





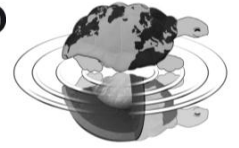
*I grandi spiriti  
hanno sempre incontrato  
violenta opposizione da parte dei mediocri.  
Questi ultimi non possono capire perché un uomo  
non soccombe passivamente a pregiudizi ereditari ma,  
onestamente e con coraggio,  
usa la sua intelligenza.*

*Albert Einstein*





**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO**  
SCUOLA DI DOTTORATO  
TERRA, AMBIENTE E BIODIVERSITÀ



Dottorato di Ricerca in Scienze Naturalistiche ed Ambientali  
Ciclo XXIV

**SCIENZE NATURALI IN AMBITO FORENSE:  
L'APPORTO DI STUDI GEOPEDOLOGICI E BOTANICI.**

Ph.D. Thesis

**Stephania Ern**

Matricola R 08057

*Tutori*

Prof.ssa Cristina Cattaneo  
Dott. Luca Trombino

**Anno Accademico**

**2011-2012**

*Coordinatore*

Prof. Nicola Saino



# INDICE.

## **CAPITOLO 1: INTRODUZIONE**

1.1	Introduzione al problema delle scienze forensi	pag.	1
1.2	Tafonomia	pag.	11
	1.2.1 Tafonomia Forense	pag.	16
	1.2.2 Decomposizione ed alterazioni post-mortali	pag.	18
1.3	Geopedologia	pag.	20
1.4	Criteriologia della prova	pag.	25
	1.4.1 Nozioni filosofico-teoretiche	pag.	25
	1.4.2 La Scienza nel diritto	pag.	26
	1.4.3 Il caso <i>Daubert</i>	pag.	29
	1.4.4 Il Caso <i>Kuhmo</i>	pag.	33
	1.4.5 La situazione italiana in merito alle Scienze Forensi	pag.	33
1.5	Stato dell'Arte	pag.	36
	1.5.1 Chi, che cosa e dove nel mondo	pag.	36
	1.5.2 Revisione bibliografica	pag.	39
1.6	Il progetto di ricerca	pag.	46

## **CAPITOLO 2: MATERIALI**

2.1	L'area il parco del Ticino	pag.	49
	2.1.1 Inquadramento storico	pag.	49
	2.1.2 Inquadramento pedologico	pag.	50
	2.1.3 Inquadramento vegetazionale	pag.	50
	2.1.4 Inquadramento faunistico	pag.	51
	2.1.5 Inquadramento meteorologico	pag.	52
	2.1.6 L'area di sperimentazione	pag.	55
2.2	L'area Oltrepo'	pag.	58
	2.2.1 Inquadramento storico	pag.	58
	2.2.2 Inquadramento naturalistico	pag.	59
	2.2.3 Inquadramento pedologico	pag.	61
	2.2.4 Inquadramento meteorologico	pag.	62
	2.2.5 L'area di sperimentazione	pag.	63
2.3	I maiali	pag.	65
2.4	Il suolo	pag.	66
	2.4.1 Il campionamento ed i campioni raccolti	pag.	67
2.5	La vegetazione	pag.	69

### **CAPITOLO 3: METODI ANALITICI**

3.1	Descrizione pedologica di campagna	pag.	72
3.2	Scavo archeologico	pag.	74
3.3	Analisi di laboratorio sui campioni di suolo	pag.	75
	3.3.1 Preparazione del campione	pag.	75
	3.3.2 Analisi granulometrica	pag.	76
	3.3.3 Analisi del pH	pag.	78
	3.3.4 Analisi del carbonio e dell'azoto totale	pag.	78
	3.3.5 Analisi della capacità di scambio cationico	pag.	81
	3.3.6 Cationi di scambio	pag.	82
	3.3.7 Analisi del fosforo assimilabile	pag.	83
	3.3.8 Analisi in microscopia elettronica (S.E.M.)	pag.	84
	3.3.9 Analisi degli acidi grassi volatili (AGV)	pag.	85
3.4	Analisi micro morfologica sulle sezioni sottili	pag.	86
3.5	Analisi geofisica sui terreni	pag.	88
3.6	Analisi della copertura vegetale	pag.	92
	3.6.1 Rilevamento botanico	pag.	92
	3.6.2 Point Quadrat Analysis (PQA)	pag.	92
3.7	Esame esterno delle carcasse al tempo di esumazione	pag.	93

### **CAPITOLO 4: DESCRIZIONI DEI PROFILI PEDOLOGICI** pag. 95

### **CAPITOLO 5: RISULTATI DELLE ANALISI DI LABORATORIO**

5.1	Analisi granulometrica	pag.	108
5.2	Analisi del pH	pag.	113
5.3	Analisi dell'azoto (N)	pag.	116
5.4	Analisi del carbonio (C)	pag.	119
5.5	Analisi del fosforo assimilabile	pag.	121
5.6	Analisi della capacità di scambio cationico	pag.	123
5.7	Tasso di saturazione in basi	pag.	124
5.8	Contenuto in ione sodio ( $\text{Na}^+$ ) adsorbito	pag.	126
5.9	Contenuto in ione potassio ( $\text{K}^+$ ) adsorbito	pag.	127
5.10	Contenuto in ione magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ) adsorbito	pag.	128
5.11	Contenuto in ione calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) adsorbito	pag.	130
5.12	Analisi degli acidi grassi volatili (AGV)	pag.	132

### **CAPITOLO 6: RISULTATI MICROMORFOLOGICI E S.E.M.**

6.1	Analisi ultramicroscopica (S.E.M.)	pag.	138
6.2	Analisi micromorfologica	pag.	143
6.3	Passaggio di scala: studio integrato delle metodologie microscopica ed ultramicroscopica	pag.	157

### **CAPITOLO 7: RISULTATI ANALISI GEOELETTICA** pag. 161

### **CAPITOLO 8: RISULTATI ANALISI DELLA VEGETAZIONE**



8.1	Elenco floristico	pag. 166
8.2	Forme biologiche	pag. 167
8.3	Analisi a differenti soglie temporali	pag. 168
8.4	Specie esclusive e comuni	pag. 170
8.5	Cluster analysis	pag. 174
8.6	Elaborazione dei dati relativi all'area B	pag. 175
8.7	Considerazioni sui risultati ottenuti	pag. 177

## **CAPITOLO 9: RISULTATI ESAMI SULLE CARCASSE**

9.1	Esame macroscopico delle carcasse al tempo di esumazione	pag. 180
9.2	Comparazione degli esami macroscopici delle carcasse	pag. 183
9.3	Accumulated degree-days (ADD)	pag. 184
9.4	Risultati relativi alle lesioni chirurgiche	pag. 185

## **CAPITOLO 10: DISCUSSIONI**

10.1	Discussione Analisi di laboratorio	pag. 188
	10.1.1 Discussione Analisi granulometrica	pag. 188
	10.1.2 Discussione Analisi del pH	pag. 189
	10.1.3 Discussione Analisi dell'azoto (N)	pag. 190
	10.1.4 Discussione Analisi del carbonio (C)	pag. 191
	10.1.5 Discussione Analisi del fosforo assimilabile	pag. 191
	10.1.6 Discussione Analisi della capacità di scambio cationico	pag. 191
	10.1.7 Discussione Tasso di saturazione in basi	pag. 192
	10.1.8 Discussione Contenuto in ioni (Na <sup>+</sup> )/(K <sup>+</sup> )/(Mg <sup>++</sup> ) e (Ca <sup>++</sup> ) adsorbiti	pag. 192
	10.1.9 Discussione Analisi degli AGV	pag. 193
10.2	Discussione Analisi micromorfologiche e S.E.M.	pag. 193
	10.2.1 Discussione Analisi ultramicroscopica (S.E.M.)	pag. 193
	10.2.2 Discussione Analisi micromorfologica	pag. 194
	10.2.3 Discussione Passaggio di scala: studio integrato delle metodologie microscopica ed ultramicroscopica	pag. 195

## **CAPITOLO 11: CONCLUSIONI**

11.1	Conclusioni analitiche forensi	pag. 196
11.2	Conclusioni ultra/micropedologiche forensi	pag. 199
11.3	Conclusioni geo-forensi	pag. 201
11.4	Conclusioni botaniche forensi	pag. 202
11.5	Conclusioni sull'esame esterno delle carcasse	pag. 202

<b>CAPITOLO 12: SVILUPPI FUTURI</b>	pag. 205
-------------------------------------	----------

**POSTFAZIONE**

pag. 211

**BIBLIOGRAFIA**

pag. 213

**APPENDICI:**

- A – Analisi totale
- B – Micro e S.E.M.
- C – Analisi geoelettrica
- D – Elenco floristico
- E – Manuale operativo





CAPITOLO 1.

# INTRODUZIONE



## 1.1 INTRODUZIONE.

Capita sempre più spesso che per giorni e settimane le prime pagine dei quotidiani e le prime visioni televisive siano tutte concentrate su efferati fatti di cronaca. La cronaca evidenzia pure, nel racconto di fatti e circostanze che trapelano dalle indagini svolte dalla polizia giudiziaria, lacune investigative. Lacune legate all'intempestivo intervento investigativo, nonché alla salvaguardia dei luoghi teatri di omicidio, all'inquinamento della prove, alla raccolta e conservazione delle stesse. Accorgimenti utili ed indispensabili ai fini investigativi per permettere al magistrato inquirente di assicurare alla giustizia il colpevole. Spesso si confonde però, da parte dei mass media, la criminologia con la criminalistica o con l'investigazione criminale, anche se si tratta di settori limitrofi.

Concettualmente, l'investigazione è un settore distinto dalla criminalistica: mentre la criminalistica risponde alla domanda sul "come", o sul "dove" è stato commesso un delitto, l'investigazione criminale risponde alla domanda sul "chi" ha commesso un reato. Dalla fine dell'Ottocento, l'investigazione criminale ha percorso un lungo cammino ed è per questo che diventa sempre più rilevante il contributo della scienza e delle nuove tecnologie alle investigazioni giudiziarie. Crescono di anno in anno i casi di maltrattamento, di stupro, di omicidio, di abuso di sostanze stupefacenti e di una moltitudine di altri reati più o meno gravi. La scoperta di sempre più sofisticate ed innovative tecniche di analisi dà spazio a nuove speranze, così tutte le Scienze che possono far luce su avvenimenti e morti ritenuti sospetti dal Pubblico Ministero si alléano.

Si tratta delle Scienze Forensi che si occupano dell'esame di reperti e tracce rinvenute sulla scena di un reato, discipline scientifiche anche assai diverse tra loro, ma con uno scopo comune: collaborare nell'informazione del giudice di come, più probabilmente, siano andati i fatti. Principalmente vengono individuate nell'ambito medico, psicologico, biologico, chimico

fino a spaziare alla dattiloscopia ed alla balistica. Analisi di materiali e liquidi biologici, di sostanze chimiche o di veleni, di scritture ed inchiostri fino ad analisi di residui lasciati da armi da fuoco possono aiutare notevolmente lo sviluppo delle indagini. (Lee, 2004)

Negli ultimi le Scienze Forensi anni hanno fatto molto rumore, alimentando un business affascinante basato su fiction televisive di impronta americana, attirando l'attenzione per l'inusuale ed il diverso di sempre più numerosi telespettatori che si sono appassionati alla materia: il noto "CSI Effect". Cavalcando il fascino intrinseco di argomenti talvolta macabri e raccapriccianti, l'industria della fiction ha però portato alla creazione di una serie di "falsi miti" ed alla convinzione che la scienza e le analisi di tipo scientifico siano l'unico modo per giungere alla conclusione di un'indagine, o che esse siano le uniche a poter dare delle risposte. Così non è, o meglio così non dovrebbe essere; le analisi, gli strumenti e l'apporto di conoscenze scientifiche dovrebbero servire da ausilio ai professionisti che lavorano nel settore per agevolarli nello svolgimento delle indagini, ma non sono e non devono essere percepite come la soluzione al quesito.

In ambito di casi giudiziari di ritrovamento di cadaveri occultati o non, depezzati, bruciati, saponificati o ridotti a resti scheletrici, particolare attenzione deve essere prestata al contesto ambientale, poiché esso custodisce evidenze altamente significative della successione degli eventi accaduti prima dell'evento incriminato o addirittura della morte di una persona. Se è luogo comune pensare a personale in tuta bianca che effettua il sopralluogo giudiziario (valuta la scena del crimine) in cerca di indizi misteriosi da analizzare tradizionalmente in laboratorio, bisogna invece incominciare a pensare che si dispiegano sempre più in ambito giudiziario, perizie di tipo antropologico, botanico, entomologico, geologico, geopedologico e di tutte le sfumature della Scienza della Natura (Cameron, 2004; Murray, 2004 a; Brown, 2006).

Non è possibile, data la vastità dell'argomento ed il crescente utilizzo di metodologie scientifiche in aiuto alle indagini investigative, fornire una lista definitiva delle scienze forensi: un primo tentativo, ormai sorpassato, fu compiuto da James e Nordbye riconoscevano in tale ambito le seguenti discipline (James e Nordbye, 2005):

- Antropologia forense
- Archeologia forense
- Entomologia forense
- Odontologia forense
- Patologia forense
- Psicologia e psichiatria forense



- Tafonomia forense
- Tossicologia forense.

Negli anni successivi nuove discipline si sono aggiunte, fra le quali la biologia che racchiude sotto di sé numerose altre sottodiscipline come la genetica, oppure la botanica, la palinologia, la zoologia, la geologia e la geopedologia forensi. Tale varietà di discipline giustifica in alcuni casi le difficoltà a organizzare determinati interventi: non esiste infatti un esperto in scienze forensi, ma le scienze forensi sono per definizione tutte le discipline che gravitano nell'orbita delle indagini e della giustizia e che sono di ausilio alle indagini; purtroppo la terminologia forense è saprofaga delle altre discipline e non può che identificarne l'applicazione in un determinato ambito, quello giudiziario.

Il primo caso criminale che utilizzo materiale terrigeno come evidenza risale al 1904 in Germania ad opera di Georg Popp, seguono poi numerosi casi, una ventina circa, che spaziano dall'omicidio, allo spostamento di cadavere, all'edilizia con materiali impropri... che da quel 1904 hanno utilizzato prove ed evidenze fuori dall'allora ordinario pensiero, tra i più famosi si possono citare i casi di omicidio di Margarethe Filbert e di Aldo Moro.

Il Principio di Scambio di Locard, descritto da Edmond Locard di Lione nel 1920 e confermato da numerosi esperimenti di laboratorio, pone le basi fondamentali per collezionare, analizzare e comparare particelle di evidenza microscopica. Esso sostiene che tracce sono sempre inevitabilmente lasciate qualora due materiali di qualsiasi natura entrino in contatto l'uno con l'altro: fibre tessili, capelli, polveri,... Tuttavia esso sostiene anche che la quantità di materiale trasferito può essere così esigua da eludere il suo ritrovamento, oppure il tempo trascorso tra l'evento ed il campionamento o l'analisi può aver fatto perdere la significatività dell'evidenza, ciò nonostante non nega che il trasferimento materiale sia comunque avvenuto. (Murray, 2004 b)

Se questo è vero per le evidenze microscopiche difficili da scoprire e reperire, ancora più vero lo sarà per le evidenze più consistenti che nessun dubbio lasciano presagire a proposito del perché si trovino in un contesto non a loro propriamente "naturale". (Schultz *et al.*, 2007; Sugita & Marumo, 2004).

E' proprio sulla base di questo principio che gli specialisti forensi di oggi si basano per cercare, campionare, isolare e comparare evidenze con il fine ultimo di stabilire connessioni tra vittima e sospetto, tra persone e luoghi, tra persone e veicoli,... (Pye & Croft., 2004 a). Molto spesso una associazione positiva può essere utilizzata come prova, ma la difficoltà risiede

proprio in questa affermazione: quando e come è possibile assegnare una positività alla comparazione da fornire al giudice con una probabilità sufficiente perché questo possa sentenziare una decisione? (vedi Cap. 1.4 Criteriologia della prova) Il più delle volte le perizie riportano correlazioni negative, ma l'incertezza è sempre presente e non è possibile, nemmeno in questo caso, escludere il contrario con probabilità assoluta se non in determinati campi di indagine e situazioni particolari.

Analisi delle matrici ambientali eseguite nell'intento di aiutare lo svolgimento di investigazioni scientifiche sono raramente utilizzate poiché maggiormente difficoltose di quelle comparative, tuttavia tali analisi possono fornire indicazioni discriminatorie molto importanti per la loro prosecuzione, evitando lo spreco di forze e tempo su strade incerte. (Palenik, 2007; Isphording, 2004 b). Ovvero esiste una dicotomia dello studio pedologico al fine forense, si possono coadiuvare le indagini già in corso per fornire una discriminazione o per intraprendere una strada diversa da quella scelta, oppure fornire una correlazione più o meno forte tra due o più campioni per rispondere a determinate domande poste dalle autorità giudiziarie.

Da più di dieci anni la sezione di Medicina Legale dell'Università degli Studi di Milano, in particolare il Laboratorio di Antropologia ed Odontologia Forense insieme ai Dipartimenti di Scienze della Terra "A. Desio" nonché i laboratori dei Dipartimenti di Agraria e Biologia, studiano su progetti sperimentali e si confrontano con casi reali al fine di protocollare e fornire standard per l'applicazione delle Scienze Naturali in seno alla Medicina Legale e non da ultimo tentano di sensibilizzare la magistratura all'uso di queste discipline nello svolgimento delle indagini.

Il progetto oggetto di questo lavoro di Dottorato pone l'attenzione, tra le altre cose, sull'elemento "suolo" come evidenza giuridica. Infatti il suolo presenta per sua natura caratteri peculiari fisici, chimici, mineralogici e biologici, plasmati da una moltitudine di fattori ambientali, naturali ed antropici, che lo tipizzano spazialmente. Questo rende lo studio del suolo naturale estremamente complesso, ma sottolinea chiaramente la particolarità che fa del suolo una potenziale evidenza da utilizzare nell'ambito di indagini forensi. Non meno importante è da ricordare quanto il suolo sia importante nel record geopedologico, ossia nella capacità di registrare gli avvenimenti temporali non solo attraverso la sua evoluzione ma anche tramite l'inglobamento di evidenze estranee ad esso e che in esso trovano l'oblio temporaneo fino al ritrovamento. Di oltre 800 autopsie eseguite annualmente presso l'Istituto di Medicina Legale e delle Assicurazioni dell'Università di Milano, almeno un terzo riguarda cadaveri o resti umani rinvenuti in ambienti che richiederebbero analisi di ambito geologico-geopedologico.

Alla luce anche dei risultati forniti dalla tesi di laurea specialistica: “L’applicazione della Pedologia Forense in Ambito Medico Legale – studi di casi reali” (Ern, 2008) e per quanto emerge pure da opinioni internazionali in merito, è stato denotato quanto necessario sia creare una figura professionale (Esperto/Tecnico Naturalista) capace di operare nei casi di ritrovamento di cadaveri occultati e non, in ambienti naturali e seminaturali. Una presenza forte all’interno di un team di specialisti in diverse materie come l’entomologia, la botanica, la genetica, ecc., capace di dialogare con essi in modo da far confluire tutte le informazioni ricavate in una storia organica, la cui connessione è data dal suolo: evidenza ed al tempo stesso contenitore di tutte le altre evidenze.

Sarà preso in considerazione il suolo nella sua interezza con la sua parte minerale, più stabile nel tempo e quindi più difficilmente modificabile, ma anche per questo più difficilmente interpretabile, ed anche con la sua parte organica. La sostanza organica e gli apporti dei nutrienti minerali al suolo da parte di un corpo animale/umano in decomposizione (Fiedler *et al.*, 2004) può essere anche molto marcata, l’unico problema riscontrato è che il “microambiente o isola di decomposizione” che si instaura nell’intorno del cadavere e che evolve con il passare del tempo, che attraversa diversi stadi e che provoca alterazioni della vegetazione ed arricchimenti composizionali nel suolo, potrebbe essere un fenomeno estremamente effimero, ossia molto veloce. Risulterebbe quindi molto difficoltoso accorgersi di un’area interessata dalla decomposizione di una carcassa qualora la stessa, seppur nelle numerose apparenze alle quali i processi decompositivi possono portarla, non fosse più presente, soprattutto in ambienti naturali dove il turn-over della sostanza organica è già di per sé molto veloce. (Isphording, 2004 a).

Studi effettuati, inoltre, mostrano che questa situazione di alterazione ambientale nell’immediato intorno della carcassa si verifichi quasi esclusivamente nel caso di cadaveri abbandonati in superficie o sepolti a poca profondità (Carter *et al.*, 2007; Wilson *et al.*, 2007; Forbes *et al.*, 2005 a, b, c), questo rientra perfettamente nei canoni di un occultamento di cadavere dove se il cadavere viene sepolto, la buca non raggiunge mai una profondità elevata; eccezione viene fatta in caso di omicidio ed occultamento premeditato, dove è plausibile ipotizzare che la fossa venga scavata in un tempo antecedente all’omicidio e per questo motivo essa venga scavata molto più profonda per consentire un migliore occultamento del cadavere nonché una migliore cancellazione delle prove.

Sir Arthur Conan Doyle lo diceva già con la sua penna, facendo parlare l’investigatore Sherlock Holmes: *"At a glance the splashes on his trouser told me what part of London he had*

*been to*".\* Dal 1887 la serie del famoso detective in trench a quadri, scritta da un medico, ha fornito ai lettori una appassionante lettura ed agli esperti scientifici un incoraggiamento ad utilizzare la scienza come evidenza nelle indagini giudiziarie. Nel 1893, Hans Gross, scienziato forense austriaco, scrisse il libro "Handbook for Examining Magistrates", nel quale suggeriva che lo sporco sulle scarpe di qualcuno poteva raccontare molto più a riguardo di dove era stato che non altre, apparentemente più pertinenti, domande interrogatorie. Era solo una questione di tempo perché queste idee, di un autore di fiction e di un manuale criminalistico, finissero in un'aula di tribunale. Un chimico Tedesco, George Popp, nel 1908 esaminò le evidenze del caso Margarethe Filbert (Murray & Tedrow, 1992), che ormai fa parte della ventina di casi storici studiati e risolti attraverso le Scienze della Terra. (Murray, 2004 b).

