

NUOVI DATI STRATIGRAFICI E GEOCRONOLOGICI SUL BACINO DI LEFFE (PREALPI LOMBARDE, BERGAMO)

M. Cremaschi - C. Ravazzi

CNR - Centro di Studio per la Geodinamica Alpina e Quaternaria
c/o Dip.to di Scienze della Terra, Università di Milano

RIASSUNTO - *Nuovi dati stratigrafici e geocronologici sul Bacino di Leffe (Prealpi Lombarde, Bergamo)* - Il Quaternario, 8(1), 1995, 167-182 - Viene illustrata la successione stratigrafica del bacino sulla base di una nuova perforazione che ha raggiunto la base dei depositi che riempiono il bacino stesso. Sono state identificate 5 unità stratigrafiche: il substrato è costituito da saprolite entro una porfirite ricoperta da depositi di versante con pedorelitti; l'unità inferiore è formata da una successione di *fan-delta* di ghiaie, *diamict* e argilla; i sedimenti successivi sono essenzialmente biogenici (*shell marl*, *brown coal* e *gyttja* con mammiferi e una ricca micro- e macroflora) e sono stati indicati come "unità (biogenica) intermedia"; l'unità superiore è formata da ghiaia fluviale grossolana e da depositi lacustri turbiditici privi di resti organici, ricoperti da uno spesso strato di suolo rubefatto a sua volta ricoperto da *loess*. I risultati di analisi paleontologiche e paleomagnetiche indicano, per i depositi del bacino, un'età dal Pliocene superiore all'inizio del Pleistocene inferiore.

ABSTRACT - *New stratigraphic and geochronological data on the Leffe Basin (Lombard Pre-Alps, Bergamo, N Italy)* - Il Quaternario, 8(1), 1995, 167-182 - The stratigraphic succession of the Leffe Basin is assessed on the basis of a new coring, which reached the base of the basin infill. Five stratigraphic units have been distinguished. The bedrock consists of saprolite in porphyrite covered by slope deposits including pedorelicts. The lower unit consists of a fan delta sequence of gravel, diamict and clay. Mainly biogenic sediments follow, which are referred to as middle (biogenic) unit. They are composed of lacustrine shell marl, brown coal and *gyttja*, which include mammal fauna and a rich microflora and macroflora. The upper part of the fill is composed by coarse fluvial gravel and turbiditic abiotic lacustrine deposits, at the top of which a thick rubefied soil overlain by loess occurs. Paleontological data, together with the results of new paleomagnetic investigations, indicate an upper Pliocene and lowermost Pleistocene age for the Leffe sequence.

Parole chiave: Pliocene superiore, Pleistocene inferiore, Leffe, Prealpi lombarde, Italia
Key words: Late Pliocene, Early Pleistocene, Leffe, Lombard Pre-Alps, Italy

1. PREMESSA

I depositi palustri e lacustri di Leffe (Val Seriana, Bergamo), sono stati oggetto di indagini paleontologiche fin dalla prima metà del secolo scorso, favoriti dalla presenza di miniere di "lignite". Numerosi autori ne hanno descritto la fauna a mammiferi (Balsamo Crivelli, 1840; Cornalia, 1871; Sordelli, 1873a; Airaghi, 1914; Stehlin, 1930; Vialli, 1956) ed i macroresti vegetali (frutti e semi: Massalongo, 1852, 1856; Sordelli, 1873b, 1878, 1896).

Negli anni '50 Lona e collaboratori realizzarono il primo diagramma pollinico relativo al Pleistocene Inferiore europeo in ambiente continentale (Lona, 1950; Lona & Follieri, 1957). Il *record* pollinico di Leffe mise in evidenza numerose oscillazioni climatiche, che furono interpretate come successione di fasi glaciali, interstadiali ed interglaciali. Nello stesso periodo, Venzo (1950, 1953) descrisse la successione stratigrafica della serie di Leffe e propose la correlazione delle zone polliniche riconosciute da Lona con le glaciazioni alpine di Donau, Günz e Mindel ed i rispettivi interglaciali, secondo la cronostratigrafia di Penck & Brückner (1909). Alla serie di Leffe fu perciò attribuita un'età compresa tra il Pleistocene Inferiore ("Villafranchiano superiore") ed il Pleistocene Medio.

Recenti indagini paleomagnetiche (Billard *et al.*, 1983) hanno però messo in luce che i sedimenti lacustri della parte superiore della serie di Leffe presentano polarità inversa e sono quindi più antichi del limite Brunhes/Matuyama.

Il Centro di Studio per la Geodinamica Alpina e Quaternaria del CNR, il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Milano ed il Museo di Scienze Naturali di Bergamo hanno recentemente intrapreso la revisione stratigrafica, paleobotanica e paleontologica dei depositi del "Bacino di Leffe".

E' stato condotto un nuovo rilevamento geologico e nel 1991 è stato realizzato un sondaggio che ha fornito una carota completa e continua dei depositi della parte centrale del bacino (Ravazzi *et al.*, 1992). Sulla carota sono in corso l'analisi pollinica, lo studio degli extra fossili e dei macroresti vegetali, nonché ricerche sedimentologiche, paleopedologiche e paleomagnetiche. Alcuni dei risultati finora raggiunti sono in corso di pubblicazione (Ravazzi, 1993a, b; Ravazzi & Rossignol Strick, 1994; Ravazzi & Van der Burgh, in stampa).

Nella presente nota viene presentata e discussa la serie perforata, principalmente dal punto di vista dei processi sedimentari connessi con l'evoluzione del bacino.

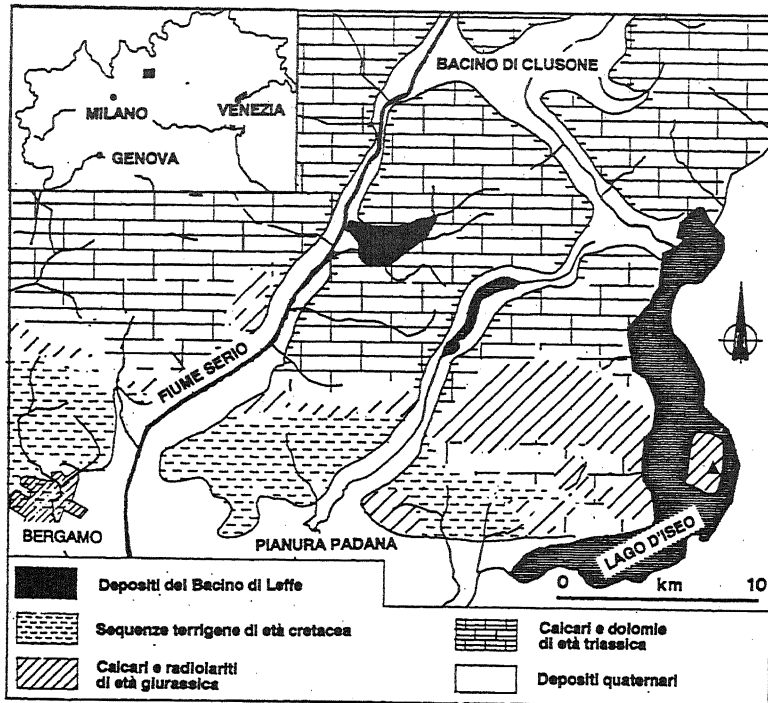


Fig. 1 - Localizzazione del Bacino di Leffe e principali lineamenti geologici dell'area.

Location of the Leffe Basin and geological setting of the area.

(Prealpi Calcaree Lombarde). Interessano una superficie di 5 km² ed affiorano tra 395 e 670 m s.l.m. (Fig. 1). I rilievi circostanti (1000-1630 m s.l.m.) sono costituiti da rocce carbonatiche di età prevalentemente triassica superiore, interessate da filoni e ammassi di porfirite leucogabbri di età eocenica (Berra *et al.*, 1991; Zanchi *et al.*, in stampa).

Il Bacino di Leffe si forma in un substrato già modellato da più fasi erosive di età tardo miocenica e probabilmente pliocenica che hanno configurato una complessa paleotopografia caratterizzata da profonde incisioni vallive.

Una carta stratigrafica introduttiva illustrante le principali unità del Bacino di Leffe è riportata in Figura 2. Il settore occidentale del Bacino, prospiciente la Valle Seriana, è formato da una successione di depositi fluviali canalizzati di bassa energia, seguita da depositi di tipo *braided* del fiume Serio. Questa successione forma un

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-GEOLOGICO

I depositi del Bacino di Leffe occupano la parte inferiore della Val Gandino, tributaria della Valle Seriana

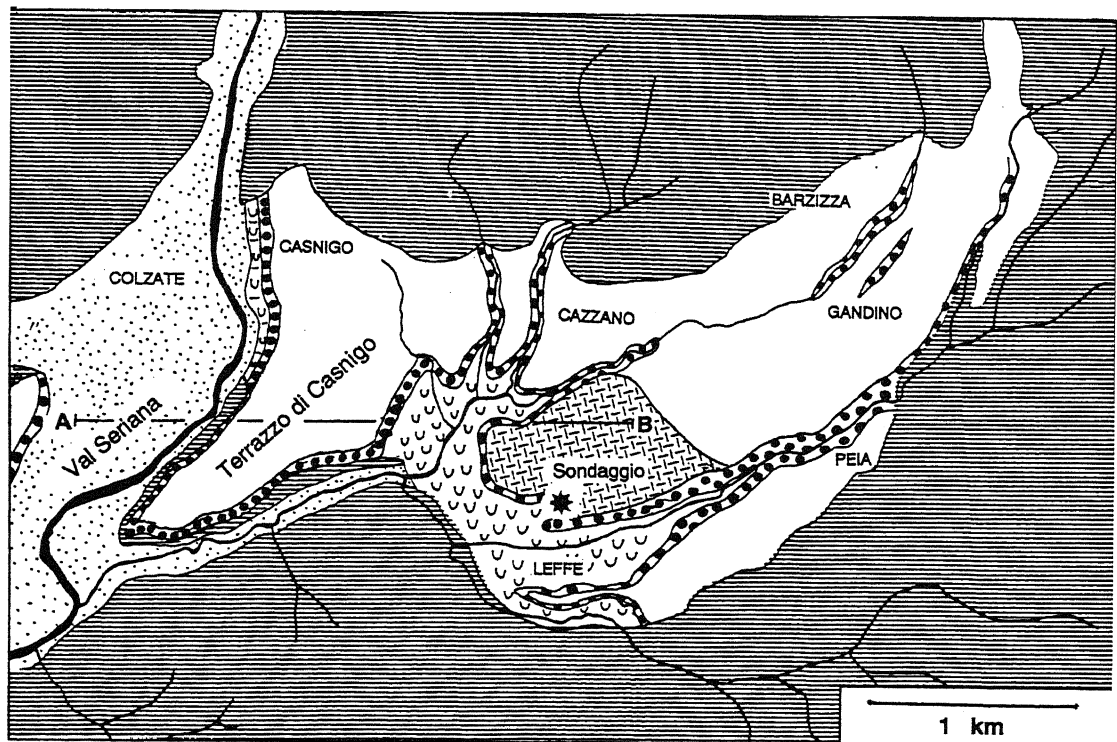
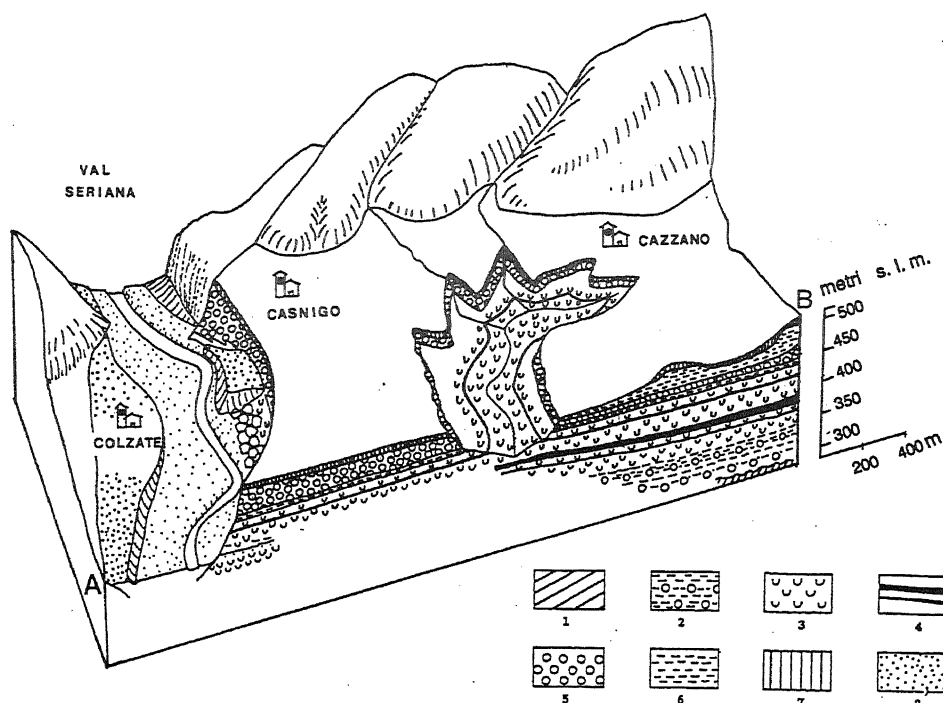


