrione piccola) e a fondo piatto (Variano). L'abbondante scheletro è costituito da clasti carbonatici.

– *Unità Superiore*: depositi conglomeratici, molto ben cementati, a clasti esclusivamente carbonatici, molto ben arrotondati, di dimensioni generalmente intorno a 4-5 cm, ma talvolta superiori a 10 cm, mentre la matrice è sempre molto scarsa. Molto spesso tali depositi sono stratificati e rappresentano facies canalizzate con profili a V e a fondo piatto. La larghezza dei paleocanali supera anche i 5 m e le profondità possono superare il metro (cave Cantoni e Vicenne). Lo spessore dell'unità va da 1 a 2 m.

– *Orizzonte vulcanoclastico*: deposito di colore giallo oca (5Y 3/4) a tessitura generalmente sabbiosa, di evidente origine vulcanoclastica. È sempre ricolluviato e profondamente alterato. Si riconosce soltanto in alcune sezioni con spessori non superiori ai 10 cm e, più frequentemente, in piccole lenti.

– *Unità Intermedia*: conglomerati cementati a clasti prevalentemente carbonatici, subordinatamente bauxitici, arenacei ed argillitici. I clasti sono sempre ben arrotondati, di dimensioni generalmente comprese tra 5 e 10 cm, ma talvolta superiori a 30 cm, specie verso l'apice della conoide (cava Vicenne). La stratificazione, raramente evidente, è suborizzontale. La matrice è generalmente limosa di colore avana. Nella parte alta si ritrovano caratteristici livelli

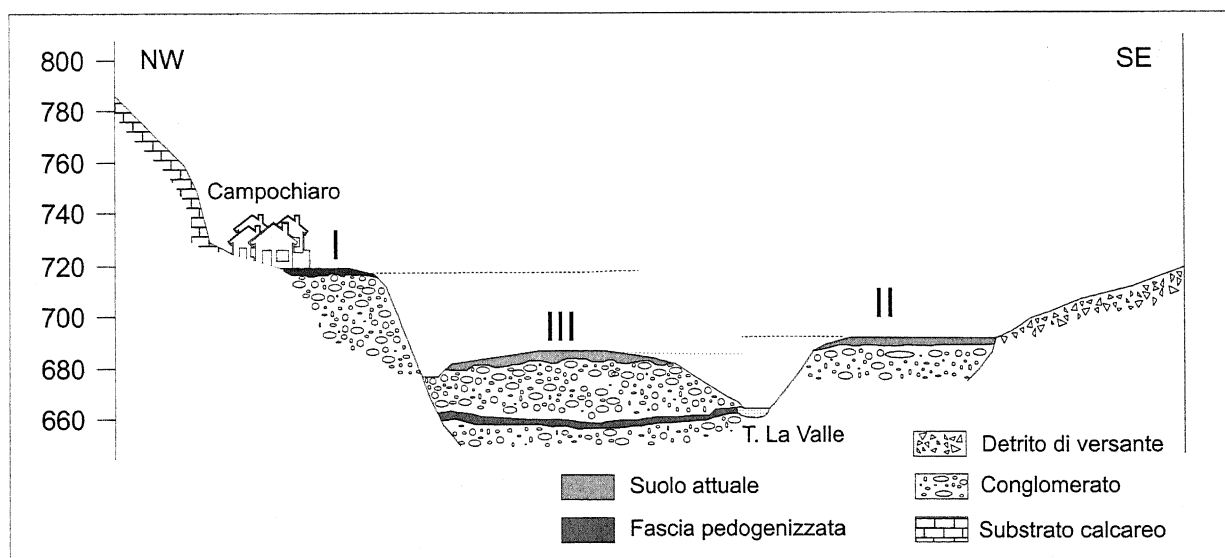


Fig. 3. Profilo geologico trasversale alla conoide in corrispondenza dell'abitato di Campochiaro: rapporti stratigrafici fra i vari ordini di conoide.

I = Unità di La Valle (UCON-I); II = Unità di Fonte Frascarello (UCON-II); III = Unità di Campochiaro (UCON-III). Per le caratteristiche stratigrafiche si rimanda al testo.

Geological cross-section of the alluvial fan near the village of Campochiaro.

I = La Valle Unit (UCON-I); II = Fonte Frascarello Unit (UCON-II); III = Campochiaro Unit (UCON-III). See text for details.

