

GENESI E SIGNIFICATO DEL RIEMPIMENTO DELLA DEPRESSIONE CARSICA DI PIANO LOCCE SUL GRAN SASSO D'ITALIA (ABRUZZO)

Donatello Magaldi^{1a/1b}, Alessandro Lorè², Paolo Lorenzoni³, Roberto Sulpizio⁴, Giovanni Zanchetta⁵,
Giuseppina Benedetti⁶ & Fabiola Ferrante⁶

^{1a}DISAT, Facoltà d'Ingegneria dell'Università di L'Aquila

^{1b}DSSNP, Facoltà di Agraria, Università di Firenze, e-mail: donatello.magaldi@unifi.it

²Libero Professionista, Collaboratore di Ricerca al DISAT, L'Aquila

³CRA-APC, Unità di Ricerca per i Sistemi agro-pastorali dell'Appennino centrale, Rieti

⁴CIRISIVU, Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche, Naturali dell'Università di Bari

⁵DST, Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche, Naturali dell'Università di Pisa

⁶DICCM, Facoltà d'Ingegneria dell'Università di L'Aquila

RIASSUNTO: Magaldi D. *et al.*, *Genesi e significato del riempimento della depressione carsica di Piano Locce sul Gran Sasso d'Italia (Abruzzo)*. (IT ISSN 0394-3356, 2009).

In una depressione carsica della catena del Gran Sasso (Piano Locce), nei pressi di S. Stefano di Sessanio in Provincia di L'Aquila, è stato effettuato un sondaggio profondo fino a 90 m circa, che ha permesso di campionare una alternanza di materiali finemente stratificati propri d'ambiente palustre e pedogenetico, costituiti questi ultimi quasi esclusivamente da piroclastiti a granulometria variabile tra media e moderatamente fine che riempiono questa ed altre valli carsiche dei dintorni.

Sui campioni sono state eseguite analisi chimico-fisiche di routine, micromorfologiche al microscopio da petrografia, microchimiche tramite spettrometria SEM-EDS e infine analisi chimiche totali per spettrometria ad emissione di raggi X. Sulla base dei risultati analitici, si è suddiviso il riempimento in tre gruppi (α , β , γ). Il **Gruppo α** rappresenta materiali sedimentari non pedogenizzati di ambiente palustre; il **Gruppo β** materiali variamente pedogenizzati identificabili forse con gli Udifluvents della Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, USDA 1999), mentre il **Gruppo γ** , rappresenterebbe, sia sedimenti palustri, che tuffiti pedogenizzate con suoli decisamente idromorfi, quali gli Hydraquents suoli.

In questi ultimi due gruppi, l'azione pedogenetica prendeva il sopravvento sulla sedimentazione, dando origine a microstrutture otticamente anisotrope e ad una certa orientazione dei domini argillosi. Le analisi al microscopio elettronico condotte sui campioni più ricchi di minerali vulcanici, hanno evidenziato come il vetro vulcanico della stragrande maggioranza dei livelli sia completamente alterato e quindi inutilizzabile per la classificazione chimico-petrografica dei livelli stessi. Due soli campioni provenienti dalla base (78-80 m) e dal tetto (5 m) della carota si presentavano meno alterati degli altri e sono stati classificati come una latite-trachite e una foidite, rispettivamente. Il campione con composizione latitico-trachitica potrebbe essere tentativamente attribuita alle eruzioni Pleistoceniche del Vulcano di Vico, caratterizzate da attività esplosiva di composizione trachitico-fonolitica (PECCERILLO, 2005), datate intorno a 170.000 anni fa. Il campione di composizione foiditica, anche basandosi sull'associazione delle fasi mineralogiche dominate da leucite e clinopirosseno (assente il plagioclasio), può essere correlata con l'attività del vulcano dei Colli Albani, e più precisamente con l'eruzione dei Peperini, le cui ultime fasi sono datate a circa 36.000 anni (FREDA *et al.*, 2005). Gli altri campioni analizzati sono risultati troppo alterati per essere utilizzabili, ma i dati sulle associazioni mineralogiche e di microanalisi delle fasi minerali indicano per la maggioranza di essi una stretta affinità con la composizione delle eruzioni dei vulcani campani (PECCERILLO, 2005). Due soli campioni, sulla base della microanalisi dei pirosseni e dei plagioclasti e della paragenesi mineralogica, possono essere invece correlati con l'attività dei vulcani laziali (PECCERILLO, 2005). Successivamente è stato preso in considerazione il rapporto Limo/Argilla in funzione della profondità, peraltro con andamento approssimativamente inverso a quello della percentuale di sostanza organica, come un possibile indice paleo-climatico, dove i valori più bassi indicherebbero periodi più favorevoli alla pedogenesi e alla diffusione della vegetazione (e quindi più caldi e più umidi), al contrario dei valori più alti che potrebbero testimoniare periodi più freddi e probabilmente più aridi.

Tutti i risultati testimoniano chiaramente che la valle carsica di Piano Locce (una vera e propria polje) è stata interessata in vari momenti del Quaternario antico da una sequenza di eventi sedimentari (palustri-lacustri) e pedogenetici, che si sono impostati su materiali piroclastici provenienti dalle eruzioni della Provincia Comagmatica Romana e continuate fino ai giorni nostri a partire da tempi più antichi di 200 mila anni circa. Le caratteristiche pedogenetiche osservate in sezione sottile insieme all'andamento del rapporto limo/argilla suggeriscono variazioni climatiche a diverso regime di umidità in ambiente di alta montagna. Quando le condizioni climatico-vegetazionali consentirono l'instaurarsi di processi pedogenetici, si formarono suoli poco evoluti, fortemente condizionati da idromorfia. Apporti colluviali e/o eolici da suoli maggiormente evoluti e di ambiente climatico molto differente ("terre rosse" tipo Xeralfs o Ustalfs) presenti sui rilievi carbonatici circostanti hanno contribuito, sia pure in minima parte, al riempimento della depressione.

ABSTRACT: Magaldi D. *et al.*, The filling of karstic depression of Piano Locce (Gran Sasso range, Abruzzi, Italy) genesis and significance. (IT ISSN 0394-3356, 2009).

A deep test hole down to 90 m was carried out on the clastic filling of a karstic valley (polje) of the Gran Sasso (Piano Locce) range near S. Stefano di Sessanio (L'Aquila Province, Italy). This allowed us to sample alternated lacustrine and pedogenetic materials almost exclusively formed on medium-fine textured pyroclastic deposits.

On almost one hundred samples some routine chemical-physical, optical micro morphologic, SEM-EDS micro-chemical determination and spectrometric by X ray emission analysis were performed.

After the results elaboration, the collected samples were grouped (α , β , γ) as follows:

α Group was related to not pedogenetic sedimentary material (lake and or marsh);

β Group was identified as soil or soil derived material perhaps to be classified as Udifluent according to USDA Soil Taxonomy;

γ Group was considered a mixture of the previous groups, except soils, which were classified as Hydraquents. The pedogenetic process was prevailing on the ripening, so originating anisotropic microstructures with some orientation of clay domains in thin sections of undisturbed samples.

The SEM analysis indicated that most of volcanic glass was completely weathered: only the less weathered sample of the core bottom (78-80 m) was classified as related to latite-trachyte rock.

Such a composition could be related with the Vico Pleistocene eruption, which is constituted by trachite-phonolitic lavas (PECCERILLO, 2005). Consequently, this sample could be correlated to the pyroclastic deposit of the Adriatic Sea collected from a core 170,000 years before the present date (CALANCI et al., 2008).

Taking into consideration the low contents of Na_2O and ClO , a correction (3 – 4 %) was made for the sum of alkaline oxides in order to classify the glass as a tephritic-phonolite and phonolite lavas which are assumed to be erupted by the Campania volcanism (PECCERILLO, 2005). Based on the composition of both pyroxene and plagioclase minerals and the paragenesis, 2 samples were attributed to the Latium volcanism.

It was also considered that the silt/clay ratio vs. the core depth, which demonstrated an inverse trend with the percentage of organic matter, could be assumed as a paleo-climatic index. Low values of the index could indicate more favourable conditions for pedogenesis unlike higher values which could indicate colder and perhaps more arid periods. In conclusion, all results likely indicate that the Piano Locce depression during Quaternary age was subjected to various sedimentary and pedogenetic phases which occurred on pyroclastic deposits coming from the Co-magmatic Roman Province, starting from the present age to more than 200,000 years ago.

Climatic variations in a high mountain environment are suggested by trends of both organic matter and silt/ clay ratio as well as micromorphological features, which in very few cases show periglacial aspects. Some scarcely developed hydromorphic soils only formed when the favourable climatic conditions occurred. A very limited colluvial and/ or eolian material from more developed soils of different climatic environments (red soils such as Xeralfs or Ustalfs) together with some occasional deposition of creeks from surrounding carbonate slopes contributed filling the Piano Locce and nearby karst valleys.

Parole chiave: Paesaggio Carsico, Provincia Comagmatica Romana, Micromorfologia del Suolo.

Keywords: Karst Landscape; Co-magmatic Roman Province; Soil Micromorphology.

1. INTRODUZIONE

Alcuni anni fa (MAGALDI et al., 2006), furono eseguiti nei depositi di riempimento di due depressioni carsiche della Catena del Gran Sasso d'Italia due sondaggi profondi, in località Piano Locce e Piano Lucchiano, in Comune di S. Stefano di Sessanio (L'Aquila), rispettivamente 80 e 50 metri (Fig.1).

Il Piano Locce ed il Piano Lucchiano sono depressioni tettono-carsiche che si aprono sul versante meridionale del Massiccio del Gran Sasso d'Italia. La loro origine è da ricondursi a fasi tettoniche, in regime distensivo e transtensivo, succedutesi a partire dal Pleistocene inferiore, che hanno reseccato una superficie a bassa energia di rilievo probabilmente pliocenica (Superficie di Anzano) secondo BERTINI et al., (1989), conferendo all'area una situazione strutturale del tipo *horst* e *graben*.

Il substrato è formato in prevalenza da unità carbonatiche mesozoiche, in facies di margine di piattaforma carbonatica e di transizione piattaforma-bacino (gradino ribassato, rampa carbonatica, scarpata), costituite essenzialmente da calcari bioclastici, calcareniti e calciruditi, in strati da medi a spessi, a luoghi con intercalazioni micritiche (APAT, 2006). A queste seguono, in discordanza angolare, calcareniti e calciruditi cenozoiche in facies di rampa – piattaforma aperta.

I depositi di riempimento delle depressioni sono costituiti da sedimenti di ambiente limno-palustre, con limitati apporti fluvio-torrentizi dai vicini e ripidi versanti; diffuse sono le coltri detritiche, a granulometria variabile, da grossolana (falde di detrito) a fine (coltri colluviali).

I risultati di una prima serie di indagini condotta sulle due sequenze è stata descritta in una nota preliminare divulgativa alla quale si rimanda (MAGALDI et al., 2006).

In questa sede basterà ricordare che le osservazioni di campagna e alcune analisi fisiche (granulometria e colore) e chimiche (% di sostanza organica sul setacciato a 2 mm e % di "ferro libero"), su una decina di campioni interpretati in campagna come tufiti pedogenizzate, sedimenti lacustri e/o sedimenti di suolo (Tab.1 e Tab.2), indicano che i due riempimenti sono

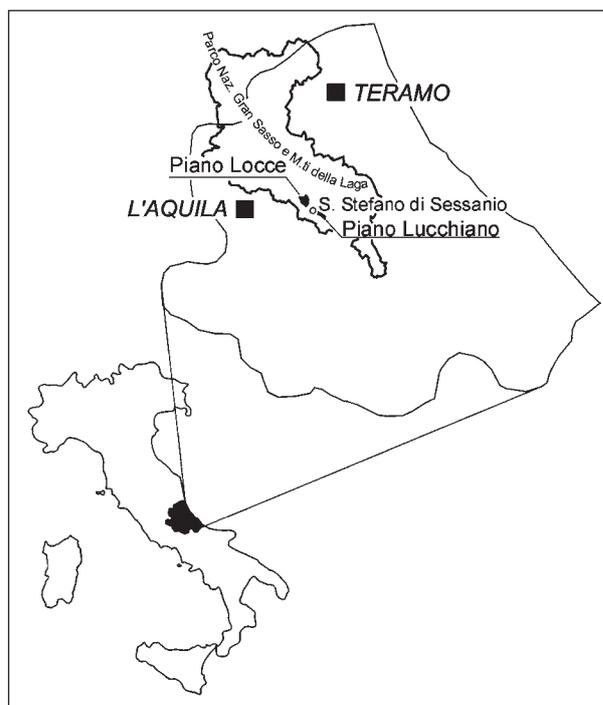


Fig. 1 - Localizzazione della zona dove è stato effettuato il sondaggio.

Location of study area where borehole was carried out.

costituiti da clasti di grandezza medio-fine, con caratteristiche a volte tipicamente lacustri, a volte tufitiche, queste ultime spesso intensamente pedogenizzate, e che esiste una relazione abbastanza evidente tra l'andamento del rapporto limo/argilla e il contenuto in sostanza organica (indicativo di processi pedogenetici avvenuti o in atto). Il rapporto Fe ossalato / Fe ditionito (che scaturisce dall'analisi del "ferro libero") è alto per quasi tutti i campioni, ad indicare che i processi pedogenetici sono stati poco evoluti.

La nota ricordata suggeriva che alla genesi dei due riempimenti, avvenuta prevalentemente in ambiente riducente palustre, vista la frequenza di vivianite auti-

Tab. 1 - Analisi tessiturali dei livelli campionati entro il riempimento della conca di Piano Locce.

Textural analysis of samples.