Fig. 2 - Carta stratigrafica introduttiva illustrante le principali unità della successione di Leffe. La legenda dei simboli è riportata nella Fig. 3. A-B: Traccia della sezione utilizzata per il blocco diagramma di Fig. 3. Per esigenze grafiche non sono stati rappresentati i livelli organici.
Stratigraphic map showing the main units of the Leffe succession. Legend as in Fig. 3. A-B: Position of the geological section shown in Fig. 3. The organic levels are not shown in this figure.



unit); 5 - Conglomerate and gravel (Gandino formation); 6 - Lacustrine terrigenous deposits (upper unit of the Leffe formation and Ca' Manot clay belonging to the Gandino formation); 7 - Pedosequence developed on the top of the Leffe succession; 8 - Middle and Late Pleistocene deposits.

corpo sedimentario inciso su tre lati (Terrazzo di Casnigo). Una visione assonometrica delle unità che compongono il Terrazzo di Casnigo è riportata in Figura 3.

Il settore centrale del bacino, compreso tra Leffe, Cazzano e Gandino (Fig. 2), è costituito da una successione di depositi lacustri, palustri e fluviali, potenti oltre 200 m, che sono oggetto del capitolo seguente.

3. LA SUCCESSIONE SEDIMENTARIA CENTRO-BACINALE

A seguito della chiusura delle cave e delle miniere, attive fino agli anni '50, nessuna delle sezioni storiche descritte dagli autori precedenti è ora accessibile. Inoltre, le sezioni dei pozzi di miniera (Venzo, 1950) documentarono soltanto la porzione della serie ricca di depositi organici, ma non si spinsero in profondità fino a raggiungere il substrato.

Il sondaggio già menzionato nell'introduzione (località ex Fornace Martinelli, UTM 32T NR68697285) ha messo in evidenza che la "classica" serie di Leffe interessa soltanto la porzione intermedia della successione sedimentaria. Si rende pertanto necessaria l'istituzione di nuove unità litostratigrafiche, che vengono sinteticamente descritte nella presente nota. Si sottolinea che tutte le unità hanno carattere informale e saranno oggetto di una descrizione formale in un successivo lavoro.

La successione stratigrafica completa del Bacino di Leffe nel punto perforato è presentata in Figura 4. Il set-

Fig. 3 - Visione del settore occidentale del Bacino di Leffe. 1 - Substrato (porfirite eoceniche); 2 - Depositi terrigeni dell'unità inferiore della formazione di Leffe; 3 - Depositi lacustri carbonatici (unità biogenica intermedia della f. di Leffe); 4 - Principali livelli organici (unità biogenica intermedia); 5 - Conglomerati e ghiaie (formazione di Gandino); 6 - Depositi lacustri terrigeni (unità sommitale della F. di Leffe e argille di Ca' Manot); 7 - Pedocomplesso evoluto alla sommità della successione di Leffe; 8 - Depositi quaternari più recenti.

View of the western part of the Leffe Basin. 1 - Bedrock (eocenitic porphyrites); 2 - Terrigenous deposits (lower unit of the Leffe formation); 3 - Lacustrine carbonate deposits (middle biogenic unit of the Leffe formation); 4 - Main organic levels (middle biogenic

tore "B" nella Figura 4 illustra la stratigrafia della successione interessata dal sondaggio. La porzione superiore non è stata carotata ed è stata descritta sulla base delle sezioni in affioramento, dopo correlazione con la serie perforata (settor "A" della Fig. 4).

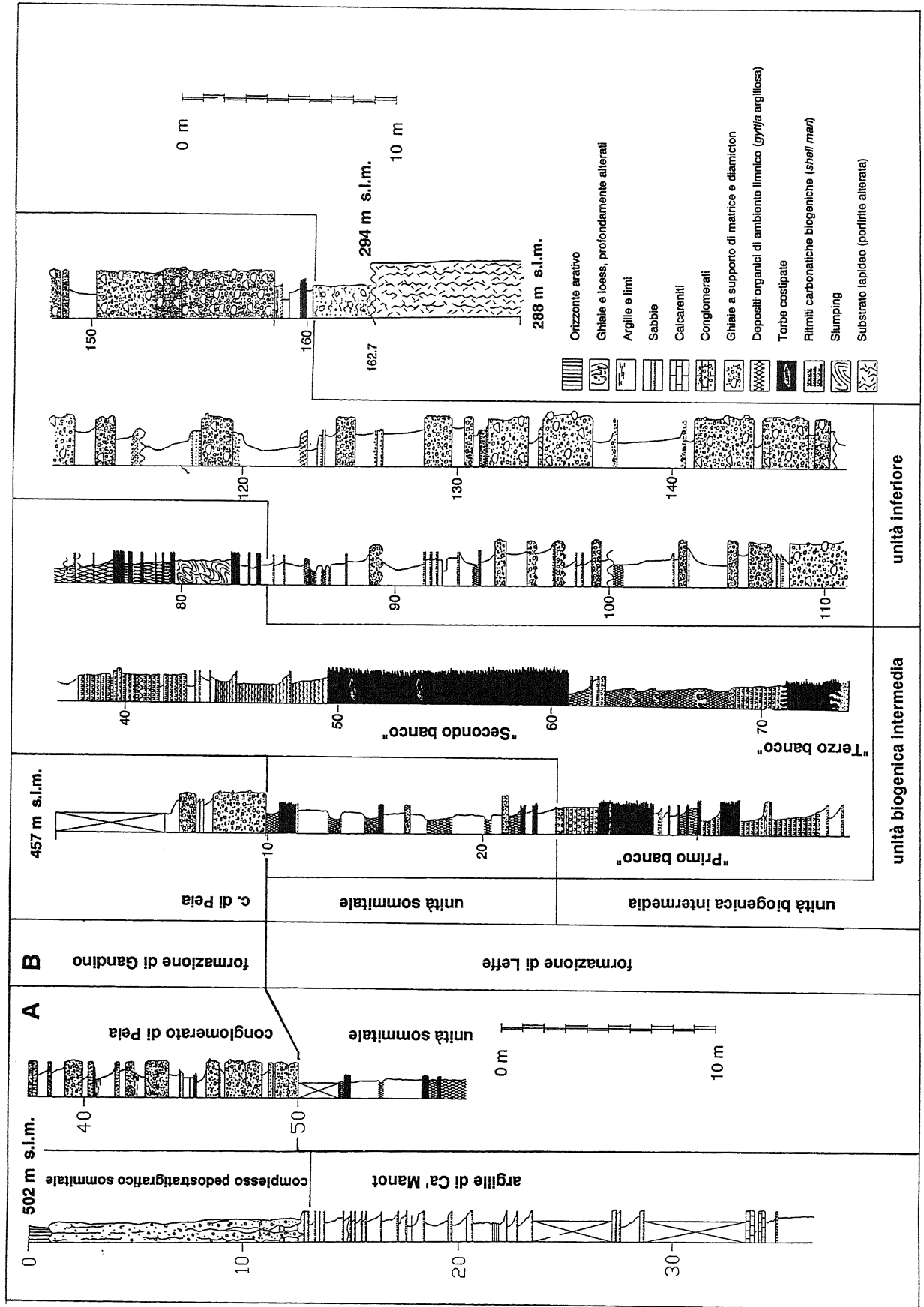
La successione è descritta dal basso verso l'alto. Le misure riportate sono di due tipi: 1) per quanto riguarda la carota "Fornace Martinelli", le misure sono profondità in metri dal piano di campagna del sondaggio, posto a 457 m s.l.m.; 2) per quanto riguarda le sezioni in affioramento, le misure sono indicate in metri di profondità dalla sommità dei vetusuoli evoluti alla sommità della successione di Leffe nella zona del depocentro (località pozzo S. Rocco, 502 m s.l.m.). Il piano di campagna del sondaggio è situato su una superficie d'incisione, 45 m sotto la sommità dei vetusuoli al tetto della successione di Leffe.

Il substrato è stato raggiunto a 162.7 m di profondità nel carotaggio, ovvero di m 207.7 dalla sommità dei vetusuoli al tetto della successione di Leffe. Quest'ultimo può essere considerato come valore minimo per lo spessore totale della successione del Bacino di Leffe.

A questo sistema di misure fanno riferimento anche le ricerche di carattere paleobotanico e paleomagnetico in corso. La nomenclatura dei depositi biogenici segue sostanzialmente West (1977).

3.1 Substrato

Da m 189.0 a m 162.7 (profondità carota Fornace Martinelli). Porfirite profondamente alterata (saprofite), friabile al tetto, diventa progressivamente più compatta,



senza che si sia raggiunta la roccia inalterata (Fig. 5a). Il limite superiore (pari a 294 m s.l.m.) è abrupto ed erosionale.

3.2 Formazione di Lefte

La formazione di Lefte comprende la porzione inferiore della successione sedimentaria del Bacino di Lefte. È stata in parte descritta da Venzo (1950) sulla base della stratigrafia dei pozzi delle miniere e delle cave di lignite, i quali però non ne raggiunsero la porzione più profonda. Il *record* più completo è fornito dalla successione perforata. Numerose sezioni in affioramento sono state rilevate e sono stati esaminati i loro rapporti stratigrafici con la successione perforata (Ravazzi, 1993a).