Località	ID	Unità di riferimento	Orizzonte	Spessore	Colore	Sabbia	Limo	Argilla
Grotti	1	UCON-I	A	40	10YR 3/2	7.7	38.0	53.8
Grotti	1	UCON-I	Bw	80	7.5YR3/2	57.4	19.3	23.3
Fonte Frascarello	2	UCON-II	A	35	7.5YR3/4	21,1	43,8	35,1
Fonte Frascarello	2	UCON-II	Bw	55	10YR3/4	25,2	43,8	31,0
Case Simoni	3	UCON-II	A	20	10YR3/4	18,2	55,3	26,4
Case Simoni	3	UCON-II	Bw	95	10YR3/6	14,3	48,5	37,2
Cava Vicenne	4	UCON-III	A	55	7.5YR3/1	18.4	51.6	30.0
Cava Vicenne	4	UCON-III	Bw	45	7.5 YR3/2	61.9	27.1	11.0
Cava Cerreto ¹	5	UCON-III	A	20	10YR3/4	17.7	68.9	13.4
Cava Cerreto ¹	5	UCON-III	Bw1	40	10YR4/4	17.3	69.2	13.4
Cava Cerreto ¹	5	UCON-III	Bw2	35	10YR 4/4	16.6	74.4	9.1
Vivaio Forestale	6	ULAC	Ap	10	10YR4/4	38,5	32,5	29,0
Vivaio Forestale	6	ULAC	Bw	50	10YR3/4	37,2	31,5	31,3
Vivaio Forestale	6	ULAC	BCg	10	10YR4/6	40,2	25,3	34,5
Cava Cerreto ¹	5	Suolo sepolto	Bb1	30	10YR 5/4	26.6	43.9	29.5
Cava Cerreto ¹	5	Suolo sepolto	Bb2	23	10YR 5/4	18.0	49.4	32.5
Cava Cerreto ¹	5	Suolo sepolto	2Btb1	20	7.5YR 3/3	11.5	36.0	52.5
Cava Cerreto ¹	5	Suolo sepolto	2Btb2	10	7.5YR 4/4	9.9	23.1	67.0

¹ (Russo & Terribile, 1995)

Tab. 1: Principali caratteristiche dei suoli superficiali e sepolti nell'area di Campochiaro (ubicazioni in Fig. 2).

Main features of surface and buried soils in Campochiaro area (see location in Fig. 2).

limo-sabbiosi di colore marrone chiaro e di spessore massimo di circa 60 cm. Tali livelli costituiscono un livello di riferimento per correlare le diverse sezioni, pur non sempre affioranti (es. cave Morrione grande e Ciancarelle). All'interno dell'Unità Intermedia sono stati ritrovati resti di vertebrati il cui significato cronologico è discusso nel capitolo 5. Lo spessore è di circa 8 m (cava Morrione grande).

– *Fascia pedogenizzata*: fitte alternanze di livelli ghiaiosi e colluvi di suolo sepolti di colore bruno scuro. Anche nei colluvi di suolo sono stati ritrovati alcuni minerali femici, essenzialmente miche e pirosseni. Affiora solamente in alcune cave (Morrione grande, Ciancarelle e Vicenne piccola) per uno spessore complessivo compreso tra 1 e 2 m.

– *Unità Inferiore*: conglomerati cementati, simili a quelli dell'Unità Intermedia, da cui differiscono per il colore più scuro della matrice, che diviene decisamente bruno scuro. Lo spessore massimo visibile è di circa 2 m (cava Ciancarelle).

3.3. Datazioni assolute

All'interno dell'Unità Intermedia sono stati ritrovati due frammenti di ossa di mammiferi: il primo (BS1) a circa 50 cm dal tetto dell'unità, nella cava Cantoni, mentre il secondo (BS2) a circa 6 m dal tetto dell'unità nella cava Morrione Grande. Tali frammenti, probabilmente attribuibili rispettivamente ad un rinoceronte e ad una cervide (Petronio com. pers., 1998), non contengono tuttavia elementi diagnostici tali da poterli datare per via

paleontologica. È stata comunque possibile una datazione assoluta ¹⁴C tramite AMS. Sono stati inoltre datati con il metodo ¹⁴C due suoli sepolti relativi alla fascia pedogenizzata nelle cave Ciancarelle (PS1) e Morrione Grande (PS2). I risultati delle datazioni assolute sono riportati in Tab. 2.

3.4. Vincoli cronologici dall'analisi dei suoli

È possibile definire alcuni vincoli cronologici relativi anche sulla base delle caratteristiche dei suoli in superficie. Infatti, mentre superfici morfologiche di età molto differente necessariamente implicano tempi di pedogenesi molto diversi e dunque suoli a diverso grado di evoluzione, superfici di età confrontabile hanno invece sviluppato generalmente profili di alterazione abbastanza simili. Il confronto viene effettuato su alcune caratteristiche dei suoli (lo spessore, il colore, il tipo di orizzonte B) dipendenti dal tempo e dunque indicative del grado di evoluzione del suolo stesso (Birkeland, 1984).