Profondità (m)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Tessitura
0,0	29,6	49,6	20,8	F
2,8	21,7	57,7	20,6	FL
3,1	16,2	55,5	28,3	FLA
4,5	59,4	34,1	6,5	FS
6,2	49,8	28,4	21,8	FSA
8,4	59,6	32,8	7,6	FS
9,0	27,0	68,3	4,7	FL
9,4	20,2	50,7	29,1	FLA
9,7	32,1	50,5	17,4	FL
10,9	54,2	41,8	4,0	FS
11,7	21,7	57,3	21,0	FL
13,0	27,9	55,0	17,1	FL
13,8	56,8	28,0	15,1	FS
14,0	26,4	33,6	40,0	FA
14,6	16,7	60,4	22,9	FL
16,0	23,3	53,6	23,1	FL
16,7	16,1	62,3	21,6	FL
18,4	8,1	85,2	6,7	L
21,4	41,3	45,3	13,4	F
22,0	45,1	37,8	17,1	F
23,0	26,5	50,1	23,5	FL
23,5	21,7	69,1	9,1	FL
24,0	11,8	68,7	19,5	FL
25,5	5,3	55,2	39,4	FLA
26,4	7,9	59,6	32,4	FLA
27,0	53,8	35,7	10,5	FS
27,4	14,5	58,7	26,8	FLA
28,6	8,9	41,1	50,1	AL
30,0	46,0	47,3	6,7	FS
30,6	23,5	69,3	7,1	FL
21,2	31,3	36,4	32,3	FA
31,8	59,8	29,4	10,8	FS
32,2	33,5	59,2	7,3	FL
33,0	34,5	57,9	7,6	FL
33,9	25,2	70,1	4,7	FL
35,1	57,8	31,5	10,7	FS
36,0	12,8	80,9	6,3	L
36,4	32,9	59,3	7,8	FL
37,3	29,4	62,9	7,7	FL
38,7	40,2	53,5	6,2	FL
40,0	18,1	59,9	22,0	FL
40,4	4,8	68,5	26,7	FLA
42,1	4,3	87,0	8,7	L
42,7	42,4	53,3	4,3	FL
43,3	50,8	47,3	1,9	FS
44,0	61,0	37,4	1,6	FS
44,5	69,0	29,6	1,5	FS
46,0	23,1	69,3	7,6	FL
46,5	54,0	43,8	2,2	FS
49,6	64,8	33,0	2,2	FS
52,2	63,4	32,7	3,9	FS
54,0	42,7	52,0	5,3	FL
56,8	16,5	76,7	6,8	FL
57,4	49,9	44,7	5,4	FS
58,0	25,1	56,4	18,5	FL
58,7	16,7	75,7	7,6	FL
60,3	12,5	52,4	35,1	FLA
61,0	23,6	47,1	29,3	FA
65,1	13,8	58,9	27,3	FL
65,2	17,4	67,1	15,5	FL
67,5	13,9	77,2	8,9	FL
71,0	23,7	70,4	5,8	FL
72,0	35,7	53,5	10,8	FL
73,0	31,7	57,0	11,3	FL
74,4	57,8	36,8	5,4	FS
75,3	36,8	55,6	7,6	FL
76,1	26,5	64,7	8,8	FL
78,0	14,2	75,8	10,0	FL
90,0	37,8	57,8	4,4	FL

Tab. 2 - Rapporto Fe ossalato/ Fe ditionito e contenuto in Fe libero in alcuni campioni con caratteristiche pedologiche visibili ad occhio.

Fe oss/ Fe dit ratio and free (extractable) iron content for some samples of Piano Locce and Piano Lucchiano, that by field observation, were assumed to be soils or soil sediments.

Piano Locce					
campione (m)	profondità (%)	Fe _{di} (%)	Fe _{os}	Fe _{os} /Fe _{di} (%)	Fe libero
PL10	12,0	0,11	2,91	26,5	3,02
PL11	13,0	0,11	2,30	20,9	2,41
PL13	14,0	0,18	2,88	16,0	3,06
PL14	14,6	0,17	0,62	3,6	0,79
PL15	16,0	0,11	1,61	14,6	1,72
PL19	21,4	0,17	0,98	5,8	1,15
PL47	30,0	0,17	0,63	3,7	0,80
PL48	31,0	0,16	0,78	4,9	0,94
PL78	60,3	0,19	0,65	3,4	0,84
Piano Lucchiano					
campione (m)	profondità (%)	Fe _{di} (%)	Fe _{os}	Fe _{os} /Fe _d (%)	Fe Libero
LU05	46,6	0,20	1,56	7,8	1,76
LU14	36,3	0,01	2,94	294,0	2,95
LU25	16,7	0,02	0,86	43,0	0,88
LU30	11,5	0,02	1,63	81,5	1,65
LU31	10,5	0,04	2,54	63,5	2,58
LU32	9,3	0,03	1,66	55,3	1,69
LU34	5,1	0,04	2,83	70,8	2,87
LU35	4,5	0,04	2,25	56,3	2,29

gena (fosfato di ferro idrato) avessero partecipato, sia materiali provenienti dall'erosione dei versanti, sia piroclastiti dai vulcani esterni all'area abruzzese e forse interni, a causa della comune presenza di sanidino e augite, a volte visibili anche ad occhio nudo. Per di più, dall'analisi degli andamenti della % di sostanza organica, risultava che i due riempimenti sono tra di loro confrontabili, pur essendo sfasati stratigraficamente di una decina di metri. Pertanto la nuova ricerca è stata focalizzata sul riempimento più potente di Piano Locce, litologicamente simile a quello di Piano Lucchiano, distante poco più di quattro chilometri in linea d'aria, sempre in Comune di S.Stefano di Sessanio.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO DI PIANO LOCCE

Il Piano Locce, situato a una quota compresa tra 1225 e 1240 m s.l.m., ha una forma grossolanamente pentagonale con diametro medio di circa 1,1 chilometri. Il settore centro-meridionale appare sostanzialmente pianeggiante, mentre il settore nord-orientale è occupato da un'ampia conoide di deiezione afferente ad un primitivo reticolo di valli, almeno in parte di origine fluviale, attualmente inattivo (Fig. 2). La depressione è endoreica; lo smaltimento delle acque superficiali è assicurato da un inghiottitoio ubicato lungo il margine occidentale, in corrispondenza di una faglia distensiva che ha come espressione una ben evidente scarpata morfologica. La depressione è attualmente occupata da un laghetto, probabile residuo di una forma a maggior sviluppo nel passato, modificata successivamente dagli interventi antropici degli ultimi secoli. L'attuale

copertura pedologica consiste in un suolo franco sabbioso argilloso, di colore umido bruno molto scuro (10 YR2/2) che sostiene una vegetazione prativa spontanea, a luoghi coperto da ciottoli calcarei di diametro compreso tra 2 e 10 cm, passante dopo circa 2-3 m di profondità ad un livello ghiaioso di origine alluvionale, con matrici di colore umido bruno giallastro scuro (10 YR3/4). Questo suolo a profilo A/C si è formato prevalentemente su materiali colluviali provenienti dai versanti circostanti, contiene pochi minerali vulcanici (sanidino, clino-pirosseno verde leggermente pleocroico e apatite) non arrotondati, ed è classificabile come Hydraquent, a causa delle sue condizioni *aquic* (risultanti principalmente dal colore umido) per la maggior parte degli anni (USDA SOIL SURVEY STAFF, 1999).

3. CARATTERISTICHE GENERALI DEL RIEMPIMENTO DI PIANO LOCCE E METODI D'INDAGINE

Come è già stato detto, il riempimento è costituito da una alternanza di materiali finemente stratificati propri d'ambiente lacustre e di piroclastiti a granulometria (sul setacciato a 2 mm) variabile tra media e fine. Alcuni livelli più superficiali sono formati da clasti calcarei grossolani poco smussati e appiattiti, mentre altri sono stati classificati in campagna come suoli e sedimenti di suolo con caratteri di idromorfia.

Sulla base del colore Munsell opportunamente codificato (vedi didascalia Fig. 3) sono stati distinti in via preliminare due gruppi di sedimenti, il primo tra 0 e 30 m, il secondo da 30 fino alla massima profondità raggiunta (80 m). Ad eccezione dei livelli situati rispettivamente a 4,5 e 9 m di profondità, la parte superiore è rappresentata da materiali misti d'ambiente generalmente ossidante (colori umidi principalmente con *hue* compreso tra 10YR e 2.5Y, codificati con i numeri 10 e 20) mentre quella inferiore da mate-

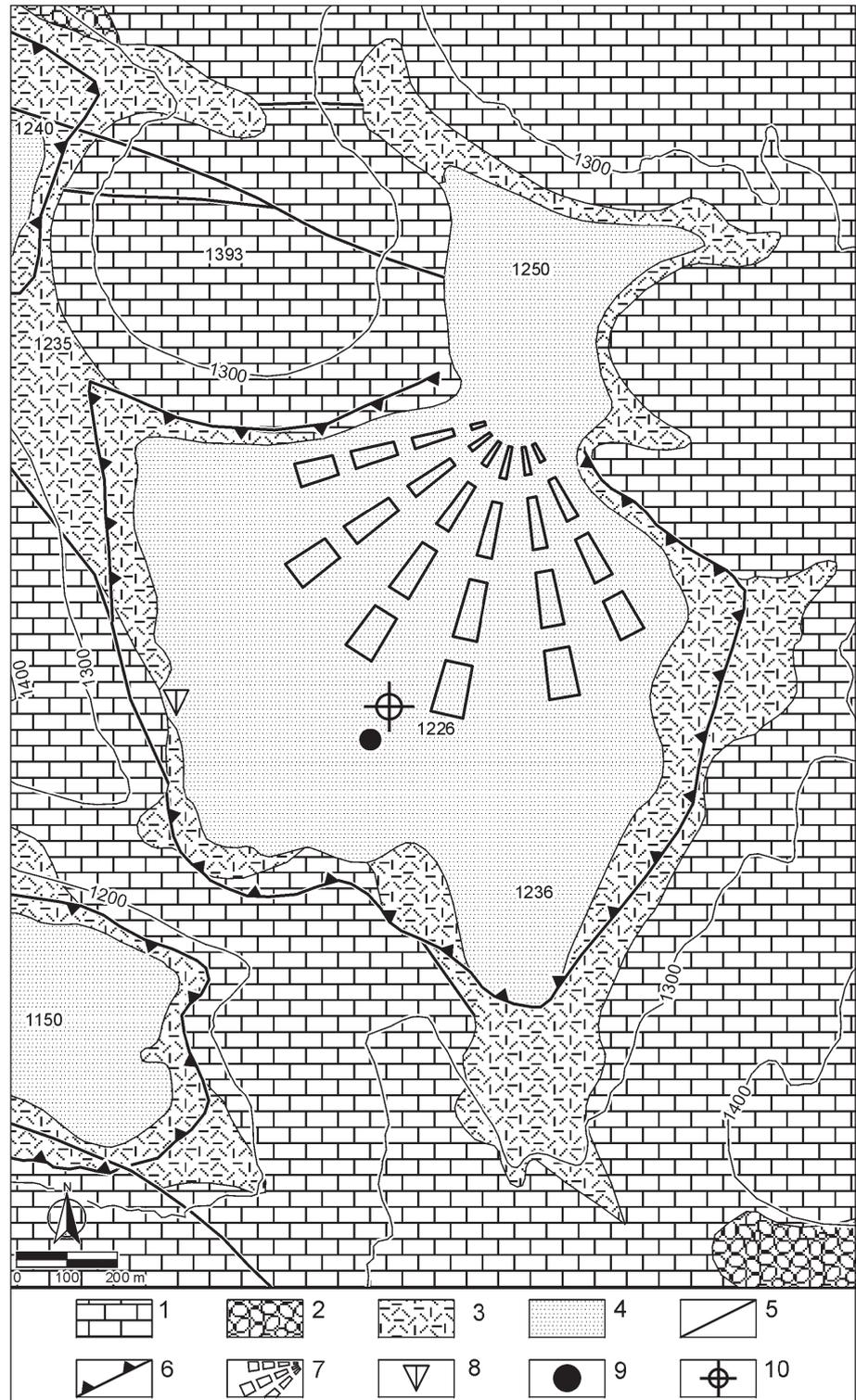


Fig. 2 - Schema geologico-morfologico del Piano Locce in Provincia di L'Aquila. 1 - unità calcaree mesozoiche, 2 - breccie calcaree in matrice rossastra (Formazione di Fonte Vedice Auct., Sintema di Aielli-Pescina), 3 - detriti di falda, coltri colluviali (Sintema di Valle Majelama), 4 - sedimenti fluvio-lacustri, 5 - scarpata di faglia, 6 - orlo di polje, 7 - conoide di deiezione inattiva, 8 - inghiottitoio, 9 - stagno (parzialmente modificato per azione antropica), 10 - ubicazione sondaggio.

Geological and geomorphologic draft of the Piano Locce area (L'Aquila Province). 1 - Mesozoic calcareous Units, 2 - Calcareous breccia with red matrix (Formazione di Fonte Vedice Auct., Sintema di Aielli-Pescina), 3 - Scree slope and colluvial deposit (Sintema di Valle Majelama), 4 - River-palustrine sediments, 5 - Fault scarp, 6 - Polje edge, 7 - Inactive alluvial fan, 8 - Swallow hole, 9 - Marsh partly modified by human action, 10 - Borehole location.

riali depositati in ambienti quasi esclusivamente riducenti (colori con *hue* compreso tra 2.5 Y e 5Y, codificati con i numeri 20 e 40). Nel primo gruppo il rapporto limo/argilla tende ad essere mediamente più basso che nel secondo, mentre il contrario accade per la sostanza organica che tende a diminuire con la profondità. Per il resto, i due gruppi sono pressoché simili. E' stato quindi necessario sottoporre i campioni ad una serie di analisi più specialistiche e dettagliate, quali l'analisi micromorfologica in sezione sottile (BULLOCK *et al.*, 1985; Stoops, 2003) e quella chimica totale tramite XRF presso la Facoltà di Ingegneria della Università di L'Aquila. La prima consiste nell'osservazione al microscopio ottico a luce polarizzata di sezioni sottili petrografiche, ottenute da campioni indisturbati di sedimento opportunamente indurito con resine sintetiche, mentre la seconda utilizza "pasticche" di sedimento compresso e quindi analizzato con uno spettrometro ad emissione di raggi X, mod. SPECTROXEPOS. Sui livelli più ricchi in vetro e minerali vulcanici sono state eseguite microanalisi tramite spettrometria SEM-EDS presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa.

4. RISULTATI DELLE ANALISI MICROMORFOLOGICHE E CHIMICHE

4.1. Analisi micromorfologiche

Lo studio al microscopio polarizzatore è stato eseguito sulla base di considerazioni derivanti dalla petrografia sedimentaria applicata (BERTRAND, 1969; SELBY, 1993; TICKEL, 1965) e di micromorfologia del suolo e del regolite (BREWER, 1964; BULLOCK *et al.*, 1985; STOOPS, 2003). Sono state perciò descritte, per ciascun campione e nell'ordine, le seguenti caratteristiche:

- tipologia della microstruttura (STOOPS, 2003);
- relazioni tra matrice (pasta di fondo, cemento) e costituenti grossolani > di 20 microns;
- natura dei costituenti minerali e organici (*coarse mineral grains and rock fragments; organic components; elements figurés*), distinti in clastici e di neoformazione *in situ*;

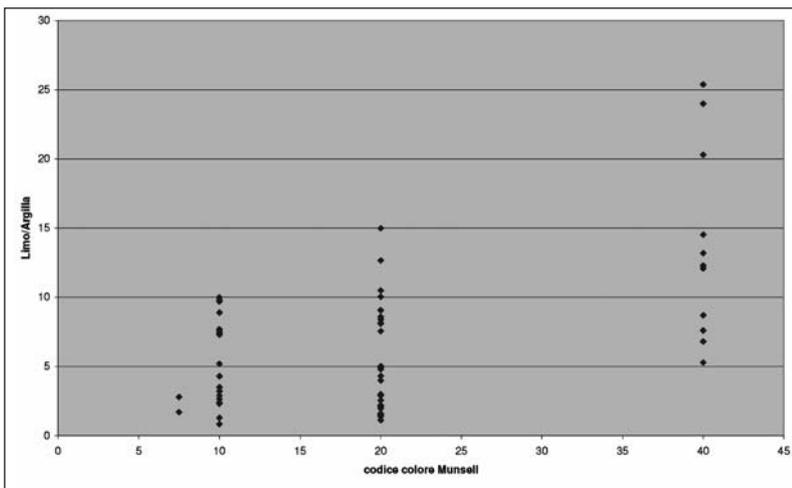


Fig. 3 - Relazioni tra il Colore Munsell e il rapporto limo/argilla dei vari campioni. Il Colore è codificato secondo lo schema seguente: 7.5YR=7,5; 10YR=10; 2.5Y=20; 5Y=40.