La formazione di Lefte è stata suddivisa in tre unità litostratigrafiche.

3.2.1 Unità inferiore

L'unità inferiore, nota solo in sondaggio e in parte sconosciuta agli autori precedenti, è costituita da depositi terrigeni, in parte grossolani.

– m 162.7 ÷ 159.6. Depositi di versante. *Diamict* a supporto di matrice a clasti spigolosi (essenzialmente porfiriti e marmi) contenenti pedorelitti di tessitura argillosa, rubefatti.

– m 159.6 ÷ 158.0. Depositi fluviali e palustri. Sabbie limose, a laminazione incrociata, argille molto resistenti, *gyttja* e *brown coal* contenenti legni fortemente deformati. In questo tratto sono individuabili numerose superfici erosive.

– m 158.0 ÷ 103.5. Depositi di delta-conoide. Cicli positivi di livelli grossolani metrici costituiti da *diamict* e ghiaie da grossolani a fini, talora gradati, a supporto di matrice, talora debolmente cementati e di limi argillosi induriti (limi e sabbie fini), talora concrezionati da siderite. I clasti sono da mediamente a ben arrotondati e di provenienza locale (marmi, calcari e porfiriti) (Fig. 5b).

– m 103.5 ÷ 84.0. Depositi lacustri e palustri, prevalentemente terrigeni. Limi e sabbie fini massivi, *gyttja* e torbe a laminazione centimetrica (Fig. 5c).

Limite superiore piano parallelo.

3.2.2 Unità biogenica intermedia

La parte intermedia della successione della formazione di Lefte è costituita da depositi in gran parte biogenici ed è perciò denominata unità biogenica intermedia. Essa corrisponde alla porzione studiata dalla maggior

parte degli autori precedenti.

L'unità biogenica intermedia è formata dall'alternanza di depositi organici e carbonatici biogenici (Fig. 5).

I principali livelli organici richiedono una denominazione propria, in quanto ben distinti nella successione stratigrafica centro-bacinale e di particolare interesse paleontologico. Verrà conservato l'uso di numerare i tre principali livelli organici ("banchi") dall'alto verso il basso, secondo la consuetudine già impiegata dai cavaatori e dagli autori precedenti.

– m 84.0 ÷ 73.0. Depositi argillosi ed organici. *Gyttja* e livelli di torbe. Presenza di *slumping* importanti.

– m 73.0 ÷ 71.2. "Terzo Banco". Depositi organici. Torbe, *brown coal* e *gyttja*.

– m 71.2 ÷ 68.2. Depositi carbonatici. Shell marl con scarso contenuto di sostanza organica

– m 68.2 ÷ 61.0. Depositi carbonatico-organici. Prevalenza di *kalk gyttja* nella parte inferiore e di *gyttja* in quella superiore.

– m 61.0 ÷ 49.55. "Secondo banco" o "Banco maestro". Depositi organici. *Brown coal* spesso con legni compressi, torbe compresse e *gyttja*.

– m 49.55 ÷ 32.6. Depositi carbonatico-argillosi. *Gyttja* carbonatica e *shell marl* (Fig. 5d).

– m 32.6 ÷ 25.69. "Primo Banco". Depositi organici e terrigeni fini. Torbe, *brown coal* e *gyttja* ed intercalazioni di sabbie contenenti legni fluitati (Fig. 5e).

– m 25.69 ÷ 24.27. Depositi carbonatici. *Shell marl*. Limite superiore piano parallelo.

Caratteristiche dei principali tipi di depositi biogenici

I livelli organici sono costituiti prevalentemente da piante erbacee di ambiente palustre e/o di torbiera bassa. Sono presenti anche depositi di torbiera mesotrofica di tipo intermedio tra le torbiere basse e le *raised bogs*, a dominanza di felci. I resti sono disposti in sottili foglietti, essiccati e parzialmente carbonificati in relazione con la costipazione e la deformazione subita. In gran parte sono definibili come torbe compresse e *brown coal* (Blatt, 1982). I livelli propriamente organici si intercalano irregolarmente con argille nere, ricche di sostanza organica decomposta, ma prive di frammenti di tessuti vegetali (*gyttja*). *Brown coal* e legni sono intercalati alle torbe fogliettate, soprattutto nel "Secondo banco".

I depositi carbonatici sono costituiti da *shell marl*, marne e *kalk gyttja*, con frammenti di tallo algale calcarizzato. All'esame microscopico e spettroscopico IR, il sedimento è costituito quasi esclusivamente da *packstone*

Fig. 4 - Successione stratigrafica del Bacino di Lefte. Settore A: Porzione superiore, descritta in affioramento. Le misure sono in metri dal piano del sondaggio verso l'alto. Settore B: Stratigrafia della carota ottenuta con il nuovo sondaggio "Fornace Martinelli", 1991. Le misure del settore A sono profondità in metri dalla sommità dei vetusoli al tetto della successione di Lefte. Le misure del settore B sono profondità in metri dal piano di perforazione.

Stratigraphic succession of the Lefte Basin. A: Upper part, described on outcrop. Measures are in meters from the vetusols on the top of the Lefte succession downward. B: Stratigraphy of the "Fornace Martinelli" core drilled in 1991. Measures are in meters from the drilling level downward.

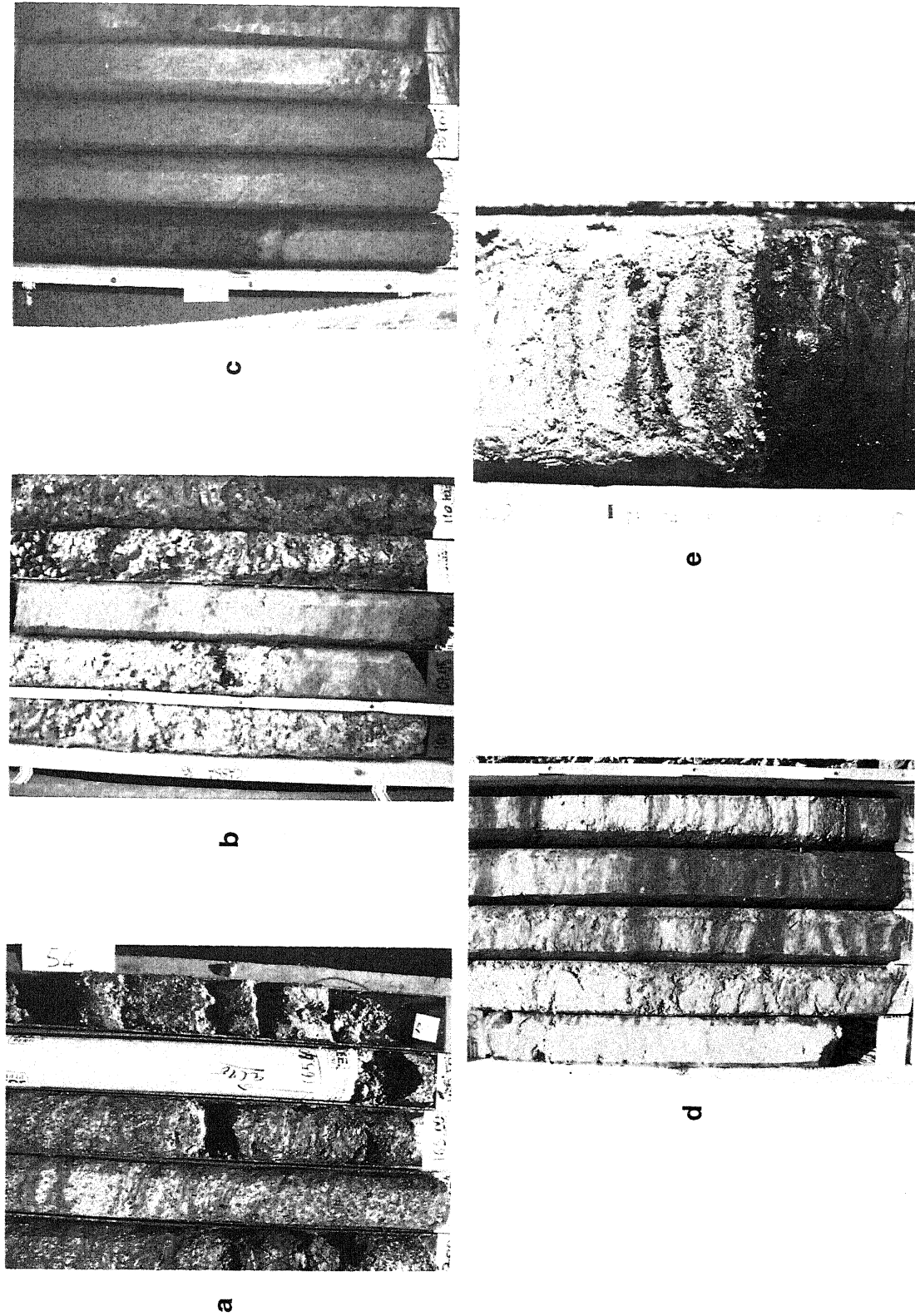


Fig. 5 - Alcuni tratti della carota 1991. 5a: Il substrato (164-171 m). 5b: Un tratto dell'unità inferiore della formazione di Leffe (106-110 m). 5c: La porzione sommitale dell'unità inferiore ed il limite inferiore del livello organico più profondo (101-104 m). 5d: I depositi lacustri carbonatici dell'unità biogenica intermedia (37-41 m). 5e: Limite superiore del "Primo Banco" ed i depositi lacustri carbonatici soprastanti (unità biogenica intermedia).
 1991 coring: 5a: The bedrock (164-171 m); 5b: A part of the lower unit of the Leffe formation (106-110 m); 5c: The uppermost part of the lower unit showing the lower boundary of the deepest organic level (101-104 m); 5d: The lacustrine carbonatic deposits of the middle biogenic unit of the Leffe formation (37-41 m); 5e: The upper boundary of the "First" brown coal level and the lacustrine carbonatic deposits overlying it (middle biogenic unit of the Leffe formation).

intraclastici di calcite primaria ed argille; l'aragonite e la dolomite compaiono in presenza di gusci o di livelli sabbiosi terrigeni, rispettivamente (Ravazzi, 1993a). Tutti i depositi sono privi di cementazione. In alcuni tratti i depositi carbonatici sono caratterizzati da laminazione piano parallela evidenziata dal contenuto di sostanza organica. Nel dettaglio la laminazione risulta dall'alternanza di livelletti scuri organici e livelletti carbonatici lenticolari, giallognoli, di spessore variabile tra pochi decimi di mm e 1 mm. La laminazione è più evidente in prossimità dei banchi organici, dove si osserva un progressivo incremento del contenuto di sostanza organica.

Le sottounità carbonatiche e i banchi organici sono separate da limiti netti, piano paralleli, che mettono a contatto torbe fogliettate e *gyttja* carbonatica laminata, povera di minerali argillosi. Al limite tra torbe e *gyttja* carbonatica si alternano lamine di torba ad elevata fissilità ed interlivelli marnosi ricchissimi di gusci di molluschi (Esu, 1983), frammentati *in situ*.