In Tab. 1 sono riportate alcune informazioni relative ai suoli superficiali e sepolti nella zona in studio, ricavate da profili di suolo sia pubblicati che inediti. Il colore, il tipo di orizzonte B e lo spessore complessivo sono tra loro abbastanza confrontabili. Pertanto è ragionevole ritenere che i tempi di esposizione alla pedogenesi siano anche essi sufficientemente confrontabili. Ne risulta che le età delle diverse unità di conoidi terrazzate si inquadrano tutte nel Pleistocene superiore, probabilmente nell'ambito dell'Ultimo Glaciale. Un'ulteriore conferma di

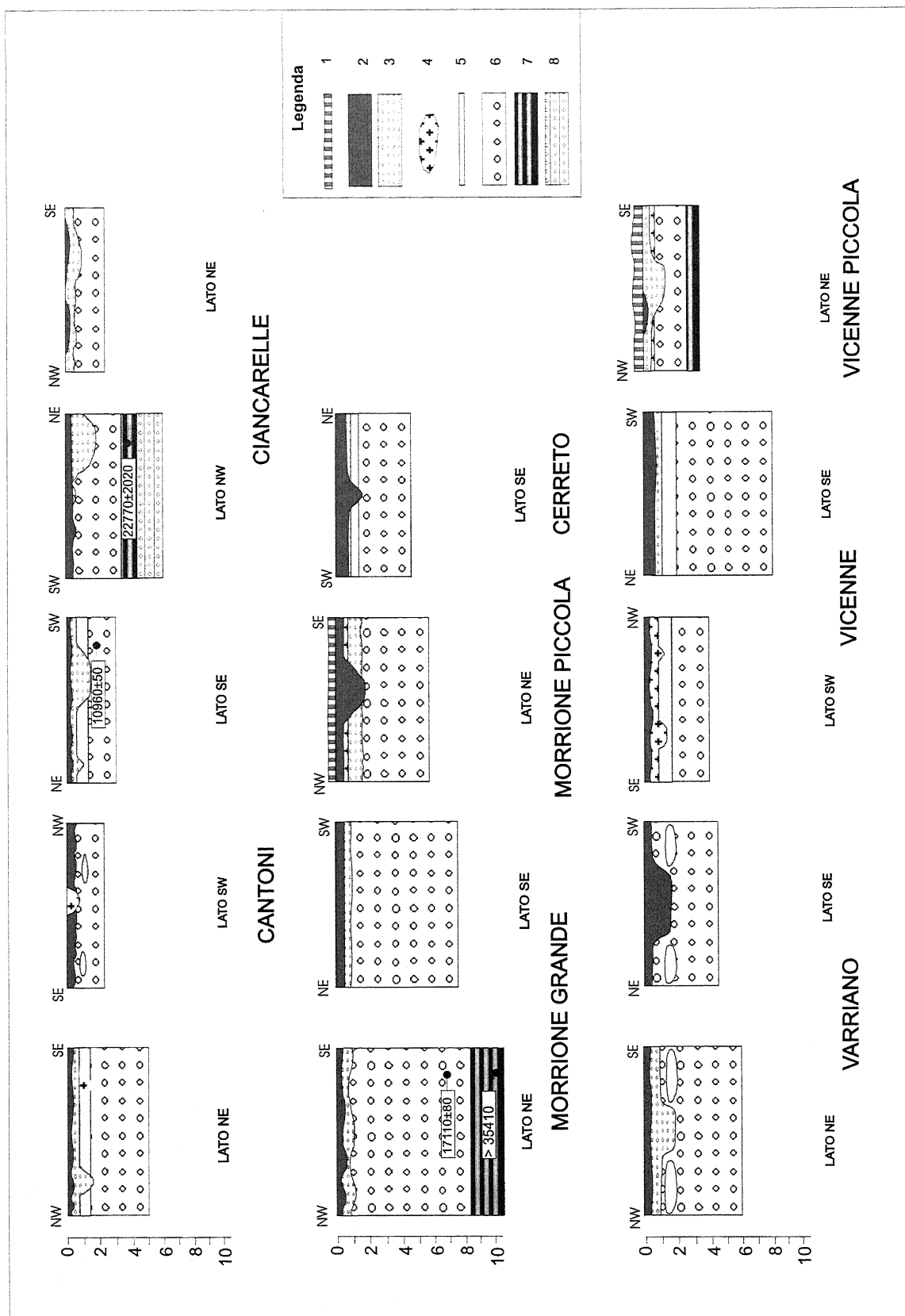


Fig. 4. Sezioni stratigrafiche eseguite nella unità di Campochiario (UCON-III).
 1. Riperto antropico; 2. Suolo recente; 3. Unità Superiore; 4. Lente ricca di materiale vulcanoclastico; 5. Livello sabbioso; 6. Unità Intermedia; 7. Suoli sepolti; 8. Unità Inferiore.
 Stratigraphic logs in the Campochiario Unit (UCON-III).
 1. Anthropogenic fill; 2. Recent soil; 3. Upper Unit; 4. Lens containing tephra material; 5. Sandy level; 6. Intermediate Unit; 7. Buried soils; 8. Lower Unit.