Munsell Soil Color vs. Silt/ Clay ratio for all samples. The colour code is the following: 7.5YR=7,5; 10YR=10; 2.5Y=20; 5Y=40.

- figure (*features*) di origine pedogenetica, sia formate *in situ* che trasportate dall'esterno;
- tipologia della matrice (*fine groundmass type and fabric*).

Tutti i campioni sono risultati "fango sostenuti" (*matrix supported*) o *porfiroscellic* secondo la dizione micromorfologica e pertanto questo carattere non è stato preso in considerazione al fine della loro differenziazione. Al contrario si sono notate evidenze di alcune microstrutture presumibilmente di origine pedogenetica, in diversi campioni, la maggior parte dei quali, tuttavia, è caratterizzata da una microstruttura massiva (*matrix microstructure*, secondo GRABOWSKA-OLSZEWSKA *et al.*, 1984, in SELBY, 1993) o più di rado, finemente laminata, di origine prettamente sedimentaria. La pasta di fondo è quasi esclusivamente costituita da vetro vulcanico variamente alterato, spesso con formazione di idrossidi di ferro e minerali argillosi sia amorfi che cristallini. Il campione che ne contiene di più (oltre il 90%) è **PL 82** a 67-68 m di profondità, dove il vetro appare quasi completamente isotropo.

Si possono distinguere al microscopio due tipi di vetro: uno marrone-giallastro con bolle e indice di rifrazione superiore alla resina del vetrino (1,54) e un altro grigio e grigio scuro con indice inferiore alla resina e, a volte, con inclusi microliti di feldspato.

I costituenti grossolani (*coarse*) sono stati distinti in due gruppi: gli inorganici (rocce e minerali) e gli organici. Quest'ultimi, abbastanza rari, sono riconoscibili come frammenti carbonizzati, frustoli legnosi e residui vegetali non identificati. Tra i litorelitti prevalgono i frammenti di vulcaniti, sia basiche che acide e, molto subordinatamente, le selci e le arenarie quarzitiche.

I costituenti minerali grossolani sono stati a loro volta distinti sulla base della presunta provenienza: vi sono infatti minerali quali muscovite, epidoto, clinozoisite, clorite, calcite, quarzo, tormalina, cloritoide, zircone, granato (incolore), anatasio e glauconite, che derivano probabilmente dal residuo insolubile dei litotipi calcarei e dolomitici della zona e/o da suoli e sedimenti vari formati a carico delle formazioni flyschoidi situate

nel versante Adriatico (ad esempio, Arenaria della Laga). Questi costituenti sono in quantità nettamente trascurabile rispetto al gruppo di minerali di chiara provenienza vulcanoclastica: sanidino, biotite, clinopirosseni, plagioclasti, anortoclasio, e più raramente, magnetite, granato (giallo-scuro), orneblenda bruna, palagonite, titanite, leucite ed haüyna, quasi tutti abbastanza freschi ma, a volte, con orlo di riasorbimento magmatico. Vi sono due tipi principali di clinopirosseno: il primo è incolore, biassico positivo, con $c: \gamma = 35^\circ-40^\circ$, il secondo, sempre biassico positivo, è leggermente verde e pleocroico con $c: \gamma = 40^\circ-45^\circ$. In prima approssimazione si ritiene che il primo possa essere un termine diopsidico, mentre il secondo un termine augitico, forse titanifero. L'anortoclasio è stato riconosciuto solo in alcuni campioni sulla base della caratteristica geminazione a tratteggio incrociato (*cross-hatch*) e dal 2V nettamente superiore a quello del sani-

dino, minerale presente e frequente in tutti i campioni. Rari i feldspatoidi (leucite) e sempre molto alterati.

Minerali di neoformazione (pedogenetica e/o diagenetica) nel sedimento sono la vivianite (fosfato di Fe idrato), la siderite (carbonato di Fe) e la calcite spatica. Molto rara, e riconosciuta solo in due campioni, la gibbsite (idrossido di Al).

La vivianite, tipica di sedimenti e suoli di ambienti riducenti, si presenta sotto forma di aggregati nodulari e raggiati anche millimetrici e centimetrici, con il tipico colore bianco che diviene poi celeste chiaro per ossidazione, ben visibile anche ad occhio nudo. Secondo RETALLACK (2001) potrebbe formarsi anche per sostituzione del carapace degli artropodi. WEST (1968) elenca la vivianite fra i minerali riscontrati nei depositi pleistocenici. Altri (www.mindat.org) affermano che la vivianite sostituisce materiali organici, torba, ferro delle paludi ecc. o quanto meno è strettamente associata con questi materiali nei depositi alluvionali recenti.

La siderite si presenta in varie forme. Compagno, infatti, i festoni e le forme nodulari a raggiera (sferosiderite) che sono generalmente associate alla vivianite, indicando così ambienti di formazione moderatamente riducenti.

La gibbsite è stata riscontrata come alone intorno a un granulo di clorite e la sua presenza potrebbe essere legata alla trasformazione di materiali allofanici derivati dalla alterazione del vetro vulcanico (BUOL et al., 1980; BULLOCK et al., 1985).

Numerose come tipologia sono le figure (*features*) di origine pedogenetica, per la maggior parte provenienti per erosione dai suoli circostanti l'ambiente di sedimentazione del deposito, e solo in parte più limitata, derivanti da processi pedogenetici agenti sul deposito in condizioni di idromorfia, presumibilmente tipo "surface water gley" (DRIESSEN & DUDAL, 1991).

Qui di seguito sono descritte le varie figure.

Noduli. Sono costituiti per la maggior parte da singoli individui rotondeggianti e da aggregati a forma irregolare, di idrossidi di ferro/manganese, sia formati *in situ* (*orthic nodules*) sia trasportati dall'esterno (*anorthic nodules*). Abbondanti sono anche gli aggregati di materiale pedogenizzato (*matrix anorthic nodules*) che testimoniano la provenienza da suoli presenti probabilmente sui fianchi del bacino.

Secondo la classificazione micromorfologica più recente sarebbero comprese tra i noduli anche le *papule* (BREWER, 1964), più modernamente classificate come *clay nodules*. Sono frammenti di argilla finemente cristallina iso-orientata che testimoniano la presenza di suoli ad orizzonte illuviale, probabilmente le "terre rosse" da calcare, osservabili ancora nella conca aquilana (MAGALDI & TALLINI, 2000). Nella descrizione delle sezioni si è tuttavia preferito separarle dagli altri noduli in considerazione del loro importante significato genetico.

Infilling. Traducibili in italiano come "riempimenti", sono cavità riempite da materiale pedogenetico vario, per cause prevalentemente biologiche. In questo deposito sono stati classificati come tali alcuni corpi a contorno netto, costituiti da accumulo regolare di argille iso-orientate entro cavità rotondeggianti.

Clay Coatings. In tre campioni (PL20, PL21, PL46) sono stati riconosciuti rivestimenti di argilla di colore (a Nicols //) giallo-bruno, a volte a tessitura limoso-fine, che si sono sicuramente formati *in situ*, in seguito a

processi pedogenetici di mobilitazione e trasloco di argilla di neogenesi o ereditata, tipici degli Alfisols e degli Ultisols (SOIL TAXONOMY, USDA, 1999).

Fabric of Micromass. In accordo con Stoops (2003), la *fabric* della micro-massa del suolo o *b-fabric* (parte fine della *groundmass* che costituisce il materiale di base del suolo ad esclusione delle figure pedologiche) riflette i processi pedogenetici attuali e del passato che hanno agito sul suolo e, per di più, le caratteristiche litologiche e di alterazione del *parent material*. La maggior parte si presenta con una *undifferentiated fabric* (indifferenziata) e *unistrial* (laminare), tipologie che testimoniano condizioni tipicamente sedimentarie piuttosto che pedogenetiche.

Al contrario i depositi che sono stati soggetti a condizioni ossidanti, anche temporanee e periodiche, si presentano spesso con domini argillosi orientati e anisotropi, in genere disposti lungo le pareti delle fessure e intorno ai granuli, a causa della contrazione e del rigonfiamento dei materiali argillosi (*stress cutans*, secondo BREWER, 1964) che originano una *striated fabric*. Sono state riconosciute le seguenti cinque *b-fabric*:

Undifferentiated – Potrebbe corrispondere in sedimentologia alla struttura massiva e isotropa.

Crystallitic – Caratterizzata dalla precipitazione tra i granuli più grossolani di un cemento, in questo caso calcitico, dovuto probabilmente a momenti di maggiore aridità del clima.

Speckled - Domini argillosi anisotropi piccoli e orientati casualmente: in questo caso rappresenta un inizio di argillificazione del deposito.

Striated – Domini argillosi anisotropi in strisce o zone allungate, costituiti da argille orientate: in questo caso si tratta di un orientamento dovuto a contrazione e rigonfiamento periodico delle argille.

Strial – E' costituita da una (*unistrial*) o due (*bistrial*) orientazioni delle argille secondo micro-lamine tra loro parallele, generalmente di origine sedimentaria.

I risultati delle indagini sulle sezioni sottili sono espressi nella Tab. 3 insieme ai valori della sostanza organica e del rapporto limo/argilla. Le caratteristiche micromorfologiche sono codificate secondo quanto si evince dalla legenda della Tab. 4, mentre le numerose foto ottenute con macchina fotografica Canon Power Shot S50 digitale montata su microscopio polarizzatore Nikon Optiphot2-Pol con oculare 10 x e obiettivi di 4, 10 e 20 x, sono presentate a colori, secondo un raggruppamento ragionato, nell'allegato CD e organizzate come segue:

- *Composizione mineralogica e litologica originaria delle piroclastiti: frammenti di rocce sedimentarie e vulcaniche, minerali vulcanici e sedimentari: dalla Foto 8 alla Foto 16*
- *Figure pedogenetiche formatesi in situ o di apporto esterno: dalla Foto 17 alla Foto 34*
- *Minerali di neoformazione (pedogenetici e/o diagenetici): : dalla Foto 35 alla Foto 49*
- *Residui vegetali: dalla Foto 50 alla Foto 55*
- *Microstrutture sedimentarie, periglaciali e resti fossilizzati: dalla Foto 56 alla Foto 61.*

Dall'esame comparato delle caratteristiche riscontrate nei vari livelli attraversati dal sondaggio emergono alcuni fatti, oltre la già ricordata relazione inversa tra contenuto in sostanza organica e il rapporto limo/argil-

Tab. 3 - Risultati dell'analisi micromorfologica in sezione sottile di 59 campioni rappresentativi del riempimento.

Qualitative micromorphological analysis of thin sections of 59 undisturbed samples.