3.2.3 Unità sommitale

La parte superiore della formazione di Leffe è costituita da depositi prevalentemente argillosi, contenenti alcuni livelli organici.

– m 24.27 ÷ 9.65. Argille e limi argillosi grigi e grigio-azzurrognoli, non carbonatici, massivi o con laminazione ondulata, con intercalazione di livelli di *gyttja* e numerosi livelli di torbe fogliettate, composte prevalentemente da piante erbacee, talora con frammenti di legno. Nei limi si trovano concrezioni centimetriche e decimetriche di siderite.

Limite superiore piano parallelo.

3.3 Formazione di Gandino

La parte superiore della successione sedimentaria del Bacino di Leffe è costituita da depositi terrigeni pressoché privi di contenuto biogenico. Considerazioni di carattere stratigrafico, paleontologico e paleoecologico, suggeriscono di distinguere i depositi soprastanti l'unità sommitale della formazione di Leffe in una unità distinta di rango superiore. Tali argomenti saranno discussi nel capitolo successivo. La formazione di Gandino comprende tre unità litostratigrafiche.

3.3.1 Conglomerato di Peia

Questa unità è costituita da una successione di ghiaie poco selezionate e *diamict* a stratificazione metrica, in parte cementati, talora con intercalazioni di argille massive. Il conglomerato di Peia si sovrappone alla formazione di Leffe con limite piano e concordante. Una sezione che esponeva interamente questa unità – ed i rispettivi limiti inferiore e superiore – era osservabile fino al 1991 sul fronte della ex Fornace Martinelli, nelle vicinanze del sondaggio (Fig. 6), ed è descritta in dettaglio

in Ravazzi (1993a). La successione perforata comprende la parte inferiore del conglomerato di Peia (tratto 9.65 ÷ 5.4 m di profondità del sondaggio) ed il contatto con la sottostante formazione di Leffe. Questo contatto ha permesso la correlazione con la sequenza in affioramento riportata in Figura 6.

Il conglomerato di Peia affiora per 4 m al di sopra del piano di campagna del sondaggio, tuttavia non è documentato dal tratto m 5.4 ÷ 0 della carota (intervallo barrato nelle Fig. 4 e 6). Questo tratto è stato infatti escluso dalla successione descritta, in quanto costituito da materiale di riporto e depositi colluviali non afferenti alla successione di Leffe.

m 9.65 ÷ 5.4 (profondità carota Fornace Martinelli, corrispondenti ai progressivi m 54.65 ÷ 50.4 di profondità dalla sommità dei vetusuoli alla sommità della successione di Leffe). Cicli positivi dell'ordine di grandezza dal decimetro al metro di ghiaie e *diamict* poco selezionati, a supporto di matrice argillosa, clasti caoticamente imballati nella matrice, mediamente arrotondati, di diametro non superiore a 10 cm (calcarei e marmi), e livelli pelitici gradati, talora laminati nella loro porzione inferiore. Ciascuna sequenza presenta limite inferiore netto, lineare, debolmente erosivo. La cementazione è irregolare.

Nella parte inferiore della successione si intercalano due livelli metrici di ghiaie a supporto granulare, che presentano clasti embricati. Questi livelli sono interessati da superfici erosive che descrivono modeste depressioni ampie alcuni metri, ricolmate da ghiaie ben selezionate. Sottili livelletti di *gyttja* argillosa ricoprono le ghiaie. Indizi di pedogenesi sono rilevabili nella zona di contatto tra ghiaie e *gyttja* (alterazione della matrice e dei ciottoli carbonatici, locale cementazione per concrezioni Fe-Mn nei livelli grossolani).

3.3.2 Argille di Ca' Manot

Questa unità comprende una sequenza di depositi terrigeni fini di ambiente lacustre (Fig. 8), che si sovrappone al conglomerato di Peia nell'area della ex Fornace Martinelli (Fig. 6). Il suo limite superiore è erosivo e tronca la successione del Bacino di Leffe (Fig. 7). La ricerca di fossili e le analisi palinologiche e micropaleontologiche hanno finora dato scarsi risultati. Questi depositi sono perciò da considerarsi poveri di materiale biogenico.

– m 41 ÷ 6 (profondità dalla sommità dei vetusuoli al tetto della successione di Leffe). Sequenze decimetrico-metriche a gradazione diretta di sabbie fini massive, limi, limi argillosi a laminazione piano-parallela ed argille massive (Fig. 8). I livelli sabbiosi alla base della sequenza presentano base debolmente erosiva. Talora contengono ciottoli centimetrici bene arrotondati (calcarei e dolomie). Un esame di dettaglio della composizione petrografica delle sabbie ha rivelato la presenza di litoclasti esotici (conglomerati del Verrucano Lombardo, scisti del basamento cristallino). Gli esotici si rinvennero, sporadici, anche nel settore orientale dell'area di affiora-

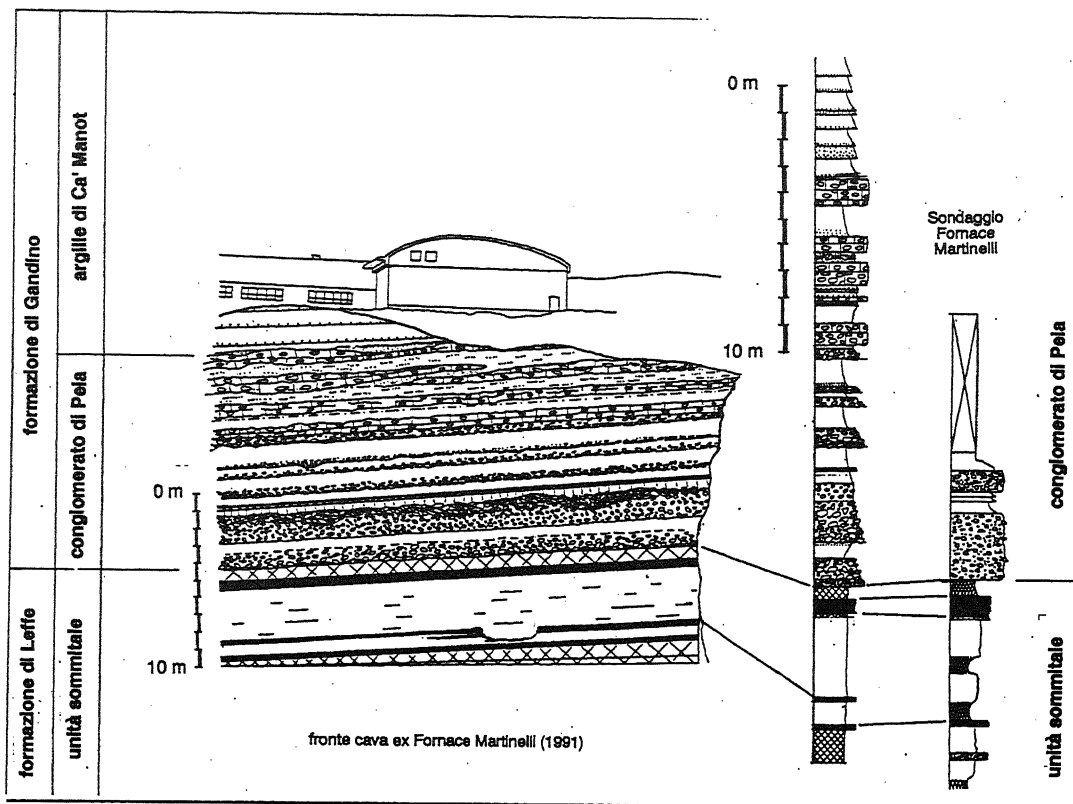


Fig. 6 - Schema che illustra in dettaglio la correlazione tra il carotaggio Fornace Martinelli e la successione descritta in affioramento. Nello schizzo e nella colonnina più a sinistra è schematizzata la successione affiorante sul fronte della ex Fornace Martinelli nel 1991 (non più accessibile nel 1994). La colonnina a destra rappresenta la sommità del carotaggio Fornace Martinelli. L'affioramento si trova circa 50 m a ovest del sondaggio.

Sketch showing in detail the correlation between the "Fornace Martinelli" core and the succession described on outcrop. The succession cropping out at the old Fornace Martinelli in 1991 is presented both in the drawing and in the log on the left side. The log on the right is the top of the core. The outcrop was lying at 50 m west of the drilling site. Currently (1994) it is not more available.

mento di questi depositi (in località Ca' Manot e nel sito presentato in Fig. 8). L'intera successione è interessata da strutture di fluidificazione del sedimento, evidenziati da filoni pelitici iniettati nelle sabbie. I livelli sabbiosi sono talora cementati (calcareniti).

3.3.3 Conglomerato di Casnigo

Questa unità è costituita da depositi fluviali a ciottoli di materiali esotici (litotipi assenti nel substrato della Valle Gandino). Essa si sovrappone con limite netto planare ai depositi della formazione di Leffe nel settore occidentale del Bacino di Leffe, mentre non è presente nell'area ove è stato eseguito il sondaggio.

– Conglomerati poligenici in banchi da 1 a 4 m, disposti in modo gradato, talora con base erosiva. All'interno dei banchi laminazione planare poco espresa. Clasti grossolani (diametro intermedio dei clasti maggiori circa 15 cm), da arrotondati a ben arrotondati, composti in ordine di abbondanza da calcari e dolomie, conglomerati permiani (Verrucano Lombardo), vulcaniti e arenarie, metamorfiti. Matrice sabbiosa scarsa. Cementazione generalmente forte.

3.4 Depositi e complesso pedostratigrafico al tetto della serie di Leffe

La superficie erosiva, che tronca al tetto la serie del Bacino di Leffe, descrive depressioni profonde fino ad una decina di metri ed ampie alcune decine di metri, che conservano in parte evidenza morfologica propria sotto forma di blande vallecole incise nelle paleosuperfici sospese sulle incisioni dei corsi d'acqua attuali (Fig. 3).

Le vallecole sono parzialmente ricolmate da depositi fluviali a tessitura grossolana, potenti fino ad alcuni metri, profondamente alterati e trasformati in paleosuolo rubefatto (Fig. 7). All'interno di questo paleosuolo possono essere distinti gli orizzonti B21 argillificati di colore rosso (Hue 2.5 YR e 5 YR); gli orizzonti B31, a matrice argillificata e ciottoli decarbonatati, in via di disgregazione, rubefatti (5 YR); gli orizzonti B32, con scarsa matrice limoso-sabbiosa bruna, ciottoli decalcificati, friabili ma integri per quanto concerne la forma. La pedogenesi interessa anche i depositi sottostanti, dell'unità delle Argille di Gandino, ove tuttavia l'espressione degli orizzonti è limitata dall'impermeabilità delle argille.

Il paleosuolo è decapitato al tetto e sepolto da una sequenza di depositi limoso-argillosi induriti, alterati e

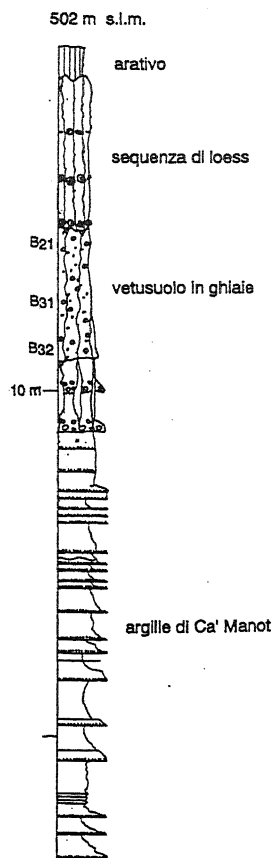


Fig. 7 - La porzione sommitale della successione del Bacino di Leffe ed il pedocomplesso sommitale.