Un secolo più tardi, l'uso di materiali geologici in crimini e casi civili è divenuto una pratica abbastanza comune. Laboratori pubblici e privati che analizzano suolo e materiali correlati sono presenti in tutto il mondo, includendo i laboratori dell' FBI negli Stati Uniti, la Polizia Scientifica in Italia, il Centro di Scienze Forensi a Toronto, l' Istituto Nazionale di Scienze Polizieche in Giappone e molti altri. (13<sup>th</sup> Interpol Forensic Science Symposium, 2001)

Senza forti dubbi, il più conosciuto iniziatore in questo nuovo campo di studio a metà degli anni 1970 è Raymond Murray, professore alla Rutgers University del New Jersey, il quale in collaborazione con John Tedrow scrisse nel 1975 "Forensic Geology", libro rinnovato nel 2004 con il titolo "Evidence from the Earth: Forensic geology and criminal investigation" che è divenuto testo di cultura di base per tutti coloro che si occupano contemporaneamente di Scienze della Terra e Scienze Forensi. In accordo con Murray e Tedrow (1975), la geologia forense si occupa dell'analisi di evidenze facenti parte di una straordinaria varietà di materiali come suolo, vestiti, capelli, sangue, impronte delle scarpe, impronte digitali, metalli, vetro, pitture, materiali organici e inorganici, legno, polveri, sigarette e ceneri, carta, fibre, oli e derivati, documenti, contenitori e materiali da costruzione o da imballaggio; ma primariamente concerne con il suolo. (Wiltshire, 2006 b)

Per sua natura il suolo presenta caratteri fisici, chimici, mineralogici e biologici peculiari, plasmati da una moltitudine di fattori ambientali naturali ed antropici, che lo tipizzano spazialmente; ma, come un organismo biologico o un processo chimico, si può dire che il suolo vive e si evolve nel tempo verso uno stato stabile, in relazione a tutti i fattori che lo condizionano.

---

\* "A colpo d'occhio le macchie sui suoi pantaloni mi dicevano in quale parte di Londra egli era stato"

Bisogna chiarire che la variazione spaziale è facilmente riscontrabile qualora ci si trovi ad affrontare studi pedologici su una vasta area che prende in considerazione ambienti diversi in termini di vegetazione, geomorfologia, idrologia, altitudine,... Proprio perché è possibile leggere sul territorio differenze legate ai fattori ambientali, si è in grado di distinguere suoli contigui diversi, assegnando comunque margini ecotonali dove si rilevano caratteristiche intermedie. La situazione si complica quando, possedendo un campione di suolo, si voglia sapere il luogo di provenienza; non è possibile, dato un campione di suolo avulso dal suo contesto, capirne la provenienza geografica assoluta. (Murray, 2004 b).

L'esistenza di suoli zonali caratteristici dei grandi biomi della Terra (Dokuchaev, 1883), prevalentemente influenzati dai diversi regimi climatici, non può essere d'aiuto per la discriminazione delle diverse aree di provenienza, poiché questi si estendono coprendo superfici estremamente grandi e di conseguenza possiedono scarso o nullo potere discriminatorio. Il suolo dunque varia orizzontalmente in funzione della roccia madre da cui prende origine, della copertura vegetale che si instaura,... ma, come precedentemente accennato, varia pure verticalmente in funzione del tempo e del differenziarsi con la profondità dei fenomeni pedogenetici.

La sua particolare genesi, che si può semplicisticamente definire "dall'alto verso il basso", fa sì che nel tempo ogni variazione ed avvenimento ambientale sia registrato negli orizzonti, ed ogni cambiamento o influenza marcata dei diversi parametri ambientali perturbi il normale iter evolutivo dello stesso. Nel caso di indagini forensi, possono passare svariati anni tra il repertamento, dove il campione subisce il "congelamento" dei processi evolutivi, e l'ipotetico studio di campioni restati in loco o provenienti da altri repertamenti, tuttavia a causa dell'estrema lentezza dei processi geopedologici è possibile discernere ancora piccole somiglianze ed evidenti differenze dopo parecchi anni.

Dal momento che il suolo presenta una elevata variabilità spaziale, è proprio questa particolarità che crea la potenzialità di utilizzare il suolo come evidenza nello svolgimento delle indagini forensi (Rendle, 2005). La problematica risiede nella lettura di questa sorprendente evidenza che molte informazioni può celare al suo interno. Sono stati condotti numerosi studi, seppur questi si muovano su pochi fronti ed in un ambiente ancora scarsamente affrontato da contributi scientifici, poiché la geopedologia forense come campo scientifico si presenta, come si è potuto intuire leggendo fin qui, particolarmente ostico e complesso.

Cosa ormai certa è lo svolgimento di indagini comparative, che mirano alle particolarità che il campione repertato presenta, sfruttando queste per collegarlo ad un ipotetico campione

proveniente per esempio dalle scarpe di un sospettato, dalle ruote di un veicolo, piuttosto che da altre, spesso impensabili, fonti. (Bull *et al.*, 2006)

Il suolo può essere un'evidenza in sé, con la sua particolare composizione, oppure custodire al suo interno tracce assai importanti per l'avanzamento delle indagini, quali capelli, fibre, pollini, macroresti vegetali, particelle estranee in generale e quant'altro in esso si trovi. (Wiltshire, 2006 a).

Questa tesi affronta lo studio del suolo in termini geopedologici, si preoccupa quindi di fornire una caratterizzazione dei campioni tale per cui questi possano essere ritenuti uguali o diversi dal campione di riferimento e non di meno si propone di indagare anche l'evoluzione nel tempo di tali caratteristiche geopedologiche.

Nell'ultimo decennio si sono succeduti svariati lavori che prendono in considerazione le diverse analisi effettuabili su campioni geologici di svariato tipo, tra i quali particolarmente gettonato è il suolo, questo proprio perché esso si trova ad interfaccia tra qualsiasi evento che accade e la banca informativa del record geologico onde per cui è in grado di ricordarne l'accaduto. (Stam, 2004) Naturalmente l'analisi da effettuare va opportunamente scelta in base all'aspetto di interesse che si vuole sottolineare ed indagare. In questo modo, alle più classiche analisi proprie della pedologia di tipo fisico, chimico, geochimico, mineralogico e micromorfologico, si affiancano quelle più specialistiche e sofisticate di chimica fine, che fanno uso di strumenti e macchine particolari. (Jarvis *et al.*, 2004)

La contaminazione del campione è un altro aspetto a cui prestare particolare attenzione, poiché può compromettere l'esito delle analisi, ciò è ancor più vero in campo forense dove la situazione di lavoro assegna la massima responsabilità all'operatore e la compromissione delle analisi dovuta ad un errato campionamento o ad una contaminazione successiva allo stesso, può avere conseguenze molto gravi. Al fine di minimizzare le possibilità di contaminazione, il campionamento dovrebbe essere sempre di competenza di uno specialista, il quale in base al caso, adopererà i migliori accorgimenti e conoscenze a lui proprie, in modo da scongiurare errori inopportuni.

Bisogna tener presente che ogni caso è diverso, ogni caso è un caso a sé. E' così, se si guarda con occhio geopedologico un caso giudiziario; talvolta un'analisi utilizzata per un caso potrà essere inefficace o inapplicabile ad un altro ed è per questo motivo che sono necessari specialisti in materia, poiché si rendano conto il prima possibile di quale tecnica applicare, di cosa andare a cercare e soprattutto di cosa campionare. (Murray, 2004 b).

Molte volte i campioni di terreno di un caso vengono recuperati dalle forze dell'ordine, è certamente un passo in avanti se si tiene conto che fino a poco tempo fa ciò non accadeva, ma rare sono le volte in cui vengono annotate informazioni estremamente importanti come la profondità, la distanza dal cadavere, la variabilità dell'intorno,... tutte informazioni che completano una visione ampia e generale della scena del crimine. Si pensi solo quanto possa portare fuori strada la comparazione di due campioni di suolo raccolti nella medesima zona boscata, uno in superficie di colore scuro, ricco di humus e l'altro proveniente dalla profondità della buca di occultamento del cadavere. (Murray, 2004 b).

Inoltre, dato che il campione di suolo prima di essere analizzato subisce vari trattamenti di preparazione diversi a seconda dell'analisi che si andrà ad effettuare, è opportuno avere presente la proprietà che si andrà ad analizzare, proprio perché i vari trattamenti preparatori possono distruggere determinate evidenze, quindi bisogna tenerne conto ed operare una scelta di analisi che non precludano la possibilità di effettuarne altre, soprattutto in caso di campioni esigui.

Discorso a parte richiedono i campioni indisturbati di suolo che verranno indagati sul piano micromorfologico tramite l'uso di un microscopio petrografico. Essi subiscono una preparazione mirata alla possibilità di essere tagliati e smerigliati al fine di raggiungere spessori dell'ordine delle decine di  $\mu\text{m}$ , per poter essere attraversabili dalla luce. E' però inusuale che in ambito forense si studino sezioni sottili di suolo, poiché queste richiedono una lunga preparazione, un campione consistente opportunamente raccolto e non sono comparabili con le evidenze repertate, le quali si possono dire tutt'altro che indisturbate, non possono perciò fornire risposte pertinenti a quesiti di tipo giudiziario. Questo era comunemente il pensiero diffuso, a causa del quale non si trovano studi in materia antecedenti a quello trattato nel progetto di ricerca di questa tesi.

Tutte le diverse analisi forniscono dati relativi o assoluti che possono essere rappresentati graficamente attraverso numerose forme di diagrammi o tipologie di curve ed essere oggetto di elaborazioni statistiche al fine di una migliore interpretazione e presentazione dei risultati.

Le tecniche di analisi impiegate possiedono vantaggi e svantaggi in termini di quantità di campione necessario, limiti di rilevabilità e significatività, facilità nella preparazione del campione, accuratezza dei risultati, distruzione del campione e costi. (Pye *et al.*, 2006). Quando ci si trova davanti ad un caso, ci si trova davanti ad una scelta, è lo specialista il responsabile della migliore possibilità di riuscita del lavoro.

Lo stato dell'opera della Geopedologia Forense si trova all'inizio della conoscenza possibile in tale campo, sebbene nell'arco degli ultimi trent'anni ci siano state pubblicazioni di notevole interesse che si addentrano nella problematica della decifrabilità dell'evidenza pedologica, alcuni progetti di dottorato che si approfondano nelle tecniche geoscientifiche e siano fiorite associazioni in tale materia, non sono state fatte scoperte eclatanti nei riguardi di come poter leggere il suolo nel migliore dei modi nelle diverse situazioni.

Nella presente tesi di Dottorato si è voluto dare spazio a nuove tecniche creando protocolli *ad hoc* per le analisi ed effettuando campionamenti facili e veloci. In relazione alla bibliografia esistente sono state riprese analisi come quelle granulometriche e sul pH per poter ampliare e verificare i risultati bibliografici, mentre per gli scopi quali quelli di identificare una buca di sepoltura senza il corpo e della stima del PMI sono state effettuate analisi del tutto nuove in microscopia ottica ed elettronica; non va dimenticato poi tutto il corredo di analisi prettamente geopedologiche che sono state effettuate per una corretta conoscenza del suolo in questione e per un possibile utilizzo in caso di risultati interessanti.

Giunti a questo punto, prima di entrare nel merito del progetto di ricerca, dei protocolli analitici creati e considerati e delle analisi effettuate, si ritiene opportuno introdurre in maniera più approfondita i tre argomenti principali di questa tesi, ovvero la tafonomia, la geopedologia e la criteriologia medico legale.



## 1.2 TAFONOMIA.

La tafonomia è la scienza che studia i processi di conservazione che portano alla formazione del resto fossile. Il termine deriva dalle parole greche τάφος (táfos) = tomba, sepoltura e νόμος (nòmos) = legge, regola. Questa scienza si occupa dell'intera storia dell'organismo, dal momento della morte o della preagonia fino alla definitiva conservazione ed al suo eventuale ritrovamento, studiandone pertanto il trasferimento di materia dalla biosfera alla litosfera (Behrensmeyer, 2009).

Considerando l'animale "uomo", l'archeologia ha da sempre studiato le sepolture, soprattutto da un punto di vista culturale, e non di meno l'antropologia fisica ne ha studiato l'evoluzione osteo-scheletrica nel susseguirsi dei millenni, così che risulta ovvia l'importanza che gli studi tafonomici rivestono in ambito archeologico ed antropologico per l'interpretazione dei costumi, delle usanze e delle vicissitudini della vita pregressa e degli attimi perimortali degli individui oggetto di scavo e di studio.

Per praticità, la tafonomia viene suddivisa e distinta in quattro fasi che si susseguono temporalmente:

- la morte dell'organismo,
- le vicende che subiscono i resti fino al loro seppellimento (branca di studio denominata biostratinomia),
- il seppellimento definitivo nei sedimenti,
- le trasformazioni fossil-diagenetiche.

Per quanto riguarda le tempistiche di formazione, gli eventi che vanno dalla morte al seppellimento si sviluppano in tempi storici, quindi dell'ordine di qualche decina di anni al massimo, mentre gli eventi che vanno dal seppellimento alla formazione del fossile si sviluppano in tempi geologici, ovvero in migliaia o milioni di anni.

Un fossile diventa tale quando rimane sepolto entro il record geologico e si può giustamente dire che il seppellimento è condizione necessaria perché i resti dell'organismo ormai morto non imbocchino la via della decomposizione tradizionale e non tornino all'ambiente sottoforma di composti semplici ed elementi chimici. La morte di un organismo può essere utile per studi paleoecologici e biostratinomici, poiché nella quasi totalità dei casi in natura gli organismi non giungono a completare l'intero ciclo di vita, ma muoiono prematuramente a causa di eventi straordinari, quali la predazione, il parassitismo, l'avvelenamento, il soffocamento, .... La probabilità dunque che i resti divengano fossili, dipende dai casi favorevoli che si vengono a creare nel momento in cui l'organismo muore, gli stessi consentiranno poi, una volta ritrovato il fossile, la ricostruzione paleoambientale.

Con il termine biostratinomia si definisce quel ramo della paleontologia, e più precisamente della tafonomia, che studia la successione temporale degli eventi (decomposizione, disarticolazione, bioerosione, dissoluzione, ...) che avvengono a partire dalla morte, o dallo stato preagonico, di un organismo fino al suo seppellimento ed i quali possono portare alla sua fossilizzazione. I processi biostratinomici fanno parte del più ampio campo di indagine della tafonomia, che comprende tutti i processi che avvengono nell' intervallo temporale tra la morte dell'organismo e la definitiva inglobazione entro la litosfera.

Lo studio dei processi biostratinomici attuali, indispensabile per la corretta interpretazione di molti giacimenti di fossili, prende il nome di actuopaleontologia o più semplicemente paleontologia attualistica. Tuttavia, nell'ottica del presente progetto, è facile intuire quanto la tafonomia, ed in particolar modo gli studi biostratinomici, possano essere d'aiuto anche nel campo forense, ossia in casi di sepoltura di corpi avvenuti non fortuitamente, ma volontariamente.

Basti pensare allo studio dell'evoluzione umana, basato massimamente su ciò che più a lungo si conserva dell'uomo, ovvero le strutture ossee e dentarie. Le ossa ed i denti sono come un libro che racconta la vita dell'individuo cui appartengono. Essendo il tessuto osseo un tessuto "vivo" in continua trasformazione durante tutta la vita, esso è in grado di rispondere in differente modo a sollecitazioni provocate da traumi e fratture ed è pure in grado di registrare periodi di carenze alimentari o di stress fisico dovuto a malattie sistemiche o ad infiammazioni locali. Questa particolarità fa sì che le vicende attraversate dall'individuo durante la vita, permangano scritte nelle sue ossa, e grazie alla fossilizzazione, che queste informazioni si conservino fino ai giorni nostri.

Tuttavia i resti dell'organismo che permangono nell'ambiente sono esposti processi chimici, fisici e biologici che portano solitamente alla completa distruzione dei tessuti (Gastaldo et al., 1996). In questo modo, i cicli dei vari elementi non smettono mai il loro lento avanzare: tutto è riciclato, tutti i composti sono smontati e rimontati un'innumerabile numero di volte, uguali e differenti al tempo stesso e si potrebbe dire che avvenga così "all'infinito", se talvolta non intercorressero accadimenti straordinari che letteralmente sottraggono materia ai cicli biogeochimici stessi.

Per quanto riguarda i processi chimici, il primo intervento lo opera la necrolisi, ovvero la putrefazione: durante questa fase le parti molli dell'organismo incominciano a decomporsi. Le parti dure degli organismi viventi, sia mineralizzate come le ossa (e gusci), sia non mineralizzate (come chitina e lignina) hanno maggiori possibilità di superare l'intervallo di tempo critico tra la morte e l'inclusione nel sedimento, i tessuti molli costituiti da carboidrati, lipidi e proteine, dopo la morte scompaiono o subiscono drastici cambiamenti, soprattutto se contengono elevate quantità d'acqua. In ambiente aerobico, i batteri intervengono come catalizzatori, mentre al contrario, in ambiente anaerobico la sostanza organica si conserva grazie all'assenza di ossigeno. Si ricorda a questo punto come, in contesto archeologico e geoarcheologico, abbia notevole importanza la condizione di anossia che si può sviluppare nel sottosuolo così come sul fondo di bacini idrici con scarso o nullo ricircolo d'acqua. In questi ambienti è molto probabile che, a causa di grandi quantità di materiale organico che va sedimentandosi e che inizia a decomporsi, vengano esaurite le riserve di ossigeno nell'immediato intorno tale per cui il materiale organico restante, parzialmente o non ancora decomposto viene sottratto al normale decadimento ed in questo modo conservato per decenni o ancora millenni nel medesimo stato, fornendo nel momento del suo ritrovamento preziose informazioni sul passato.

I processi chimici continuano poi con la fase di disarticolazione, durante la quale le parti mineralizzate che sono usualmente tenute insieme da parti organiche (legamenti) cominciano lentamente a perdere la loro connessione anatomica-funzionale poiché le parti organiche vanno in necrolisi e si disgregano. L'ambiente nella sua complessità biotica ed abiotica (moto ondoso, correnti, necrofagi, ma anche lo spostamento del cadavere, il suo particolare trascinarsi piuttosto che la caduta in una fossa profonda) può alterare la connessione originaria dei vari distretti corporei, sparpagliano e addirittura disperdendo parti importanti dei tessuti mineralizzati. Anche in questo caso è facile immaginare quanto le più disparate situazioni di ritrovamento dei resti, possano raccontare molto relativamente all'ambiente al tempo della morte, oppure alle azioni intraprese per sfuggire alla morte in un

determinato ambiente o ancora a come l'ambiente sia cambiato successivamente alla morte dell'organismo in esame.

Passando brevemente in rassegna i processi fisici relativi alla biostratinomia, primo fra tutti si classifica il trasporto, che in mare trova un'espressione assai marcata grazie alle correnti ed al moto ondoso. Questi fenomeni sono immediatamente collegati ad altri quali l'abrasione ed il logorio meccanico. Il trasporto può anche dar luogo a deposizione orientata: dall'analisi delle messa in posto dei resti, depositi in modo caratteristico, si possono ricavare informazioni sull'energia posseduta dall'ambiente in questione. L'applicazione in ambito forense dello studio della disposizione dei resti può raccontare come e verosimilmente quando sia stato spostato un corpo, quindi ricostruire parzialmente o interamente la storia del cadavere ritrovato in posizioni non direttamente correlabili a posizioni anatomiche assunte normalmente al momento del decesso.

E' normalmente noto che l'ambiente subaereo terrestre si presenta solitamente sfavorevole alla conservazione più o meno integra di carcasse di animali morti a causa degli agenti atmosferici, salvo che non intervenga un veloce seppellimento dei resti, che li preservi da ulteriori azioni fisiche distruttive. Dunque il seppellimento rimane punto fondamentale per la conservazione. Tuttavia, se ci si ferma a pensare ed a prendere in considerazione che l'occultamento di cadavere avviene spesso e volentieri in aree seminaturali mediante una sepoltura sbrigativa, quindi non molto profonda, ci si rende subito conto di quanto l'azione di occultamento di cadavere avvicini, molto di più di quanto si sia portati a credere, le probabilità di una conservazione prolungata del cadavere stesso anziché una sua accelerata decomposizione.

I processi biologici che interessano la biostratinomia dunque, sono quei processi che avvengono per opera di altri organismi, si possono annoverare tra di essi la predazione e la bioerosione (ad opera di organismi che erodono i resti inorganici); nel caso particolare in cui l'organismo che compie azioni sia l'uomo, è possibile annoverare negli stessi anche il trasporto e l'occultamento di cadavere.

La predazione sia ad opera di animali predatori propriamente detti, sia ad opera dei necrofagi può alterare notevolmente la situazione creatasi nell'immediato istante dopo la morte. Infatti, questo lavoro sperimentale contemplava, fin dall'inizio, pure l'osservazione diacronica delle alterazioni post mortali su lattonzoli di maiale lasciati in superficie nelle medesime aree utilizzate per le sepolture. Sfortunatamente però, alcuni lattonzoli non sono più stati ritrovati dopo il primo mese ed i restanti sono stati o profondamente disarticolati (poiché si sono

ritrovate un numero esiguo di ossa nel raggio di cinque metri circa) oppure sono scomparsi totalmente entro il sesto mese.