	Deepness in m	Color codex	Silt/ Clay	% Organic matter	Clastic Min. & Sed. Rocks	Volcan.Min. & Rocks	Neof orm. Minerals	Pedofeatures	Micromass	Environment (Ambiente di formazione)
PL 00	0	10	2,4	32	Q,E,	H,D,B		No,Pa,	Un,Uns	Gruppo gamma
PL 01	2,80	7,5	2,8	12	C,S,Q	B,H		Nfe,Nca,Nar	Msp	Gruppo gamma
PL 02	3,10	20	2,0	13	S	H,D,		No,Pa, Nca	Mos	Gruppo beta
PL 03	4,50	40	5,3	6	C,S,L	N,H,P,B,F	Ca	Nca,Nfe,Inf	Uns,Cry	Gruppo alfa
PL 04	6,20	10	1,3	8	S,R,	V, H,P,	Vi	Pa,	Pas	Gruppo gamma
PL 05	8,40	10	4,3	4	C,L	V,D,H,B,P	Vi,Si,Le,Gi	Pa,Nar,No	Msp	Gruppo gamma
PL 06	9,00	40	14,5	11	L	V,B,D,H,P,		Nar	Un	Gruppo alfa
PL 07	9,40	7,5	1,7	13	C,L,Q	D,H,Y,B,F,	Vi,Si	Nfe,Pa,	Msp	Gruppo gamma
PL 08	9,70	20	2,9	10	S,Q,E, C,B	V,D,H,P,N		No, Nca	Mos	Gruppo beta
PL 09	10,90	20	10,5	4	C,	V,H,D,N,		Nar,Pa,No	Un	Gruppo beta
PL11	13,00	10	3,2	5		V,P,D,N,H		No,Inf,	Mos	Gruppo gamma
PL13	14,00	10	0,8	10	S,	V,F,H,N,B	Vi	Nfe,Pa,Inf	Mos,Gr	Gruppo gamma
PL14	14,60	10	2,6	12	S,C,Q,R	H,V,D,		No	Uns,Gs	Gruppo gamma
PL15	16,00	10	2,3	24	S,M	G,B,H,D,T	Si,Vi, Gi	No	Uns,Gs	Gruppo gamma
PL16	16,70	10	2,9	16	C,L	D,H,B,	Vi,Si	Nar,Pa	Cro	Gruppo gamma
PL17	18,40	20	12,7	7	S,M,E	V,D,H,B,	Vi,Si,	No,Pa,Nfe,Nar	Un	Gruppo beta
PL18	18,40	10	12,7	17	S	V,H,D,B	Vi, Si,	No,Nar	Uns	Gruppo gamma
PL19	21,40	10	7,7	21	C,R	D,H,O,B	Vi	Ccu, Nar,Nfe	Mos,Msp	Gruppo gamma
PL20	22,00	20	2,2	26	M	D,H,T,	Vi,Si,	Nfe,Nor, Scu	Mos	Gruppo beta
PL40	23,00	10	7,6	16	S,M,L	V,D,B,H	Vi,	Pa, Nca,Nfe	Un	Gruppo gamma
PL41	23,50	10	3,5	18	S	G,D,B,J,F,Y,A	Collofane ?	Nfe,	Un	Gruppo gamma
PL42	24,00	20	1,4	17	S,M,	D	Si		Un	Gruppo beta
PL43	25,30	20	3,0	14	V,S,Q,W	G,D,H,B,F,P	Si	Nar,Nfe,Pa	Un	Gruppo beta
PL21	25,70	20	3,0	13	S,L	G,H,D,K,B	Vi	Nar,Ccu	Mos	Gruppo beta
PL 46	29,0	20	4,0	12	S,R,O,	D,P,O,B,T,H,A	Vi	Nar,Ccu,No,Inf,Pa	Cro	Gruppo beta
PL47	30,00	10	5,2	11	W	G, P,H,B,W,F		Nfe	Un	Gruppo gamma
PL 48	31,00	10	9,7	10	S	D,H,B,G		Nar,No,Nfe	Ss	Gruppo gamma
PL49	30,60	20	1,1	10	S	V,D,H,F,P,B,O,G	Si	Nar,No	Ss	Gruppo beta
PL51	31,80	20	8,1	7	S,R	P,D,N,B,T		No,Nar,Pa	Un	Gruppo beta
PL52	32,20	40	7,6	8	S,E,M,Z	V,D,N,H,P,T,	Ca,	Nfe,Pa,No,Scu	Un	Gruppo alfa
PL54	32,95	20	15	9	A,R	D,B,H,G,V		Nfe,Pa,Nar	Un	Gruppo beta
PL55	33,90	20	3	7	S	D,B,H,P,F,G,V		Nfe,Pa,Nar	Un	Gruppo beta
PL57	36,00	20	7,6	7	Z,O	V,H,P,N,D,F,B	Si	Nfe	Un	Gruppo beta
PL58	36,40	20	8,1	9		V,D,B,P,H,F		Nfe,Pa	Ss	Gruppo beta
PL59	37,30	20	8,6	24	S	D,B,H,F,G,V	Si,Go	Nar,Pa,Nor?,Nfe	Ss,Un	Gruppo beta
PL60	38,70	20	8,6	12	S	D,H,B,G		Nfe, Fe-mottles	Bs,Gs,Pas	Gruppo beta
PL62	40,00	20	2,6	4	M	B,P,D		Pa,Nfe	Mos	Gruppo beta
PL63	40,40	20	10,1	4	S,L,M,	V,D,	Ca	Nfe	Cry,Un	Gruppo beta
PL64	42,10	40	12,3	6	O	V,N,H,D,X,B,P		Nca,Nfe,Pa	Un	Gruppo alfa
PL65	42,70	40	25,4	8		D,H,B	Ca?	Pa,Nca	Cry,Un	Gruppo alfa
PL66	43,30	40	24	8	S,L,Z	J,P,N,H,W,B,	Ca	Nca, Pa	Un-Cry	Gruppo alfa
PL67	44,00	40	20,3	8		D,H,V	Ca	Nca	Cry	Gruppo alfa
PL68	44,50	20	9,1	7	C,S,Q,M,L,E	V,D,B,H,N	Ca	Pa,Nar,Nfe	Un	Gruppo beta
PL71	49,60	20	8,4	15	S,R,Q	D,H,B		Pa,Nfe,Nar	Ss	Gruppo beta
PL72	52,15	10	8,9	15	S	V,G,D,H,B,S,F,T,W	Si	Nar,Pa,Nfe	Un	Gruppo gamma
PL74	56,80	10	9,8	10	S,L,E,M	V,K,H,D,F,B,P,	Si,	Nfe,	Un (Fe)	Gruppo gamma
PL76	58,00	10	10	10	C	D,H,G			Un	Gruppo gamma
PL77	58,70	20	1,5	12	E	V,H,P,D			Un	Gruppo beta
PL78	60,30	20	1,6	15	S,R,Q,U	D,B,	Vi	Pa,No,Inf	Uns,Gs	Gruppo beta
PL79	61,00	20	2,1	14	M,E,L,R	B,P,D,H,K,	Vi,Si	Nar,Inf,Nfe,Pa,Scu	Uns-Pas	Gruppo beta
PL80	65,10	20	4,3	13	S,E,M,Q,	V,H,D,F	Si	Nfe, Pa	Un	Gruppo beta
PL81	65,20	40	8,7	8	S,E,M,Q,	V, H,D,		Nfe,Nor,	Un	Gruppo alfa
PL82	67,50	40	12,1	4	L	V=90%,B,D,H		Nfe,Nar	Un	Gruppo alfa
PL84	71,00	20	5,0	7	Q,S,R	V,H,D,P	Vi	Inf,Nfe,Nor	Un	Gruppo beta
PL85	72,00	20	5,0	7	Q	P,D,H,		Inf,Nfe,Nor	Un	Gruppo beta
PL86	73,00	40	6,8	8	L,S	X,H,D,B,N,F,		Nar,Pa	Un	Gruppo alfa
PL88	75,30	10	7,3	7	S,L	V,G,S,H,X,B,		Nfe,Pa,Nar,Inf,	Msp	Gruppo gamma
PL89	76,10	40	7,6	5	A,Q	V,D,P,N,H,B,T,X,I		Nfe	Un-Cry	Gruppo alfa
PL90	78,00-80,00	40	13,2	4		V,D,P,N,H,B,X		Nfe	Un-Cry	Gruppo alfa

Tab.4 - Codici utilizzati per le descrizioni micromorfologiche riferite nella Tab.3.
 Meaning of codes used for micromorphological description.

CODIFICAZIONE DEI CARATTERI MICROMORFOLOGICI			
Minerali clastici e rocce sedimentarie: <i>clastic minerals and sedimentary rocks</i>		Minerali di neoformazione: <i>neoformed minerals</i>	
A	OTHERS	Ca	CARBONATE
C	CARBONATE	Gi	GIBBSITE
E	EPIDOTE	Le	LEPIDOCROCITE
I	CHLORITOIDE	Si	SIDERITE
L	CHLORITE	Vi	VIVIANITE
M	MUSCOVITE		
O	GARNET		
		Figure pedologiche: <i>micromorphologic features</i>	
Q	QUARTZ	Ccu	CLAY-CUTANS
R	SANDSTONE	Inf	INFILLING
S	CHERT	Nar	SOIL-RELICTS
U	TOURMALINE	Nca	Ca-NODULES
W	CLINOZOISITE	Nfe	Fe-NODULES
Z	ZIRCON	Nor	Org-AGGREGATES
		Pa	PAPULES
		Scu	STRESS-CUTANS
Minerali e rocce vulcanici: <i>volcanic minerals and rocks</i>		Fabric microstrutturale: <i>ground-mass fabric</i>	
A	OTHERS		
B	BIOTITE	Bs	BISTRIAL
D	SANIDINE	Cro	CROSS-STRIATED
F	MAGNETITE	Cry	CRYSTALLITIC
G	MAGM.ROCK	Gs	GRANO-STRIATED
H	CLINO-PYROXENE	Mos	MONO-STRIATED
J	FELDSPATHOIDS	Msp	MOSAIC SPECKLED
K	APATITE	Pos	PARALLEL STRIATED
N	ANORTOCLASE	Pas	PORO-STRIATED
O	GARNET	Ss	STIPPLE SPECKLED
P	PLAGIOCLASE	Un	UNDIFFERENTIATED
T	TITANITE	Uns	UNISTRIAL
V	GLASS		
X	HORNBLLENDE		
Y	SPINEL		
			rating
			1
			5
			2
			4
			4
			3
			5
			4
			2
			0
			1

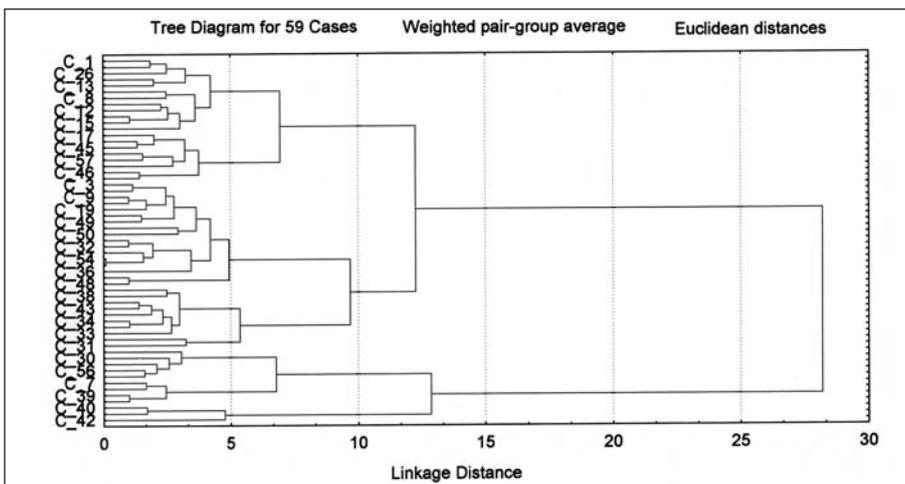


Fig. 4 - Raggruppamenti (cluster) ottenuti attraverso l'analisi discriminante (codice STATISTICA) considerando come variabili le caratteristiche micromorfologiche. Si evidenziano chiaramente a livello 7-12 tre gruppi principali di campioni.

Clusters derived from discriminating analysis (STATISTICA software) using some micromorphological features. There are at 7-12 level 3 main samples groups.

la. Si nota (Fig. 3) che questo rapporto tende a crescere con la crescita del valore convenzionale (v. didascalia della Fig. 3) del codice Munsell (da un hue "rossastro" ad un hue più grigio-azzurro) assumendo tuttavia valori più dispersi, con la progressiva scomparsa dei colori "ossidati" e la crescita di quelli "ridotti", suggerendo così la maggior frequenza del limo lacustre nei depositi di ambiente sedimentario, e una minor frequenza rispetto all'argilla in quelli presumibilmente pedogenizzati. Insieme al rapporto limo/argilla e applicando l'analisi statistica multivariata (codice STATISTICA) alle figure pedologiche e al colore secondo i Codici convenzionali riferiti nella Fig 3., si ottiene la distribuzione dei (59) campioni in 3 cluster (α , β , γ) espressa nella Fig. 4, a livello di distanza euclidea da 7 a 12. Questi gruppi sono distinti a livello più alto dal colore Munsell e, immediatamente dopo, dal rapporto limo/argilla. Analizzando in dettaglio i tre gruppi sulla base delle restanti caratteristiche e della composizione mineralogica, si ottengono le informazioni che seguono.

Gruppo α . Caratterizzato dal colore 5Y (codice 40), dall'assenza di *b-fabric* tipicamente pedogenetiche, da valori di sostanza organica mediamente eguali al 7%, dalla neoformazione abbastanza diffusa di $CaCO_3$ sotto forma di noduli, di cristalli intercalari e di matrice carbonatica (*crystallitic groundmass*), rappresenta probabilmente un ambiente palustre a granulometria sensibilmente limosa, in condizioni di pH neutro o subalcalino che in qualche caso andava anche soggetto a momenti di disseccamento e/o di aridità tali da favorire la precipitazione del carbonato. L'analisi pollinica (presenza di conifere quali, *Abies*, *Picea*, *Pinus mugus* ecc.) di un campione prelevato a 67-68 m indica un clima più freddo di quello attuale. Il gruppo tende a prevalere oltre i 30 m di profondità.

Gruppo β . Questo gruppo eterogeneo, caratterizzato dal colore 2.5Y (codice 20), è costituito sia da sedimenti sia da suoli,

tutti formati in condizioni comunemente riducenti, testimoniate dalla frequenza della vivianite e della siderite, minerali che compaiono soli o associati. Sono sempre ricchi di sostanza organica (in media 11%) e evidenziano apporti, oltre che da piroclastiti, anche da suoli relativamente più evoluti ("terre rosse" ?) delle immediate vicinanze. Nei campioni PL 21 (25,70 m) e PL 46 (29 m) si osservano invece resti di pellicole di argilla illuviata (*clay coatings*) che testimoniano la formazione in situ di suoli maggiormente evoluti (Aqualfs oppure Boralfs?), associati a micro-strutture presumibilmente crioturbate (*involution*) (vedi CD) che suggerirebbero un clima sensibilmente più freddo dell'attuale. L'interpretazione di queste figure è basata sulla stretta somiglianza che queste presentano con quelle macroscopiche osservabili nei suoli di ambiente periglaciale come i Cryorthents e diverse da quelle ricordate per sistimi in depositi pliocenici lacustri da Brustur & Jipa (2007). Anche l'analisi pollinica, sfortunatamente ancora in corso, ha evidenziato nella successione del riempimento momenti più freddi a 3 m e a 44-45 m di profondità.

Gruppo γ . Caratterizzato da colori più giallo-rosastri, sia della matrice, sia delle screziature (rispettivamente 10YR e 7.5YR, codice 10), da contenuti molto alti (media 13 %) in sostanza organica, ma non uniformemente distribuiti nella sequenza, da *b-fabric* anisotropiche comunemente attribuite alla pedogenesi, ma in condizioni prevalentemente riducenti, come dimostrato dalla presenza di vivianite e siderite. Si tratta presumibilmente di suoli idromorfi torbosi poco evoluti (come rivelato dal rapporto Fe-ossalato/Fe-ditionito su alcuni campioni presi a caso, Tab. 2).

La colonna stratigrafica, ipotizzata sulla base delle precedenti considerazioni, è mostrata in Fig. 5.

Le analisi petrografiche e micromorfologiche confermano gran parte delle osservazioni fatte in campagna all'atto del sondaggio e mettono in evidenza che il riempimento della valle carsica è costituito sia da sedimenti ricchi di materiali vulcanici in un ambiente prevalentemente palustre-lacustre riducente (abbondanza di sostanza organica e probabile neof ormazione di vivianite e siderite) entro il quale si depositavano anche sedimenti di suoli relativamente più evoluti e forse materiali eolici dalla regione Adriatica (Arenarie della Laga, e forse addirittura dal Nord Africa secondo quanto ipotizzato da YAALON, 1987), sia da veri e propri suoli tipicamente idromorfi, a diverso grado di evoluzione, di cui si conservano indiscutibili tracce. Sulla base delle precedenti osservazioni è possibile ricostruire, sia pure approssimativamente, le condizioni ambientali dei 3 gruppi.