<i>Campione</i>	<i>Metodo</i>	<i>Località</i>	<i>Età (anni dal Presente)</i>
BS1	AMS	Cava Cantoni	10960 ± 50
BS2	AMS	Cava Morrione Grande	17110 ± 80
PS1	¹⁴ C	Cava Ciancarelle	22770 ± 2020
PS2	¹⁴ C	Cava Morrione Grande	> 35410

Tab. 2: Risultati delle datazioni assolute ¹⁴C sui frammenti di ossa e sui paleosuoli calcolati secondo il tempo di dimezzamento di Libby (5570 anni) e riferiti al 1950 A.D.

Results of ¹⁴C dating on samples of bones and paleosoils, based upon the Libby half-time (5570 years) and referred to the year 1950 AD.

questo vincolo cronologico potrebbe derivare dal fatto che nei suoli in superficie l'orizzonte B, ove presente, è di tipo Bw cambico e mai di tipo Bt: questa caratteristica è generalmente indicativa di suoli sviluppati in un periodo di tempo non superiore ad alcune decine di migliaia di anni (Ferrari & Magaldi, 1983).

3.5. Inquadramento cronologico del materiale vulcanoclastico

Il materiale vulcanoclastico risulta sempre assai rimaneggiato, rendendo complesso qualsiasi tentativo di datazione diretta. Tuttavia è possibile attribuire cronologicamente il secondo arrivo di materiale vulcanoclastico alla fine del Tardiglaciale, in base ai risultati delle datazioni assolute dei depositi all'interno dei quali è incassato. Gli unici apparati vulcanici relativamente vicini all'area in esame e sede di attività parossistica nel Pleistocene superiore finale sono quelli del Distretto Campano (Campi Flegrei e Vesuvio). Relativamente al materiale vulcanoclastico ricolluviato tra le Unità Intermedia e Superiore, l'eruzione più probabile sembrerebbe essere quella nota come "Tufo Giallo Napoletano", datata a circa 11.000 anni fa (Rosi & Sbrana, 1987).

Più difficile è l'inquadramento cronologico del precedente arrivo di materiale vulcanoclastico, sul quale si sono imposti i suoli della fascia pedogenizzata: in tale periodo l'eruzione maggiore in termini volumetrici è stata quella dell'Ignimbrite Campana, riferita in letteratura ad un periodo compreso tra 42.000 e 25.000 anni fa (Scandone *et al.*, 1991), ma non si possono escludere a priori altre eruzioni minori.

4. NEOTETTONICA NELLA ZONA DELLA CONOIDE DI CAMPOCHIARO

La tettonica estensionale si è esplicata prevalentemente lungo lineamenti aventi orientazioni comprese tra N270° e N300°. L'elemento principale è costituito dalla faglia basale del versante di Colli della Defenza (Fig. 2): tale faglia, forse inizialmente trascorrente, è stata rimbilizzata come faglia normale in seguito alla tettonica estensionale, dislocando in tal modo la "Paleosuperficie Auct." pliocenica di almeno 600 m. Anche alcune paleoincisioni vallive a debole pendenza sono state troncate lungo lo stesso lineamento tettonico. A questa faglia sono associate scarpate di altezza anche decametrica che mettono a contatto sia roccia con detrito (zona

archeologica della Civitella) sia roccia con roccia (Gole del Quirino). Le caratteristiche di queste scarpate sono quelle che si ritrovano tipicamente in corrispondenza di faglie ad accertata attività olocenica ai piedi di versanti carbonatici al bordo di bacini intra-appenninici (Blumetti *et al.*, 1993; Michetti, 1994). L'ultima regolarizzazione di tali versanti viene generalmente interpretata nell'ambito del periodo Tardiglaciale, poiché il successivo miglioramento delle condizioni climatiche ha portato a un sensibile cambiamento dei processi morfogenetici, permettendo lo sviluppo di suoli, la copertura vegetazionale dei versanti e l'attivazione di processi di erosione lineare (Brancaccio *et al.*, 1979b; Giraudi & Frezzotti, 1997). Nello specifico, i depositi detritici che regolarizzano il versante matesino, essendo raccordati direttamente con i depositi lacustri dell'unità ULAC (a loro volta interdigitati con gli ultimi apporti della conoide di Campochiaro), devono anch'essi essere inquadrati nello stesso contesto morfoclimatico Tardiglaciale. Perciò, le rotture di pendio associate a scarpate di faglia lungo tali versanti permettono una stima dello scorrimento successivo a tale regolarizzazione, quindi durante l'Olocene.