In geologia poi, si definisce con il termine diagenesi un qualsiasi cambiamento chimico-fisico subito da un sedimento dopo la sua deposizione iniziale e durante e dopo la sua trasformazione in roccia coerente, ad esclusione dell'alterazione superficiale (erosione), quindi durante e dopo la litificazione. I cambiamenti diagenetici avvengono a temperature (fino a circa 200 °C) e pressioni (2-3 bar) relativamente basse e possono avere come conseguenza variazioni della mineralogia e/o della struttura originale della roccia. La diagenesi rientra a pieno titolo nei processi sedimentari, per quanto potrebbe essere considerata il grado più basso del metamorfismo, nel quale sfocerebbe se la combinazione di pressione e temperatura fosse più elevata (Tucker, 2001).

I processi diagenetici precoci avvengono al momento della sedimentazione fino a un modesto seppellimento; in questa fase può essere molto intensa l'azione dei batteri. I processi diagenetici cosiddetti tardivi invece, hanno luogo invece dopo un seppellimento più profondo dovuto ad esempio a subsidenza. La durata complessiva di questi processi può essere anche di milioni di anni.

Si riconoscono, infatti, diverse fasi nel corso della diagenesi:

- Compattazione, che è dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti (pressione litostatica); essa provoca la fuoriuscita delle acque interstiziali e quindi l'avvicinamento dei singoli clasti; di conseguenza la porosità e la permeabilità tendono a diminuire durante la diagenesi.
- Ricristallizzazione, che coinvolge alcuni minerali instabili presenti nel sedimento; questo processo produce una cementazione dei clasti coinvolti ed è causato proprio dalla pressione tra clasto e clasto.
- Dissoluzione e sostituzione, che interessano alcuni minerali che possono disciogliersi e/o essere rimpiazzati da altri; questo è un processo importante nella trasformazione di alcune rocce come la trasformazione della calcite in dolomite (dolomitizzazione).
- Precipitazione di nuovi minerali dalle acque percolanti tra gli interstizi del sedimento; se la precipitazione è elevata, arrivando a riempire gran parte dello spazio dei pori entro la roccia, si ottiene la cementazione del sedimento stesso che da incoerente diviene infine coerente.

Lo studio della diagenesi nelle rocce è usato per capire la storia tettonica a cui sono state sottoposte e la natura ed il tipo di fluidi che le hanno attraversate; da un punto di vista economico, permette di valutare la probabilità di trovare minerali sfruttabili ed idrocarburi (Negretti, 2003). E' intuibile che i processi diagenetici si sviluppano su scale temporali molto ampie (tempi geologici), dunque gli effetti possono essere riscontrati eventualmente in ambito archeologico, ma difficilmente in ambito forense.

Tuttavia, un'attenta valutazione della scena di una sepoltura recente, di interesse giudiziario, effettuata attingendo dalle sopraccitate branche di studio, come la biostratigrafia, può verosimilmente spiegare quello che è accaduto poco prima della messa in posto del cadavere, nonché rispondere alle domande circa la disarticolazione e lo spostamento dei distretti corporei dovuto alla naturale decomposizione.

### **1.2.1 TAFONOMIA FORENSE**

Quando si passa all'applicazione della tafonomia propriamente paleontologica alle situazioni giudiziarie, e quindi di epoca più recente, si suole denominare questa branca di studio Tafonomia Forense, la quale comprende lo studio dei processi di decomposizione, le circostanze della morte, l'analisi di traumi e di tutti gli altri fattori relazionati con la stima del tempo intercorso dalla morte (TSD). Questa disciplina attinge appunto dagli studi propriamente paleontologici ed archeologici sulla struttura e sull'assemblaggio delle ossa ed intraprende nuove direzioni sottoforma di casi di lavoro dove si vanno a verificare situazioni e condizioni in cui i resti umani possono essere ritrovati (Duhig, 2003).

Sempre più spesso in casi reali di ritrovamento di resti umani vengono richieste informazioni agli antropologi forensi, che analizzando lo scheletro o quel che ne rimane possono riuscire o meno a fornire risposte al PM. Le domande che vengono poste oggi, tuttavia, sono molto più estese talvolta, di quello cui la disciplina dell'antropologia fisica è solita rispondere, questa situazione favorisce l'incipiente sviluppo di interrelazioni con i campi affini della tafonomia forense, dell'archeologia forense e dell'analisi forense di traumi e lesioni, tutte discipline che orbitano nel sistema di ricostruzione degli eventi circostanti l'evento della morte. (Dennis *et al.* 2008).

La ricerca in questi campi affronta esperimenti volti a definire sempre meglio il TDS in vari scenari, a differenziare traumi peri- e post-mortali, ad identificare gli effetti di combustioni, a valutare la disgregazione di ossa e denti dovuta agli agenti atmosferici ed a molti altri aspetti. (Hughes & White, 2009)

Il termine “Tafonomia Forense” fu coniato nel 1940 da Efremov, il quale identificava questa disciplina come “lo studio della transizione, in dettaglio, dei componenti organici dalla biosfera alla litosfera del record geologico”. La prima pubblicazione tafonomica forensicamente rilevante si è avuta solamente nel 1987 ad opera di Boddington, Garland e Janaway intitolata “Death, Decay and Reconstruction: Approaches to Archaeology and Forensic Science”, in questa i tradizionali obiettivi della tafonomia vengono enfatizzati, includendo la ricostruzione paleoambientale, la determinazione dei fattori causali di differenti attriti tra le ossa e loro conseguente distruzione, la comprensione di probabili trasporti selettivi di elementi scheletrici e la discriminazione tra agenti modificatori delle ossa umani e non umani.

Già nel 2001 un editoriale di *Forensic Science International* (Editorial, 2001) che si proponeva di dare uno sguardo alla disciplina dell’antropologia forense nel XXI° secolo denunciava la mancanza di studi tafonomici ed in particolare di studi sui traumi perimortali, esortava poi gli antropologi e gli scienziati specializzati in tali materie a sviluppare studi in questa direzione, per migliorarne l’identificazione in casi reali. Si può dire che dieci anni dopo la situazione sia migliorata, forse non in modo consistente, ma sono sempre più numerose le richieste di perizie antropologiche in ambito medico legale ed i medici patologi sono sempre più formati ed informati circa le potenzialità delle tecniche osteologiche quando gli stati decompositivi non lasciano più tracce consistenti di tessuti molli su cui operare la propria consulenza. (Dirkmaat *et al.*, 2008)

Spendendo due parole sull’ambito della ricerca, non si può non ricordare l’Anthropological Research Faculty (ARF) dell’University of Tennessee a Knoxville (UTK) attivo fin dal 1981, che dal 2000 riceve, mediamente ogni anno, circa cento corpi donati alla scienza per studiarne le alterazioni postmortalità. Negli ultimi anni sono poi sorti altri tre centri dove si studia la decomposizione umana: al San Marcos della Texas State University, alla Western Carolina University ed alla Sam Houston University (TX).

In tutte quelle nazioni dove la ricerca sugli esseri umani non è permessa per legge, il modello animale eletto è il maiale (*Sus scrofa*) e negli ultimi anni si sono avvicinati alcuni progetti proprio in merito alle alterazioni postmortalità relative a sepolture in diversi ambienti iniziando così a percorrere una strada difficile e disorganizzata come si presenta quella della tafonomia applicata in ambito forense. (Wilson *et al.*, 2006; Schotsmans *et al.*, 2012)

Altro strada molto interessante e per la quale non si hanno pubblicazioni a sufficienza, sono le alterazioni postmortalità dovute alla fauna locale nelle diverse regioni del mondo in ambiente seminaturali, per le quali risulta necessaria la stesura di protocolli sperimentali al fine

di collezionare un background di dati usufruibile a posteriori (Morton & Lord, 2006; Adams & Bird, 2006; Stojanowski *et al.*, 2002).

### **1.2.2 DECOMPOSIZIONE ED ALTERAZIONI POST-MORTALI**

Con la morte e lo spegnimento della pompa cardiaca cessa l'apporto di ossigeno ai tessuti operato dal flusso sanguigno; da questo momento prendono avvio i processi di autolisi o di auto-digestione a cominciare dal livello microscopico-cellulare. I cambiamenti macroscopici sono il risultato del venir meno degli enzimi idrolitici negli spazi intracellulari che, in vita, permettono le giunzioni e le adesioni cellulari, senza questi i tessuti e gli organi divengono fragili e si liquefano. L'autolisi incrementa l'anaerobiosi locale, cosa che favorisce il proliferare rapido di batteri normalmente presenti nel corpo, ma inibiti dalla presenza dell'ossigeno; i numerosi cataboliti rilasciati forniscono nutrienti per la crescita di altri batteri e di flora fungina. La proliferazione di microorganismi e dei loro prodotti di scarto hanno risultati evidenti in termini di colore, odore e cambiamenti morfologici caratteristici dello stadio putrefattivo della decomposizione.

Se si pensa che tutto questo può avvenire nel suolo in caso di occultamento di cadavere, diviene molto facile comprendere quanto il suolo può essere d'aiuto come materiale da analizzare per i diversi scopi richiesti nella casistica forense. Inoltre la diagenesi, che avviene dopo il seppellimento quale alterazione chimica in forma di scambio di componenti ionici tra le ossa e l'ambiente circostante, coinvolge profondamente il suolo. Una volta che la componente collagenica delle ossa è andata perduta, predomina la decomposizione chimica e gli ioni calcio vengono scambiati con le soluzioni percolanti nel suolo in cambio di protoni. Il tasso ed il grado della diagenesi dipendono da molti fattori ambientali, non da ultimo la composizione chimica propria del suolo.

Numerosi altri sono gli stati di decomposizione che si possono presentare a seconda delle innumerevoli condizioni ambientali che vanno ad influire su un cadavere che resti in balia della natura. La permanenza in acqua di morti per annegamento favorisce un processo denominato saponificazione che porta le masse di grasso corporeo a trasformarsi in una sostanza caseosa, plasmabile al tatto, di colore biancastro chiamata adipocera (Kahana *et al.*, 1999); mentre ambienti più caldi, ben aerati nonché assolati possono accelerare la disidratazione del cadavere e perciò inibire tutti quei processi decompositivi che necessitano di un ambiente acquoso per avvenire, portando in tale modo il cadavere ad una vera e propria mummificazione od in un'accezione più spinta ad una vera e propria corificazione della pelle e



del derma, il cadavere si presenterà brunastro e la pelle assumerà una consistenza molto dura e legnosa (Aturaliya & Lukasewycz, 1999).

E' quindi molto interessante andare a capire quanto il suolo interagisca con un corpo sepolto, e quanto leggibili siano gli scambi dal corpo verso il suolo e viceversa, dal suolo verso il corpo, ovvero verso i tessuti più resistenti quali le ossa. Proprio per questo motivo, comprendendo l'importanza del suolo come evidenza in casi di occultamento di cadavere, che il presente progetto di ricerca si è focalizzato maggiormente sullo studio e la caratterizzazione geopedologica di siti sperimentali di occultamento.

## 1.3 GEOPEDOLOGIA.

La Pedologia è la scienza che si occupa dello studio del suolo. Per la sua morfologia a copertura di quasi tutte le terre emerse, la Pedosfera (Fitzpatrick, 1984) è una matrice ambientale che possiede stretti rapporti ed interconnessioni con tutte le altre quattro sfere ambientali: la Geosfera, l'Idrosfera, la Biosfera e l'Atmosfera. Questo fatto ne fa un complesso sistema che evolve continuamente a seconda di innumerevoli fattori ambientali quali il clima, gli organismi, il rilievo, la roccia madre ed il tempo, (Jenny, 1941) attraversando periodi di resistasia e biostasia (Erhart, 1951).

Per resistasia si intendono periodi nei quali prevalgono i cambiamenti, sia climatici sia morfologici, i quali non lasciano possibilità al suolo di evolvere lungo il proprio percorso, mentre per biostasia si intendono periodi di stabilità meteorologica e di superficie tale per cui si può avere colonizzazione da parte degli organismi vegetali e di conseguenza lo sviluppo del suolo, una sua evoluzione e la sua protezione offerta dalla copertura vegetale stessa.

Genericamente composto per la maggior parte da una frazione minerale, in minore quantità da sostanza organica ed in parti variabili da acqua e da aria intrappolata nelle porosità, il suolo si presenta articolato in orizzonti a causa della sua particolare genesi. La formazione di un suolo a partire dalla nuda roccia o da un deposito sedimentario avviene nei primi momenti ad opera degli agenti atmosferici che disgregano ed alterano il substrato e successivamente in modo più marcato da organismi biologici pionieri, come licheni, muschi e piante ruderali, erbacee, arbustive, per poi giungere a plantule di gimnosperme ed angiosperme, nonché da organismi invertebrati, quali vermi ed insetti, e da piccoli e grandi vertebrati i quali, cooperando tutti insieme a loro insaputa, plasmano il suolo ottenendo come risultato gli orizzonti pedologici, più "giovani" via via che ci si spinge in profondità verso il materiale d'origine. (Cremaschi & Rodolfi, 1991)

Gli orizzonti pedologici possiedono caratteristiche differenti che li rendono distinguibili lungo il profilo pedologico, che altro non è che una sezione del terreno ortogonale alla superficie. Si rende breve nota della nomenclatura dei principali orizzonti secondo la Soil Taxonomy

adottata dal Soil Survey Staff (1998), la quale si basa sull'identificazione di caratteristiche diagnostiche ed utilizzata in questa tesi:

- orizzonti O: orizzonti superficiali dominati da materia organica in diverse fasi di decomposizione, possono essere costituiti da lettiere, torba o melma a dipendenza dello stato idrico. Vista la loro posizione superficiale, la loro peculiarità risiede nella scarsa frazione minerale in essi contenuta.
- orizzonti A: orizzonti minerali solitamente sottostanti ad un orizzonte O, sono caratterizzati da sostanza organica fortemente decomposta ed umificata ben integrata con la frazione minerale e esponenti aspetti differenti dagli altri orizzonti.
- orizzonti E: orizzonti minerali che presentano spesso colorazioni più chiare, rispetto al resto del profilo, dovute ad eluviazione, operata dalle acque percolanti, di ossidi, argille, sostanza organica o sali solubili con conseguente concentrazione residuale di sabbia e limo.
- orizzonti B: orizzonti minerali che manifestano la massima espressione del pattern di processi pedogenetici operati su quel determinato suolo. Recano massimo sviluppo del colore, dell'aggregazione, dell'accumulo di materiali traslocati, di ossidi,... in relazione ai processi pedogenetici agenti.
- orizzonti C: orizzonti minerali solo lievemente interessati dai processi pedogenetici, generalmente profondi, che presentano una roccia madre poco alterata, della quale è ancora riconoscibile la struttura originaria.
- orizzonti R: orizzonti formati dalla roccia madre inalterata, compatta ed incoerente, la quale non permette un ulteriore scavo manuale in profondità.

Si tenga tuttavia presente che infinite sono le possibilità di transizione tra questi sei principali orizzonti e che è opportuno utilizzare la nomenclatura adatta nella diversa casistica che si può presentare. Per orizzonti che presentano caratteristiche a cavallo tra due delle tipologie sopra descritte, si usa la denominazione dei due orizzonti primari separati o non dalla barra diagonale (e.g. B/C o BC), mentre nel caso di discontinuità granulometriche e litologiche si denotano gli orizzonti più profondi al primo con un numero arabo crescente a partire dal 2 (e.g. 2B).

Inoltre è utile denotare caratteristiche importanti degli orizzonti, a questo scopo esiste una notazione composta da lettere minuscole da giustapporre alla lettera maiuscola della tipologia al fine di sottolinearne il particolare aspetto. Si riporta la lista ed i significati relativi

nell'elenco sottostante, ricordando che le combinazioni tra lettera maiuscola identificativa dell'orizzonte e lettera minuscola identificativa della caratteristica, nonché tra lettere minuscole stesse, vige una compatibilità di uso, determinata da regole precise.

a	presenza di materiale organico fortemente decomposto
b	orizzonte sepolto
c	presenza di concrezioni e noduli
d	orizzonte con alta densità apparente
e	presenza di materiale organico parzialmente decomposto
f	presenza di ghiaccio (in permanenza)
ff	permafrost
g	gley - riduzione del ferro
h	accumulo illuviale di sostanza organica
i	presenza di materiale organico leggermente decomposto
j	accumulo di jarosite
jj	evidenze di crioturbazione
k	accumulo di carbonati
m	cementazione o indurimento
n	accumulo di sodio
o	accumulo residuale di sesquiossidi
p	disturbo da coltivazione
q	accumulo di silicio
r	orizzonte di roccia alterata
s	accumulo illuviale di sesquiossidi e materiale organico
ss	presenza di slickensides
t	accumulo di argilla
v	caratteristiche di plintite
w	sviluppo di colore e/o di struttura
x	caratteristiche di fragipan
y	accumulo di gesso
z	accumulo di sali più solubili del gesso

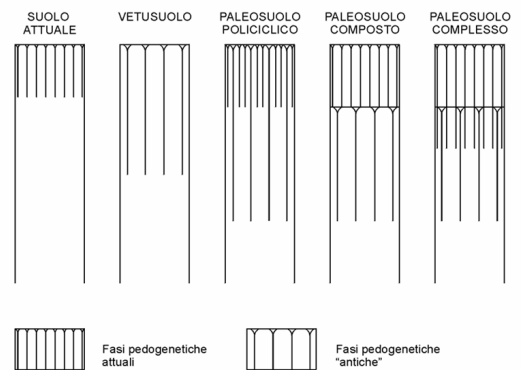
I profili pedologici possono essere profondi pochi centimetri in zone aspre come i versanti di montagna, dove il suolo ha difficoltà a formarsi sia per la geomorfologia che per la scarsa attività biologica e la forte azione del vento e delle precipitazioni, oppure raggiungere notevoli spessori dell'ordine di decine di metri in zone tropicali, con spiccato apporto di materiale organico dovuto all'attività biologica e favorevoli fattori pedogenetici quali temperatura ed umidità.

Premesso che per suoli mediamente profondi subentra la possibilità che questi abbiano attraversato più fasi pedogenetiche, si parla allora di poligenesi, ma è necessario introdurre brevemente il concetto di paleosuolo per comprenderne le diverse sfaccettature che il termine racchiude in sé.

Il concetto di paleosuolo è da sempre stato negli anni, oggetto di discussioni tra le diverse scuole di pensiero, dando adito a svariate definizioni. Per la sua semplicità e completezza, risulta oggi maggiormente valida quella ideata da Cremaschi (Cremaschi, 1991) e

di seguito riportata: appartengono alla categoria dei paleosuoli tutte le entità geopedologiche che testimoniano processi pedogenetici avvenuti o iniziati nel passato, nella cui formazione il fattore tempo è stato decisivo.

Tornando al concetto di poligenesi, è possibile intravedere quanto le situazioni naturali complichino la teoria di formazione, creando suoli anche di difficile interpretazione. Le fasi di strutturazione di un suolo possono essere assai numerose, differenti tra loro, di lunghezza temporale variabile e soprattutto possono andare ad insistere su suoli già precedentemente formati oppure su apporti di nuovo materiale, autoctono od alloctono. Per far chiarezza tra le diverse situazioni vengono definiti (paleo)suoli sepolti (Ruellan, 1971), (paleo)suoli relitti (Ruellan, 1971), (paleo)suoli soggetti a più fasi genetiche quali (paleo)suoli policiclici (Bos & Sevink, 1975), pedocomplessi (Morrison, 1978), (paleo)suoli composti (Morrison, 1967), (paleo)suoli complessi (Duchaufour, 1983) ed infine vetusuoli (Cremaschi, 1987) (Fig. 01).



**Fig. 01** Schema semplificato della complessità dei (paleo)suoli poligenetici.

Lo studio del suolo si compone di tre diversi aspetti: la descrizione di campo, l'analisi in laboratorio dei campioni incoerenti raccolti e l'analisi micromorfologica di sezioni sottili.

Il lavoro, per uno specialista che si occupa di suolo, ha inizio con il recarsi sul luogo di interesse e con la messa in luce del profilo, fino alla profondità di confine con il materiale d'origine quando possibile. (Hodgson, 1976; FAO, 2006; Ern *et al.*, 2011).

Per suoli molto sviluppati il limite di profondità massimo è fissato arbitrariamente a due metri dalla superficie (Soil Taxonomy, 1998). E' opportuno ricordare perciò che nel caso di paleosuoli non vi è limite inferiore poiché la particolare alternata, composta e certamente lunga genesi può aver dato luogo a profili dell'ordine di decine di metri.

I dati di interesse che devono essere raccolti sul campo, non sono solo relativi al profilo ma anche alla stazione dove questo si trova. Dunque su opportune schede, sul quaderno di campagna, nonché su supporti informatici che dispongono di programmi *ad hoc* per la rilevazione, vengono annotati i dati caratteristici della zona. (e. g. altitudine, esposizione, pendenza)

Solo dopo di ciò si passa allo studio del profilo vero e proprio, che avviene attraverso la descrizione minuziosa di numerosi caratteri di ciascun orizzonte identificato sulla base di eterogeneità di colore, tessitura, aggregazione, presenza o assenza di figure pedologiche.

Il profilo viene documentato fotograficamente con tanto di riferimento metrico verticale che ne indichi la profondità e campionato, prelevando in sacchetti di plastica un quantitativo di terra sciolta, incoerente, proveniente da ciascun orizzonte, di circa 500 grammi.

La raccolta di campioni indisturbati per lo studio in sezione sottile, avviene invece mediante l'utilizzo di scatole di Kubiëna (Murphy, 1986), le quali vengono conficcate nel suolo e poi estratte con il loro contenuto facendo leva sui bordi esterni. Questo particolare campionamento mira all'estensione dell'analisi visiva del suolo in posto, laddove l'occhio umano non può arrivare, poiché va ad analizzare caratteristiche micromorfologiche che altro non sono che l'espressione dei processi pedologici a scala microscopica.

Questo fornisce la possibilità di identificare particolari del suolo, di varia natura, non visibili ad occhio nudo e soprattutto di scoprire fasi poligenetiche che restano registrate nel suolo solo a piccola scala, dovute a processi agenti diversi oppure a contaminazioni di materiale alloctono ivi trasportato.