The uppermost succession of the Leffe Basin and the pedocomplex on the top.

rubefatti (5 YR), quasi privi di scheletro (*loess*), talora intercalati da orizzonti di concrezioni ferro-manganesifere.

4. INTERPRETAZIONE DELLA SUCCESSIONE DESCRITTA

4.1 Substrato ed unità inferiore della formazione di Leffe

Il substrato appare profondamente alterato per un spessore di oltre 25 metri. Il fatto che l'alterazione gradualmente si

attenui con la profondità e la presenza di pedorelliti nel deposito di versante, indicativi di un orizzonte pedogenetico al tetto del substrato, convincono che la saprolite sia parte di un paleosuolo, piuttosto che il risultato di processi di alterazione freatica. In aggiunta, i fenomeni di alterazione idrotermale, documentati all'interno degli ammassi di porfirite affioranti nelle aree circostanti il Bacino di Leffe (De Michele & Zezza, 1978), possono aver contribuito allo sviluppo dell'orizzonte di alterazione

nel substrato, fino a profondità ragguardevoli.

L'alterazione profonda degli ammassi di porfirite in età neogenica fornisce i presupposti di una incisione particolarmente rapida dell'area della Val Gandino – in cui il Bacino di Leffe è situato – durante il Neogene. Casi analoghi di alterazione pedogenetica, connessi a morfogenesi neogenica, non sono nuovi al margine alpino e sono stati osservati a Bagaggera (Cremaschi *et al.*, 1984) ed a Malnate (Corselli, Cremaschi & Violanti, 1985). In entrambi i casi i paleosuoli risultano profondamente incisi da valli prequaternarie.

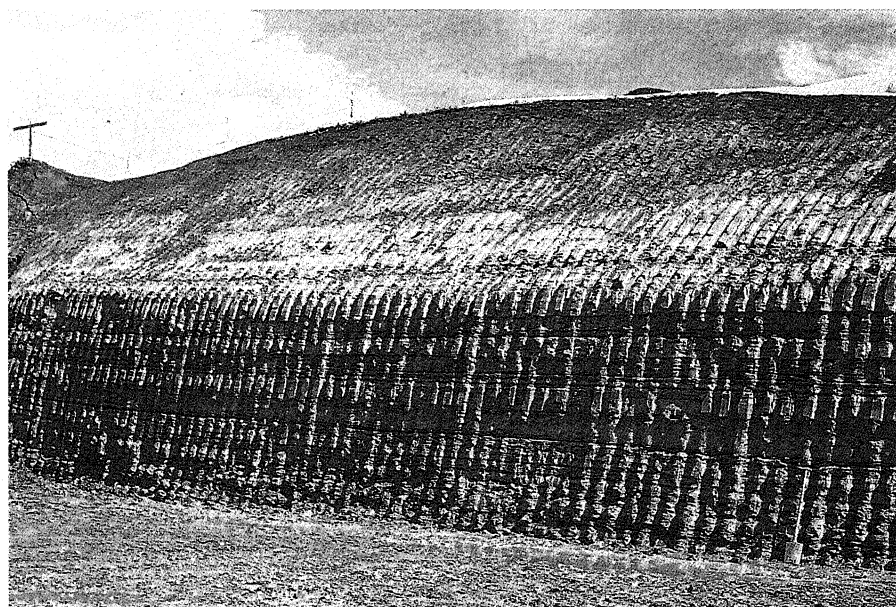
I depositi di versante che costituiscono la base della successione del Bacino di Leffe risultano da movimenti in massa, tipo colata o *debris flow*, che rimaneggiano gli orizzonti B del suolo evoluto sulla porfirite, la porfirite alterata stessa ed i marmi che contornavano il Bacino di Leffe all'inizio della sua esistenza.

Essi sono ricoperti da depositi fluviali, che si organizzano in barre sovrapposte intervallate da effimeri bacini di ristagno idrico (intervallo compreso tra 159.6 e 158 m di profondità nel carotaggio).

La restante porzione dell'unità inferiore della formazione di Leffe, potente ben 55 m, è costituita da cicli positivi di depositi fluviali canalizzati e depositi in massa. Anche questi ultimi contengono clasti mediamente arrotondati in ambiente fluviale, di provenienza locale. L'insieme dell'unità appare di alta energia, comparabile con la parte prossimale di un conoide o delta-conoide a contatto con un bacino lacustre, in rapida aggradazione. Questo ambiente sedimentario, in forte contrasto con il precedente, potrebbe essere spiegato da una forte risalita del livello di base che abbia portato l'intero sistema Val Gandino-Val Seriana ad aggradare. Tuttavia non disponiamo per il momento di altri elementi utili ad inquadrare questo evento in un contesto regionale, in

Fig. 8 - La parte superiore della successione torbiditica delle argille di Ca' Manot in uno scavo situato 50 m a N di Ca' Manot (490+499 m s.l.m.), come appariva nel settembre 1994. Le argille sono sovrastate dal complesso pedostratigrafico sommitale, troncato superiormente, nella fotografia, da processi colluviali.

The upper part of the turbiditic sequence belonging to the Ca' Manot clay unit (490+499 m a.s.l.), which appeared in a large excavation, carried out 50 m north of the Ca' Manot site, in September 1994. Clays are overlaid by the vetusol complex that, in this site, is incomplete because it was cut by colluvial processes.



quanto esso è documentato solo dai depositi incontrati in sondaggio.

Verso la sommità dell'unità inferiore si osserva una progressiva riduzione della tessitura e dell'importanza dei livelli grossolani e la comparsa di depositi pelitici laminati. La successione indica una graduale diminuzione dell'energia del sistema e la transizione verso depositi di ambiente lacustre, in apparente continuità di sedimentazione.

4.2 La fase biogenica

L'evoluzione della successione di Leffe è caratterizzata da una lunga fase a sedimentazione prevalentemente biogenica, durante la quale si alternano fasi a sedimentazione organica e biogenica carbonatica. Le torbe si formano a profondità comprese tra 0 e 2 m (depositi limnico-telmatici, telmatici, terrestri), nelle paludi, nelle torbiere e nelle cinture marginali dei laghi. I depositi carbonatici rappresentano una facies francamente lacustre, in gran parte prodotta da precipitazione chimica o biochimica, che si riscontra comunemente nei laghi di clima temperato e temperato freddo, generalmente a profondità modesta, soprattutto nelle regioni a substrato in parte carbonatico. Le *gyttja* si formano in ambiente limnico, generalmente in prossimità del margine lacustre, ma a profondità maggiore delle torbe. Sedimentazione carbonatico-organica si trova associata in laghi permanenti con scarsi apporti terrigeni, ove i depositi organici rappresentano le facies marginali, i carbonati quelle centro-bacinali (Kukal, 1971).

Venzo (1950) ritenne che la notevole potenza della sequenza biogenica (60 m) fosse prodotta dalla presenza di uno sbarramento alluvionale costruito dal fiume Serio dinanzi alla Val Gandino. Secondo questo modello, l'innalzamento della soglia dello sbarramento, prodotta dall'aggradazione del Fiume Serio, mantenne in vita il Bacino di Leffe durante un intervallo di tempo di parecchie centinaia di migliaia di anni. Secondo Venzo, l'innalzamento della soglia fu "rapido" durante le fasi a sedimentazione carbonatica (di maggiore profondità) e viceversa lento durante le fasi palustri. Il Conglomerato di Casnigo rappresenterebbe l'evidenza geologica di tale sbarramento (Venzo, 1950, 1953). Nuove ricerche stratigrafiche di terreno hanno però messo in luce che l'unità del Conglomerato di Casnigo non è eteropica, bensì sovrapposta ai depositi dell'unità biogenica intermedia della formazione di Leffe (Ravazzi, 1993a; cfr. anche Fig. 9). Inoltre un'aggradazione "rapida" della soglia è incompatibile con la contemporanea sedimentazione per decantazione di depositi fini a prevalente composizione carbonatica biogenica, e pressoché privi di clasti esotici al substrato della Val Gandino.

Un diverso modello evolutivo del lago è suggerito dallo studio della geometria dei livelli organici intercalati nella successione biogenica. Confrontando le profondità

del "Primo banco" e del "Secondo banco", incontrate nella nuova perforazione, con la stratigrafia dei pozzi di miniera, si è stabilito che banchi immergono verso il centro topografico del bacino (Ravazzi 1993a). Il costipamento delle torbe potrebbe essere responsabile di un abbassamento differenziale di oltre 30 m del settore centrale del bacino (Ravazzi, 1993a). Pertanto il paleolago di Leffe potrebbe essere esistito per un lungo intervallo di tempo, in assenza di importanti processi di aggradazione da parte del fiume Serio.

A questo proposito, i dati risultanti dalla revisione di una parte del record pollinico di Leffe forniscono ulteriori elementi di valutazione. Lona (1950) e Venzo (1950) avevano ipotizzato che l'aggradazione del Fiume Serio e la sedimentazione dell'unità biogenica coincidesse con le maggiori fasi di espansione glaciale nelle Alpi durante il Pleistocene Inferiore e Medio (le glaciazioni di Donau e Günz, secondo la cronologia di Penck & Brückner, 1909). Il nuovo *record* pollinico (Ravazzi & Rossignol Strick, in stampa) indica invece che la dinamica vegetazionale documentata dai depositi biogenici è riferibile ad oscillazioni climatiche di moderata ampiezza, non correlabili con le principali avanzate glaciali verificatesi nelle Alpi durante il Quaternario.

In conclusione, riteniamo che la sedimentazione dell'unità biogenica intermedia sia avvenuta durante una lunga fase di stabilità, caratterizzata da modesti apporti terrigeni e modesta aggradazione del Fiume Serio.

4.3 Depositi posteriori all'unità biogenica

L'unità biogenica è seguita da una sequenza di sedimenti prevalentemente argillosi, a tratti laminati, prodotti dalla decantazione di materiali terrigeni in ambiente lacustre (unità sommitale della formazione di Leffe). Il carattere terrigeno della sedimentazione e la presenza di alcuni livelli decimetrici a tessitura sabbiosa, contenenti arenarie e conglomerati permiani di provenienza seriana, documentano l'importanza degli apporti terrigeni da parte del Fiume Serio durante questa fase.

L'unità sommitale della formazione di Leffe era stata indicata da Venzo (1950) e da Lona & Follieri (1957) come "Serie superiore di Leffe", ma tale denominazione non può essere mantenuta, in quanto la successione sedimentaria in oggetto non rappresenta il tetto della successione del Bacino di Leffe. Ad essa, infatti, si sovrappone la formazione di Gandino.

Ai depositi della formazione di Leffe si sovrappongono, nel settore occidentale del Bacino, depositi fluviali tipo *braided* deposti dal Fiume Serio (conglomerato di Casnigo). Nel settore orientale si sovrappongono depositi di conoide alluvionale di alta energia, costruiti dai corsi d'acqua locali (conglomerato di Peia). Il conglomerato di Peia e il conglomerato di Casnigo sono eteropici (Fig. 9).