Al fine di valutare il rigetto olocenico in corrispondenza della faglia di Colli della Defenza, sono stati eseguiti due profili topografici di dettaglio trasversali alla scarpata (Fig. 5), secondo una procedura già sperimentata da altri Autori (ad es. Piccardi, 1998). Il tasso di scorrimento è risultato compreso tra 0,7 e 1 mm/anno, valore che probabilmente ben rappresenta l'attività del sistema di faglie del margine matesino del bacino di Bojano e che è ben confrontabile con quelli riscontrati in altri bacini intra-appenninici.

Scarpate orientate circa ONO-ESE interessano anche l'unità di Fonte Frascarello (UCON-II), in corrispondenza del sistema di faglie riconoscibili nell'area di San Polo Matese (Fig. 2). All'interno dell'Unità di Campochiaro (UCON-III) risulta evidente un piccolo gradino morfologico in corrispondenza della curva a gomito del Torrente La Valle (Fig. 6). Queste evidenze sembrano suggerire che la conoide sia stata progressivamente dislocata e ribassata verso nord in corrispondenza della faglia di San Polo Matese.

Riteniamo di poter escludere invece che le tre unità rappresentino un *continuum* evolutivo controllato solamente dal clima, e in particolare dal progressivo aumento di umidità dopo l'Ultimo Massimo Glaciale, e che la genesi delle scarpate sia puramente erosiva. Infatti la pendenza delle unità UCON-I e UCON-II è del tutto analoga a quella più recente (UCON-III) che pertanto non può aver progressivamente sepolto le unità più an-

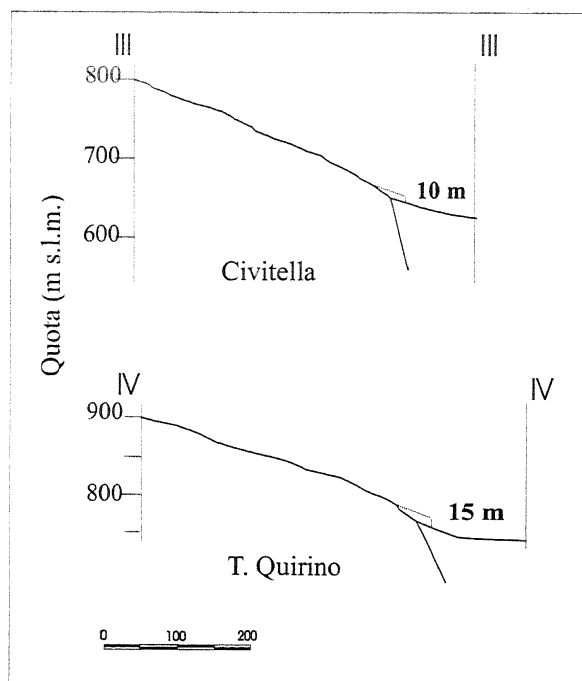


Fig. 5. Profili topografici di dettaglio attraverso la scarpata di faglia del versante di Colli della Defenza (traccia in Fig. 2). È stata stimata l'entità del rigetto lungo la faglia della superficie relativa all'ultima fase di regolarizzazione del versante avvenuta nel Tardiglaciale (per la spiegazione si rimanda al testo).

Cross-profile along the fault scarp of Colli della Defenza slope (trace in Fig. 2). The displacement across the fault of Late Glacial erosional surface has been estimated (see text for explanation).

tiche. Inoltre, a nord delle scarpate non si trova nessun elemento morfologico e/o stratigrafico correlabile con le unità UCON-I e UCON-II, ed è arduo ipotizzare che tutto sia stato interamente eroso in tempi più recenti.

5. EVOLUZIONE DELLA CONOIDE DI CAMPOCHIARO E CONCLUSIONI

I dati stratigrafici e cronologici disponibili consentono di attribuire al Pleistocene superiore la porzione più superficiale della conoide di Campochiario e più precisamente di collocarla all'interno dell'ultima fase climatica fredda ed arida (Ultimo Glaciale o Wurm).

L'Unità Inferiore e l'Unità Intermedia si possono interpretare come il risultato di una serie di eventi deposizionali generalmente connessi ad intensi eventi pluvio-metrici in condizioni di clima arido (Ori, 1988). La "fascia

pedogenizzata" (*sensu* Russo & Terribile, 1995) che separa le due unità è costituita da livelli di colluvi di suolo intercalati a orizzonti detritici. Ciò sembrerebbe indicare che nell'area di alimentazione si erano venute a creare condizioni più favorevoli allo sviluppo della pedogenesi, probabilmente una variazione climatica in senso caldo ed umido. Le datazioni sui campioni di suolo indicherebbero che si tratta di momenti interstadiali comunque nell'ambito dell'Ultimo Glaciale (forse l'interstadio Denekamp riferito a circa 28.000 anni B.P.). In questo periodo si è avuto il primo arrivo di materiale di origine vulcanoclastica.