Campioni incoerenti in sacchetto e campioni indisturbati inboccheranno strade diverse dal rientro in laboratorio, i primi seguiranno un iter di preparazione che tenga conto delle evidenze che si vorranno studiare eseguendo opportune analisi, mentre i secondi subiranno una lunga impregnazione in resina che li consoliderà e ne permetterà il taglio e la smerigliatura per divenire sezioni sottili di 20-30  $\mu\text{m}$  da studiare al microscopio ottico petrografico.

## 1.4 CRITERIOLOGIA

### DELLA PROVA.

Se si cerca sul vocabolario il termine “criteriologia” si approda alla seguente definizione: n.f. [pl. -gie] parte della filosofia che si occupa della validità dei giudizi, specialmente di ciò che discrimina il vero dal falso. Quindi si tratta di un discorso (dal greco: λογος = parola, discorso, studio) di ambito filosofico che mira ad individuare i mezzi ed i sistemi che portano il pensiero umano all’accertamento della verità.

#### 1.4.1 NOZIONI FILOSOFICO-TEORETICHE

Per quanto riguarda la dottrina europea, per sapere se un’azione è configurabile come condizione indispensabile per il verificarsi di un evento, basta rispondere alla domanda: l’evento concreto si sarebbe verificato senza la condotta dell’agente? Se la risposta è negativa, l’azione risulta condizione necessaria – *sine qua non* – dell’evento; se è affermativa, il comportamento dell’agente deve essere ritenuto non causale (Stuart-Mill).

Infatti, nel Codice Penale vigente entrato in vigore nell’Italia 1930 e chiamato “Codice Rocco” dal Ministro di Giustizia (Guardasigilli) Alfredo Rocco, si ritrova la norma secondo cui

(art. 40 co. 1 c.p.) – *Nessuno può essere punito per un fatto preveduto dalla legge come reato, se l’evento dannoso o pericoloso, da cui dipende la esistenza del reato, non è conseguenza della sua azione od omissione. Non impedire un evento, che si ha l’obbligo giuridico di impedire, equivale a cagionarlo.* –

L'atteggiamento della dottrina penalistica italiana trova le radici in una carenza di meditazione teoretica, alimentando i problemi pratici suscitati dalla teoria della "successione regolare" (Popper), come dimostra il fatto che da un punto di vista filosofico, "empirico-scientifico", per causa si deve intendere "il complesso di tutte le condizioni necessarie per il verificarsi di un fatto".

#### 1.4.2 LA SCIENZA NEL DIRITTO

La scienza tende a scoprire delle regolarità attraverso l'osservazione diretta dei fatti singoli enunciando "leggi"; così, quando si afferma che A ha causato B, in realtà si fa un esempio particolare di una legge generale rispetto allo spazio ed al tempo (*legge universale*), mentre quando si afferma che una regolarità si presenta in una certa percentuale dei casi, si enuncia una proposizione quantitativa sulla relazione di un evento con un altro evento (*legge statistica*) (Carnap; Hempel).

Occorre riflettere attentamente sul significato delle parole "probabilità" e "certezza". Infatti è vero che, il ricorso a leggi statistiche non garantisce nessuna certezza in merito all'esistenza del nesso di condizionamento fra l'azione e l'evento concreti; ma questo è un rilievo che concerne un solo aspetto del problema dell'imputazione causale, l'altro aspetto è costituito dall'esigenza di non precludere l'applicabilità di quelle norme che dovessero risultare rivolte alla prevenzione di eventi lesivi spiegabili esclusivamente o prevalentemente sulla base di leggi probabilistiche (Engisch).

Riprendendo l'art. 40 co.1 c.p., si vede chiaramente che lo stesso si presta ad almeno due interpretazioni: per l'una il giudice sarebbe arbitro di decidere se e quando l'azione sia condicio *sine qua non* dell'evento; per l'altra, il giudizio sul nesso causale dovrebbe aver luogo nel rispetto dei criteri che consentono di spiegare "oggettivamente" perché l'evento si è verificato.

La scienza avrebbe il compito di spiegare i fenomeni sulla base di leggi che esprimono un "ordine *necessario* delle cose" e che perciò "sono vere in modo più che contingente"; sulla base di leggi, cioè, che asseriscono qualcosa di più della semplice relazione di concomitanza o di successione fra fenomeni e che quindi non possono essere considerate dei meri enunciati universali e generali rispetto al tempo ed allo spazio (Nagel). Dunque quando si parla di necessità delle leggi di natura, ci si riferisce innanzi tutto al concetto di "necessità logica". Un enunciato è logicamente vero in virtù del significato dei termini che compaiono in esso. Le



leggi di natura sarebbero invece contingenti, nel senso che per ogni legge sarebbe abbastanza facile “descrivere senza contraddizioni una sequenza di processi che la violerebbero”.

L’idea comune che tocchi alla scienza naturale spiegare i fenomeni non può venire accettata come vera, la funzione della scienza è di descrivere concettualmente le successioni degli eventi che vengono osservate in natura. Ovvero la scienza descrive, fin dove può, *come* i fenomeni si verificano, e secondo quali regole, ma non risponde alla domanda del *perché* essi si verificano (Hobson); tuttavia il potere esplicativo che la scienza possiede è forte, poiché le ipotesi che formula, se confermate dall’osservazione o dall’esperimento, divengono una necessità logica della proposizione dedotta dalla legge stessa che enuncia la successione degli eventi.

Secondo un indirizzo giurisprudenziale consolidato, il “libero convincimento” non può esaurirsi nell’opinione soggettiva del giudice, quale fatto interno della sua coscienza morale, ma deve essere il frutto di un “ragionamento” e di un ragionamento compiuto secondo le regole della *logica*, della *scienza* e dell’*esperienza*; con la conseguenza, fra l’altro, che una prova scientificamente attendibile non può essere “scartata per una sfiducia del giudice” e che in assenza di una prova valida scientificamente il libero convincimento del giudice non può neppure iniziare a formarsi. Il giudice è pertanto obbligato ad utilizzare nella spiegazione solo leggi “derivate” dalle singole discipline scientifiche e a trarre esclusivamente dalla scienza i criteri per risolvere le controversie che dovessero eventualmente sorgere nel processo penale in merito alla “validità” di una determinata legge scientifica (Engisch).

Il sostegno probatorio delle ipotesi è affidato in modo rilevante al metodo sperimentale, il quale si pone, tramite la sperimentazione, di ottenere risultati migliori di quelli che si otterrebbero dalla semplice osservazione della natura, ricreando le medesime situazioni. Ben inteso che le sperimentazioni vengono effettuate in condizioni standardizzate, dove vengono azzerate le varianti che si ritengono ininfluenti per la logica dell’esperimento stesso, consapevoli che in natura vi sono numerose variabili che sfuggono ad un ponderato controllo sperimentale. Tuttavia la sperimentazione consente di individuare e ripetere l’evento lesivo ed è questo uno dei maggiori punti forti: una moltitudine di dati raccolti sperimentalmente fornisce la delineazione di un quadro generale delle casistiche considerate, consentendo di inferire in modo statistico per ottenere intervalli di probabilità, certezza e bontà del dato stesso.

Grazie al lavoro sperimentale, per il giudice sarà più chiara ed accessibile la spiegazione causale della fattispecie che è suo compito valutare, ossia egli avrà a sua disposizione la conoscenza pertinente da utilizzare come strumento per asservire al proprio

compito decisionale, con una valutazione statistica della riproducibilità e della bontà dei dati sperimentali forniti. (Engisch).

Recentemente si è assistito ad un uso sempre maggiore ed ad una delineazione di linee guida riguardanti le testimonianze operate da esperti tecnici, utilizzate come prova in sede di giudizio (Grivas & Komar, 2008). E' necessario che da parte degli esperti chiamati in causa, quali periti tecnici e/o testimoni vi sia una quanto più completa ed approfondita conoscenza delle leggi che governano il proprio apporto lavorativo e la propria testimonianza, nonché la perfetta conoscenza dei limiti della propria disciplina di studio. Gli scienziati chiamati ad operare e testimoniare in campo medico-legale in veste di esperti tecnici, debbono essere a conoscenza del clima giuridico ancor prima in affacciarsi in esso per poter fornire solide competenze al giudice (Page *et al.*, 2011 a, b).

Concludendo, la Medicina Legale, come tutte le *discipline* scientifiche, pure ed applicate, ha bisogno di avvalersi di un metodo per ciascuno dei settori che impegnano la sua attività (Andrew, 2006). Anche la conoscenza critica dei limiti del metodo fa parte integrante di esso ed anzi ne costituisce forse la parte più importante perché aiuta ad evitare gli errori: che in sede giudiziaria sono di particolare gravità e, purtroppo, gravano spesso proprio sulle spalle dei periti la cui opera, trasmessa ai giudici, costituisce di frequente una base decisiva nella formazione del loro "libero convincimento".

Il criterio di possibilità scientifica non è invero un criterio che si possa soddisfare con strumenti univoci, data l'eterogeneità della casistica e dei correlativi quesiti causali che vengono prospettati. Esso si avvale dunque di procedimenti differenziati a seconda dei casi, i quali tuttavia possono e debbono ricondursi a principi identificabili, in ultima analisi, nelle "leggi universali" o nelle "leggi statistiche" o quantomeno in "correlazioni scientifiche a carattere empirico e logico". Esistono senza dubbio casi, di comune osservazione in sede medico-legale, in cui il criterio di possibilità consente, sulla base di leggi universali, una risposta facile ed immediata che altrettanto rapidamente e conclusivamente consente subito l'applicazione positiva del criterio di sostanziale ed umana certezza, senza la necessità di ulteriori elaborazioni criteriologiche intermedie. In tutti i restanti casi, in cui non è utilizzabile alcuna legge universale, si deve ricorrere ai dati statistici, purché ne esistano di disponibili per quella determinata ipotesi. Oppure, in alternativa, si deve ricorrere a correlazioni logiche fondate su conoscenze scientifiche di base e su informazioni casistiche relative a casi consimili, peraltro attualmente spesso numericamente insufficienti per consentire vere indicazioni statistiche.

Vengono qui di seguito esposti due casi emblematici che hanno dato luogo alla rivoluzione relativa all'applicabilità ed alla validità delle prove scientifiche in aula.

### 1.4.3 IL CASO “DAUBERT”

Il caso *Daubert* del 1993 verteva sui supposti effetti teratogeni di un farmaco contro le nausee in gravidanza, il Bendectin, prodotto dalla Merrell Dow Pharmaceuticals Inc. La casa farmaceutica americana convenuta aveva dimostrato, attraverso lavori scientifici pubblicati e sottoposti a peer-review, che non vi era prova che il Bendectin fosse causa di malformazioni nel feto. Tuttavia i ricorrenti, genitori di bambini nati malformati, ritenendo di poter contestare i dati della Merrell Dow, avevano chiesto ai Giudici di acquisire la testimonianza di esperti in grado di produrre evidenze scientifiche contrarie. Si trattava di esperimenti in vitro e in vivo, di analisi della struttura molecolare del principio attivo, di lavori non pubblicati che reinterpretavano i dati pubblicati dalla casa farmaceutica. (*Daubert v. Merrell Dow Pharmaceuticals, Inc.*, 1993)

La regola “Frye” attiene alla <i>generale accettazione</i> o “ <i>general acceptance</i> ”:	Per essere ammissibile in tribunale, la prova scientifica deve essere raccolta usando tecniche che hanno avuto “general acceptance” nel campo in cui sono applicate.
---------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Tab. 01.** Regola *Frye* o *Frye Test*

La Merrell Dow si era opposta alla testimonianza degli esperti delle parti lese, osservando che la richiesta dei ricorrenti violava la regola *Frye* (vedi tab. 01), poiché consisteva nell'ammissione di prove fondate su metodologie non generalmente accettate dalla comunità scientifica. Ma, la Corte Suprema, applicando la regola 702 (vedi tab. 02), rimuoveva il limite del *Frye test* e si esprimeva per l'ammissibilità di tutti i testimoni in possesso dei requisiti richiesti. (Dixon & Gill, 2002) L'attendibilità dei metodi utilizzati dagli esperti, precisava la Corte, non doveva essere confusa con la presentazione di conoscenze certe, dal momento che “*arguably, there are no certainties in science*”.

L'esperto ammesso a testimoniare	presenti fatti e dati sufficienti
	si fondi su principi e metodi affidabili
	applichi in modo affidabile i principi e i metodi ai fatti del caso

**Tab. 02.** Regola 702, relativa ai criteri per l'ammissione delle testimonianze esperte

I Giudici erano comunque del parere che alcuni criteri per l'apprezzamento della scienza valida, cioè affidabile e rilevante, potessero essere indicati e, pur non intendendo elaborare un elenco chiuso e definitivo di ammissibilità degli esperti, stilavano una lista con quattro criteri. Facendo nascere così il *Daubert standard* (vedi tab. 03), ovvero i criteri di valutazione per l'ammissibilità delle prove scientifiche in aula.

<b>I CRITERIO</b>	possibilità di testare l'ipotesi scientifica avanzata, di sottoporla a verifica empirica (Hempel), di falsificarla e confutarla (Popper)
<b>II CRITERIO</b>	considerare se la teoria sia stata oggetto di valutazione indipendentemente (peer review) e di pubblicazioni; ma i due fattori non sono decisivi, poiché possono corrispondere agli interessi della comunità scientifica dominante più che alla buona scienza
<b>III CRITERIO</b>	conoscenza del tasso di errore, nota o potenziale, della teoria
<b>IV CRITERIO</b>	riconosce il valore di Scienza e diritto tra validità metodologica e credibilità civile della comunità scientifica rilevante e della scienza normale (Kuhn)

**Tab. 03.** Criteri di valutazione per l'ammissibilità delle prove scientifiche in aula (*Daubert standard*)

Che gli scienziati in carne ed ossa siano adeguatamente rappresentati da questa miscela di filosofie della scienza è stato messo in dubbio da molti commentatori di *Daubert*. Nella seconda edizione del Reference Manual of Scientific Evidence – pubblicato dall'US Federal Judicial Center per aiutare i Giudici nella complessa valutazione delle questioni scientifiche – il fisico del Caltech Institute David Goodstein commenta ironicamente (pur senza disconoscere una qualche utilità a *Daubert*):

*“Scientists are not Baconian observers of nature, but all scientists become Baconians when it comes to describing their observations. (...) Scientists are also not Popperian falsifiers of their own theories, but they don't have to be. They don't work in isolation. If a scientist has a rival with a different theory of the same phenomena, the rival will be more than happy to perform the Popperian duty of attacking the scientist's theory at its weakest point. Moreover, if falsification is no more definitive than verification, and scientists prefer in any case to be right rather than wrong, they nevertheless know how to hold verification to a very high standard. (...) Finally, science does not, as Kuhn seemed to think,*

*periodically self-destruct and need to start over again, but it does undergo startling changes of perspective that lead to new and, invariably, better ways of understanding the world.”*

A dispetto della volontà della Corte di non fornire un elenco tassativo degli elementi che connotano la buona scienza, *Daubert* è diventato il punto di riferimento dei giudizi successivi nella valutazione di questioni scientifiche, ed è stato esteso dalla stessa Corte Suprema, nel caso *Kuhmo Tire Co. v. Carmichael* del 1999, anche alla valutazione delle discipline tecniche e delle conoscenze specialistiche. (Solomon *et al.*, 1996)

L'interpretazione di *Daubert* come meccanismo flessibile comporta, a giudizio della Corte, che anche quando non tutti i criteri di *Daubert* risultino applicabili, (come il peer review o le pubblicazioni scientifiche), i Giudici debbano comunque valutare le metodologie scientifico-tecniche utilizzate dal testimone. Da custodi della legge, i Giudici reclamano così la parola ultima circa la validità delle conoscenze portate in giudizio. Ma l'aspetto più interessante di *Daubert* riguarda l'argomentazione avanzata dalla Supreme Court per giustificare epistemologicamente la propria posizione.

Dopo aver segnalato i quattro elementi di validazione giuridica della scienza, i Giudici sedano l'apprensione circa la possibilità che l'abbandono del *Frye test* possa consegnare Giudici e giurie a teorie irrazionali e pseudoscientifiche. Le perplessità espresse in proposito dai convenuti non tengono conto del fatto che gli stessi strumenti processuali sono tali da garantire la qualità del risultato:

*“Respondent expresses apprehension that abandonment of “general acceptance” as the exclusive requirement for admission will result in a “free for all” in which befuddled juries are confounded by absurd and irrational pseudoscientific assertions. In this regard respondent seems to us to be overly pessimistic about the capabilities of the jury, and of the adversary system generally. Vigorous cross examination, presentation of contrary evidence, and careful instruction on the burden of proof are the traditional and appropriate means of attacking shaky but admissible evidence.”*

Il ragionamento mescola affermazioni scientifiche e proposizioni giuridiche per giungere sia a legittimare la ridefinizione dei poteri tra scienziati e Giudici, sia a validare la

complementarità dei metodi della scienza e del diritto. Per quanto riguarda, di poi, la distribuzione di poteri tra scienza e diritto, i Giudici rivendicano il proprio ruolo di “gatekeepers” (ovvero di coloro che hanno il compito di filtrare le informazioni in quello specifico ambito), sottraendo alla comunità scientifica la parola ultima sulle questioni scientifiche (Gatowski *et al.*, 2001). Ma questa operazione è legittima perché l’oggettività del sapere scientifico consiste anche nella possibilità di codificarne i metodi. I Giudici fanno dipendere le proprie decisioni dalle opinioni degli scienziati, ma si riservano il potere di decidere a chi riconoscere la qualifica di scienziato, e di stabilire liberamente la validità della scienza prodotta in giudizio. Sia pur proponendo un singolare eclettismo tra Hempel, Popper e Kuhn, i Giudici di *Daubert* riescono a salvare l’idea di validità della scienza e ad affermare il primato del diritto.

In sostanza, il carattere metodologico dei criteri di valutazione giudiziaria della scienza – volti ad indagare le procedure più che i risultati – è indicato dai Giudici come il vero momento di contatto tra le due attività, peraltro eterogenee, della scienza e del diritto. Ma al pari della scienza, anche il diritto è essenzialmente processo e la sua validità non dipende tanto dai risultati che si raggiungono, bensì dalle procedure che si seguono. Questa profonda consonanza metodologica è garanzia di validità nell’intersecarsi di scienza e diritto. (Jasanoff, 2005)

Il percorso seguito dalla giurisprudenza statunitense, dunque, sembra prestarsi ad essere descritto come un tortuoso ma progressivo avvicinamento al principio del libero convincimento del Giudice, vigente nel nostro sistema processuale. Infatti, anche se di fatto la Corte Suprema ha ricollocato nelle mani dei Giudici il potere di valutare la scienza – sottraendolo alla comunità scientifica – le modalità di questo passaggio non sono tese a fare del Giudice l’“esperto degli esperti“, bensì a indicare nella scienza e nelle sue procedure una metodologia che, pur nell’incertezza e nella progressione delle conoscenze, garantisce un’oggettività spendibile e utilizzabile da chiunque: in particolare dai Giudici, che possono servirsene per valutare l’attendibilità dei testimoni e/o delle consulenze.

I Giudici non sono più “esperti degli esperti” in virtù del ruolo istituzionale ma, in ragione della loro capacità di distinguere tra buona e cattiva scienza: una tendenza che rafforza, e non incrina, il carattere generalmente positivistico della regolazione giuridica della scienza negli Stati Uniti. Ed ecco, allora, che si rende comprensibile il perché la tendenza a codificare i criteri di scienza valida ai fini del diritto sta pervadendo numerosi ordinamenti giuridici, anche quello italiano.

#### **1.4.4 IL CASO “KUHMO”**

Il caso Kuhmo concerne con l'ammissibilità di una testimonianza ingegneristica prestata per provare che lo scoppio di uno pneumatico di un minivan è stato causato da un difetto di costruzione dello pneumatico stesso e non dal suo errato uso o dalla guida spericolata del conducente, tale Patrick Charmicaels; il minivan trasportava persone e nell'uscita di strada, conseguente allo scoppio dello pneumatico, una di queste perde la vita e molte altre restano ferite. L'esperto incaricato si rifà alla tecnologia di produzione degli pneumatici prodotti dalla Kuhmo Tire e montati anche sul minivan di Charmicaels, alla quale il produttore stesso non può controbattere, la conclusione dell'esperto è che un difetto nello pneumatico ha causato l'incidente, ma a questa opinione la Kuhmo Tire si oppone invocando che la metodologia utilizzata dall'esperto non rispetta la regola 702 del Federal Rule of Evidence. Quando la difesa avanza una mozione invocando *Daubert*, la corte d'appello la respinge poiché i quattro criteri di *Daubert* non sono soddisfatti. In questo caso l'esperienza dell'esperto in materia chiamato in causa non è stato un problema, poiché egli aveva lavorato per dieci anni come ingegnere alla Michelin, ma piuttosto il fatto che lo pneumatico fosse ispezionato esclusivamente tramite l'esame visivo, ossia con una metodologia che non incontrava il *Daubert standard*. Soprattutto all'ispezione dello pneumatico, l'esperto aveva concluso che per forza ci doveva essere un difetto di fabbricazione, poiché non erano visibili e riscontrabili altre evidenze che avvalorassero l'ipotesi di scoppio dello pneumatico. (Berger, 2005)

#### **1.4.5 LA SITUAZIONE ITALIANA IN MERITO ALLE SCIENZE FORENSI**

Le Scienze Forensi che si pongono come l'applicazione di teorie, metodi o tecniche scientifiche a casi o situazioni di interesse giudiziario si avvalgono sempre più spesso di un perito o consulente tecnico (CT). Quando la conoscenza di una materia tecnica può essere di aiuto in un caso giudiziario, all'esperto dotato di particolare capacità ed esperienza, viene richiesto di fornire la propria opinione su quei fatti. Il perito/CT è un soggetto che testimonia in un'aula giudiziaria poiché ha particolari conoscenze in un determinato settore. Testimoni (non consulenti) possono deporre solo su ciò che hanno osservato/assistito e non su personali opinioni.