L'unità delle argille di Ca' Manot è presente solo nel settore centrale del Bacino (Fig. 2) ed è indentata con la

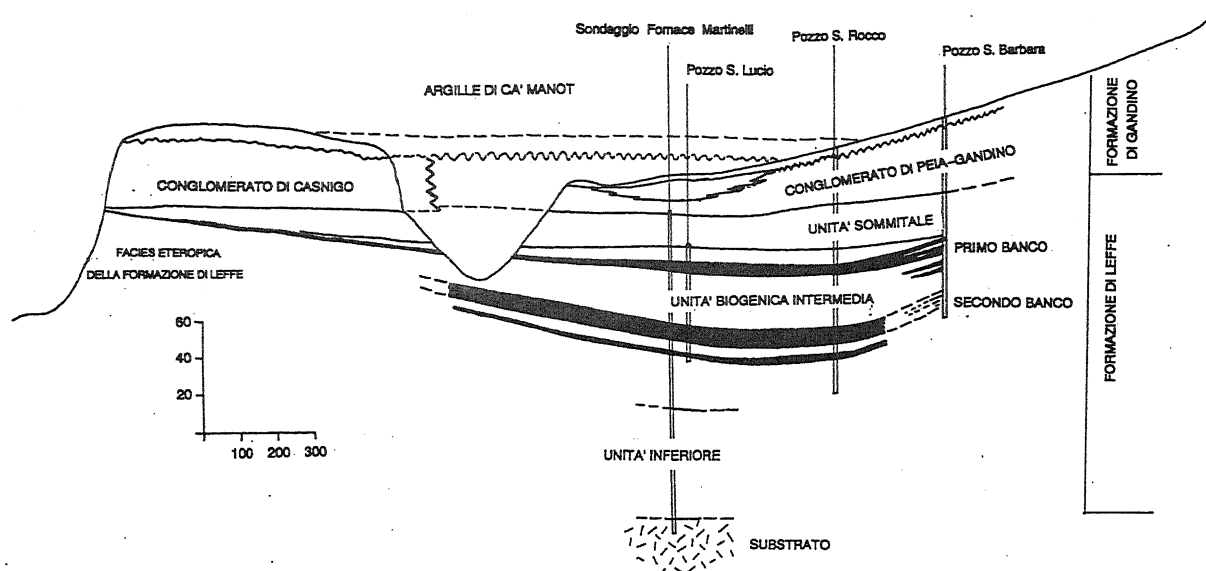


Fig. 9 - Sezione geologica W-E attraverso il Bacino di Leffe. Esagerazione verticale di 1:5. La perforazione descritta è indicata come Sondaggio Fornace Martinelli. I pozzi si riferiscono alle vecchie miniere di torba.

W - E geological section crossing the Leffe Basin. Vertical exaggregation 1:5. The drilling is shown as "Sondaggio Fornace Martinelli". Some old mine shafts are also reported.

parte superiore del conglomerato di Peia (Fig. 9). E' costituita da depositi lacustri terrigeni, in cui è riconoscibile la sequenza propria della sedimentazione torbiditica.

Queste litofacies compongono un quadro deposizionale caratterizzato da forte aggradazione, sia da parte del Fiume Serio che dei corsi d'acqua locali. I depositi di alveo tipo *braided* del Fiume Serio creano uno sbarramento dinanzi alla Val Gandino (conglomerato di Casnigo). Conseguentemente, un nuovo bacino lacustre si forma tra i depositi del Fiume Serio ed i conoidi costruiti dai corsi d'acqua locali. Il bacino viene rapidamente ricolmato a seguito di processi di risospensione che interessano la zona frontale sommersa dei conoidi, attivamente alimentati.

Nell'insieme il contesto paleoambientale appare radicalmente diverso da quello suggerito dallo studio stratigrafico e paleontologico dell'unità biogenica intermedia della formazione di Leffe. Escludiamo che il mutamento ambientale messo in evidenza alla sommità della formazione di Leffe abbia carattere locale, in quanto l'aggradazione del Fiume Serio si attiva indipendentemente ma contemporaneamente con la costruzione dei conoidi all'interno della Val Gandino. Pertanto sembra opportuno riunire questi depositi in una formazione distinta, qui proposta informalmente (formazione di Gandino).

Le cause di tale evento potrebbero essere ricercate in un'importante fase di deterioramento climatico, accompagnata dalla discesa delle lingue glaciali nelle maggiori valli alpine. A scala regionale va ricordato che depositi glaciolacustri della base del sistema gardesano sono di polarità inversa e quindi attribuibili al Pleistocene Inferiore (Cremaschi, 1987). Una discussione circostan-

ziata di questa ipotesi richiede comunque ulteriori ricerche polliniche nelle argille di Ca' Manot (apparentemente prive di fossili) e l'esame dei rapporti stratigrafici tra la serie di Leffe ed i depositi glaciali più antichi presenti nel settore più interno della Valle Seriana.

Al termine della fase documentata dalle unità della formazione di Gandino, il fiume Serio abbandona la superficie di massima aggradazione (rappresentata dalla superficie del Terrazzo di Casnigo) ed inizia ad incidere la valle attuale. A seguito dell'incisione della soglia della superficie del Terrazzo di Casnigo, il paleo-lago di Leffe si estingue e viene impostato un nuovo reticolo idrografico. Durante questa fase vengono incise modeste depressioni vallive, che troncano la porzione sommitale della successione di Leffe. Successivamente, l'incisione profonda delle valli attuali disattiva questo reticolo idrografico, che diviene sede di sedimentazione e pedogenesi.

La sequenza pedostratigrafica conservata nelle valli piccole rappresenta un suolo mai isolato dai processi di superficie dall'inizio della sua evoluzione. I caratteri di campagna indicano una lunga e progressiva evoluzione, che ha suggerito di indicare con il termine *vetusoli* analoghi tipi del margine pedemontano. La presenza di più coltri di *loess* ed evidenti strutture criergiche, assenti a quote più basse lungo il margine padano (Cremaschi & Van Vliet-Lanoë, 1990), indicano che tale suolo ha attraversato diversi periodi glaciali. Lo spessore, la rubefazione ed i caratteri fisico-chimici (che non verranno qui descritti in dettaglio) sono simili a quelli osservati nei suoli del *Diluvium* antico del margine della pianura bergamasca e brianzola (Cremaschi *et al.*, 1984; Cremaschi, 1987), il cui inizio di evoluzione è attribuito al Pleistocene Inferiore.

5. VALUTAZIONE CRONOSTRATIGRAFICA DELLA SERIE DI LEFFE

Le ricerche geomagnetiche sono svolte dalla LETI-CEA di Grenoble e del *Laboratoire de Paléomagnétisme* di Gif-sur-Yvette e sono ancora in corso. E' stata presa in considerazione la NRM e la suscettività magnetica della carota e di un tratto in affioramento della serie di Leffe.

I risultati preliminari di questi studi, indicano, in accordo con precedenti autori (Bucha & Sibrava, 1977; Billard *et al.*, 1983), che la formazione di Gandino e la porzione superiore della formazione di Leffe (unità sommitale e unità biogenica intermedia) presentano polarità paleomagnetica inversa. Viceversa, nell'unità inferiore è stato individuato un evento a polarità normale, definito da una inversione a circa 97 m di profondità nel sondaggio.

I dati paleontologici forniscono ulteriori elementi di valutazione.

Lo studio paleobotanico (analisi pollinica + macroresti) indica che il "Secondo Banco" presenta affinità con la flora di Tegelen in Olanda (Van der Vlerk & Florschütz, 1950; Zagwijn, 1959, 1963; Van der Burgh, 1974, 1994), in particolare per la persistenza di vegetazioni palustri con *Glyptostroboxylon tenerum* (Kraus) Conwentz, *Chamaecyparis*, *Nyssa* e *Juglans bergomensis* Massal. (Ravazzi & Van der Burgh, in stampa), nonché di *Phellodendron* e *Magnolia* (Gregor, 1990, Ravazzi, ined.). Questi taxa, autoctoni nella palude di Leffe, risultano estinti a partire dal Tigliano (2.2 ± 1.8 Ma BP sec. Zagwijn, 1992) nei depositi centro-europei (Van der Hammen *et al.*, 1971; Zagwijn, 1960, 1985). Tuttavia le differenze latitudinali ed ecologiche, esistenti tra il graben del Reno ed il margine meridionale delle Alpi, inducono a considerare la possibilità che i taxa sopra menzionati potessero essere presenti, nelle regioni costiere delle Prealpi Meridionali, durante fasi a clima temperato ed umido all'inizio del Quaternario. Nella successione pollinica del Torrente Stirone (Bertolani Marchetti *et al.*, 1979), granuli appartenenti al tipo *Taxodium* (che include il gen. *Glyptostrobus*) compaiono, sia pur con modesti valori percentuali e record discontinuo, dopo il limite Pliocene-Quaternario (1,8 Ma sec. Hilgen, 1991). Nella regione mediterranea, la flora e la paleovegetazione di Leffe trovano affinità con le successioni lacustri di Bernasso (Suc, 1978) e Nogaret (Leroy & Seret, 1992), in Francia meridionale. Questi depositi sono stati datati rispettivamente 1.8 ± 1.64 Ma e 2 ± 1.7 Ma (Brugal *et al.*, 1990), con il metodo K/Ar sui basalti che si intercalano nelle successioni.

La fauna a Mammiferi del "Secondo Banco" può essere riferita ad una delle biozone del Villafranchiano Superiore (le Unità del Tasso o di Farneta), comprese tra la fine del Pliocene e la porzione medio-antica del Pleistocene inferiore (Azzaroli *et al.*, 1986, 1988; Torre *et al.*, 1991; Masini *et al.*, 1994). D'altra parte, i resti di *Elephas meridionalis* forma evoluta, rinvenuti alla base

dell'unità sommitale della formazione di Leffe, e riferiti in precedenza al Cromeriano (Vialli, 1956; Lona & Follieri, 1957), possono essere comparati con *E. meridionalis vestinus*, che viene attualmente riferito all'Unità faunistica di Farneta ed alle successive unità della parte finale del Villafranchiano superiore (Azzaroli *et al.*, 1988; Masini *et al.*, 1994).

Una valutazione complessiva dei dati paleomagnetici e paleontologici indica che l'evento a polarità normale, individuato nell'unità inferiore della formazione di Leffe, rappresenta l'Olduvai, o la sua parte superiore, e che l'unità biogenica intermedia è attribuibile al Matuyama di polarità inversa, più probabilmente alla sua porzione inferiore, riferibile alla base del Pleistocene Inferiore (Fig. 10). La presenza di *E. meridionalis* forma evoluta alla sommità della formazione di Leffe, la persistenza di biozone a dominanza di *Carya*, *Pterocarya* e *Tsuga* nella palinoflora rinvenuta nelle intercalazioni di *gyttja* nel conglomerato di Peia (Ravazzi, 1993a) e l'assenza di eventi geomagnetici a polarità normale nella formazione di Gandino indicano che l'intera successione di Leffe è di età più antica dell'evento di Jaramillo (0.95 MA).