I risultati delle datazioni sui frammenti di vertebrati consentono di inquadrare cronologicamente l'Unità Intermedia nella cosiddetta fase Tardiglaciale (Orombelli & Ravazzi, 1996). Gli orizzonti sabbiosi presenti nella parte terminale dell'Unità Intermedia indicano chiaramente una diminuzione dell'energia dell'agente di trasporto.

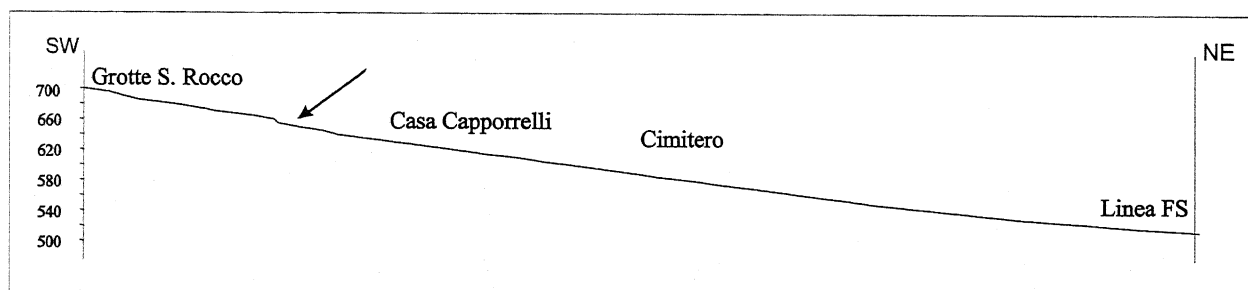


Fig. 6: Profilo longitudinale alla conoide di Campochiario. È evidenziato un gradino anomalo lungo il profilo.

Longitudinal profile of Campochiario alluvial fan. The arrow shows the anomalous step along the profile.

Solo successivamente ha avuto inizio la degradazione della conoide con la formazione di una fitta rete di canali che hanno inciso fino ad alcuni metri il corpo della conoide, riempiti successivamente da nuovi apporti (Unità Superiore). In questa fase si è avuto il secondo arrivo di materiale vulcanoclastico. È ragionevole inquadrare queste fasi tra la fine del Tardiglaciale e l'inizio dell'Olocene.

Infine ha avuto inizio la formazione dei suoli recenti, che riflettono le condizioni climatiche oloceniche ed attuali. I processi di rimobilizzazione sulla superficie della conoide sono rimasti comunque attivi, come indicano i colluvi di suolo ritrovati all'interno dei paleocanali.

La ricostruzione della stratigrafia della porzione più recente della conoide e le datazioni assolute consentono anche di stimare la velocità di sedimentazione dell'Unità Intermedia: mediamente 8 m di depositi in un periodo di circa 12.000 anni (tra circa 22.000 e 10.000 anni dal Presente). Ne risulta che tra l'Ultimo Pleniglaciale e il Tardiglaciale la velocità di sedimentazione è stata di circa 0,7-0,8 mm/anno.

L'analisi geomorfologica e stratigrafica ha anche evidenziato due lineamenti tettonici attivi (faglia di Colli della Defenza e faglia di San Polo) i cui tassi di scorrimento olocenici sono risultati anche superiori a 0,5 mm/anno. È possibile che anche durante i forti terremoti storici che hanno colpito l'area (ad es. 1688 e/o 1805) lungo questi due lineamenti si siano avuti significativi scorrimenti fino in superficie.

I risultati ottenuti sulla conoide di Campochiaro possono essere confrontati con quelli relativi ad altre conoidi tardoquaternarie appenniniche (p.es. conoide di Valle Majelama nel bacino del Fucino in Abruzzo, Frezzotti & Giraudi, 1992; conoide di Grotta Carbone alle falde del Pollino in Calabria, Michetti *et al.*, 1997). Queste aree sono caratterizzate da attività tettonica lungo il fronte montuoso di entità confrontabile e, benché a quote differenti e a notevole distanza, hanno risposto ai mutamenti climatici in maniera analoga: in particolare è interessante notare che l'inizio dell'ultima fase di degradazione della conoide è stato sempre compreso tra 15.000 e 10.000 anni fa.