(art. 220 c.p.p.) – *La perizia è ammessa quando occorre svolgere indagini o acquisire dati o valutazioni che richiedono specifiche competenze tecniche, scientifiche o artistiche.* –

*(art. 359 c.p.p.) – Il pubblico ministero, quando procede ad accertamenti, rilievi segnaletici, descrittivi o fotografici e ad ogni altra operazione tecnica per cui sono necessarie specifiche competenze, può nominare ed avvalersi di consulenti, che non possono rifiutare la loro opera. [...] –*

Attualmente la prova nelle aule giudiziarie italiane segue i criteri di ammissibilità che sono indicati negli artt. 189 e 190 c.p.p.:

*(art. 189 c.p.p. prove non disciplinate dalla legge) – Quando è richiesta una prova non disciplinata dalla legge, il giudice può assumerla se essa risulta idonea ad assicurare l'accertamento dei fatti e non pregiudica la libertà morale della persona.*

*Il giudice provvede all'ammissione, sentite le parti [...]. –*

*(art. 190 c.p.p. (diritto alla prova). – 1. Le prove sono ammesse a richiesta di parte. Il giudice provvede senza ritardo con ordinanza escludendo le prove vietate dalla legge e quelle che manifestamente sono superflue o irrilevanti.*

*2. [...] 3. [...]. –*

In conclusione, è assolutamente consigliabile prendere in considerazione e fare proprie delle norme del diritto italiano, gli standard precedentemente visti ed utilizzati nel diritto statunitense, di modo che la prova scientifica possa entrare in aula con tutto il suo valore e senza gli abusi da parte dei periti/CT fondati su metodologie e teorie poco affidabili e non riconosciute dalla comunità scientifica internazionale.

In questo lavoro di Dottorato si è presa in considerazione la disciplina della geopedologia ed alla luce di quanto scritto precedentemente in questo capitolo si può comprendere quanto una disciplina così eterogenea nel suo studio ed approccio analitico possa avere grandi potenzialità ma inevitabilmente anche alcuni limiti, i quali debbono essere opportunamente conosciuti per poter assicurare un buon grado di fiducia al dato da utilizzare. Grazie ad una approfondita sperimentazione si possono scoprire questi limiti e non solo, poiché la sperimentazione permette anche di evidenziare l'errore tecnico per i diversi protocolli



analitici applicati, altra informazione molto importante per il grado di bontà del dato da utilizzare; solo con la sperimentazione dunque, le evidenze geopedologiche potranno entrare con il giusto peso, in un aula di tribunale.

## 1.5 STATO DELL'ARTE.

Il presente capitolo mira a presentare brevemente ed in maniera sintetica coloro i quali si occupano delle numerose discipline scientifiche afferenti alle Scienze Naturali le quali possono avere risvolti importanti in ambito forense. Da oltre un ventennio, infatti, la ricerca scientifica nel campo forense è in fermento per entrare a pieno diritto come prova nelle aule dei tribunali, negli ultimi tempi sono così state messe a punto nuove tecniche e nuove sperimentazioni. Tuttavia, va evidenziato che esistono argomenti più richiesti e studiati di altri, come si vedrà nella seconda parte del presente capitolo, sia a causa della loro immediata applicazione, sia a causa della loro facilità nello svolgimento analitico, questi grandi filoni di studio continuano ad essere le colonne portanti nello scenario delle prove scientifiche in aula.

### 1.5.1 CHI, CHE COSA E DOVE NEL MONDO

Se si ricercano nella varie banche dati scientifiche, lavori e pubblicazioni inerenti alle Scienze Naturali ed all'ambito Forense, è facile accorgersi come le persone che si occupano di questa particolare applicazione, in particolare della geopedologia, non siano poi così numerose, in effetti si tratta di un ristretto numero di persone che fanno capo ad altrettanti poco numerosi centri al mondo che si dedicano attivamente alla ricerca in questo campo.

Per quanto riguarda il Regno Unito, ad Aberdeen in Scozia, si trovano importanti scienziati come Patricia Wiltshire, la quale si occupa massimamente di ecologia e palinologia forense ormai da anni, Andrew Morrisson, leader delle scienze forensi alla Robert Gordon University e Kevin Andrew, professore in Scienze Forensi specializzato nell'analisi di evidenze in tracce alla medesima università nonché "Forensic Scientist" per la Forensic Science Society.

In Irlanda, alla Queen's University di Belfast lavora attivamente un team composto da Alastair Ruffell, Jennifer McKinley, Antoinette Keane e Heather Kerrigan, la quale si occupa in particolare della variabilità spaziale del suolo e dei sedimenti per scopi forensi.

A Nottingham risiedono invece Barry Rawlins e Christopher Vane, entrambi "Senior Scientific Officer" per il British Geological Survey, fondato nel 1835 che è attualmente l'archivio geologico mondiale più vecchio ed il primo centro inglese per l'informazione in merito alle Scienze della Terra ed alle relative consulenze.

A Cambridge si può incontrare Andrew Moncrieff, Direttore associato della Hawkins & Associates Limited, società che si occupa di consulenze e per la quale lo stesso Moncrieff si occupa di analisi sul suolo e su rocce per indagini criminali e civili.

Ad Edimburgo (Scozia) risiede Colin Aitken, professore di statistica forense e co-autore con Franco Taroni della Scuola in Scienze Criminali all'università di Losanna, in questa università ha svolto pure il suo dottorato di ricerca Andrew Barclay, che ora è consulente in Scienze Forensi e capo della sezione Physical Evidence alla Nazionale Crime & Operation Faculty (UK).

A Birmingham, per la parte archeologica forense ed assessore per il Council for Registration of Forensic Practitioners, ente che regola la pratica forense in Inghilterra mantenendo aggiornato il registro degli esperti forensi competenti, si può incontrare John Hunter.

Non vanno poi dimenticati Debra Croft e Kenneth Pye che con la loro società K.P. Associates Ltd. offrono consulenze forensi ove richiesto mantenendo attivo pure il fronte della ricerca.

Altra figura molto importante, sempre inglese, è Lorna Dowson, pedologa collaborante con l'Engineering and Physical Science Research Council per quanto riguarda il progetto SoilFit, nonché membro della British Society of Soil Science e membro del Center for Australian Forensic Soil Science, che promuove una rete tra scienziati del suolo e scienziati forensi e che combina ricerca, formazione e servizi esterni in pedologia forense.

Volando dunque fino all'Australia, è possibile incontrare Robert Fitzpatrick, direttore del Center for Australian Forensic Soil Science e "Chief Research Scientist" al Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (Australia National Science Agency) ed anche Mark Tibbett, Direttore del Centre for Land Rehabilitation, ma che si occupa ampiamente di tafonomia forense e pedologia oltre che di microbiologia del suolo ed interazione piante-suolo.

In Nuova Zelanda si trova invece un team guidato da Jacqui Horswell che insieme a Rachel Parkinson si occupano di microbiologia forense e di batteri associate alla decomposizione umana.

Ultimando questo giro del mondo attraverso i laboratori che maggiormente lavorano sul fronte forense con l'approdo nel nuovo mondo, in Tennessee va ricordata la famosissima "Body Farm" instaurata da Arpad Vass e Bill Bass, nonché i fondamentali contributi apportati nell'ambito geo-forense da Ray Murray in Missoula. Sempre negli Stati Uniti, a Chicago, si ritrova il team capitanato da Skip Palenik, "Senior Research Microscopist" al McCrone Research Institute e presidente della Microtrace Llc., di cui vice presidente è Christopher Palenik e in cui lavorano in veste di scienziati forensi Mark Palenik e William Wilson. Ovviamente vi sono poi i potenti laboratori dell'FBI che hanno addirittura un intero edificio dedicato ai laboratori che si occupano di analisi sul suolo.

Non si può dimenticare a questo punto il Canada, dove in Ontario Shari Forbes si occupa di tafonomia forense e chimica della decomposizione.

Conclusa così questa ricca ma concisa carrellata di nomi e luoghi del pianeta, si nota quanto sia notevole il divario che esiste tra l'Europa continentale, dove esistono laboratori che si occupano di geopedologia forense (come la sezione dedicata della Polizia Scientifica con sede a Roma) ma che tuttavia non spendono tempo e risorse in ricerca sperimentale, ed il nord Europa, l'Australia e l'America, dove sorgono addirittura laboratori esclusivamente dedicati e attivamente impegnati nella ricerca sperimentale. Una motivazione a questo comportamento potrebbe giustamente risiedere nella diversa legislazione che vige nelle diverse nazioni esaminate, ma di fondo permane in verità ancora un po' di scetticismo sulla materia ed una bassa comprensione e considerazione delle reali potenzialità nonché una diffusa carenza nell'investimento di fondi.

L'iter formativo da percorrere per diventare uno specialista in Scienze Forensi è ad oggi molto vario e poco chiaro, ovvero ci sono molte università perlopiù statunitensi dove si possono seguire corsi di formazione *ad hoc* che tuttavia difettano di molti aspetti di conoscenza generale verso tutte le branche scientifiche afferenti al campo naturalistico. Permane il rischio di specializzarsi ottimamente nel campo dello scavo di resti umani, nella determinazione del PMI, nella ricomposizione di uno scheletro oppure nelle analisi di chimica fine, senza però riuscire ad avere uno sguardo d'insieme.

A mio avviso è preferibile una formazione molto ampia nelle materie di interesse, come quella che può essere fornita seguendo un percorso di studi in Scienze Naturali di un buon

Ateneo, poiché fornisce conoscenze sufficientemente approfondite in una moltitudine di ambiti senza tralasciarne le interconnessioni, cosa che in un ambiente naturale è imprescindibile. Con delle buone basi sarà possibile scegliere in modo migliore la disciplina scientifico-analitiche che si preferisce ed applicarla all'ambito forense con tutta la consapevolezza acquisita.

A livello nazionale ed internazionale non sussiste una regolamentazione univoca per divenire “Esperti Forensi”, insomma non ci sono lauree o corsi o master che certifichino la professione e questa situazione nasce forse proprio dal fatto che la professione di “Esperto Forense” non è ancora stata configurata, almeno in Europa, come una professione a sé, ma piuttosto come un incarico temporaneo assegnato ad una determinata persona. In verità, nel Regno Unito ed in America vi sono regole per l'ammissione di una determinata persona quale “Esperto” nella propria disciplina da convocare in aula, ossia la persona deve avere un background di casistiche affrontate che lo indichino come idoneo al compito da assegnargli, che abbia sufficienti pubblicazioni scientifiche in materia, che sia attivo sul fronte della ricerca entro i medesimi argomenti e che abbia sempre mantenuto un comportamento di correttezza e rettitudine sociale.

Perciò rimane alquanto aleatorio l'iter formativo, si potrebbe dire in base alla propria formazione personale ed al proprio impegno, per ora, si potrà essere presi più o meno in considerazione quali Esperti Forensi qualora il Pubblico Ministero o il Giudice ne senta il bisogno di convocazione per una perizia specifica sulla materia eletta.

Al fine di poter creare una rete salda di collaborazione e cooperazione internazionale, bisognerebbe investire di più e più seriamente nei nuovi campi scientifici che possono aiutare i sempre più complicati crimini che vanno perpetuandosi in tutto il mondo e questa tesi di dottorato vuole essere una tessera del grande puzzle che nei prossimi anni dovrà necessariamente prendere forma se si vorrà effettivamente dare una svolta al sistema giudiziario mondiale.

### **1.5.2 REVISIONE BIBLIOGRAFICA**

Lo stato dell'arte per quanto riguarda la ricerca in ambito geologico e geopedologico forense versa su alcuni argomenti che sono maggiormente trattati sul piano effettivo della ricerca e su alcune tecniche e metodologie più utilizzate attinenti alla geopedologia.

I filoni di ricerca più attivi si concentrano da tempo sulle discipline naturali quali la palinologia, la botanica e l'entomologia; vi sono poi numerosi lavori che si occupano della vasto ed articolato mondo della decomposizione, andandolo ad analizzare dal punto di vista dell'ambiente le alterazioni sul cadavere. Tuttavia, benché il suolo sia sempre coinvolto e citato, pochi sono i lavori che si prefiggono di utilizzarlo quale prova discriminativa. Infatti, ci si propone spesso e volentieri di studiare qualcosa che “si può trovare nel suolo”, perché il suolo è *contenitore di evidenze*, ma meno facilmente vengono intrapresi studi onnicomprensivi di ciò che il suolo è e di ciò che può *rivelare* se studiato globalmente quale evidenza.

Approdano in aiuto della giustizia diverse discipline, come la palinologia, la botanica, l'entomologia, che *parlano* di suolo, ma non si *occupano* di suolo. Esso è substrato per tutti gli organismi viventi durante la vita e dopo la morte, alimenta perciò un vasto microsistema naturale e fa da fulcro negli scambi di materia ed energia. Turner, Wiltshire, Brown, Mathewes, Virtanen, Coyle e Farmer lavorano, da anni ormai, maggiormente sull'entomologia, la palinologia e la botanica ed in tali campi hanno raggiunto risultati notevoli in correlazione al tempo trascorso dalla morte ed alla località in cui il crimine o in particolare l'omicidio e l'occultamento di cadavere hanno avuto luogo. Tuttavia il suolo in questi lavori è spesso sottovalutato e solo marginalmente considerato, solo negli ultimi anni ha iniziato a prendere piede l'idea che il suolo possa essere evidenza egli stesso; con l'avvento delle geo-scienze, ossia delle svariate applicazioni della geologia, anche il suolo ha ottenuto la meritata luce che gli spettava. Con il termine “geo-scienze” si intendono le discipline geologiche alleate (mineralogia, sedimentologia, ecc.), la geofisica, la scienza del suolo, la geomorfologia, fino ad arrivare all'antropologia fisica (studiata in ambito archeologico) che vengono utilizzate come strumento d'aiuto forense (domestico, penale, terroristico ed internazionale) nelle indagini criminali. Inoltre, il concetto di scala di investigazione, da quella più larga delle forme del paesaggio verso quelle microscopiche delle particelle, deve essere visto come un metodo di categorizzazione dell'elevato numero delle applicazioni geoforensi nelle indagini criminali, ovvero l'ambito geologico fornisce una miriade di sfaccettature atte ad individuare le più difformi evidenze celate dalla terra.

Le tecniche analitiche e le metodologie da utilizzare spaziano poi entro i livelli di laboratorio propriamente dette, di quelle di chimica fine che fa uso di strumentazioni sofisticate quali possono essere l'High Pressure Liquid Cromatography (HPLC), la spettroscopia nel campo del visibile e UV, la diffrazione ai raggi-x (XRD), la spettroscopia in infra rossi (IR) ... fino ad arrivare al mondo microscopico per addentrarsi entro la microscopia ottica, quella polarizzata e quella elettronica (SEM). Insomma le più disparate tecniche di indagine sono

applicabili ai materiali geologici con risultati sorprendenti, questo rende il campo delle applicazioni delle scienze della terra in campo forense estremamente esteso ed interessante.

Vi sono numerosi lavori sul “potere discriminatorio di campioni di suolo”, ma i numerosi *screening* e metodi analitici che sono stati applicati, con lo scopo di determinare caratteristiche che possano discriminare campioni di suolo a scopo forense, non sono risultati facilmente standardizzabili.

Cengiz (2004) propone l'omogeneizzazione spinta sotto pressione dei campioni di suolo e la successiva analisi SEM-EDS comparativa sulla composizione elementare dello stesso omogeneizzato e non. La composizione elementare di questi campioni omogeneizzati ha fornito un valore di deviazione standard 10 volte inferiore a quelli non omogeneizzati, dunque con una maggiore riproducibilità e una maggiore potere discriminatorio. Tuttavia il processo di omogeneizzazione solleva delle perplessità sia sulla metodologia, sul tempo impiegato e sulla preparazione del campione, con conseguente possibilità di perdita di altre evidenze intrinseche del campione. Personalmente, propendo per una rapida e quanto meno invasiva manipolazione del campione per l'analisi.

Bommarito (2007) invece, propone di lavorare sulla frazione organica ed idrosolubile del suolo, che molto spesso e per numerose ragioni tra le quali l'effimera permanenza e la non diretta correlazione con una sepoltura entro il suolo, resta inesaminata. Lo studio mostra come usando la metodologia High Pressure Liquid Chromatography (HPLC) e la Cromatografia Ionica (IC) per analizzare la frazione organica e idrosolubile del suolo sia possibile discriminare con successo i diversi campioni. Il metodo utilizzato in questo studio è stato capace di trovare variazioni sia quali- sia quantitative concernenti una relativamente piccola area geografica, tuttavia come studio comparativo ha scarsa applicazione dal momento che la frazione organica varia velocemente e in relazione ai cambiamenti stagionali, perciò a scopo forense a meno di una banca dati dell'area di interesse, specifica ed in continuo aggiornamento, non vi sono applicazioni direttamente utilizzabili.

Bull (2006) propone un lavoro che sempre più spesso coinvolge gli addetti alla scena del crimine, ossia l'analisi delle impronte di suole di scarpe. Il calco di queste, oltre a fornire informazioni circa il modello ed il numero, quindi coadiuvando le indagini merceologiche, fornisce materiale che resta adeso alla superficie del calco e che rappresenta la preservazione del momento dell'impressione dell'impronta. L'analisi dell'interfaccia tra il calco ed il suolo è prima di tutto una potenziale fonte di informazioni per la ricostruzione forense degli avvenimenti. Anche qui però, va evidenziata l'estrema ristrettezza d'uso e la variegata

tipologia metodologica che viene utilizzata per le analisi, che spazia dall'utilizzo della microscopia ottica, al SEM, all'analisi micro-granulometrica; il che rende l'approccio molto poco standardizzato.

L'articolo di Pye (2007) riporta i risultati di un'indagine mirata a quantificare le variazioni in concentrazioni elementali tra differenti frazioni granulometriche dei campioni facenti parte di una suite campionata da sedimenti presso River Avon, Gran Bretagna. La concentrazione di 49 elementi determinata con Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry e Atomic Emission Spectrometry (ICP-MS e ICP-AES) sono state comparate usando un metodo statistico convenzionale e multivariato con l'intento di assegnare differenze composizionali tra differenti frazioni granulometriche e tra differenti campioni. I risultati mostrano significative differenze tra differenti frazioni granulometriche ed i sedimenti globali, ma sembrerebbe essere più appropriato fare comparazioni a scopo forense basandosi su un ristretto e ben definito intervallo di frazioni granulometriche, per la maggior parte degli scopi la frazione <150 µm fornisce il miglior compromesso tra grandezza del campione richiesta e risoluzione dei dati. Questa informazione è molto interessante e dovrebbe essere verificata in miglior modo, anche per quanto riguarda il presente lavoro, per quanto si leggerà più avanti, è ipotizzabile spostare l'interesse di alcune analisi esclusivamente su alcune frazioni granulometriche che possono fornire risposte più chiare perché maggiormente interessate dai processi in atto durante la decomposizione.

Ruffell e Wiltshire (2004) descrivono un test di ripetibilità, comparando analisi convenzionali per la determinazione dell'abbondanza minerale del suolo effettuate con tecnica quantitativa in X-Ray Diffraction-Quantitative (QXRD). Ciò permette alle abbondanze di specifici minerali di essere comparate tra la scena del crimine ed i sospetti dove il suolo o la mineralogia del substrato si presenta simile. Tuttavia, benché la QXRD abbia dimostrato la correlazione delle proporzioni minerali, non è riuscita a discriminare due *location*, questo pone la scottante problematica dei falsi positivi, ovvero non riuscire a trovare una differenza quando questa esiste ricade nel "non vedere" qualcosa che in realtà c'è e rende poco affidabile il metodo.

Brown (2006) presenta un articolo su un caso di studio nel quale dal 1997 al 2002 la United Nations International Criminal Tribunal for former Yugoslavia (ICTY) intraprese l'esumazione delle sepolture di massa in NE Bosnia facenti parte dei crimini di guerra, attuata con lo scopo di provvedere delle evidenze per la persecuzione dei criminali della guerra a The Hague. Lo scopo degli studi sui pollini e sul suolo/sedimenti è stato di provvedere alla stesura di un 'profilo ambientale' del sito originale dei campioni e di utilizzare questo per proseguire



con una riallocazione dei corpi all'originale sepoltura di massa. Questo è stato parte di una completa catena di evidenze, che ha fornito evidenze della scala e dell'organizzazione delle atrocità originali. Tutti i siti primari sono stati localizzati grazie a contrastante geologia, suolo e vegetazione, e questo ha permesso di comparare positivamente i sedimenti trasportati ad intimo contatto con i corpi ai siti di seppellimento originali, che in molti casi sono stati pure i siti di esecuzione. L'evidenza è stata utilizzata in tribunale ed è di pubblico dominio; si crede che questa sia stata la prima volta che le tecniche per la stesura del 'profilo ambientale' siano state usate in maniera sistematica in un'indagine sui crimini di guerra. Si tratta perciò di un caso molto importante ed interessante, che racchiude un approccio squisitamente naturalistico, che abbraccia diverse discipline e che fornisce dati oggettivamente fruibili.