Il **Gruppo α** rappresenterebbe condizioni prevalentemente sedimentarie, il **Gruppo γ** suoli identificabili forse con gli Udifluvents della classificazione USDA sulla base della distribuzione e dell'abbondanza della sostanza organica, delle figure di idromorfia, di una certa laminazione e della scarsa evoluzione testimoniata dal colore e dalla tipologia della *fabric*. In alcuni casi potrebbero essere anche Aquic Udifluvents e Vitrandic Udifluvents, questi ultimi caratterizzati dall'abbondanza di materiali vetrosi), mentre il **Gruppo β** , rappresenterebbe sia sedimenti palustri che suoli decisamente idromorfi, quali gli Hydraquents sulla base delle condizioni riducenti quasi permanenti, con alcune eccezioni già

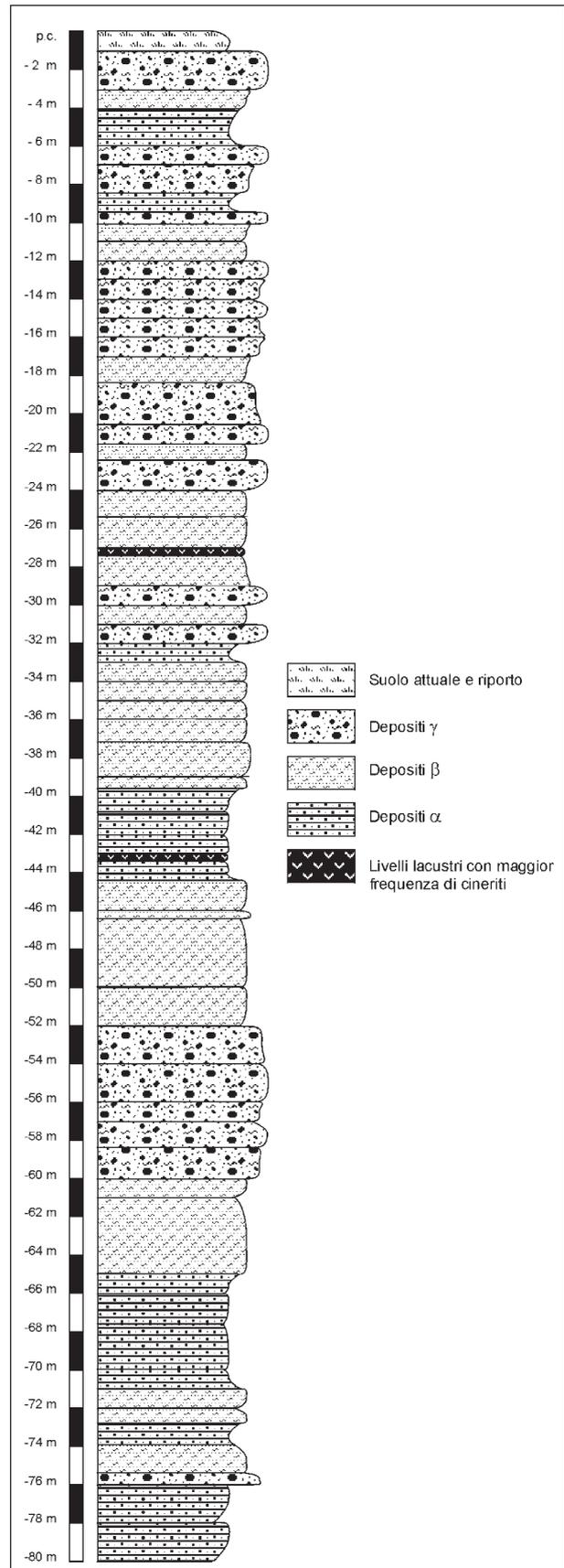


Fig. 5 - Stratigrafia semplificata del deposito di riempimento della conca.

Simplified stratigraphy of deposit.

ricordate (Alfisuoli idromorfi ?). In tutti questi suoli l'azione pedogenetica prendeva il sopravvento attraverso un progressivo *ripening* (maturazione del sedimento in condizioni idromorfe), dando origine a microstrutture otticamente anisotrope e ad una certa orientazione dei domini argillosi, in parte dovuta tuttavia al periodico disseccamento.

4.2. Analisi chimiche e chimico-mineralogiche dei depositi

La composizione chimica totale, tramite fluorescenza X ed espressa secondo gli ossidi più significativi di 24 campioni scelti a caso ma rappresentativi dell'intera serie (Tab. 5), appare completamente diversa da quella di suoli e sedimenti fluviali (WAKATSUKI *et al.*, 1977) ma risulta compatibile con quella di prodotti vulcanici medio-basici e in particolare con quelli appartenenti alla Provincia Comagmatica Romana (D'AMICO *et al.*, 1989) secondo la classificazione riferita da D'ARGENIO *et al.*, 1994, pag 53, basata sulla percentuale di CaO e di allumina e le informazioni sulle caratteristiche chimico-mineralogiche (alto tenore in Al_2O_3 , presenza di Bario) illustrate da CONTICELLI *et al.* (2004) e da BOARI & CONTICELLI (2007), anche se il contenuto in silice e metalli alcalini rivela una forte alterazione del materiale.

Ne segue che l'intero riempimento, costituito da materiali molto simili tra loro, deve interpretarsi come una sequenza di piroclastiti fortemente alterate e variamente mescolate con apporti dai rilievi circostanti e dal residuo insolubile dei calcari, che si sono sedimentate in ambienti prevalentemente riducenti di tipo lacustre-palustre ma soggetti a periodiche emersioni che ne determinavano una pedogenesi generalmente modesta. Il contributo dei calcari è stato tuttavia scarso a causa

del loro basso contenuto in residuo insolubile: infatti una analisi calcimetrica di una trentina di litotipi della Catena del Gran Sasso ha fornito valori di $CaCO_3$ mediamente superiori all'80 %.

Per di più, la larga diffusione di depositi piroclastici di varia provenienza nella regione abruzzese è stata da tempo segnalata e studiata (BOSI & BERTINI, 1970; FERRARI & MALESANI, 1973; BOSI & LOCARDI, 1991; COLICA *et al.*, 1993; MARCOLINI *et al.*, 2003; NARCISI, 1995; STOPPA & ROSATELLI, 2003; TALLINI *et al.*, 2002; D'OREFICE *et al.*, 2006), sebbene vi siano ancora ipotesi differenti circa la loro origine e diffusione. Alcuni Autori propendono infatti per una origine locale dei materiali mentre altri ritengono che per la maggior parte le piroclastiti siano di provenienza esterna all'Abruzzo.

Al fine di riconoscere caratteristiche comuni utilizzabili per una sommaria classificazione litologica delle piroclastiti, si è applicata una analisi discriminante (codice STATISTICA) a tutti i campioni così da individuare 4 gruppi principali (Gr1 = 2 campioni; Gr2 = 3 campioni; Gr3 = 11 campioni; Gr4 = 8 campioni (v. Fig. 6). Gli ultimi 2 Gruppi sono sostanzialmente eguali se si eccettua il più alto contenuto in Ca del Gruppo 3 dovuto probabilmente ad apporti esterni successivi alla messa in posto del deposito. I 4 Gruppi sono stati confrontati (Tab. 6) con la composizione delle tuffiti e dei tefra affioranti entro un raggio di poco più di un centinaio di chilometri dal Piano Locce, quali Stiffe e Oricola (TALLINI *et al.*, 2002), Pietrasecca (BERTOLANI *et al.*, 2005) e Case Picconetto in Provincia di Pescara (MARCOLINI *et al.*, 2003).

Un'ulteriore indagine è stata eseguita riportando i punti rappresentativi nella Fig. 7, dove la % in ossidi di titanio è stata espressa in funzione della % di silice

Tab. 5 - Risultati delle analisi chimiche totali eseguite su 24 campioni rappresentativi del riempimento della conca di Piano Locce.
Results of chemical total analysis carried out on 24 representative samples.

Campione	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	BaO
PL1	1,620	15,690	42,000	1,000	0,080	2,050	6,310	0,790	0,160	9,810	0,050
PL2	1,800	15,750	43,370	0,640	0,100	2,190	6,200	0,810	0,090	7,560	0,070
PL3	2,150	16,260	42,860	0,650	0,140	2,710	8,740	0,760	0,110	7,780	0,090
PL8	1,220	13,800	36,030	0,440	0,040	1,950	13,440	0,660	0,070	6,450	0,060
PL10	1,500	16,570	43,810	0,570	0,060	2,280	5,350	0,820	0,100	8,910	0,070
PL11	1,480	17,460	44,820	0,650	0,180	2,510	4,170	0,750	0,140	7,100	0,070
PL12	1,390	17,440	43,280	0,700	0,090	2,190	5,610	0,820	0,100	8,030	0,090
PL13	1,410	19,280	45,000	0,690	0,080	2,250	1,120	0,860	0,070	8,920	0,100
PL14	1,520	19,100	45,300	0,760	0,100	2,260	1,960	0,860	0,120	7,990	0,090
PL15	1,450	17,510	42,740	0,690	0,100	2,300	3,070	0,830	0,120	7,820	0,090
PL17	1,320	17,930	50,290	0,490	0,320	5,240	3,430	0,610	0,140	5,910	0,080
PL40	1,550	18,690	41,300	1,820	0,200	1,940	3,290	0,820	0,330	8,570	0,120
PL45	1,290	20,050	41,030	0,650	0,120	2,230	1,520	0,820	0,220	9,710	0,130
PL47	1,390	22,590	46,210	0,960	0,630	2,510	1,750	0,840	0,040	5,020	0,150
PL49	0,830	22,520	46,700	0,460	0,150	2,340	1,300	0,640	0,050	6,020	0,120
PL59	1,500	21,270	43,800	1,050	0,130	2,520	2,500	0,820	0,110	7,330	0,150
PL64	1,860	17,680	45,210	0,690	0,360	2,790	7,480	0,660	0,090	6,820	0,130
PL68	1,660	16,840	43,630	0,670	0,140	3,250	6,590	0,640	0,140	6,900	0,130
PL69	1,070	16,140	50,930	0,350	0,080	6,190	5,820	0,410	0,140	5,100	0,170
PL76	1,250	19,500	45,460	1,120	0,070	2,190	1,370	0,760	0,060	7,460	0,130
PL81	1,690	21,270	43,690	1,300	0,340	2,610	1,880	0,740	0,050	5,980	0,230
PL82	2,630	15,330	37,450	0,620	0,550	5,630	9,440	0,520	0,170	7,330	0,360
PL84	1,460	20,620	43,720	0,560	0,090	2,570	1,200	0,710	0,360	8,150	0,190
PL90	0,860	19,170	51,600	0,310	0,080	4,530	2,830	0,500	5,580	5,580	0,140

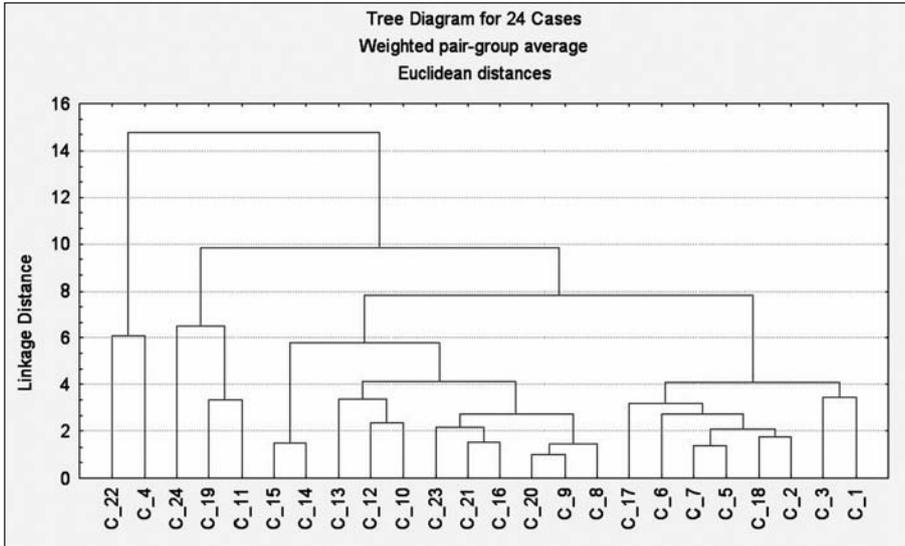


Fig. 6 - Raggruppamenti (cluster) ottenuti tramite l'analisi discriminante (codice STATISTICA) considerando come variabili il contenuto totale in ossidi. Si evidenziano chiaramente 4 gruppi a livello 5 - 10.

Clusters derived from discriminating analysis (STATISTICA software) using main oxides total content for the samples. There are at 5-10 level 4 main clusters.

secondo una rappresentazione a diagramma usata nello studio delle rocce effusive.

In definitiva tabelle e grafico suggeriscono che esiste una discreta somiglianza tra la composizione media di Pietrasecca e Case Picconetto con quella media del Gruppo 3-4 di Locce e tra quella media di Stiffe (e forse Oricola) e il Gruppo 2; al contrario il Gruppo 1, peraltro rappresentato solo da 2 campioni, risulterebbe differente da tutti gli altri. Questi risultati tuttavia sono affetti da un elevato margine di incertezza in quanto l'alterazione subita ha senza dubbio provocato la perdita degli elementi più mobili, in conseguenza dei processi di pedogenesi e/o di diagenesi.

Allo scopo di accertare la provenienza dei materiali vulcanici è stato quindi necessario procedere ad

una serie di determinazioni microanalitiche sul vetro, sui plagioclasti e sui pirosseni, utilizzando 16 campioni prelevati ad oltre 30 m di profondità, più freschi di quelli stratigraficamente sovrapposti e contenenti più abbondante materiale vulcanico (vetro, cristalli, e più di rado, frammenti litici di rocce effusive).

I livelli vulcanici di Piano Locce comprendono ceneri fini e grossolane spesso ben selezionate (*sorted*). Alcuni dei livelli apparivano più rimaneggiati, sia per la presenza di cristalli di quarzo eolico che di clasti carbonatici provenienti dai vicini versanti calcarei.

Le analisi al microscopio elettronico hanno evidenziato come il vetro della stragrande maggioranza dei livelli sia completamente alterato e quindi inutilizzabile per la classificazione

chimica dei livelli stessi. Solo il campione PL90 proveniente dalla base (78-80 m) della carota, ha dato risultati soddisfacenti. Durante la elaborazione di questa ricerca, una indagine successiva condotta a maggiore dettaglio e finalizzata all'acquisizione nello stesso sito del contenuto pollinico della parte più superficiale della carota, ha incontrato un livello centimetrico di ceneri relativamente fresche a 5 m di profondità (livello denominato PL top). Pertanto anche questo campione è stato preso in considerazione per la classificazione del vetro. In conformità di queste analisi (Tab. 7), il livello PL90 può essere classificato come una latite-trachite. Un attento esame dei dati analitici della Tabella mostra tuttavia che, pur essendo le analisi nel loro insieme accettabili, presentano valori anormalmente bassi in

Tab. 6 - Confronto dei cluster risultanti dalla analisi statistica (codice STATISTICA) con la composizione chimica di alcune piroclastiti dei dintorni di l'Aquila.

Comparison between clusters resulting by statistical analysis (STATISTICA software) and chemical composition of some pyroclastic sediments from L'Aquila neighbourhoods.