Relativamente alla conca di Bojano, è possibile attribuire il termine del riempimento lacustre (unità ULAC) tra la fine del Tardiglaciale e l'inizio dell'Olocene, in quanto la porzione più superficiale dei depositi di tale unità è interdigitata con i depositi dell'Unità di Campochiaro (UCON-III). Durante l'Olocene l'azione erosiva del Fiume Biferno è in generale prevalsa sugli eventuali episodi di sbarramento dovuti agli eventi di frana e/o tettonici lungo il margine sannita della conca di Bojano, favorendo in tal modo l'abbassamento progressivo della soglia della valle bifernina e la reincisione dei depositi di riempimento della conca stessa.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano il prof. Carmelo Petronio per le determinazioni sui frammenti di ossa di vertebrati, la dott.ssa Stefania Viti ed il dott. Paolo Lorenzoni dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo di Rieti per le analisi in laboratorio dei campioni di suolo, il dott. Alessandro M. Michetti e Luca Ferrelli per i preziosi suggerimenti e il prof. Mauro Coltorti e Franco Dramis per la revisione critica del lavoro.

LAVORI CITATI

- Ascione A. & Cinque A., 1995: *L'età della tettonica trascorrente nell'Appennino Campano: il contributo dell'analisi geomorfologica*. Studi Geologici Camerti, Volume speciale 1995/2, 41-52.
- Ascione A., Caiazza C., Cinque A., Gargano D., Romano P., Santangelo N. & Vitti C., 1998: *Segnalazione di tettonica Tardo Quaternaria in alcune aree della Campania e del Molise: risultati preliminari nell'ambito del P.E. 97 – GNDT*. Abstract 79° Convegno Società Geologica Italiana "La Sicilia, un laboratorio naturale nel Mediterraneo. Strutture, mari, risorse e rischi", Palermo 21-23 settembre 1998, 96-97.
- Birkeland P.W., 1984: *Soil geomorphology*, Oxford University Press, 372 pp.
- Blumetti A.M., Dramis F. & Michetti A.M., 1993: *Fault-generated mountain fronts in the Central Apennines (Central Italy): geomorphological features and seismotectonic implications*. Earth Surface Processes and Landforms, **18**, 203-223.
- Brancaccio L. & Cinque A., 1988: *L'evoluzione geomorfologica dell'Appennino Campano-Lucano*. Mem. Soc. Geol. It., **41**, 83-86.
- Brancaccio L., Sgrosso I., Cinque A., Orsi G., Pece R., & Rolandi G., 1979a: *Lembi residui di sedimenti lacustri pleistocenici sul versante settentrionale del Matese, presso S. Massimo*. Boll. Soc. Natur. Napoli, **88**, 275-286.
- Brancaccio L., Cinque A., & Sgrosso I., 1979b: *Forma e genesi di alcuni versanti di faglia in rocce carbonatiche: il riscontro naturale di un modello teorico*. Rend. Acc. Scienze Fis. e Nat. di Napoli, serie IV **46**, 1-21.
- Centamore E., Deiana G., Dramis F. & Micarelli A., 1978: *Dati preliminari sulla neotettonica dei Fogli 116 (Gubbio), 123 (Assisi), 117 (Jesi), 109 (Pesaro)*, Prog. Fin. Geod. C.N.R., Pubbl. n. **155**, 113-148.
- Chiarabba C., Selvaggi G., Montone P. & Cocco M., 1997: *Il terremoto del 19.3.1997 nel Sannio-Matese: implicazioni sismotettoniche*. Atti del 16° Convegno CNR-GNGTS, 79, Roma
- Coltorti M. & Cremaschi M., 1981: *Depositati quaternari e movimenti neotettonici nella conca di Isernia*. In: Contributi conclusivi alla Carta Neotettonica d'Italia. CNR, P.F. Geodinamica, **506**, 173-198.
- Corrado S., Di Bucci D., Naso G. & Villa I., 2000: *Extensional tectonics in the Matese area*. Abstract "Evoluzione geologica e geodinamica dell'Appennino" in memoria del Prof. Giampaolo Piali, Foligno 16-18 Febbraio 2000, 113.
- Di Bucci D., Corrado S., Naso G., Parotto M. & Praturlon A., 1999: *Evoluzione tettonica neogenico-quaternaria dell'area molisana*. Boll. Soc. Geol. It., **118**, 13-30.
- Esposito E., Luongo G., Marturano A. & Porfido S., 1987: *Il terremoto di S. Anna del 26 luglio 1805*. Mem. Soc. Geol. It., **37**, 171-191.
- Federici P., Di Maro R., Marchetti A. & Cocco M., 1992: *Analisi della sismicità dell'area Sannio-Matese negli anni 1991-1992*. Atti dell'11° Convegno CNR – GNGTS, 389-404, Roma.
- Ferranti L., 1994: *Le strutture del bordo meridionale del massiccio del Matese (Appennino meridionale)*:

- elementi di tettonica compressiva e distensiva. *Boll. Soc. Geol. It.*, **113**, 157-171.
- Ferrari G.A. & Magaldi D., 1983: *Significato ed applicazioni della paleopedologia nella stratigrafia del Quaternario*. *Boll. Mus. Civ. St. Nat. Verona*, **10**, 315-340.
- Frezzotti M. & Giraudi C., 1992: *Evoluzione geologica tardo-pleistocenica ed olocenica del conoide complesso di Valle Majelama (Massiccio del Velino, Abruzzo)*. *Il Quaternario*, **5**, 33-50.
- GE.MI.NA., 1963: *Il bacino del Tammaro*. In: *Ligniti e torbe dell'Italia continentale*. Ed. a cura della GE.MI.NA.-Geomineraria nazionale, Torino, 123-125.
- Giraudi C., 1989: *Lake level and climate for the last 30,000 years in the Fucino area (Abruzzo-Central Italy): a review*. *Palaeogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology* **70**, 249-260.
- Giraudi C. & Frezzotti M., 1997: *Late Pleistocene glacial events in the Central Apennine, Italy*. *Quaternary Research*, **48**(3), 280-290.
- Guerrieri L., 2000: *Evoluzione geologica recente della conca di Bojano e Sepino e possibili tendenze evolutive*. Tesi di dottorato, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", 171 pp.
- Michetti A.M., 1994: *Paleosismologia e pericolosità sismica: stato delle conoscenze ed ipotesi di sviluppo*. *Rendiconto n. 2 CNR-GNDT*, Roma.
- Michetti A.M., Ferrelì L., Serva L., & Vittori E., 1997: *Geological evidence for strong historical earthquakes in an "aseismic" region: the Pollino case (Southern Italy)*. *J. Geodynamics*, **24**, 1-4, 67-86.
- Naso G., Di Bucci D., Corrado S. & Valensise G., 1998: *Il condizionamento di strutture preesistenti nello sviluppo di sistemi estensionali quaternari: il caso del bacino di Bojano (Appennino-Centro meridionale)*. Abstract **79°** Convegno Società Geologica Italiana "La Sicilia, un laboratorio naturale nel Mediterraneo. Strutture, mari, risorse e rischi", Palermo 21-23 settembre 1998, 624-625.
- Ori G.G., 1988: *Facies e geometrie deposizionali dei sedimenti fluviali*. *Giornale di Geologia*, ser. 3., vol. **50**/1-2, 39-67.
- Orombelli G. & Ravazzi C., 1996: *The late glacial and early holocene: chronology and paleoclimate*. *Il Quaternario*, 1996, **9**(2), 439-444.
- Ortolani F. & Pagliuca S., 1988: *Evoluzione morfostrutturale del margine orientale dell'Appennino meridionale tra il Molise e la Basilicata durante il Plio-Pleistocene e rapporti con la sismicità*. *Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, **1**, 223-234.
- Piccardi L., 1998: *Cinematica attuale, comportamento sismico e sismologia storica della faglia di Monte Sant'Angelo (Gargano, Italia): la possibile rottura superficiale del "leggendaro" terremoto del 493 d.C.* *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, **12**, 155-166.
- Raffy J., 1983: *Le versant tyrrhénien de l'Apennin Central : étude géomorphologique*. CNRS, Paris, pp. 705.
- Rosi M. & Sbrana A., 1987: *Phlegrean Fields*. *Quad. Ric. Scient.*, **114**, CNR-PFG, vol. **9**, pp. 175.
- Russo F. & Terribile F., 1995: *Osservazioni geomorfologiche, stratigrafiche e pedologiche sul Quaternario del bacino di Bojano (Campbasso)*. *Il Quaternario* **8** (1), 239-254.
- Scandone R., Bellucci F., Lirer L. & Rolandi G., 1991: *The structure of the Campanian Plain and the activity of the Neapolitan volcanoes (Italy)*. *Journ. Volcan. Geotherm. Res.*, **48**, 1-31.
- Serva L., 1981: *Il terremoto del 1688 nel Sannio. Contributo alla caratterizzazione della sismicità del territorio italiano*. In: AA.VV., 1981: *Contributo alla caratterizzazione della sismicità del territorio nazionale*. Comm. ENEA-ENEL, Studio dei problemi sismici connessi con la realizzazione di impianti nucleari, 209-249, Udine.
- Vittori E., Deiana G., Esposito E., Ferrelì L., Marchegiani L., Mastrolorenzo G., Michetti A.M., Porfido S., Serva L., Simonelli A.L. & Tondi E., 2000: *Ground effects and surface faulting in the September-October 1997 Umbria-Marche (Central Italy) seismic sequence*. *Journal of Geodynamics*, **29**(3-5), 535-564.

Ms. ricevuto il 24 novembre 1999
 Testo definitivo ricevuto il 24 marzo 2000

Ms. received: November 24, 1999
 Final text received: March 24, 2000