Altra questione interessante e critica nell'ottenere la migliore comparazione di un sospetto con la scena del crimine, che si tratti di suoli, frammenti di roccia/polvere, vegetazione o altri materiali antropogenici (pittura, vetro) trasferibili, sono il numero di campioni e la loro distribuzione spaziale. McKinley e Ruffell (2007) hanno effettuato uno studio comparativo su campioni di suolo, campionando a mezzo di una griglia 112 campioni in 16 m<sup>2</sup>, ossia l'area incriminata, con il risultato di una migliore comparazione con il campione proveniente dalle suole delle scarpe del sospettato. Ovviamente le disomogeneità sono identificabili in modo migliore con un campionamento organizzato ed adeguatamente fitto, e l'analisi quantitativa che ha utilizzato un metodo di conteggio numerico delle diversità fornisce la base per inferenze statistiche, tuttavia questo approccio appare subito di scarsa applicabilità in scenari più ampi e complessi. Come sarà esposto più avanti nel progetto di ricerca di questa tesi, si è optato per un campionamento standard ritenuto sufficientemente discriminante sia verticalmente che orizzontalmente, poiché per ogni buca di inumazione sono stati ripetuti i campionamenti dei campioni "bianchi/di confronto" anche se spazialmente molto vicine e quindi ascrivibili ad una medesima area dal punto di vista della geopedologia classica. È interessante notare invece quanto la tecnica di campionamento e di analisi botanica ricalchi nelle linee generali il lavoro eseguito da McKinley e Ruffell, ovvero un campionamento organizzato ed una trattazione statistica dei dati quali-quantitativi raccolti.

Bull e Morgan (2006) hanno combinato le analisi di 738 campioni di suoli e sedimenti raccolti durante le indagini di venti casi in un database per comparazioni retrospettive. Il lavoro si è focalizzato sulle *textures* della superficie di quarzo e granuli di sabbia classificandole in cinque ordini arbitrariamente definiti in base alle diversità rilevate. Questa classificazione provvede anche dati di frequenza sul numero di tipologia di granuli trovati nel campione, l'individualità del rapporto tra gli assemblaggi delle tipologie dei granuli di quarzo ed il tipo di

granulo di quarzo. La tecnica, sviluppata primariamente come un meccanismo di esclusione, suggerisce la possibilità, in molte circostanze, di interpretazioni significative in merito alla comparazione. Questo studio in microscopia elettronica (SEM) è un lampante esempio di quanto la scienza in ambito forense cerchi il particolare e l'invisibile ad occhio nudo e di quanto uno strumento come il Microscopio Elettronico a Scansione offra potenzialità di studio veloci ed efficaci. A parte il fatto di indirizzare lo studio esclusivamente sui granuli di quarzo, che per altro sono quelli meno interessati dalle alterazioni geopedologiche a breve scala temporale, nel presente lavoro di ricerca si è creato un protocollo di studio del suolo al SEM a carico dei granuli, per la ricerca di figure geopedologiche anomale ed indotte dalla decomposizione.

L'incremento sia nell'automazione sia nella precisione delle analisi dei materiali geologici è stato un impatto importante nei confronti delle investigazioni forensi negli ultimi dieci anni. Esiste comunque, una fondamentale differenza filosofica tra le richieste forensi e quelle geologiche. L'articolo di Morgan (2006) presenta i risultati di investigazioni geoscientifiche forensi su tre casi di crimini efferati. Tutti e tre i casi analizzano il suolo dal punto di vista fisico, chimico e biologico, considerando analisi mineralogiche e granulometriche, composizione cationica ed anionica, pH e contenuto organico ed attuando anche l'analisi pollinica. L'uso di tecniche indipendenti nello sviscerare crimini possiede un grande potenziale fornito dalla natura ubiquitaria dei suoli e sedimenti trovati in associazione con i siti naturali, non di meno, fornisce una visione d'insieme della situazione in questione grazie ai differenti punti di vista, i quali possono rafforzarsi verso una medesima interpretazione dei fatti oppure divergere consentendo il beneficio del dubbio che risulta basilare per non commettere leggerezze. Il progetto sperimentale oggetto di questa tesi è proprio fondato su una pluralità di analisi da effettuare, nei disparati casi reali che si possono presentare, per ottenere una descrizione organica della situazione.

Infatti, Sugita e Marumo (1996), hanno cercato di stilare una procedura di identificazione del suolo in ambito forense basato esclusivamente sul colore, descritto attraverso la comparazione con le tavole Munsell dopo differenti trattamenti di essiccazione, dissoluzione e rimozione degli ossidi di ferro; a mio avviso, benché giungano a risultati discriminatori più che soddisfacenti, l'analisi stessa così particolare e la preparazione del campione così articolata offrono spazio all'errore sistematico ed accidentale, cosa che sarebbe sempre meglio ridurre il più possibile.

Oggi vi sono sempre più lavori orientati dell'integrazione di differenti ed indipendenti tecniche nell'analisi di materiale forense (Bull *et al.* (2006), Wiltshire (2006a), Brown (2006),

EMBO reports (2006), Ruffell & McKinley (2005), Morgan *et al.* (2006)) proprio perché si è evinto che l'ambiente è un sistema complesso, ed ancor più complessi possono essere i segni di interesse forense da ricercare in esso, per cui si ritiene assolutamente necessario applicare una moltitudine di approcci quanto più diversificata in base all'effettiva potenzialità offerta dalla scena del crimine in oggetto, sia essa un omicidio, un occultamento di cadavere oppure un rapimento.

Da questo punto di partenza altamente difforme ed articolato, sorge la volontà di approcciarsi all'ambito geopedologico forense con protocolli squisitamente tecnici e propri dello studio del suolo operato in Scienze della Terra, cercando di far emergere il suolo nella sua interezza e potenzialità intrinseca.

## 1.6 IL PROGETTO DI RICERCA.

Il progetto di ricerca che ha dato adito a questa tesi si concentra sugli aspetti delle Scienze Naturali che più difettano di dati in ambito forense, focalizzandosi maggiormente sullo studio geopedologico e coinvolgendo altre discipline scientifiche quali la botanica, la geofisica e la medicina legale. Il progetto vuole ricreare in modo sperimentale e controllato la situazione reale di cadavere occultato, in modo da poter affrontare in futuro il caso reale con una adeguata preparazione fornita dal caso sperimentale.

Si tratta di un progetto interamente sperimentale che prende in considerazione lo studio diacronico su due anni e mezzo dell'area interessata dalla decomposizione di carcasse di maiale sepolte, con il fine ultimo di trovare indicazioni che possano chiarire e meglio definire il tempo trascorso dalla morte (Post Mortem Interval, PMI) ed altri interessanti indizi utili per coadiuvare le indagini giudiziarie, come le alterazioni tafonomiche e le interazioni ambiente-cadavere.

Si presta maggiore attenzione, per quanto riguarda il suolo, ai cambiamenti in termini micromorfologici, composizionali ed elementali con particolare attenzione alla sostanza organica ed agli acidi grassi volatili (AGV) e per quanto riguarda la botanica alla variazione e successione di diverse specie e/o tipologie di vegetazione.

Il lavoro sperimentale utilizza undici carcasse di maiale del peso compreso tra i 50 ed i 90 kg circa (morti per cause indipendenti dal presente progetto) simulanti la massa di un corpo umano. Queste sono state sepolte circa alla medesima profondità in due aree diverse per quanto riguarda le caratteristiche ambientali stazionali, prendendo in considerazione una diversa e contrapposta copertura vegetale: una zona di prato arido ed una zona boscata.

In concomitanza con la messa in posto delle carcasse sono stati effettuati rilievi fitosociologici al fine di caratterizzare la vegetazione dell'area ed un approfondito studio

geopedologico sul campo al quale sono seguite analisi di laboratorio per una completa caratterizzazione dei profili aperti nello scavo delle fosse di occultamento.

Sono poi stati controllati ed introdotti in un database i parametri climatici variabili come la temperatura e le precipitazioni per tutta la durata degli esperimenti.

Ad intervalli di un mese e mezzo, sette mesi, tredici mesi, ventiquattro mesi e trenta mesi è stata esumata una carcassa sepolta per ciascuna delle due aree. Presso l'Istituto di Medicina Legale e delle Assicurazioni dell'Università degli Studi di Milano sono state effettuate le autopsie e lo studio di tutte le carcasse animali e di ciò che ne rimaneva.

In occasione dell'esumazione sono stati effettuati i campionamenti geopedologici e anche botanici. La durata dell'intero ciclo di campionamenti è stato di circa due anni e mezzo. In laboratorio si è proceduto poi allo studio dei campioni di diversa natura con diverse tecniche di analisi, tenendo come riferimento il campionamento effettuato prima delle sepolture.

Per i campioni di suolo sciolti sono state effettuate, presso i laboratori del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Milano e di Milano Bicocca, analisi di routine per la caratterizzazione geopedologica degli stessi. Per una miglior comprensione della chimica del suolo (Ministero delle Risorse Agricole e Forestali, 1994) e degli elementi caratterizzanti sono state effettuate ulteriori analisi più prettamente chimiche-agronomiche quali:

- Percentuale di Azoto (%N)
- Percentuale di Carbonio (%C)
- Rapporto Carbonio-Azoto (C/N)
- Presenza di ioni carbonato e bicarbonato in equivalenti di carbonato di calcio
- Fosforo assimilabile
- Capacità di scambio cationico e Capacità di scambio cationico Stimata
- Calcio scambiabile
- Magnesio scambiabile
- Sodio scambiabile
- Potassio scambiabile
- Somma delle basi
- Tasso di saturazione in basi TSB

Tra le altre una determinazione delle componenti organiche, per la ricerca degli Acidi Grassi Volatili (AGV) è stata effettuata attraverso l'utilizzo della gascromatografia abbinata alla spettrometria di massa (GC-MS).

Inoltre, sono state eseguite analisi composizionali con l'ausilio del Microscopio Elettronico a Scansione (SEM) stilando un particolare protocollo di campionamento e preparazione del campione chiamato "Dust & Plug".

Il progetto sperimentale prende in considerazione anche l'integrazione dello studio micromorfologico del suolo in sezione sottile, per il quale non è nota bibliografia antecedente al presente lavoro. Per permettere l'applicazione di tale tecnica di studio è stata successivamente individuata ed utilizzata un'altra area entro la quale sono state effettuate due sepolture contenenti cinque lattonzoli ciascuna.

Sui campioni indisturbati raccolti in questa seconda area sperimentale al di sopra e al di sotto delle carcasse in decomposizione sepolte ed esumate dopo venti mesi, è stato effettuato uno studio micromorfologico con l'ausilio del microscopio ottico petrografico (Goldberg & Macphail, 2006) incrociato con lo studio al SEM.

Per la parte botanica sono stati effettuati rilievi quali-quantitativi delle specie e delle coperture dell'area interessata, nonché sono stati tenuti in considerazione tropismi e/o situazioni di inibizione e tassi di accrescimento mensili/annuali delle stesse. Si sono create anche aree di confronto "falso positivo" dove è stato prodotto un disturbo meccanico analogo alle sepolture (scavo). Come tecnica analitica e di campionamento si è scelta la Point Quadrat Analysis (PQA) e le correlate indagini statistiche del metodo.

In allegato alla presente tesi è possibile trovare il "Manuale Operativo" stilato appositamente per questo progetto e concernente il campionamento e la nomenclatura dei campioni, nonché i protocolli da seguire per l'analisi della componente geopedologica e botanica.

CAPITOLO 2.

# MATERIALI





# MATERIALI.

Sono di seguito passati in rassegna quelli che per questo lavoro possono essere denominati i “materiali” sui quali si è articolato il progetto di ricerca. Viene pure presentata una breve trattazione delle aree di interesse in maniera spiccatamente naturalistica.

## 2.1 L'AREA: IL PARCO DEL TICINO

### 2.1.1 Inquadramento Storico

Il Parco del Ticino si estende lungo l'omonimo fiume che scorre tra Piemonte e Lombardia ed amministrativamente è costituito da un consorzio di Enti Locali. Il Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino è stato costituito in attuazione della Legge Regionale 9/1/1974, n. 2, che ha sancito la nascita del primo Parco Regionale istituito in Italia. Ai sensi della stessa legge, fanno parte del Consorzio 47 Comuni e tre province: Varese, Milano e Pavia. Nel 1985 la Regione Piemonte ha istituito il contermine Parco Naturale della Valle del Ticino, istituito con legge regionale n. 53 del 1978, ente strumentale regionale che si estende su 11 comuni della provincia di Novara. Il Parco fluviale a cavallo delle due regioni, Piemonte e Lombardia, abbraccia una superficie di 91.410 ettari, di cui 22.249 a Parco Naturale e 69.161 a Parco Regionale. Il fiume Ticino che nasce dal Passo della Novena, in Svizzera, e termina confluendo nel fiume Po 248 km dopo, è parte del Parco Naturale e Regionale solamente nel tratto che va dalla località di Sesto Calende (VA) fino al Ponte della Becca (PV) per un totale di 110 km.

Per effetto della sua particolare collocazione geografica, il Parco del Ticino offre un'ampia varietà di ecosistemi, di paesaggi e di specie animali e botaniche costituendo una realtà naturale molto importante per la Pianura Padana ed annoverando una cospicua

biodiversità fatta di 4932 specie viventi al suo interno (finora censita), 2402 delle quali appartenenti al regno animale, 1114 a quello vegetale e 1386 a quello dei funghi. Anche l'uomo ha contribuito a strutturare i diversi habitat modificando profondamente il paesaggio della valle del Ticino, tuttavia nel Parco si possono ancora trovare aree non intaccate da attività antropica. Sono inoltre da ammirare micro ambienti vegetali creati artificialmente ricchi di vita, come le *marcite* o i corsi d'acqua irrigui.

Il clima caldo umido e la ricchezza di acque irrigue sono tra le condizioni fisiche e ambientali che hanno favorito la coltivazione del riso nell'area del vercellese, novarese e Lomellina. Il fiume Ticino, attraverso la rete di canali della sponda piemontese, fornisce parte delle acque che hanno permesso alla risicoltura di diventare l'attività agricola principale del territorio. (Bogliani & Furlanetto, 1995).

### **2.1.2 Inquadramento Pedologico**

L'area oggetto di studio è stata rilevata dall'ERSAL (Ersal, 2001) e l'unità cartografica di interesse è formata da 7 delineazioni distribuite in tutta la valle del Ticino con un'estensione valutabile su circa 2200 ha.

E' caratterizzata da superfici subpianeggianti corrispondenti alle piane alluvionali, parzialmente inondabili, poste alla quota media di 96 m s.l.m. e con pendenza media praticamente nulla. Tale unità cartografica presenta pietrosità superficiale moderata con rischio d'inondazione moderato. Il parent material è costituito da depositi alluvionali grossolani mentre il substrato è formato essenzialmente da ghiaia poco gradata con sabbia grossolana. Il principale uso del suolo è rappresentato da boschi cedui e da seminativi avvicendati. Si tratta di suoli molto sottili limitati da strati con tessitura fortemente contrastante e orizzonti fortemente scheletrici, presentano permeabilità elevata e drenaggio rapido, tessitura nel primo metro sabbiosa e scheletro abbondante. Sono suoli non calcarei, a reazione acida in superficie e subacida-neutra in profondità, con tasso di saturazione in basi molto basso e con Available Water Capacity (AWC) molto bassa. I suoli appartenenti a questa unità sono classificabili come Typic Udorthents sandy-skeletal, mixed mesic (Soil Taxonomy, 1992) o Dystric Leptosol (FAO, 1990).

### **2.1.3 Inquadramento Vegetazionale**

L'area di studio rientra nel Distretto padano, che corrisponde alla pianura padano-veneta, della Provincia alpina facente parte del Dominio Centroeuropeo a sua volta facente parte della Regione Medioeuropea e caratterizzata da clima temperato, con foreste di conifere e

latifoglie (Fenaroli & Giacomini,1958). Inoltre, secondo la suddivisione della vegetazione potenziale in piani altitudinali, descrittivi della distribuzione delle comunità vegetali in relazione al gradiente di temperatura correlato alla quota, l'area in esame si sviluppa nell'Orizzonte submontano del Piano basale.

La vegetazione potenziale di tale territorio corrisponde al querceto misto dominato dalla farnia (*Quercus robur* L.) e accompagnato dal carpino bianco (*Carpinus betulus* L.), dal tiglio (*Tilia platyphyllos* Scop.), dagli aceri (*Acer campestre* L., *A. pseudoplatanus* L.), dal ciliegio selvatico (*Prunus avium* L.) e dal nocciolo (*Corylus avellana* L.). Attualmente alcune specie che costituiscono i boschi relitti sono sostituite da elementi esotici (come *Robinia pseudoacacia* L.), la cui diffusione è stata enormemente favorita dall'uomo nello scorso '700.

#### **2.1.4 Inquadramento faunistico**

La Riserva, parte integrante del Parco del Ticino, presenta una grande variabilità ambientale dovuta alla diversificazione morfologica e vegetazionale del sito. Tale variabilità ha favorito l'insediarsi di una fauna anch'essa ben diversificata. Molto ben rappresentati sono i piccoli uccelli con presenza di specie altrove rare come la ghiandaia (*Garrulus glandarius* L.), il picchio rosso maggiore (*Picoides major* L.), il picchio rosso minore (*Picoides minor* L.), il picchio verde (*Picus viridis* L.) ed il torcicollo (*Jynx torquilla* L.).

Dall'inizio degli anni '90 su parte dell'area è insediata una garzaia composta da diverse centinaia di nidi di tre specie: garzetta (*Egretta garzetta* L.), nitticora (*Nycticorax nycticorax* L.) e airone cenerino (*Ardea cinerea* L.). Ricca la componente di mammiferi fra cui si segnala il capriolo (*Capreolus capreolus* L.), estintosi nella valle del Ticino da oltre un secolo e reintrodotta nella parte centrale del Parco tra il 1991 e il 1996 (Furlanetto, 2002), e il cinghiale (*Sus scrofa* L.), abusivamente introdotto nel 1975 che provoca, con il suo particolare modo di alimentarsi, danni anche gravi all'agricoltura.

Buona la presenza di anfibi, fra cui spicca la rana di Lataste (*Rana latastei* Boulenger), specie endemica della Pianura Padana, così come quella dei rettili che vede anche la presenza della vipera (*Vipera aspis* L.) (Bogliani, 2002).

Inoltre, sono presenti vasche semi-naturali, che sono utilizzate dal Parco del Ticino in progetti di conservazione di specie acquatiche in declino. Un tempo impiegate come ambienti di allevamento nella tricoltura intensiva, le vasche sono utilizzate ormai da alcuni anni dal Parco come strumento nella realizzazione di progetti Life Natura per la conservazione di specie acquatiche autoctone di particolare pregio faunistico, come il gambero d'acqua dolce (*Austropotamobius pallipes* Ler.), la trota marmorata (*Salmo marmoratus* Cuvier), il pigo

(*Rutilus pigus* Lacepede) e lo storione cobice (*Acipenser naccarii* Bonaparte) (Bisogni & Paolini, 2002).

### **2.1.5 Inquadramento Meteorologico**

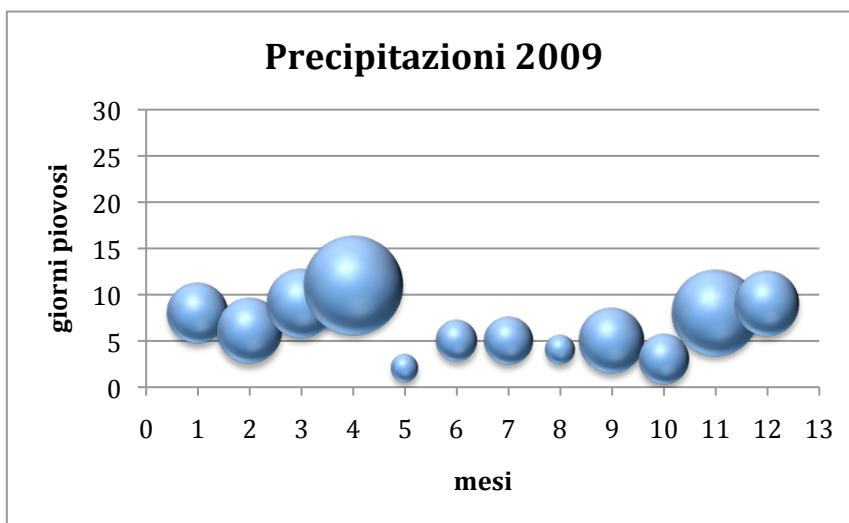
Per quanto riguarda il fenomeno delle precipitazioni sono riportati nei grafici (grafici 01-03) i giorni piovosi (ovvero con precipitazioni superiori a 1 mm) e i mm di acqua caduta dal cielo per ciascun mese dei tre anni di sperimentazione.

Si può notare quanto l'anno 2010 si discosti dagli altri due presi in considerazione, con ben 1244.4 mm di pioggia caduta in 365 giorni. L'anno 2010 si è dimostrato così essere un anno piovoso, con un autunno durante il quale sono caduti 533 mm di pioggia, una primavera durante la quale sono caduti 302.8 mm ed un'estate bagnata da 222 mm (Tab. 04). L'anno 2011 è stato invece l'anno meno piovoso (584.4 mm totali) con in assoluto l'autunno più secco durante il quale sono caduti solo 56.4 mm di acqua piovana.

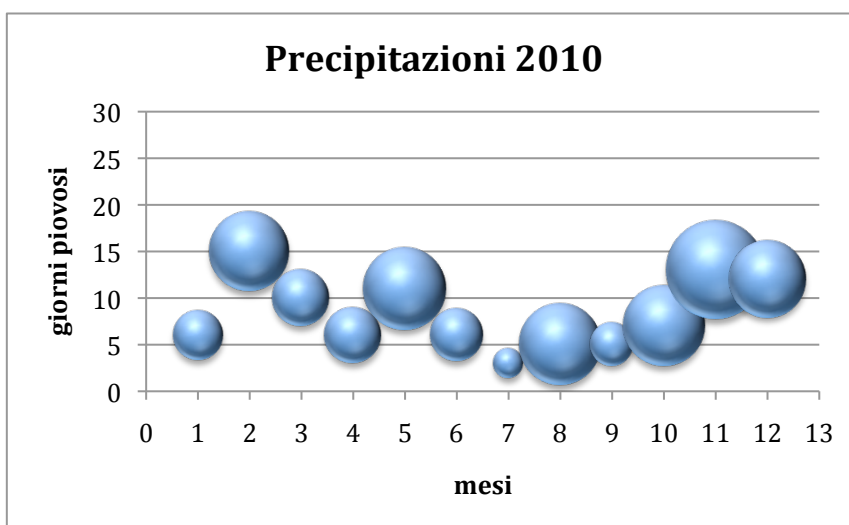
L'inizio della sperimentazione, avvenuta a fine maggio e inizio giugno 2009, è avvenuta in concomitanza di una primavera-estate eccezionalmente molto secca.