Locce ossidi (%)	Gr1	Gr2	Gr3	Pietrasecca Gr4	Oricola media	Stiffe media	Picconetto media	media
SiO ₂	36,74	50,94	43,62	44,13	42,37	50,03	48,58	45,46
TiO ₂	0,59	0,51	0,75	0,80	0,81	0,95	1,10	0,95
Al ₂ O ₃	14,57	17,75	16,71	20,11	19,09	12,59	18,99	17,16
Fe ₂ O ₃	2,07	1,66	3,61	2,31	2,26	1,88	2,29	2,63
FeO	4,82	3,87	4,07	5,39	5,27	4,40	5,36	6,14
MnO	0,12	1,96	0,12	0,15	0,17	n.d.	n.d.	0,20
MgO	1,92	1,08	1,68	1,36	3,05	1,74	1,80	3,95
CaO	11,44	4,03	6,31	1,91	9,72	4,63	3,06	9,51
Na ₂ O	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,81	1,43	0,43	3,06
K ₂ O	3,79	5,32	2,50	2,31	3,10	4,57	2,06	10,34
P ₂ O ₅	0,53	0,38	0,70	0,87	0,42	n.d.	n.d.	0,57
Somma	76,58	87,50	80,07	79,34	87,08	82,21	83,69	100,00

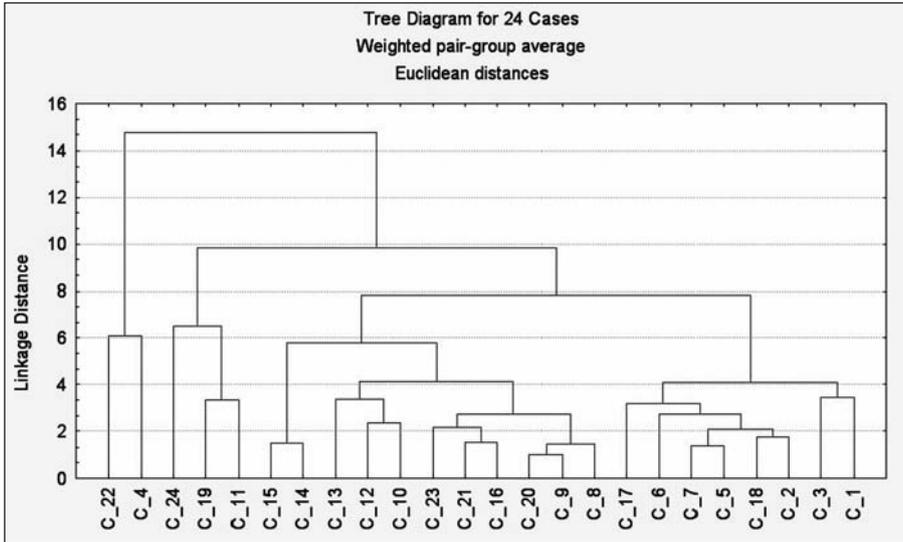


Fig. 7 - Percentuale in ossidi di Titanio in funzione della percentuale di Silice.
Percentage of Titanium oxide vs. Silica percentage.

sodio (Na_2O) e cloro (ClO). Valori così bassi sono indicativi di incipiente alterazione del vetro che, all'inizio dei processi tende a perdere elementi a largo raggio ionico quali il sodio e il cloro. Ne deriva che la somma degli alcali usata nel diagramma di classificazione TAS (Fig. 8) risulta essere meno attendibile e sicuramente sottostimata rispetto ai valori originari. Una correzione della somma degli alcali pari al 3÷4%, sposterebbe infatti la classificazione del vetro nel campo delle tefri-fonoliti e fonoliti (Fig. 8). Una composizione di questo tipo potrebbe tentativamente essere correlata con le eruzioni pleistoceniche del Vulcano di Vico, caratterizzate da attività esplosiva di

Tab.7 - Analisi del vetro vulcanico prelevato a 5 m di profondità (PL top) e di quello del livello PL90 a 78-80 m di profondità (bottom del sondaggio). A titolo di confronto sono riferite le analisi totali del campione RF95-7 prelevato in Adriatico a 450 cm di profondità e quelle della media dei campioni appartenenti, secondo l'elaborazione statistica, al Gruppo 2 (v.testo).

Composition of volcanic glass of PLtop (5 m of depth) and of PL 90 sample (78-79 m of depth). As a comparison, total analysis of the sample RF95-7 from the 450 cm depth of Adriatic Sea and the average composition of the Group 2 samples are referred.

Analisi vetro del Campione PL 90 (circa 80 metri) e del Campione PL top (5 m)

PL 90

campioni :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	Dev. St.	RF 95-7 450 cm	Gruppo 2
SiO₂	56,11	57,59	58,06	59,17	58,68	58,15	59,81	58,77	57,93	61,11	58,54	1,344	58,27	50,94
TiO₂	1,31	0,79	0,64	0,57	0,58	0,60	0,28	0,72	0,67	0,21	0,64	0,299	0,44	0,51
Al₂O₃	23,06	19,66	21,06	20,56	21,93	22,22	22,20	20,64	20,31	22,41	21,41	1,106	19,23	17,75
FeO_{tot}	2,72	4,79	3,48	3,65	3,04	2,64	1,64	3,63	3,80	1,04	3,04	1,094	3,70	2,48
MgO	0,89	1,08	0,75	0,40	0,43	0,67	0,24	0,60	0,86	0,14	0,61	0,302	0,10	1,08
MnO	0,10	0,14	0,06	0,18	0,08	0,00	0,00	0,17	0,10	0,00	0,08	0,068	0,65	1,96
CaO	7,36	5,59	3,96	3,19	5,57	6,11	4,25	5,42	4,47	4,09	5,00	1,233	3,71	4,03
Na₂O	2,57	2,97	2,73	4,74	3,54	3,10	3,22	3,81	3,26	4,90	3,48	0,791	4,34	n.d.
K₂O	5,88	7,35	9,17	7,45	6,04	6,51	8,34	6,17	8,53	5,95	7,14	1,210	9,24	5,32
ClO	0,00	0,04	0,10	0,10	0,11	0,00	0,00	0,06	0,07	0,15	0,06	0,053	0,32	n.d.
Somma	100	100	100,01	100,01	100	100	99,99	99,99	100	100	100		100	84,07
Total alkali	8,45	10,32	11,90	12,19	9,58	9,61	11,56	9,98	11,79	10,85	10,62		13,58	
alkali ratio	2,29	2,47	3,36	1,57	1,71	2,10	2,59	1,62	2,62	1,21	2,05		2,13	

PL top

campioni :	1	2	3	4	5	6	7	8	Media	Dev. St.
SiO₂	45,38	46,63	46,5	45,12	44,64	47,62	46,08	45,9	45,98	0,887
TiO₂	0,92	0,88	0,68	0,96	0,89	0,64	0,85	0,81	0,83	0,106
Al₂O₃	19,88	19,19	20,71	19,11	20,53	20,78	19,72	19,73	19,96	0,612
FeO_{tot}	8,06	8	7,32	9,05	8,45	7,16	8	7,82	7,98	0,560
MnO	0,33	0,46	0,07	0,26	0,37	0,25	0,3	0,14	0,27	0,116
MgO	1,26	1,3	1,29	1,56	1,25	0,78	1,49	1,36	1,28	0,218
CaO	11,62	10,79	11,33	12,88	11,87	7,73	11,72	11,62	11,20	1,420
Na₂O	5,64	6,25	5,38	5,43	6,39	7,22	5,5	5,54	5,92	0,607
K₂O	6,72	6,29	6,49	5,47	5,37	7,65	6,14	6,88	6,38	0,699
P₂O₅	0	0	0	0	0	0	0	0,08	0,01	0,026
ClO	0,18	0,2	0,22	0,16	0,26	0,18	0,19	0,13	0,19	0,036
Somma	99,99	99,99	99,99	100	100,02	100,01	99,99	100,01	100,00	
Total alkali	12,36	12,54	11,87	10,9	11,76	14,87	11,64	12,42		
alkali ratio	1,191489	1,0064	1,20632	1,007366	0,840376	1,059557	1,116364	1,241877		

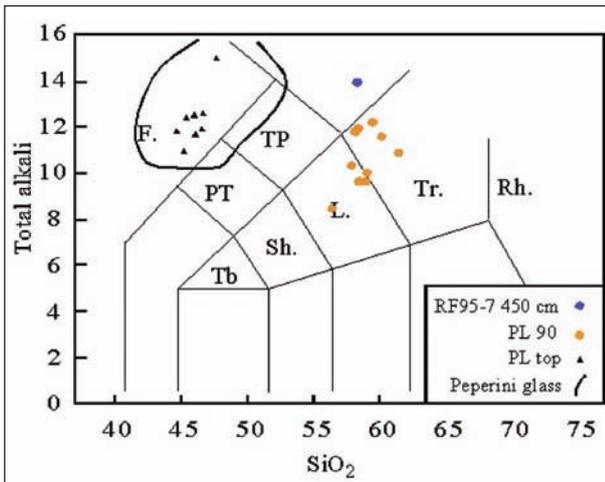


Fig. 8 - Diagramma TAS per i campioni PLtop e PL90. A titolo di confronto è mostrata anche la composizione del livello della carota adriatica.

The TAS classification diagram for some samples: PL top, PL90 and a pyroclastic sediment from the bottom of Adriatic Sea (450 cm of depth).

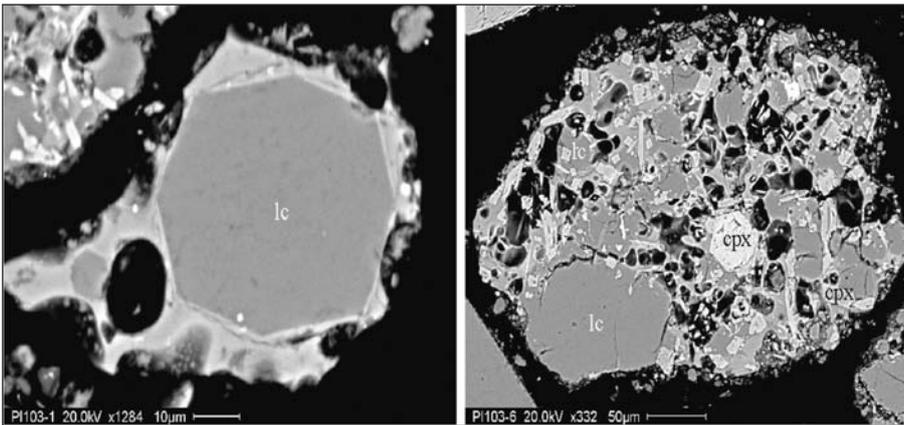


Fig. 9 - Analisi al SEM-EDS su sezione sottile di un livello di tefra a 5 m di profondità (PLtop): lc= leucite; cpx= clinopirosseno.

SEM-EDS picture of thin section of sample PL top (5m depth); lc= leucite; cpx= clino-pyroxene.

composizione trachitico-fonolitica (Peccerillo, 2005). Di conseguenza il campione PL90 potrebbe essere tentativamente correlato con le piroclastiti riconosciute in una carota marina dell'Adriatico (livello RF95-7, 450 cm; Fig. 8), datate intorno a 170.000 anni fa (CALANCHI *et al.*, 2008). Inoltre, la composizione media dei vetri del livello PL90 sembra abbastanza simile a quella (media) dei 3 campioni appartenenti al Gruppo 2 (PL17, PL69 e PL90, Tab. 7). Il campione PL top è stato classificato come foiditico (Fig. 8). Sulla base della composizione del vetro, della paragenesi mineralogica (dominata da leucite e clinopirosseno, in assenza di plagioclasio; Fig. 9) e delle analisi SEM-EDS sulle fasi minerali (Tab. 7) può essere correlato con l'attività finale del vulcano dei Colli Albani, e più precisamente con l'eruzione dei Peperini, datati a circa 36.000 anni fa (FREDA *et al.*, 2005).

Gli altri livelli vulcanici appaiono troppo alterati per essere classificabili sulla base della chimica dei vetri, ma su alcuni di essi è stata effettuata una microa-

nalisi delle fasi minerali (plagioclasio e pirosseni) riferita nelle Tabelle 8 e 9, rispettivamente per i sialici e per i femici.

La composizione dei minerali dei cinque campioni esaminati (PL48; PL55; PL60; PL64; PL69) indica una stretta affinità con le composizioni delle eruzioni dei vulcani campani (Campi Flegrei, Ischia, Procida e Somma-Vesuvio (PECCERILLO, 2005), con sanidino dominante nelle fasi sialiche e clinopirosseno in quelle femiche. Forse potrebbero essere rappresentativi del Gruppo 3-4 anche se il PL69 appartiene statisticamente al Gruppo 2.

Due soli campioni (PL82 e PL74), uno dei quali rientra nel Gruppo 1, sulla base della paragenesi mineralogica che contiene abbondante biotite, possono in prima approssimazione essere correlati con l'attività dei vulcani laziali (PECCERILLO, 2005). Dei restanti sei livelli infine non è possibile ipotizzare la sorgente.

La Tab. 10 riassume le informazioni circa la descrizione e la provenienza dei 16 livelli vulcanoclastici considerati per l'analisi chimico-mineralogica più dettagliata.

5. DISCUSSIONE DEI RISULTATI

I dati in precedenza esposti sembrano attestare in modo abbastanza chiaro, sia l'origine prevalentemente piroclastica dell'intero riempimento forse fino a notevole profondità, così come sembra avvenuto per il Fucino dove un livello di cineriti, con uno spessore di circa 100 m, avrebbe una età di circa 500 mila anni (NARCISI, 1995), sia l'età del livello più profondo raggiunto dal sondaggio (circa e forse più di 170.000 anni BP).

Nell'ipotesi che tutto il materiale piroclastico sia venuto dalla Provincia Comagmatica

Romana (Apparati vulcanici del Lazio e della Campania) i depositi più recenti dovrebbero avere meno di 36.000 mila anni e addirittura alcune cineriti potrebbero essere di età proto-storica (SULPIZIO *et al.*, 2008).

Anche sul significato paleo-climatico e ambientale da attribuire al deposito possono essere fatte solo considerazioni preliminari. Lo studio integrato e multidisciplinare del Quaternario ha da qualche tempo evidenziato le strette relazioni che intercorrono tra tipologia dei suoli e condizioni climatiche e biologiche esistenti durante le varie fasi più fredde e più calde dell'attuale (WEST, 1968; BOWEN, 1981; BIRKELAND, 1984; MCFADDEN *et al.*, 1986; BIRKELAND, 1990). In Europa settentrionale

WEST (1968) propose la seguente relazione tra clima e suoli in un periodo di tempo compreso tra due "glaciali" successivi: suoli poco evoluti (cataglaciale) - terre brune (interglaciale) - podzols sotto foresta (anaglaciale). Si può quindi concludere che alcune caratteristiche del suolo riscontrabili a differente scala, da quella di campo a quella microscopica, possano suggerire eventuali cambiamenti nel clima del passato, purché

Tab. 8 - Composizione chimica dei feldspati di alcuni campioni con maggior contenuto in minerali vulcanici tra 30 e 80 m di profondità.
Feldspars chemical composition of samples collected 30 to 80 m of depth.