6. EVOLUZIONE PALEOGEOGRAFICA E GEOLOGICA

La successione sedimentaria e l'evoluzione paleogeografica del Bacino di Leffe possono essere brevemente delineate come segue:

1) Durante una fase di incisione valliva del Neogene, precedente la fine del Pliocene Superiore, nell'area viene modellata una valle ad imbuto, chiusa da una forra in calcari al suo sbocco. La differente resistenza all'alterazione e all'erosione degli ammassi di porfirite e dei calcari (questi ultimi meno erodibili) è responsabile della peculiare configurazione paleomorfologica del substrato della Val Gandino.

2) Durante il Pliocene Superiore, probabilmente a causa dell'aggradazione del fiume Serio, la regione di Leffe diviene un bacino a sedimentazione terrigena, alimentato principalmente da delta conoidi costruiti dai corsi d'acqua locali (depositi appartenenti all'unità inferiore della formazione di Leffe).

3) Dopo l'inizio del Pleistocene ha inizio una lunga fase di stabilità morfogenetica, durante la quale il bacino è interessato da sedimentazione continua prevalentemente biogenica di acque poco profonde (unità biogenica intermedia della formazione di Leffe). In relazione ad oscillazioni del livello lacustre, si alternano fasi di ambiente telmatico palustre (torbe compresse, *brown coal* e *gyttja*) e limnico (*kalk gyttja*, *shell marl*). La notevole potenza dei depositi (65 m) e la continuità della sedimentazione sono determinati dalla subsidenza del fondo – causata dal costipamento delle torbe – e da un lento innalzamento del livello della soglia del lago. Non è da escludere che anche movimenti tettonici possano essere stati responsabili, in parte, della subsidenza del

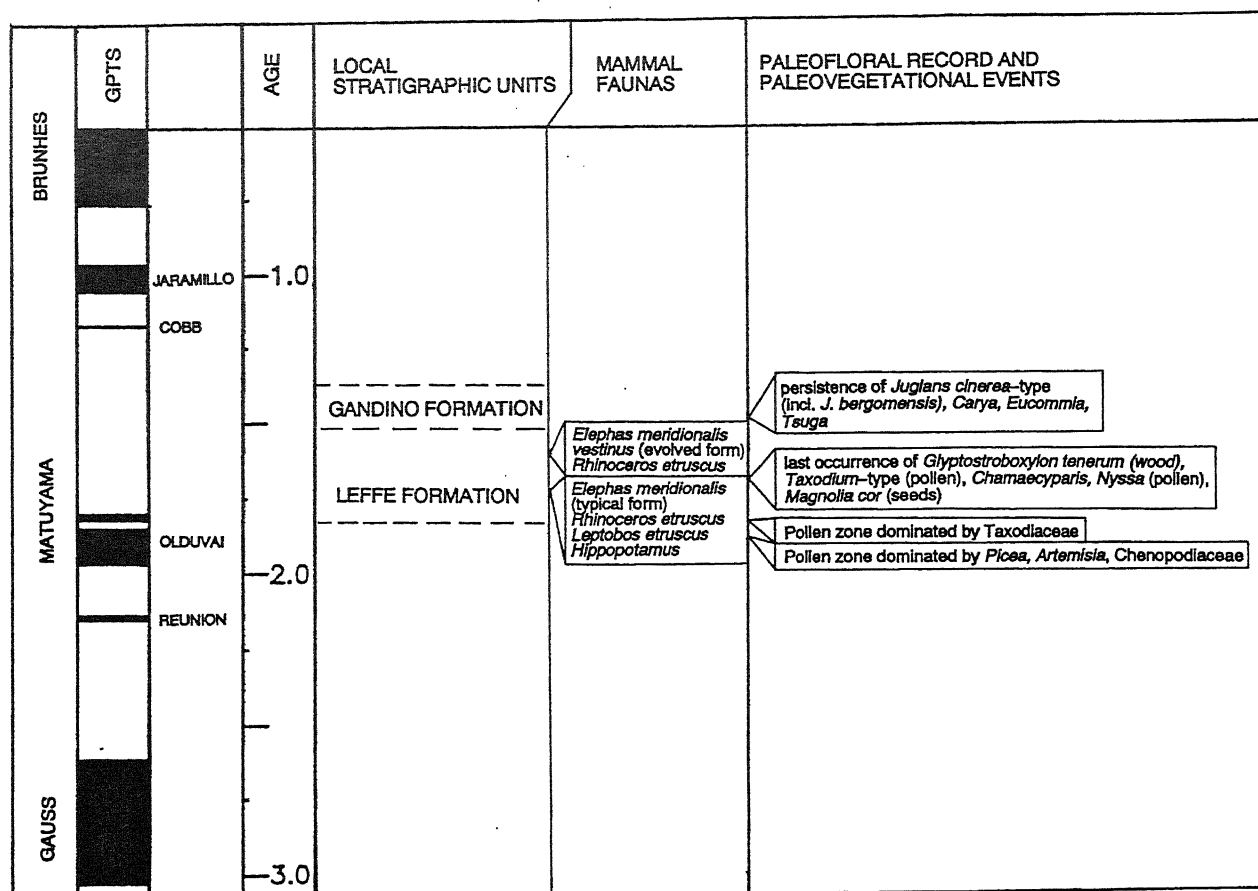


Fig. 10. Posizione cronostratigrafica della successione di Leffe, secondo i nuovi dati paleomagnetici e biostratigrafici. Cronologia paleomagnetica secondo Ruddiman & Raymo (1988), Hilgen (1991).

Chronostratigraphic position of the Leffe succession, according to new paleomagnetic and biostratigraphic data. Paleomagnetic chronology according to Ruddiman & Raymo (1988) and Hilgen (1991).

bacino, ma questo problema richiede ulteriori indagini. L'unità biogenica, che contiene la maggior parte dei resti fossili documentati in letteratura, interessa un lungo intervallo di tempo alla base del Pleistocene Inferiore. Il record pollinico e paleobotanico dei depositi biogenici documenta una complessa dinamica paleovegetazionale, determinata da cicli climatici di moderata ampiezza. Tali oscillazioni non sono correlabili con le fasi di maggiore espansione dei ghiacciai durante il Quaternario nelle valli alpine.

4) Un aumento degli apporti terrigeni da parte del Fiume Serio causa l'accumulo di argille lacustri (unità sommitale della formazione di Leffe).

5) Seguono, in continuità di sedimentazione, depositi grossolani di alta energia, che segnano il passaggio ad un diverso regime idrodinamico. Si osserva infatti un aumento di competenza dei corsi d'acqua e l'attivazione di processi di demolizione in massa dei versanti (conglomerato di Peia). Nello stesso tempo, la rapida aggradazione del Fiume Serio crea uno sbarramento alluvionale

dinanzi alla Val Gandino (conglomerato di Casnigo) che origina un nuovo lago nell'area di Leffe, rapidamente ricolmato da depositi massivi, privi di materiale biogenico (argille di Ca' Manot). Questa sequenza è attribuibile ad una fase del Pleistocene Inferiore precedente l'evento di Jaramillo. La sua base potrebbe coincidere con l'inizio del Pleistocene "glaciale" nelle Prealpi Lombarde.

6) Il Fiume Serio abbandona la superficie di massima aggradazione ed inizia ad incidere la valle attuale. Ciò determina l'estinzione del Bacino di Leffe ed il modellamento di modeste valleciole alla sommità della successione, ricolmate da depositi alluvionali dei corsi d'acqua locali. Questo reticolo idrografico appare attualmente disattivato e sospeso sulle valli attuali.

7) Durante la parte finale del Pleistocene Inferiore, nel Pleistocene Medio e Superiore si susseguono numerose fasi di incisione e di aggradazione del fiume Serio, accompagnate dall'evoluzione di suoli fersiallitici e da più fasi di deposizione di loess che sigillano le paleovalle sospese.

7. CONCLUSIONI

Nella serie di Leffe una morfologia valliva tardo terziaria viene inizialmente sepolta da depositi fluviali, in probabile connessione con delta conoidi.

I depositi lacustri dell'unità biogenica documentano il successivo isolamento del bacino dal principale asse della Valle Seriana. Ciò avviene in una condizione di stabilità, durante la quale lungo la Val Seriana e le sue valli tributarie si depositano successioni sedimentarie proprie di corsi d'acqua ad alveo meandriforme.

Un importante mutamento ambientale è stato individuato alla sommità della formazione di Leffe, riferibile ad una fase avanzata del Pleistocene Inferiore. Esso è segnalato dalla sovrapposizione di conglomerati lungo gli alvei, indentati ai margini con depositi di conoide alluvionale e con brecce di versante. In contrasto con quanto segnalato in letteratura, queste unità (conglomerato di Peia, di Casnigo, argille di Ca' Manot, riunite nella formazione di Gandino) sono sempre chiaramente sovrapposte e non eteropiche con la formazione di Leffe. La medesima situazione è stata osservata anche in altre valli tributarie della Val Seriana e del margine prealpino lombardo.

RINGRAZIAMENTI

Desideriamo esprimere un sincero ringraziamento al CNR - Centro per lo Studio della Geodinamica Alpina e Quaternaria - ed in particolare al Direttore, Dr. P.M. Rossi, cui si deve in gran parte il sostegno finanziario delle ricerche sul Bacino di Leffe. Siamo grati al Comune e alla Provincia di Bergamo, nonché alla Comunità Montana Valle Seriana, che hanno contribuito in tal senso. Ringraziamo il Dr. A. Lozej della Sezione di Geofisica del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Milano, che ha condotto le prospezioni geoelettriche preliminari per l'individuazione del sito del sondaggio; al Prof. G. Orombelli e al Dr. S. Chiesa, per l'appoggio ed i consigli. Ringraziamo il Dr. D. Angelucci, il Dr. F. Confortini e la Dr.ssa S. Faini, nonché il personale del Museo Civico di Scienze Naturali di Bergamo (Dr. A. Paganoni, M. Pandolfi, M. Malzanni) per l'aiuto offerto durante le difficili operazioni di sondaggio e di campionamento della successione sedimentaria.