MESE		Giorni	mm	Giorni	mm	Giorni	mm	MESE	
Gennaio	1	5	26.8	6	57.8	8	78.4	1	Gennaio
Febbraio	2	7	70.8	15	152	6	90	2	Febbraio
Marzo	3	8	146.4	10	76.8	9	100.4	3	Marzo
Aprile	4	1	35.8	6	74.8	11	209.4	4	Aprile
Maggio	5	2	62.2	11	162.8	2	14.8	5	Maggio
Giugno	6	10	76.6	6	65.2	5	35	6	Giugno
Luglio	7	6	55.6	3	20.6	5	48.8	7	Luglio
Agosto	8	4	3.8	5	158	4	17.2	8	Agosto
Settembre	9	5	50	5	43.4	5	89.6	9	Settembre
Ottobre	10	1	3.6	7	157.6	3	52.8	10	Ottobre
Novembre	11	4	52	13	235	8	160.4	11	Novembre
Dicembre	12	0	0.8	12	140.4	9	88.2	12	Dicembre
<b>Totale</b>		<b>53</b>	<b>584.4</b>	<b>99</b>	<b>1344.4</b>	<b>75</b>	<b>985</b>	<b>Totale</b>	
<b>Inverno</b>		<b>20</b>	<b>244</b>	<b>31</b>	<b>302.8</b>	<b>23</b>	<b>268.8</b>	<b>Inverno</b>	
<b>Primavera</b>		<b>13</b>	<b>174.6</b>	<b>23</b>	<b>302.8</b>	<b>18</b>	<b>259.2</b>	<b>Primavera</b>	
<b>Estate</b>		<b>15</b>	<b>109.4</b>	<b>13</b>	<b>222</b>	<b>14</b>	<b>155.6</b>	<b>Estate</b>	
<b>Autunno</b>		<b>5</b>	<b>56.4</b>	<b>32</b>	<b>533</b>	<b>20</b>	<b>301.4</b>	<b>Autunno</b>	
		<b>2011</b>		<b>2010</b>		<b>2009</b>			

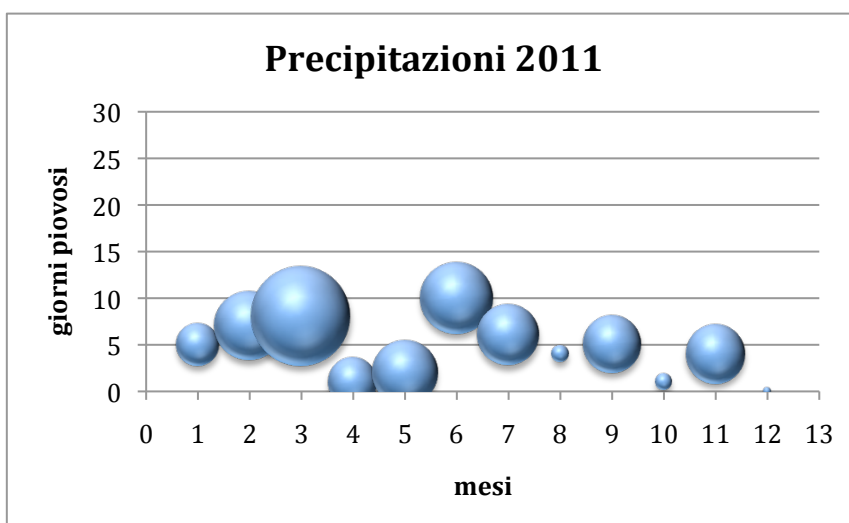
**Tab. 04** Tabella riassuntiva delle precipitazioni relative agli anni 2009, 2010 e 2011.



**Grafico 01** Grafico a bolle relativo alle precipitazioni per l'anno 2009.



**Grafico 02** Grafico a bolle relativo alle precipitazioni per l'anno 2010.



**Grafico 03** Grafico a bolle relativo alle precipitazioni per l'anno 2011.

### 2.1.6 L'area di sperimentazione

In primavera inoltrata del 2009 è stata concessa l'autorizzazione, da parte della direzione dell'ente Parco, ad utilizzare un'area di circa 1ha del Parco del Ticino come zona sperimentale atta all'uso necessario per il progetto. L'area si compone di una zona boscata, con specie non di notevole importanza ecologica, e di un'altra assimilabile ad una radura di prato arido. Verso fine primavera è stato raggiunto il numero necessario fissato in undici carcasse di maiale di peso adeguato grazie alla collaborazione con l'Istituto di Medicina Veterinaria dell'Università degli Studi di Milano.

La zona concessa dall'Ente Parco del Ticino si colloca all'interno del Comune di Cassolnovo (PV), in una zona incolta e poco frequentata ai bordi degli ultimi campi ad uso seminativo annuale (mais) e pluriennale (pioppi) (Fig. 02). In tale zona di circa 2500 m<sup>2</sup>, prossimale al fiume Ticino, quale unica impronta antropica vi sono esclusivamente alcune vasche per l'allevamento ittico a scopo di ripopolamento naturale. L'area può dunque definirsi altamente naturale seppure di basso valore naturalistico. Infatti, non sono presenti in loco specie di elevato valore naturalistico, sia nel mondo vegetale che animale.



**Fig. 02** Foto aerea satellitare della zona Parco del Ticino.

In data 21 maggio 2009 nell'area a prato sono state scavate, con l'ausilio di un escavatore, sei buche della profondità di circa 90 cm; entro cinque di queste sono stati sepolti sei maiali per un totale di quattro sepolture singole ed una sepoltura "doppia", mentre nella sesta è stata sepolta una lastra di ferro necessaria alle indagini con il georadar facente parte di uno studio parallelo al presente, ma che ricreava anche la situazione di "falso negativo", ossia una situazione entro la quale lo scavo e la chiusura di una di una buca sono avvenuti, ma all'interno della stessa non è stato occultato nessun cadavere.

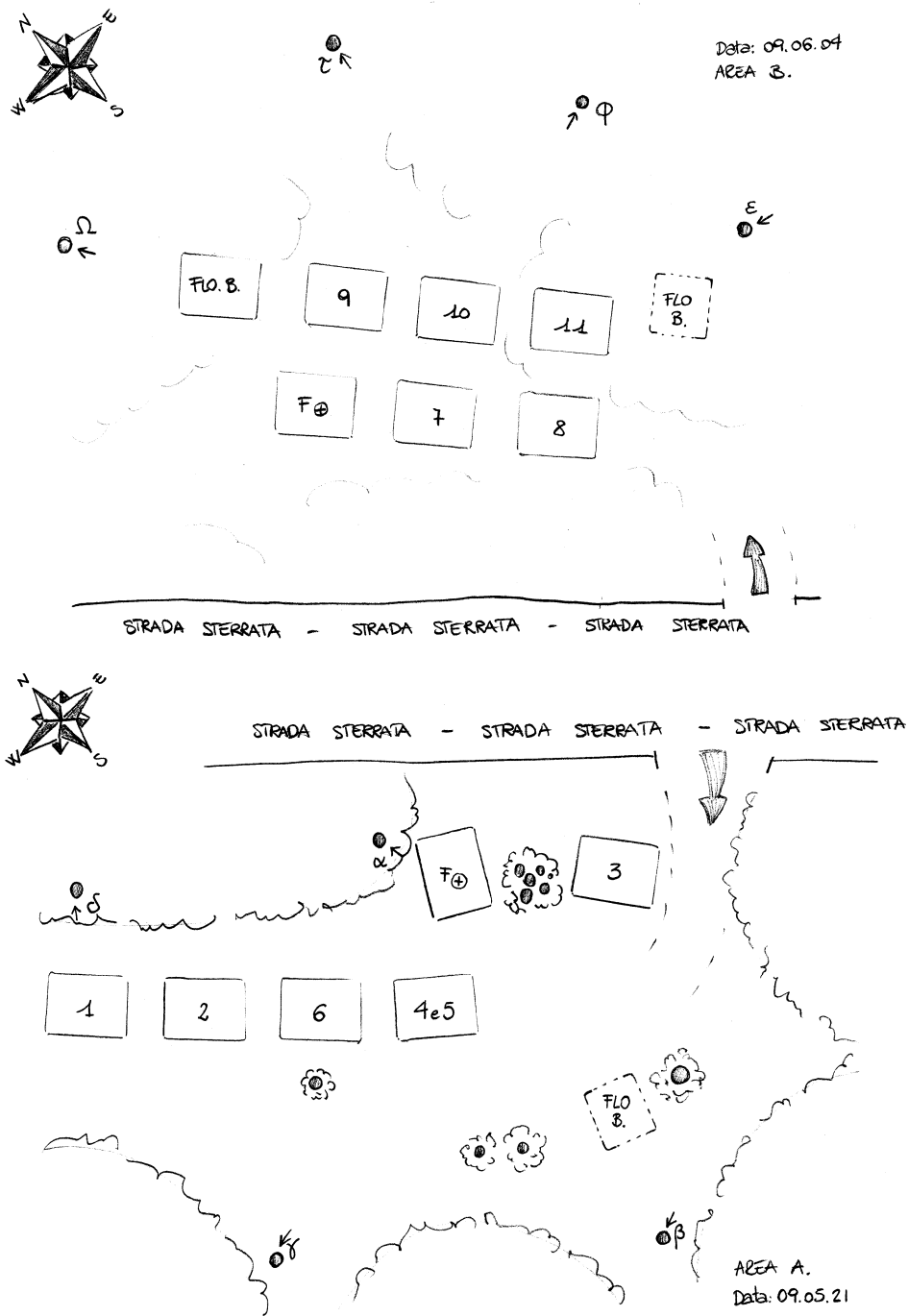
Tuttavia, va sottolineato quanto il suolo presente nell'area destinata sia scarsamente sviluppato e di poco spessore (15 cm), mentre al di sotto di esso sia presente una spessa coltre di sedimenti fluviali articolati in diversi strati-orizzonti C, materiale entro il quale le carcasse sono state sepolte. A fronte di questo problema squisitamente ambientale-pedologico di incoerenza del suolo, non è stato possibile campionare il suolo indisturbato per lo studio micromorfologico alla profondità di sepoltura. A fronte di ciò è stata trovata un'ulteriore area adatta allo scopo, come si potrà leggere più avanti.

In data 4 giugno 2009 nell'area boscata è stata effettuata la medesima operazione di "inumazione", aprendo sei buche nel terreno della profondità di circa 90 cm, seppellendo cinque carcasse e lasciando sul fondo di una delle buche la lastra di ferro. Inutile dire che la situazione del suolo appariva come nell'area precedente, ricca di sedimenti fluviali poco selezionati.

In concomitanza con le operazioni di inumazione sono state redatte descrizioni del profilo pedologico di ciascuna buca e sono stati prelevati tutti i campioni di suolo possibili come da manuale operativo, per ciascuna buca, per potere ottenere una accurata caratterizzazione del suolo in laboratorio. Per la parte botanica, è stata redatta una lista floristica dell'area ed è stato effettuato il rilievo tramite Point Quadrat Analysis (PQA) su due buche e su un quadrato deciso quale 'controllo'.

Nelle date delle inumazioni sono stati effettuati i rilievi geofisici da parte della società esterna collaborante al progetto per i quali è stato necessario seppellire la lastra di ferro per la taratura della strumentazione relativa alla profondità.





**Fig. 03** Schema rappresentativo della organizzazione delle sepolture

La fig. 03 riporta la schematizzazione dell'organizzazione delle sepolture nella zona del Parco del Ticino e riporta la disposizione delle buche di occultamento delle carcasse di maiale (numeri da 1 a 11), delle buche di falso positivo (F+) e dei quadrati di controllo/bianco

botanico (Flo. B); sono anche segnalati con lettere greche i lattonzoli lasciati in superficie per i quali non sono stati ricavati dati (scomparsa carcasse).

Nelle due aree relative al Parco del Ticino, area A-prato e B-boscata, le esumazioni sono state condotte in diversi intervalli per dei tempi di permanenza nel terreno riportabili grossomodo a quattro grandi scaglioni: 1 mese e mezzo, 7 mesi, 13 mesi, 24 mesi e 30 mesi (Tab. 05). Eventuali scostamenti temporali sono perlopiù dovuti a fenomeni meteorologici che si sono verificati e che hanno impedito le esumazioni in determinati giorni, tuttavia si apprezza quanto tali scostamenti siano esigui e quindi non possano essere fonte di variazioni sensibili a carico delle analisi effettuate.

N°	Peso Kg	Esumazione	Inumazione	Esumato dopo	Area
01	72,40	09.07.07	09.05.21	47 gg – 1,5 mesi	A
02	77,90	09.12.14		207 gg – 6,9 mesi	
03	88,30	10.06.21		396 gg – 13,2 mesi	
04	24,70	11.11.30		923 gg – 30,8 mesi	
05	23,60				
06	83,70	11.05.02		711 gg – 23,7 mesi	
07	71,50	09.07.20	09.06.04	42 gg – 1,4 mesi	B
08	88,00	10.06.22		383 gg – 12,7 mesi	
09	89,20	11.12.01		924 gg – 30,8 mesi	
10	84,50	11.05.31		726 gg – 24,2 mesi	
11	75,00	10.01.25		235 gg – 7,8 mesi	

**Tab. 05** Tabella riassuntiva dei pesi e dei periodi di permanenza nel terreno degli undici maiali nelle due aree del Parco del Ticino. (Cifre decimali ipotizzando un mese costituito di 30 gg).

Lo scavo in sede di esumazione è stato eseguito secondo le tecniche proprie del metodo archeologico. I campioni di suolo sono stati prelevati come da manuale operativo e le carcasse sono state autopsiate rispettivamente nei giorni successivi all'esumazione. Tutti i campioni raccolti hanno subito una caratterizzazione al fine di ottenere una quantità di dati omogenei per quanto riguarda la metodologia analitica, dati che dunque variano esclusivamente in rapporto al tempo ed al processo decompositivo in atto sulla carcassa.

## 2.2 L'AREA: OLTREPO'

### 2.2.1 Inquadramento Storico

L'ambito territoriale della provincia di Pavia si estende nella porzione sud-occidentale

della Lombardia e confina con le regioni Piemonte ad ovest ed Emilia Romagna a sud, con la provincia di Lodi a est e con la provincia di Milano a nord. Il territorio provinciale è tagliato, da ovest verso est, dal Fiume Po e, da nord-ovest verso sud-est, dal Fiume Ticino: i due fiumi lo dividono in tre aree geografiche distinte: la Lomellina a ovest, il Pavese a est e l'Oltrepò a sud. (Consorzio A.A.T.O Pavia, 2008)

Anche se il territorio della provincia di Pavia è principalmente ad andamento pianeggiante, con altitudine minima pari a 50 m s.l.m., si integra con una parte collinare di vaste dimensioni e con il settore appennico dell'Oltrepò, che arriva fino ai 1724 m s.l.m. del Monte Lesima. Il quadro morfologico del territorio presenta una notevole ricchezza di ambienti naturali diversi: fluviali, collinari e montani, con parchi e riserve naturali.

Negli archivi del Comune di Santa Maria della Versa si legge che:

*L'antica favola di Santa Maria della Versa inizia nel '300 quando il luogo era ancora incolto e si sgrana all'ombra della Chiesa seicentesca e lungo la strada che l'uomo percorre da secoli e che ora è arteria provinciale. Santa Maria oggi è un delizioso paese di fondovalle, ordinato e tranquillo, che dal 1893 ha acquistato il titolo di comune, ma basta guardare un poco di più in là per scorgere quanto ferva il lavoro sulle colline tutt'intorno. Viticoltori, in gran parte contadini da generazioni, ricavano dalla terra numerose varietà di grappoli e non per nulla Santa Maria della Versa è terra di vini, denominata "capitale del pinot" o "dello spumante"; un paese ricco di risorse, la cui gente è rigorosa nella fatica e cordiale nella festa.*

L'Oltrepò, con il suo paesaggio diviso tra campagna curata e collina disseminata di vigneti e castelli, testimonia la storia feudale del luogo. Rispetto al territorio della pianura, l'area dell'Oltrepò ha risentito maggiormente dell'isolamento determinato dai suoi caratteri fisici preminenti, ovvero la cesura costituita dal corso del Po che la separa dal Pavese e dalla Lomellina e la montuosità della zona appenninica. Questo "svantaggio" da un lato ha permesso la buona conservazione dei caratteri paesaggistici, dall'altro ha portato ripercussioni sul sistema insediativo, caratterizzato da relativa arretratezza della rete infrastrutturale.

### **2.2.2 Inquadramento Naturalistico**

Le unità di paesaggio naturalistico dell'Oltrepò pavese si identificano in: "Pianura Oltrepadana", "Bassa e Media Collina", "Alta Collina" e "Montagna Appenninica" (Guzzi,

2004).

La Pianura Oltrepadana si estende oltre il limite golenale del fiume Po fino ai bordi dei primi rilievi collinari; si tratta di un sistema naturalistico frammentato e con ecosistemi molto semplificati a causa dell'attività agricola. Anche il paesaggio agrario, per la trama poderale e gli elementi di vegetazione interpoderale, è semplificato ed impoverito. L'assetto insediativo urbano è soggetto a crescente pressione, e si connota per una spiccata conurbazione lineare.

La Bassa e Media Collina si estende dal limite meridionale della pianura oltrepadana alla valle del torrente Ardivestra, presenta rilievi morfologici irregolari, più blandi in corrispondenza dei primi terrazzi alluvionali, più accentuati nel settore sud-occidentale (rilievi di Nazzano, Godiasco, Rocca Susella). In tale ambito il paesaggio è dominato dalla viticoltura intensiva; le presenze naturalistiche sono limitate agli impluvi collinari e alle zone ad esposizione meno favorevole. I versanti, in particolare quelli meridionali, sono interessati da fenomeni di dissesto idrogeologico. Il sistema insediativo si sviluppa in due direzioni: nel fondovalle dei principali corsi d'acqua, sui crinali nelle aree geologicamente più resistenti. Il sistema viario, spesso antico, dona frequenti ed ampie vedute su un ambito paesisticamente molto sensibile, con elementi di interesse naturalistico costituiti dalle boscaglie igrofile degli impluvi collinari.

L'Alta Collina, dal Torrente Ardivestra alla linea che congiunge Varzi con Pietragavina e Zavattarello, è un'ampia zona di transizione, con morfologia più marcata ed articolata; l'assetto naturalistico inizia a farsi complesso, con estese formazioni boscate ed altrettante ampie aree a seminativi e foraggere. Nelle dorsali della media ed alta collina la morfologia è accentuata, modellata in formazioni arenacee e conglomeratiche, con versanti meno resistenti. Il dissesto idrogeologico è marcato e a causa di ciò e della morfologia accidentata gli abitati sui crinali sono meno frequenti.

A sud della linea Varzi – Zavattarello si estende la Montagna Appenninica che comprende le alte valli Staffora e Tidone. Qui è possibile osservare ampie formazioni forestali di interesse naturalistico ed elevata stabilità biologica, alternate a insediamenti agricoli la cui presenza è limitata dalla morfologia, dalla scarsa qualità dei suoli e da fattori climatici. In questo ambito le aree agricole di valore paesistico sono caratterizzate dai terrazzamenti, dalla trama dei percorsi, dagli insediamenti abitativi e costituiscono un elevato patrimonio ambientale e culturale della Provincia di Pavia.

Le aree collinari rappresentano il 16.2 % del territorio della Provincia di Pavia. In particolare l'Oltrepò è un territorio con una notevole presenza di rilievi collinari costituiti da rocce sedimentarie marine con una rilevante componente argillosa. Questa zona presenta

un'orografia complessa con la definizione di valli principali, valli secondarie e di ordine inferiore. Al confine con la provincia di Piacenza si trova la Valle Versa, vocata alla coltivazione della vite. L'"Oltrepo Centrale" è costituito da un insieme di piccole valli con andamento che apre a ventaglio e piega verso ovest rispetto all'asse della Valle Versa: la Valle dei Ronchi, la Valle di Losana e altre ancora di ordine minore, fino al limitare della Valle del Ghiaia di Montalto. Quest'ultima parte dell'Oltrepò è delimitata dalla Valle Staffora, che si inerpicca fino alle alture di Varzi e Santa Margherita Staffora e che ha, a sua volta, delle valli minori come la Val di Nizza.

Il clima prevalente nella provincia di Pavia è di tipo continentale con inverni rigidi ed estati calde e afose. Durante l'autunno e l'inverno si formano frequentemente nebbie fitte e persistenti che caratterizzano i paesaggi padani, portando anche conseguenze negative per le difficoltà riscontrabili nei collegamenti. Le piogge sono in media più abbondanti nelle zone collinari e i massimi di precipitazione si verificano in primavera (aprile-maggio) e in autunno (ottobre-novembre).