Analisi chimiche dei feldspati						
Ossidi (%)	PL 48	PL 55	PL 60	PL 64	PL 69	
SiO ₂	47,9 51,1 53,7 52,2 50,9	63,8 63,7 64,6 46,5	65,0 64,6 64,6 64,7 65,2	63,1 45,9 49,4 63,7	64,2 65,1 66,8 66,2	
Al ₂ O ₃	32,4 30,6 28,1 29,1 30,4	19,3 19,7 19,8 33,0	19,7 19,7 19,6 19,4 20,3	19,7 32,5 31,7 19,6	20,2 20,1 19,9 19,9	
FeO _{tot}	0,6 0,4 0,5 0,9 1,0	0,2 0,4 0,5 0,7	0,3 0,3 0,3 0,3 0,2	0,5 0,8 0,7 0,4	0,3 0,3 0,4 0,3	
CaO	16,5 13,3 11,5 12,3 13,3	0,5 1,1 1,1 16,7	0,5 0,9 0,6 0,5 0,8	1,2 16,9 14,7 1,1	0,4 0,4 0,0 0,1	
Na ₂ O	2,0 3,6 4,5 3,9 3,0	2,0 3,7 4,0 1,7	4,7 4,9 4,6 5,3 6,9	3,6 1,6 2,7 3,7	7,2 7,3 6,9 6,8	
K ₂ O	0,2 0,6 0,9 0,9 0,7	13,5 10,6 9,9 1,3	9,9 9,6 10,3 9,7 6,4	10,6 1,2 0,6 11,3	7,1 6,6 6,1 6,6	
Totale	99,6 99,6 99,2 99,3 99,2	99,2 99,2 99,9 99,9	100,0 100,0 99,8 99,9 99,9	98,7 98,9 99,7 99,7	99,4 99,9 100,0 100,0	

Tab. 9 - Composizione chimica dei pirosseni di alcuni campioni con maggior contenuto in minerali vulcanici tra 30 e 80 m di profondità.
Pyroxenes chemical composition of samples collected 30 to 80 m of depth.

Analisi chimiche dei pirosseni						
Ossidi (%)	PL 48	PL 55	PL 60	PL 64	PL 69	
SiO ₂	48,7 47,6 49,0 50,5 50,7	52,7 50,5 51,2 49,9	50,8 50,2 51,2 52,5 51,3	53,1 51,5 51,5 51,6	5,6 50,4 48,1 47,8	
TiO ₂	1,4 1,7 1,2 1,0 1,3	0,4 0,8 0,7 0,7	1,0 1,1 0,6 1,4 1,0	0,3 0,7 0,6 0,8	0,7 0,7 1,4 1,7	
Al ₂ O ₃	5,2 7,3 6,4 3,1 4,2	2,1 2,9 2,0 3,2	1,3 2,2 1,5 0,5 1,3	2,5 3,6 3,5 3,4	2,4 2,6 5,7 6,2	
FeO _{tot}	8,4 8,1 7,1 7,2 7,8	3,7 9,3 9,2 7,8	10,0 10,1 8,7 23,4 9,9	3,7 4,9 4,8 7,2	7,8 7,8 7,6 7,7	
MnO	0,2 0,1 0,0 0,1 0,1	0,1 0,7 0,9 0,2	1,4 1,2 1,1 1,9 1,5	0,2 0,1 0,1 0,2	0,6 0,4 0,2 0,1	
MgO	13,2 12,5 13,1 15,2 13,6	16,7 12,6 13,1 13,2	12,6 12,4 13,8 2,4 12,5	16,5 15,6 16,4 14,3	15,1 15,1 14,2 14,0	
CaO	22,4 22,4 22,8 22,3 22,0	23,7 22,3 22,0 23,8	20,3 21,5 22,0 8,6 20,5	23,5 23,1 22,3 22,1	22,2 22,4 22,6 22,2	
Na ₂ O	0,3 0,2 0,3 0,3 2,0	0,1 0,8 0,7 0,4	1,6 1,2 1,0 8,8 1,6	0,1 0,1 0,2 0,3	0,7 0,6 0,3 0,3	
Totale	99,8 99,9 99,9 99,7 99,9	99,4 99,8 99,7 99,1	99,1 99,9 99,8 99,5 99,5	100,0 99,7 99,4 99,9	100,0 100,0 100,0 100,0	

Tab. 10 - Descrizione riassuntiva e ipotesi di provenienza dei materiali vulcanici sulla base delle analisi chimico-mineralogiche eseguite su 17 campioni tra 5 e 80 m di profondità.

Short description of examined volcanic glass and provenance hypothesis for 17 samples 5 to 80 m of depth.

Campione PL top	profondità	colore	descrizione	sorgente
	5,0 m	N3 dark gray	Ceneri grossolane di colore grigio scuro-nero. L'analisi al binoculare mostra che le particelle sono poco vescicolate e porfiriche. Ci sono cristalli sialici e femici sciolti. L'analisi al microscopio elettronico mostra che il vetro è di composizione foiditica, con massa di fondo cristallina. La paragenesi è dominata dalla leucite+clinopirosseno, con raro sanidino.	sorgente Colli Albani (eruzione dei Peperini) 36 ka BP
PL 48	30-28,6 m	5YR 5/2 pale brown	Ceneri fini e grossolane di colore marroncino, compatte. L'analisi al binoculare mostra vetro, piccoli litici carbonatici e cristalli sialici e femici. L'analisi al microscopio elettronico mostra che il vetro è completamente alterato. Le composizioni delle fasi minerali indicano che la paragenesi dominante è plagioclasio e clinopirosseno	La composizione dei minerali sembra indicare una sorgente campana
PL 49	31,2-30,6 m	10YR 8/2 very pale orange	Ceneri fini di colore giallastro. L'analisi al binoculare mostra che il vetro è scarso e molto alterato. Presenza di cristalli sialici e femici.	Sconosciuta
PL 51	32,2-31,8 m	5Y 7/2 yellowish gray	Ceneri grossolane di colore grigio con abbondanti inclusi carbonatici. L'analisi al binoculare mostra che il vetro è scarso e molto alterato. Abbondanti cristalli femici e minori sialici.	Sconosciuta Deposito rimaneggiato in ambiente subaereo
PL 55	35-33,9 m	5Y 7/2 yellowish gray	Ceneri fini e grossolane mediamente compatte di colore grigio. L'analisi al binoculare mostra presenza di vetro e cristalli sialici e femici. L'analisi al microscopio elettronico mostra che il vetro è completamente alterato. Le composizioni delle fasi minerali indicano che la paragenesi dominante è sanidino e clinopirosseno con minore plagioclasio.	La composizione dei minerali sembra indicare una sorgente campana
PL 60	39,4-36,4 m	10YR 6/2 pale yellowish brown	Ceneri grossolane sciolte di colore marroncino con piccoli inclusi carbonatici. L'analisi al binoculare mostra presenza di vetro e cristalli sialici e femici. L'analisi al microscopio elettronico mostra che il vetro è completamente alterato. Le composizioni delle fasi minerali indicano che la paragenesi dominante è sanidino e clinopirosseno.	La composizione dei minerali sembra indicare una sorgente campana
PL 64	42,7-42,1 m	5Y 7/2 yellowish gray	Cenere fine e grossolana compatta ma non cementata di colore grigio. L'analisi al binoculare mostra vetro mal conservato e cristalli sia sialici che femici. L'analisi al microscopio elettronico delle fasi minerali mostra la presenza di sanidino, clinopirosseno e minore plagioclasio.	La composizione dei minerali sembra indicare una sorgente campana
PL 66	44-43,3 m	5Y 5/2 light olive grey	Ceneri grossolane di colore grigio scuro. L'analisi al binoculare mostra particelle molto arrotondate e presenza di cristalli di quarzo di colore biancastro.	Sconosciuta Deposito rimaneggiato in ambiente subaereo
PL 68	46-44,5 m	5Y 7/2 light olive gray	Ceneri fini e grossolane simili alle precedenti, di cui costituiscono la parte finale e probabilmente più rimaneggiata, come testimoniato dagli abbondanti clasti carbonatici del substrato inglobati dalle ceneri.	Stessa eruzione del PL 69
PL 69	46,5-46 m	2.5Y 7/2 light gray	Ceneri fini e grossolane di colore grigio. Ci sono clasti carbonatici del substrato inglobati nelle ceneri. L'analisi al binoculare mostra vetro, litici lavici e abbondanti cristalli sia sialici che femici. L'analisi al microscopio elettronico mostra che il vetro è completamente alterato. Le composizioni delle fasi minerali indicano che la paragenesi dominante è sanidino e clinopirosseno.	La composizione dei minerali sembra indicare una sorgente campana.
PL 72	54-52,15 m	10YR 6/4 light yellowish brown	Ceneri fini ben selezionate di colore marroncino. Il materiale è simile a quello del livello precedente. Il vetro è completamente alterato	Sconosciuta
PL 73	56-54 m	10YR 5/6 yellowish brown	Ceneri molto fini e ben selezionate di colore marroncino. Al binoculare si notano vetro e cristalli sialici e femici non abbondanti. L'analisi al microscopio elettronico mostra che il vetro è completamente alterato.	Sconosciuta
PL 74	56,8-56,1 m	10YR 7/2 light gray	Cenere fine e grossolana di colore grigio, con screziature di colore marrone. L'analisi al binoculare mostra vetro, abbondanti cristalli di biotite, cristalli sialici (sanidino) e femici (clinopirosseno). L'analisi al microscopio elettronico mostra che il vetro è completamente alterato.	La paragenesi mineralogica suggerisce una sorgente nei vulcani laziali
PL 82	69,5-67,5 m	2.5Y 6/1 gray	Ceneri grossolane di colore grigio. L'analisi al binoculare evidenzia la presenza di vetro e di molti cristalli di biotite, insieme ad altri cristalli femici (clinopirosseni) e sialici incolori (sanidini) o lattiginosi. L'analisi al microscopio elettronico mostra che il vetro è completamente alterato.	La paragenesi mineralogica suggerisce una sorgente nei vulcani laziali
PL 85	73-72 m	10YR 6/2 Pale yellowish brown	Ceneri grossolane di colore marrone chiaro. Al binoculare si distingue vetro lattiginoso, litici lavici e cristalli sialici e femici. Alcuni cristalli sembrano abrasivi e rimaneggiati. Presenza di alcuni clasti dal substrato carbonatico. L'analisi al microscopio elettronico indica che il vetro è completamente alterato e la composizione originaria non è ipotizzabile.	Sconosciuta Deposito rimaneggiato in ambiente subaereo
PL 89	78-76,10 m	10YR 8/1 white	Ceneri fini ben selezionate di colore chiaro. Al binoculare si distingue vetro lattiginoso, e piccoli cristalli sialici e femici. L'analisi al microscopio elettronico indica che il vetro è completamente alterato e la composizione originaria non è ipotizzabile.	Sconosciuta
PL 90	79-80 m	5Y 7/1 Light gray	Ceneri fini e grossolane di colore grigio chiaro. Il deposito è addensato ma non cementato. Presenza di lapilli accrezionali. Al binoculare appare formato da vetro, cristalli sialici ialini e femici. L'analisi al microscopio elettronico indica che il vetro ha composizione trachitico-lattica a causa di un impoverimento in alcali dovuto ad alterazione incipiente. I cristalli sono prevalentemente sanidino e clinopirosseno	Attività del vulcano di Vico più vecchia di 170 ka BP

capaci di una sufficiente persistenza durante le mutevoli condizioni ambientali (YAALON, 1971; BIRKELAND, 1990). Alcuni livelli, infatti, a circa 30 m di profondità mostrano alcune forme contorte (*involution*). E' quindi probabile che queste forme siano state determinate da processi periglaciali, che hanno agito su un suolo con qualche *clay skin* sul quale tuttavia non sono ancora state eseguite analisi polliniche. Al contrario alcune analisi polliniche, condotte puramente a titolo esplorativo da C.A. Accorsi su alcuni campioni più ricchi di materia organica, rivelano momenti più freddi dell'attuale tra 45 e 67 m di profondità.

In molti casi il diverso contenuto in argilla pedogenetica può indicare periodi con diversa umidità del clima (REHEIS, 1987 in BIRKELAND, 1990). Anche dalla sedimentologia risultano informazioni che vanno a corroborare i dati ottenuti dalla pedologia. Secondo ORTOLANI & PAGLIUCA (in CRESCENTI, 2005) i depositi alluvionali, che nel Cilento seppelliscono reperti archeologici Romani e Medievali, sono indicatori di periodi freddo-umidi, al contrario delle sabbie di duna costiera che rappresenterebbero invece periodi più aridi. Partendo da queste considerazioni si è voluto comprendere il significato delle variazioni del contenuto di argilla e di sostanza organica in rapporto alla profondità. Come è noto da tempo, l'alterazione dei materiali piroclastici fini è generalmente molto veloce e può dare origine a minerali argillosi amorfi e cristallini quali allofane, imogolite, halloysite ed altri. L'argilla granulometrica dovrebbe quindi rappresentare, almeno in parte, minerali argillosi di neoformazione e la sua frequenza in relazione alla profondità, potrebbe indicare un diverso grado di alterazione del materiale primario, alterazione la cui entità è strettamente legata alla disponibilità di acqua e di silice e infine alla temperatura dell'ambiente circostante.

Può darsi quindi che il diagramma del rapporto Limo/Argilla in funzione della profondità, peraltro con andamento approssimativamente inverso a quello della % di sostanza organica (Fig. 10) e quasi del tutto analogo a quello del vicino riempimento di Piano Lucchiano (MAGALDI et al., 2006), possa interpretarsi come un indice paleo-climatico, dove i valori più bassi indicherebbero periodi più favorevoli alla pedogenesi e alla diffusione della vegetazione (e quindi più caldi e più umidi), al contrario dei valori più alti che potrebbero testimoniare periodi più freddi e probabilmente più aridi. L'aridità sarebbe provata dalla neoformazione di noduli e concrezioni di carbonato di calcio, presenti nei depositi situati tra i 30 e i 50 m di profondità.