BIBLIOGRAFIA

- Airaghi C., 1914 - *L'elefante del bacino di Leffe in Val Seriana* (*Elephas meridionalis Nesti*). Atti Soc. It. Sc. Nat., **53**, 165-181.
- Azzaroli A., De Giuli C., Ficarelli G. & Torre D., 1986 - *Mammal succession of the Plio-Pleistocene of Italy*. Mem. Soc. Geol. It., **31**, 213-218.
- Azzaroli A., De Giuli C., Ficarelli G. & Torre D., 1988 - *Late Pliocene to early mid-Pleistocene mammals in Eurasia: faunal succession and dispersal events*. Palæogeogr., Palæoclimatol., Palæoecol., **66**, 77-100.
- Balsamo Crivelli G., 1840 - *Nota sul rinoceronte fossile esistente nell'I.R. Gabinetto de' Minerali e Fossili nel locale di S. Teresa in Milano; descrizione di alcuni denti di rinoceronte, e d'una nuova specie d'Iuglandite trovati nella lignite di Leffe*. Bibl. Ital., **95**, 1-6.
- Berra F., Rovellini M. and Jadoul F., 1991 - *Structural framework of the Bergamasco Prealps south of the Clusone Fault*. Atti Tic. Sc. Terra, **34**, 107-120.
- Bertolani Marchetti D., Accorsi C.A. & Raffi S., 1979 - *Palynology and stratigraphy of the Plio-Pleistocene sequence of the Stirone River (Northern Italy)*. Pollen et Spores, **21**(1-2), 149-167.
- Billard A., Bucha V., Horacek J. & Orombelli G., 1983 - *Preliminary investigations on Pleistocene sequences in Lombardy Northern Italy*. Riv. Ital. Paleont., **88**(2), 295-318.
- Blatt H., 1982 - *Sedimentary Petrology*. Freeman, San Francisco.
- Brugal, J.P., Ambert, P., Bandet, Y., Leroy, S., Roiron, P., Suc, J.P. & Vernet, J.L., 1990 - *Mammifères et végétaux du maar Pliocène final de Nogaret (Escandorgue: Hérault, France)*. Geobios, **23**(2), 231-247.
- Bucha V. & Sibrava V., 1977 - *On the correlation of Quaternary stratigraphy stages in the Northern Hemisphere*. Project 73/1/24 IGCP, Rep. n. 4, 91-101, Prague.
- Cornalia E., 1871 - *Mammifères fossiles de Lombardie*. Bernardoni, Milano.
- Corselli C., Cremaschi M. & Violanti D., 1985 - *Il canyon Messiniano di Malnate (Varese). Pedogenesi tardo miocenica ed ingressione marina pliocenica al margine meridionale delle Alpi*. Riv. Ital. Paleont. Strat., **91**(2), 253-286.
- Cremaschi M., 1987 - *Paleosols and Vetosols in the Central Po Plain (Northern Italy)*. Unicopli, Milano.
- Cremaschi M., Orombelli G. & Salloway S.C., 1984 - *Quaternary stratigraphy and soil development at the southern border of the Central Alps. The Bagaggera sequence*. Riv. Ital. Paleont. Strat., **90**(4), 565-603.
- Cremaschi M. & Van Vliet-Lanoë B., 1990 - *Traces of frost activity and ice segregation in Pleistocene loess deposits and till of Northern Italy: deep seasonal freezing or permafrost?* Quaternary International, **5**, 39-48.
- De Michele V. & Zezza U., 1978 - *Manifestazioni ipoabissali quarzodioritiche di età alpina nelle Prealpi Bergamasche (Alpi Meridionali)*. Atti Soc. ital. Sci. Nat., **119**(3-4), 181-210.
- Esu D., 1983 - *Présence de Valvata chalinei SCHLICKUM & PUISSEUR dans le Villafranchien supérieur de Leffe (Italie)*. Arch. Moll., **114**(1/3): 65-68.

- Gregor, H.J., 1990 - *Contributions to the Late Neogene and Early Quaternary Floral History of the Mediterranean*. Rev. Palaeobot. Palynol., **62**, 309-338.
- Hilgen F.J., 1991 - *Astronomical calibration of Gauss to Matuyama sapropels in the Mediterranean and implication for the Geomagnetic Polarity Time Scale*. Earth Planet. Sci. Lett., **104**, 206-244.
- Kukal Z., 1971 - *Geology of Recent Sediments*. Academic Press, London.
- Leroy, S. and Seret, G., 1992 - *Duration and vegetation dynamic of the Nogaret Interglacial (-1.9 Ma, S France): tentative correlation with Stage 75*. In: Kukla G.J. and Went E. (eds.), *Start of a glacial*. NATO ASI Series, I **3**, Springer, Berlin.
- Lona F., 1950 - *Contributi alla storia della vegetazione e del clima nella Val Padana. Analisi pollinica del giacimento villafranchiano di Leffe (Bergamo)*. Atti Soc. It. Sc. Nat., **89**, 123-178.
- Lona F. & Follieri M., 1957 - *Successione pollinica della serie superiore (Günz-Mindel) di Leffe (Bergamo)*. Veröff. Geobot. Inst. Rübel Zürich, **34**, 86-98.
- Lona F. & Bertoldi R., 1973 - *La storia del Plio-Pleistocene italiano in alcune sequenze vegetazionali lacustri e marine*. Mem. Acc. Naz. Lincei, **11** - Sez. III, 1-35.
- Masini F., Rook L., Abbazzi L., Ambrosetti P.L., Azzaroli A., Ficarelli G., Gentili S., Kotsakis T., Sala B. & Torre D., 1994 - *Mammalian faunas of selected Villafranchian localities of Italy*. In: AIQUA-CNR (ed.) "Il significato del Villafranchiano nelle successioni Plio-Pleistoceniche", *Pre-prints del Convegno tenuto a Peveragno-Villafranca*, 20-24 giugno 1994.
- Massalongo A., 1852 - *Nota sopra due frutti fossili del bacino lignitico di Leffe*. Nuovi Annali d. Sc. Nat. Bologna, **6**, 1-9.
- Massalongo A., 1856 - *Sopra due frutti fossili di castagno dal bacino lignitico di Leffe*. In: *Studi Paleontologici*, Verona.
- Penck A. & Brückner E., 1909 - *Die Alpen im Eiszeitalter*. In: *Dritter Band, Die Eiszeiten in den Südalpen und im Bereich der Östabdachung der Alpen*. Leipzig, pp. 839-842.
- Ravazzi C., Chiesa S., Cremaschi M., Kissel C., Laj C., Locatelli C., Orombelli G., Paganoni A., Rossi P.M. & Thomas T., 1992 - *A new Plio-Pleistocene continental section in Leffe Basin (Northern Italy)*. Act. III Congr. Geol. Esp. - VIII Congr. Latinoameric. Geol., **2**, 87-90.
- Ravazzi C., 1993a - *Variazioni ambientali e climatiche al margine meridionale delle Alpi nel Pleistocene inferiore: stratigrafia ed analisi pollinica della serie di Leffe*. Tesi di Dottorato di Ricerca, Università di Milano.
- Ravazzi C., 1993b - *Dinamica della vegetazione al margine meridionale delle Alpi durante il Pleistocene inferiore antico*. Giorn. Bot. It., **127**(3): 687.
- Ravazzi C. & Rossignol Strick M. (in stampa) - *Vegetation change in a climatic cycle of an Early Pleistocene age in the Leffe Basin (Northern Italy)*. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.
- Ravazzi C. & Van der Burgh J. (in stampa) - *Glyptostroboxylon tenerum and other coniferous woods in the brown coal of the Leffe Basin (Early Pleistocene, Italy)*. Riv. It. di Paleontologia e Stratigrafia.
- Ruddiman W.F. & Raymo M.E., 1988 - *Northern hemisphere climate regimes during the past 3 Ma: possible tectonic connections*. Phil. Trans. Royal Soc. London, **B318**, 411-430.
- Sordelli F., 1873a - *Sulle tartarughe fossili di Leffe*. Atti Soc. It. Sc. Nat., **15**(3), 1-25.
- Sordelli F., 1873b - *Descrizione di alcuni avanzi vegetali delle argille plioceniche lombarde*. Atti Soc. Ital. Sc. Nat., **16**, 350-429.
- Sordelli F., 1878 - *Le filliti della Folla d'Induno presso Varese e di Pontegana tra Chiasso e Balerna nel Canton Ticino paragonate con quelle di altri depositi terziari e postterziari*. Atti d. Soc. Ital. Sc. Nat., **21**, 1-23.
- Sordelli F., 1896 - *Studi sulla vegetazione di Lombardia durante i tempi geologici*. Cogliati, Milano.
- Stehlin H., 1930 - *Die Sugetierfauna von Leffe (Prov. Bergamo)*. Ecl. Geol. Helv., **23**(2).
- Suc J.P., 1978 - *Analyse pollinique de dépôts Plio-Pléistocènes du sud du Massif basaltique de l'Escandorgue (site de Bernasso, Lunas, Hérault, France)*. Pollen et Spores, **20**(4), 497-511.
- Torre D., Ficarelli G., Masini F., Rook L. & Sala B. (in stampa) - *Mammal dispersal events in the Early Pleistocene of Western Europe*. ESF-Workshop "Mammalian migration and dispersal events in the European Quaternary", Andernach 1991.
- Van der Burgh J., 1974 - *Wood-remains from the lower Pleistocene of Tegelen (The Netherlands)*. Scripta Geol., **25**, 1-35.
- Van der Burgh J., 1994 - *Differences in fossil seed/fruit-, wood-, and leaf-floras, taphonomy and ecological implications*. Rev. Palaeobot. Palynol., **83**, 119-129.
- Van der Hammen, T., Wijmstra, T.A. & Zagwijn, W.H., 1971 - *The Floral Record of the Late Cenozoic of Europe*. In: Tokerian K.K. (ed.), *Late Cenozoic Glacial Ages*. Yale University Press, New Haven, London, 391-424.
- Van der Vlerk I.M. & Florschütz F., 1950 - *Nederland in het ijstijdvak (De geschiedenis van flora, fauna en klimaat teon aap en mammoet ons land bewoonden)*. Zeist.
- Venzo S., 1950 - *Rinvenimento di Anancus arvernensis nel Villafranchiano dell'Adda di Paderno, di Archidiskodon meridionalis e Cervus a Leffe*. Atti Soc. It. Sc. Nat., **89**, 32-122.
- Venzo S., 1953 - *Stadi della glaciazione del "Donau" sotto al Günz ed al Mindel nella serie lacustre di Leffe (Bergamo) - Limite tra Pliocene e Pleistocene*.

- Actes IV Congrès Int. pour l'Etude du Quaternaire (INQUA), 1-23. Roma.
- Vialli V., 1956 - *Sul rinoceronte e l'elefante dei livelli superiori della serie lacustre di Lefte (Bergamo)*. Mem. Soc. It. Sc. Nat., **12**(1), 1-67.
- West R.G., 1977 - *Pleistocene Geology and Biology*. Longmans, London.
- Zagwijn H.W., 1959 - *Zur stratigraphischen und pollen analytischen Gliederung der Pliozänen Ablagerungen im Roertal-Graben und Venloer-Graben der Niederlande*. Forsthr. geol. Rheinl. u. Westf., **4**, 5-26.
- Zagwijn W.H., 1960 - *Aspects of the Pliocene and Early Pleistocene vegetation in the Netherlands*. Med. Geol. Stich., Serie C, III (1) 5, 1-78.
- Zagwijn W.H., 1963 - *Pollen-analytic investigations in the Tiglian of the Netherlands*. Meded. Geol. Stich., **16**, 49-71.
- Zagwijn W.H., 1985 - *An outline of the Quaternary stratigraphy of The Netherlands*. Geologie en Mijnbouw, **18**, 37-46.
- Zagwijn W.H., 1992 - *The beginning of ice age in Europe and its major subdivision*. Quat. Sci. Rev., **11**, 583-591.
- Zanchi A., Chiesa S. & Gillot P.Y. (in stampa) - *Tectonic evolution in the Orobic chain: structural and geochronological indications for pre-Tertiary compressive tectonics*. Mem. Soc. Geol. It., **45**.

Manoscritto ricevuto il 13. 4. 1994

Inviato all'Autore per la revisione il 11. 11. 1994

Testo definitivo ricevuto il 22. 12. 1994