6. CONCLUSIONI

Durante il Quaternario gran parte dell'Italia Centro-Meridionale fu investita da materiali cineritici di origine vulcanica provenienti per via eolica prevalentemente dai centri di emissione della provincia

Comagmatica Romana (PECCERILLO, 2005), caratterizzata dall'elevato contenuto in potassio. Le principali catene carbonatiche dell'Appennino disposte all'incirca parallelamente alla costa tirrenica furono così ricoperte da coltri vulcanoclastiche in spessori variabilissimi, più spessi nelle zone vallive e nelle depressioni di origine carsica (M. Simbruini, M. Lepini, M. Aurunci), dove il colluvionamento iniziato subito dopo la deposizione e proseguito intensamente in seguito determinò un notevole accumulo di materiali. Ad esempio nella zona di Capestrano (Santa Pelagia) un sondaggio privato sul riempimento di una conca carsica, ha raggiunto la roccia carbonatica dopo circa 150 m, attraversando una successione di depositi fluvio-lacustri e vulcanoclastici, a volte pedogenizzati.

Questo processo è stato particolarmente intenso sulla Catena del Gran Sasso e sulle vallate immediatamente adiacenti sia a est che ad ovest del rilievo principale, dove la diffusa morfologia carsica ha agito come trappola e zona di conservazione dei depositi, rallentando così la normale azione erosiva agente sui versanti più acclivi. Tutti i risultati ottenuti testimoniano chiaramente che la zona di Piano Locce è stata interessata in vari momenti del Quaternario antico da una sequenza di eventi sedimentari (palustri e piroclastici) e pedogenetici, sicuramente iniziati prima degli ultimi 200mila anni, associati a variazioni climatiche in un ambiente di alta montagna, variazioni che sono evidenziate in particolare dall'andamento del contenuto in sostanza organica con la profondità e dalla sua relazione con il rapporto limo/argilla e infine dalle figure micromorfologiche, che in alcuni livelli sono sicuramente attribuibili a fenomenologie periglaciali. Quando le condizioni climatico-vegetazionali consentirono l'instaurarsi di processi pedogenetici, si formarono suoli poco evoluti, fortemente condizionati da idromorfia quasi permanente. Solo in pochi casi, verso il centro della successione, si sono osservate caratteristiche micromorfologiche sicuramente attribuibili a suoli più sviluppati, riferibili a intervalli di tempo di stasi più lunghi, forse con orizzonte argillico (Aqualfs? Boralfs?). Al riempimento della depressione,

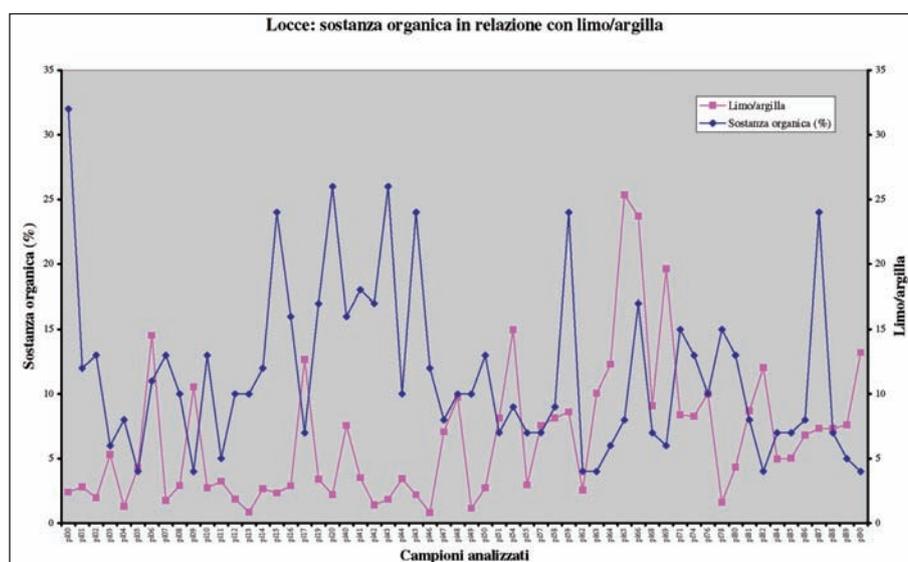


Fig. 10 - Percentuale di Sostanza Organica dei campioni e andamento del rapporto Limo/Argilla in funzione della profondità di campionamento.

Organic Matter and Silt/clay ratio for the whole stratigraphic column

insieme a quelli di limitati e temporanei corsi d'acqua torrentizi, hanno contribuito, sia pure in minima parte apporti colluviali e/o eolici da suoli maggiormente evoluti e di ambiente climatico differente ("terre rosse" tipo Xerals o Ustals), ancora presenti come "suoli residuali" nelle vallate vicine (MAGALDI & TALLINI, 2000).

RINGRAZIAMENTI

Il Coordinatore-Responsabile del Progetto, finanziato con gli ultimi fondi del Cluster C11 b del MIUR (Ambiente Terrestre) esprime la sua gratitudine alla Direzione dell'Ente Parco Nazionale del Gran Sasso e dei Monti della Laga per aver concesso l'esecuzione dei sondaggi e alla Fondazione della Cassa di Risparmio di L'Aquila per il notevole contributo corrisposto alcuni anni fa e destinato all'acquisto di un modernissimo microscopio da petrografia, strumento indispensabile per lo svolgimento della presente ricerca. Un ringraziamento particolare alla Dr.ssa Francesca Tescari per il contributo dato alla revisione della parte relativa alla Micromorfologia del Suolo e all'Ing. Danilo Ranalli per la preparazione del CD fotografico. Si ringraziano infine l'Ing. Bruno Taddei e il Per. Ind. Algerio Giangiuliani, rispettivamente, per l'assistenza prestata alla esecuzione dei due carotaggi e al loro campionamento.

BIBLIOGRAFIA

- APAT (2006) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000: L'Aquila*. S.EL.CA., Firenze.
- BERTINI T., BOSI C. & GALADINI F. (1989) - *La conca di Fossa - S. Demetrio nei Vestini*. In: Società Geologica Italiana: Elementi di tettonica pliocenico-quadernaria ed indizi di sismicità olocenica nell'Appennino Laziale-Abruzzese. Guida all'escursione.
- BERTOLANI M., LUGLI S. & ROSSI A. (2005) - *Studio petrografico delle Grotte di attraversamento di Pietrasecca (L'Aquila)*. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, **5**, 71-83.
- BERTRAND J.P. (1969) - *Cours de pétrographie appliquée a l'étude des problèmes pétroliers*. Société des Editions Technip, Paris.
- BIRKELAND P.W. (1984) - *Soil and geomorphology*. Oxford University Press, N.Y., 372 pp.
- BIRKELAND P.W. (1990) - *Soil-geomorphic research - a selective overview*. Geomorphology, **3**, 207-224.
- BOARI E. & CONTICELLI S. (2007) - *Mineralogy and petrology of associated Mg-rich ultrapotassic shoshonitic and calc-alkaline rocks: the middle Latin valley monogenetic volcanos, Roman Magmatic Province, southern Italy*. The Canadian Mineralogist, **45**, 1443-1469.
- BOSI C. & BERTINI T. (1970) - *La geologia della media valle dell'Aterno*. Mem. Soc. Geol. It., **9**, 719-777.
- BOSI C. & LOCARDI E. (1991) - *Vulcanismo meso-pleistocenico nell'Appennino Laziale-Abruzzese*. Studi Geologici Camerti. Vol. speciale, 2, CROP 11, 319-325.
- BOWEN D.Q. (1981) - *Quaternary Geology. A Stratigraphic Framework for Multidisciplinary Work*. Pergamon Press, 237 pp.
- BREWER R. (1964) - *Fabric and Mineral Analysis of Soils*. J.Wiley & Sons, New York, 470 pp.
- BRUSTUR T. & JIPA D.C. (2007) - *First record of the seismites in Pliocene deposits from Prahova Valley*. GEO-ECO-MARINA, **13**, 139-142.
- BULLOCK P., FEDOROFF N., JONGERIUS A., STOOPS G., TURSINA T. & BABEL U. (1985) - *Handbook for Soil Thin Section Description*. Wayne Research Pub., UK, 152 pp.
- BUOL S.W., HOLE F.D. & McCracken R.J. (1980) - *Soil Genesis and Classification*. Iowa University Press, 406 pp.
- CALANCHI N. & DINELLI E. (2008) - *Tephrostratigraphy of the last 170 ka in sedimentary successions from the Adriatic Sea*. J. Volcanol. Geotherm. Res., **177**, 81-95.
- COLICA A., LORENZONI P., MAGALDI D. & RAGLIONE M. (1993) - *Geologia del Quaternario e lineazioni nella conca tettonica tra Oricola e Carsoli*. Boll. Serv. Geol. It., **102**, 49-58.
- CONTICELLI S., MELLUSO L., PERINI G., AVANZINELLI R. & BOARI E. (2004) - *Petrologic, geochemical and isotopic characteristics of potassic and ultrapotassic magmatism in central-southern Italy: inferences on its genesis and on the nature of mantle sources*. Periodico di Mineralogia, **73**, 135-164.
- CRESCENTI U. (2005) - *Il contributo delle Scienze geologiche per la valutazione dei cambiamenti climatici*. XCI Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica (Catania 26-9-2005, 1-10-2005).
- D'AMICO C., INNOCENTI F. & SASSI F.P. (1989) - *Magmatismo e metamorfismo*. UTET, Torino, 536 pp.
- D'ARGENIO B., INNOCENTI F. & SASSI F.P. (1994) - *Introduzione allo studio delle rocce*. UTET, Torino, 162 pp.
- D'OREFICE M., GRACIOTTI R., CAPITANIO F., STOPPA F., ROSATELLI G. & BARBIERI M. (2006) - *Il vulcanismo medio-pleistocenico dell'Appennino Laziale - Abruzzese: dalle peculiarità scientifiche agli aspetti applicativi*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **72**; 7-67
- DRIESSEN P.M. & DUDAL R. (1991) (Eds.). *The major Soils of the World*. Agricultural University Wageningen & Katholieke Universiteit Leuven, 310 pp.
- FERRARI G. & MALESANI P. (1973) - *Micromorphology and mineralogy of the acid brown soils (Umbrepts) in the meadows of the central calcareous Apennine (Abruzzo, Italy)*. Atti Soc.Tosc.Sci.Nat., Mem., A, **80**, 59-67.
- FREDA C., GAETA M., KARNER D.B., MARRA-F., RENNE P.R., TADDEUCCI J., SCARLATO P., CHRISTENSEN J.N. & DALLAI L. (2005) - *Eruptive history and petrologic evolution of the Albano multiple maar (Alban Hills, Central Italy)*. Bull. Volcanol., **68**, DOI 10.1007/s00445-005-0033-6
- LE BAS M.J., LE MAITRE R.W., STRECKEISEN A. & ZANETTIN P. (1986) - *A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram*. Journal of Petrology, **27**, 745-750.
- MAGALDI D. & TALLINI M. (2002) - *Le Unità di gestione del Massiccio del Gran Sasso*. Report del Consorzio di Ricerca "Gran Sasso", SELCA, Firenze.
- MAGALDI D., BENEDETTI G., LORÉ A. & LORENZONI P. (2006) - *Due sondaggi profondi nei campi carsici del*

- Gran Sasso: primi risultati e prospettive future*. Pubblicazione DISAT, 1, 2006, 9 pp.
- MAGALDI D. & TALLINI M. (2000) - *A micromorphological index of soil development for the Quaternary geology research*. Catena, **41**, 261-276.
- MARCOLINI F., BIGAZZI G., BONADONNA F.P., CENTAMORE E., CIONI R. & ZANCHETTA G. (2003) - *Tephrochronology and tephrostratigraphy of two Pleistocene continental fossiliferous succession from central Italy*. J.Quaternary Sci., **18** (6), 545-556.
- MARIANELLI P. & SBRANA A. (1998) - *Risultati di misure di standard di minerali e di vetri naturali in microanalisi a dispersione di energia*. Atti Soc. Toscana Sci. Nat. Resid. Pisa, Mem. Serie A **105**, 57-63.
- McFADDEN L.D., WELLS S.G. & DOHRENWEND J.C. (1986) - *Influences of Quaternary climatic changes on processes of soil development on desert loess deposits of the Cima Volcanic field, California*. Catena, **13**, 361-389.
- NARCISI B. (1995) - *Caratteristiche sedimentologiche, mineralogiche e geochimiche di un livello tufitico del Pleistocene Medio nei sedimenti della Piana del Fucino, Italia Centrale*. Il Quaternario, **8** (1), 235-238.
- PECCERILLO A. (2005) - *Plio-Quaternary Volcanism in Italy*. Springer-Verlag, 365 pp.
- RETALLACK G.J. (2001) - *Soils of the Past. An introduction to Paleopedology*. Blackwell Science, Oxford, 404 pp.
- SELBY M.J. (1993) - *Hillslope materials and processes*. Oxford University Press, 451 pp.
- STOOPS G. (2003) - *Guidelines for Analysis and description of Soil and Regolith Thin Sections*. SSSA, Madison, USA, 184 pp.
- STOPPA F. & ROSATELLI G. (2003) - *Affioramenti vulcanici*. In U. Crescenti, E. Miccadei, A. Praturlon (Eds.): *Guide Geologiche Regionali: Abruzzo*. A cura della Società Geologica Italiana, BE-MA, editrice Milano, 338 pp.
- SULPIZIO R., BONASIA R., DELLINO P., DI VITO M.A., LA VOLPE L., MELE D., ZANCHETTA G. & SADORI L. (2008) - *Discriminating the-long distance dispersal of fine ash from sustained columns or near ground ash clouds: the example of the Pomice di Avellino eruption (Somma-Vesuvius, Italy)*. J. Volcanol. Geotherm. Res., **177**, 263-276.
- TALLINI M., MAGALDI D., LORÈ A., REALE E. & SCOZZAFAVA M. (2002) - *Geologia del Quaternario e pianificazione territoriale della piana intramontana L'Aquila -Scoppito*. GEAM, **1025**, 55-67.
- TICKEL, F.G. (1965) - *The techniques of sedimentary mineralogy*. Elsevier, Amsterdam, 220 pp.
- USDA Soil Survey Staff (1999) - *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. Agricultural Handbook No 436, Washington DC.
- WAKATSUKI T., FURUKAWA H. & KYUMA K. (1977) - *Geochemical study of the redistribution of elements in soil*. In: Evaluation of degree of weathering of transported soil materials by distribution of major elements among particle size fractions and soil extract. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **41**, 891-902.
- WEST R.G. (1968) - *Pleistocene Geology and Biology*. Longmans, London and Harlow
- YAALON D.H. (1971) - *Soil forming processes in time and space*. In D.H. Yaalon (Ed.): *Paleopedology*. Israel Univ.Press, Jerusalem, 350 pp.
- YAALON D.H. (1987) - *Saharan dust and desert loess: effect on surrounding soils*. *J.Afr.Earth Sci.*, **6**, 569-571.

Ms. ricevuto l'11 maggio 2009
 Testo definitivo ricevuto il 5 agosto 2009

Ms. received: May 11, 2009
 Final text received: August 5, 2009