### **2.2.3 Inquadramento Pedologico**

Dalla carta pedologica dell'ERSAL (2001) l'unità di paesaggio entro la quale ricade l'area che è stata poi utilizzata è relativa ai versanti con pendenze da moderate a moderatamente elevate utilizzati prevalentemente a vigneto, prato e seminativo; la sottounità dei versanti lunghi ed irregolari in cui si alternano accumuli colluviali e crinali emergenti con moderata suscettività all'erosione e sviluppati su rocce marnose (formazione di Val Luretta e Marne di Sant'Agata Fossili), riporta suoli che vanno da poco profondi limitati da roccia coerente soffice, tessitura fine, scheletro comune, molto calcarei in superficie e fortemente calcarei in profondità con drenaggio mediocre per permeabilità bassa, a suoli profondi su substrato argilloso, tessitura fine, calcarei o molto calcarei con drenaggio mediocre per permeabilità bassa (Typic Udorthents e Oxyaquic Eutrochrepts rispettivamente); mentre la sottounità dei corpi di frana stabilizzati e coltivati in zone caratterizzate dalla presenza di substrato marnoso (formazione di Val Luretta) con pendenza moderata ed utilizzati perlopiù a vigna, riportano suoli molto profondi su limi e argille marnose, con tessitura fine e scheletro scarso, moderatamente calcarei e con drenaggio mediocre per permeabilità bassa. (Oxyaquic Hapludert). Le sepolture dei lattonzoli interessano la seconda sottounità descritta.

## 2.2.4 Inquadramento Meteorologico

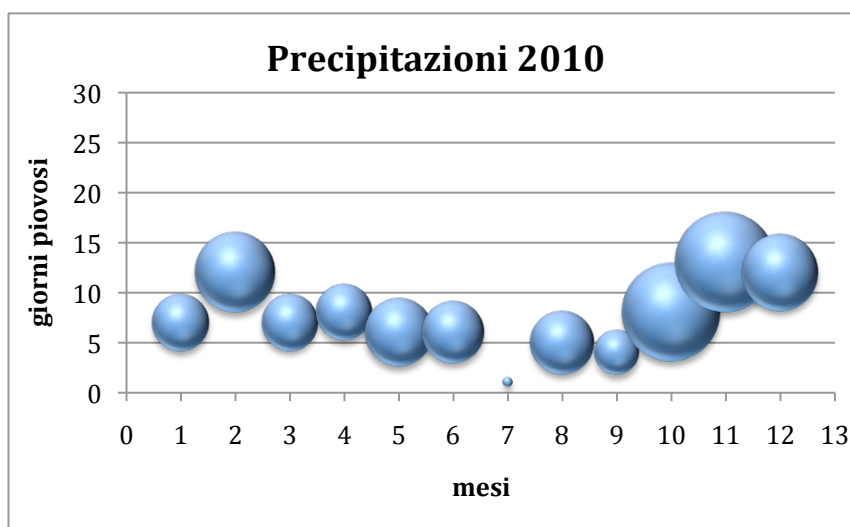
Per quanto riguarda il fenomeno delle precipitazioni sono riportati nei grafici (grafici 04-05) i giorni di pioggia e i mm di acqua caduta dal cielo per ciascun mese dei due anni di sperimentazione.

Mediamente l'anno 2010 è stato piovoso mentre il 2011 presenta periodi di siccità (aprile, agosto e dicembre) alternati a periodi di abbondanti piogge.

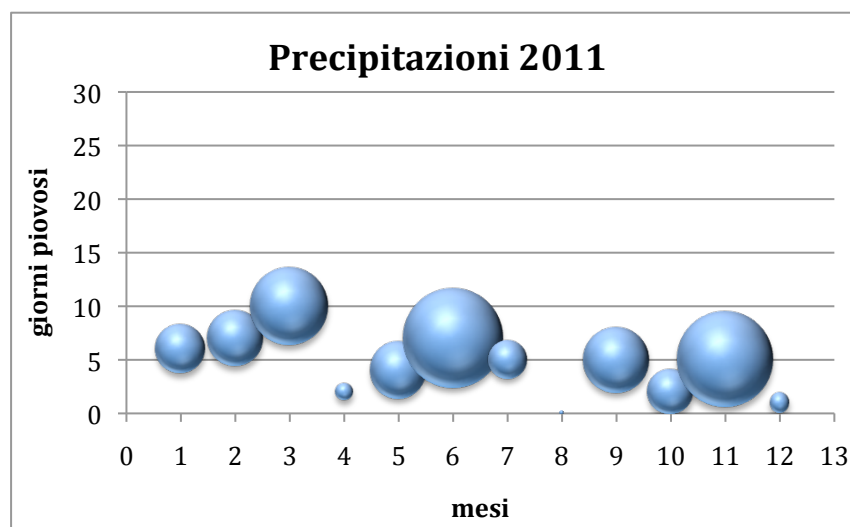
L'inizio della sperimentazione, avvenuta ad inizio aprile 2010, si colloca in una primavera abbastanza umida (Tab 06).

MESE		Giorni	mm	Giorni	mm		MESE
Gennaio	1	6	34.8	7	54	1	Gennaio
Febbraio	2	7	43.6	12	107.2	2	Febbraio
Marzo	3	10	85.2	7	52.2	3	Marzo
Aprile	4	2	4.2	8	52.2	4	Aprile
Maggio	5	4	44.4	6	78.4	5	Maggio
Giugno	6	7	141.8	6	62.8	6	Giugno
Luglio	7	5	20.2	1	1.2	7	Luglio
Agosto	8	0	0.2	5	66.2	8	Agosto
Settembre	9	5	61.2	4	32.2	9	Settembre
Ottobre	10	2	29.4	8	161.8	10	Ottobre
Novembre	11	5	131.6	13	167	11	Novembre
Dicembre	12	1	5.4	12	96.6	12	Dicembre
<b>Totale</b>		<b>54</b>	<b>602</b>	<b>89</b>	<b>931.8</b>		<b>Totale</b>
<b>Inverno</b>		<b>23</b>	<b>163.6</b>	<b>26</b>	<b>213.4</b>		<b>Inverno</b>
<b>Primavera</b>		<b>13</b>	<b>190.4</b>	<b>20</b>	<b>193.4</b>		<b>Primavera</b>
<b>Estate</b>		<b>10</b>	<b>81.6</b>	<b>10</b>	<b>99.6</b>		<b>Estate</b>
<b>Autunno</b>		<b>8</b>	<b>166.4</b>	<b>33</b>	<b>425.4</b>		<b>Autunno</b>
		<b>2011</b>		<b>2010</b>			

**Tab. 06** Tabella riassuntiva delle precipitazioni relative agli anni 2010 e 2011.



**Grafico 04** Grafico a bolle relativo alle precipitazioni per l'anno 2010.



**Grafico 05** Grafico a bolle relativo alle precipitazioni per l'anno 2011.

### 2.2.5 L'area di sperimentazione

Nel mese di settembre 2009 è stato effettuato un sopralluogo nell'Oltrepò pavese dove sono state riscontrate condizioni adatte ad una seconda azione di seppellimento in batteria, seppur di minore entità rispetto alla precedente, in un terreno privato gentilmente concesso per l'esperimento. Il suolo in questa area si presenta ben formato e ricco in frazione fine (limo-argilla), il che permette un migliore campionamento del suolo per lo studio in sezione sottile, con il fine di indagare il percolamento ed il comportamento dei liquidi putrefattivi in profondità e nell'intorno del cadavere, nonché altre analisi che meglio si effettuano su materiali di granulometria fine.

Il 9 aprile 2010 è stata effettuata l'azione di seppellimento di dieci lattonzoli in due buche della profondità di circa 60-80 cm in questa area localizzata nel comune di Santa Maria della Versa, in Oltrepò Pavese. Con questa nuova area e nuova parte di progetto è stato possibile attuare una collaborazione con la sezione di Geofisica del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Milano per indagare l'utilità delle prospezioni geofisiche nell'ambito forense, in particolar modo si è focalizzato il lavoro sulle prospezioni geoelettriche le quali saranno opportunamente spiegate nel paragrafo dedicato.

La zona gentilmente concessa si trova all'interno di un fondo privato nel comune di Santa Maria della Versa (PV) in particolare nella frazione di Ruinello di Sotto. L'area di circa 500 m<sup>2</sup>, incolta ed utilizzata in parte per l'accatastamento della legna, si colloca all'interno del paesaggio come una piccola isola in mezzo ai regolari filari della vigna che domina e organizza le colline dell'Oltrepò (Fig. 04). Non sono presenti particolari specie vegetali, l'area è perlopiù dominata da arbusti sia bassi che ad alto fusto e da qualche albero.



**Fig. 04** Foto aerea satellitare della zona nell'Oltrepò.

Trascorsi 20 mesi in data 6 dicembre 2011 sono state riaperte le buche e si è proceduto con il campionamento delle sezioni sottili poiché in questa area si è sperimentato lo studio micromorfologico del suolo di interesse forense. Si ricorda che al momento non esistono studi micromorfologici riguardanti lo studio al microscopio petrografico di come si presentino i percolati organici propriamente detti, le loro figure di alterazione della fabric e la deposizione



di particolari figure pedologiche, evidenze che sarebbe utile conoscere per poterle riconoscere ed identificare in caso di necessità forense.

## 2.3 I MAIALI

Sono stati utilizzati maiali (*Sus scrofa*) per la presente sperimentazione poiché essi sono modello eletto in tutte le sperimentazioni che più si vogliono avvicinare alla simulazione sperimentale su esseri umani, non da ultimo la sperimentazione medica. La motivazione di tale scelta risiede nelle peculiari caratteristiche che rendono i maiali comparabili all'uomo sia dal punto di vista anatomico, sia fisiologico, sia genetico (Bendixen *et al.*, 2010). In effetti, volendo comparare il maiale all'uomo nella sperimentazione oggetto di questa ricerca, è possibile notare le seguenti similitudini:

- distribuzione dei tessuti nei vari distretti corporei
- massa corporea comparabile a parità di peso corporeo
- assenza di pelliccia
- evoluzione degli stadi decompositivi

Ovviamente la sperimentazione utilizzando il modello animale può soffrire di approssimazioni che vengono necessariamente fatte asserendo analogie laddove queste non sono proprio tali. Ad esempio se la costituzione del tratto digerente e la dieta onnivora sono abbastanza simili, la stessa cosa non si può dire della pelle del maiale, che è molto più spessa di quella umana, e delle proporzioni tra gli arti, il tronco ed il capo, nonché della conformazione anatomica le quali sono notevolmente diverse da quelle umane rendendo molto difficile la comparazione maiale-uomo. D'altro canto però, il modello animale permette l'impiego di un numero elevato di grandezza del campione, fornendo sufficienti controlli sperimentali e permettendo conclusioni statistiche in set di esperimenti.

Sono numerosi i lavori scientifici che si avvalgono di maiali (*Sus scrofa*) quale modello sperimentale, sia in ambito archeologico (Usai *et al.*, 2010) che forense (Carter *et al.*, 2007; Wilson *et al.*, 2007; Turner & Wiltshire, 1999), questo anche per il fatto che sono poche le nazioni ove è permessa la donazione del corpo alla scienza per scopi di ricerca.

L'Istituto di Veterinaria dell'Università degli Studi di Milano lavorando allo studio di valvole cardiache artificiali impiantate proprio su maiali e non mantenendo a lungo in vita gli

stessi dopo l'operazione, ha fornito gli undici maiali oggetto della presente ricerca. I maiali presentavano quindi cicatrici chirurgiche che sono state annotate e studiate nella loro decomposizione diacronica nel progetto di Dottorato in Biotecnologie Applicate alle Scienze Mediche (XXIII Ciclo) parallelo al presente, dal titolo *Alterazioni microscopiche della decomposizione: implicazioni per la medicina legale*,

Nella tabella 07 sono riportati gli undici maiali ed i relativi pesi; per rendere equiparabile la quarta inumazione in termini di peso, sono stati sepolti nella quarta buca i maiali 4 e 5, creando altresì la casistica forense di "sepoltura doppia".

Riassumendo sono stati sepolti maiali del peso compreso tra 50 kg e 89 kg in ogni buca.

Per quanto riguarda invece i dieci lattonzoli per la sepoltura nell'Oltrepò Pavese, essi provengono dal medesimo allevamento che fornisce gli adulti all'Istituto di Veterinaria e sono i lattonzoli che non sopravvivono al parto o che vengono uccisi per schiacciamento dal peso della madre che li sta allattando.

N° Maiale	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Peso Kg	72,40	77,90	88,30	24,70	23,60	83,70	71,50	88,00	89,20	84,50	75,00

**Tab. 07** Pesì dei maiali. Maiali 01-06 (fucsia) area A; 07-11 (verde) area B.

## 2.4 IL SUOLO

Come è stato spiegato nel capitolo introduttivo alla pedologia (cfr. Cap. 1.3 Geopedologia), il suolo si presenta articolato in orizzonti, essi si avvicendano con la profondità in base alle loro diverse caratteristiche che li rendono perciò riconoscibili e distinguibili. Per studiare il suolo in laboratorio occorre campionarne i singoli orizzonti, individuati grazie ad una prima descrizione di campagna del profilo pedologico (cfr. Cap. 1.3 Geopedologia), in modo opportuno ed in una quantità sufficiente sia per le analisi da effettuare, sia per la rappresentatività dell'intero orizzonte entro il campione stesso. Essenzialmente la pedologia distingue due tipologie di campionamento: i campioni sciolti o volumetrici ("bulk") ed i campioni indisturbati. I primi sono semplicemente raccolti a mezzo di una cazzuola in sacchetti di plastica e serviranno per analisi di laboratorio e di chimica fine, mentre i secondi sono campionati a mezzo di scatole di Kubièna conficcate nel terreno ed una volta ultimata la loro

preparazione, essi diverranno sezioni sottili da studiare al microscopio ottico petrografico e elettronico.

Per il presente lavoro di ricerca si sono campionati tutti gli orizzonti di tutte le buche scavate in sede di pre-inumazione, per avere una descrizione della situazione naturale antecedente all'evento del seppellimento, mentre successivamente, durante lo scavo riesumativo il campionamento è stato eseguito in concomitanza di intervalli ricorrenti di profondità, ovvero ogni 25 centimetri.

#### **2.4.1 IL CAMPIONAMENTO ED I CAMPIONI RACCOLTI**

I campioni raccolti sono stati nominati seguendo la nomenclatura istituita dal Manuale Operativo (cfr. Appendice E). Essa si basa su una stringa di valori numerici ed alfanumerici che permettono un'identificazione rapida e ridondante del campione stesso, fornendo all'istante informazioni importanti come la data di campionamento, il luogo di sepoltura ed il numero della buca/maiale. Viene composta una sorta di "sigla di campionamento" che può essere suddivisa in una parte relativa alla data, una relativa alle caratteristiche più generali ed infine ad una propriamente relativa al campione raccolto; essa è così composta:

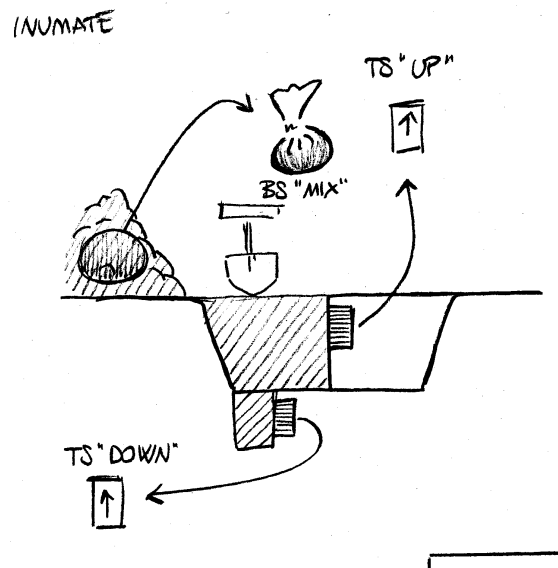
- ☞ Anno di campionamento: campo a due cifre es.: 09 = 2009
- ☞ Mese di campionamento: campo a due cifre es.: 02 = febbraio
- ☞ Giorno di Campionamento: campo a due cifre es.: 19
- ☞ Appartenenza allo 'stato': campo a due lettere maiuscole es.: PreIs = IS PostES = ES
- ☞ Area: campo ad una lettera maiuscola es.: X = area prato Y = bosco
- ☞ Relazione ai maiali sepolti o superficiali: campo ad una lettera maiuscola es.: B = carcasse inumate S = carcasse abbandonate in superficie
- ☞ Numero del maiale: campo a due cifre, ogni maiale possiede un numero proprio, si assegnino numeri crescenti da 01 al numero massimo di maiali utilizzati.
- ☞ Stagione della riesumazione: campo a tre lettere minuscole es.: pri = primavera aut = autunno
- ☞ Numero dell'intervallo dell'esumazione/recupero: campo a due numeri romani crescenti es IV
- ☞ Nome del campione relativo alla sua collocazione di campionamento: campo da tre a sette lettere (vedi tab. al punto 2.4.) es. MIX

Si ottengono così i nomi dei campioni raccolti, per i quali si riporta qui di seguito un esempio: 10.03.15\_ES\_X\_S\_12\_pri\_III\_sotto (Tab. 08)

anno	mese	giorno	'stato'	area	sep/sup	n°maiale	stagione	n°intervento	tab.2.4.
10	03	15	ES	X	S	12	pri	III	sotto

**Tab. 08** Nomenclatura del campione

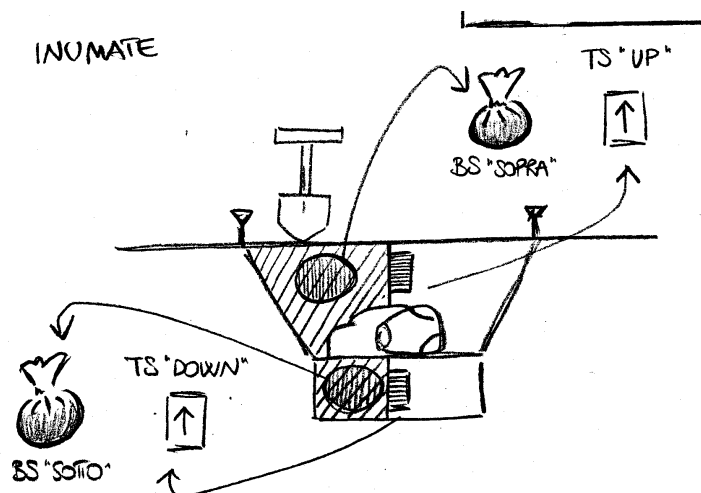
Inoltre, tale modo di organizzare i campioni fa sì che la gestione a livello informatico di una grossa mole di dati, venga notevolmente avvantaggiata.



**Fig. 05** Schema del campionamento prima dell'inumazione (pre-IS)

La fig. 05 mostra il campionamento durante lo scavo di apertura delle buche, durante il quale sono stati raccolti i campioni relativi agli orizzonti identificati, nonché un campione denominato “mix” risultato dalla omogeneizzazione del mucchio di risulta del materiale scavato; inoltre esclusivamente nella’area di Santa Maria della Versa (PV) sono state

campionate le sezioni sottili (Thin Section, TS; fig. 05 e 06) per consentire lo sviluppo dell'approccio micromorfologico.



**Fig. 06** Schema del campionamento dopo l'esumazione (post-ES)

In seguito, durante le cinque esumazioni di coppie di maiali, una per ciascuna zona (A e B) nella'area dedicata al Parco del Ticino, si è proceduto con lo scavo archeologico su mezza buca e, una volta trovata e messa in luce la carcassa, si sono raccolti i campioni di suolo nella metà della buca dove il riempimento era in posto, consentendo così maggiore precisione all'operazione di campionamento; vista l'omogeneizzazione del riempimento dovuto allo scavo, si è deciso di campionare ogni 25 centimetri (Fig. 06).

## 2.5 LA VEGETAZIONE

Le comunità vegetali e le singole specie possono raccontare molto dell'ambiente che colonizzano e possono essere studiate da diversi punti di vista (ecologico, fitosociologico, fisiologico, ecc) a seconda dell'interesse della ricerca che si sta conducendo. Nel particolare caso del presente progetto di dottorato si è adottato un approccio integrante le informazioni fornite dal singolo individuo con quelle riguardanti le cenosi e gli ecosistemi.

Il metodo ed i modelli utilizzati si basano sul concetto che ogni pianta possiede determinati caratteri che le consentono di crescere in un determinato territorio, proprio perché la pianta stessa possiede specifiche esigenze ecologiche, ovvero determinate necessità in fatto di temperatura, disponibilità d'acqua e/o nutrienti, substrato pedologico, ecc.

Quindi esistono gruppi di piante che presentano risposte simili nei confronti delle condizioni ambientali e che hanno gli stessi effetti sui processi dominanti in un ecosistema (Walker, 1992; Noble & Gitay, 1996; Diaz & Cabido, 1997). Questi gruppi sono organizzati in “Tipi Funzionali” i quali sono definiti in base alla misurazione di caratteri ecologici specifici, che indicano la strategia della pianta, cioè il modo con cui la pianta risponde alle sfide che l’ambiente le sottopone.

A partire da Raunkier (1934), molti autori hanno cercato di costruire modelli che descrivessero le piante dal punto di vista funzionale e che permettessero di raggrupparle in base al loro profilo ecologico. Il modello di maggior successo si è rivelato essere il “Modello CSR” (Grime, 1979). Secondo questa modellizzazione, esistono tre gruppi di fattori che giocano un ruolo fondamentale nel determinare il comportamento delle piante: lo stress, il disturbo e la competizione (come limitazione indiretta alla produzione primaria).

Il fattore ‘stress’ indica una condizione di carenza di risorse, solitamente imposta dall’ambiente fisico, che limita la produzione di biomassa da parte della pianta (Odum, 1988). Il ‘disturbo’ invece, comprende tutte le perturbazioni che comportano perdita parziale o totale di biomassa. Esso può essere dovuto anche all’azione dell’uomo come nel presente caso di sperimentazione, ma esistono innumerevoli ambienti nei quali il disturbo è dovuto a fenomeni naturali, infatti si può differenziare il disturbo in abiotico (e.g. fuoco, frane, valanghe) e biotico (e.g. pascolamento, parassitismo). Stress e disturbo influenzano la ‘competizione intraspecifica’, cioè la lotta per l’utilizzo delle stesse risorse da parte di piante confinanti. Tutti questi fattori nel mondo naturale si combinano tra loro creando tre diverse situazioni ambientali, per le quali sono stati individuati adattamenti ricorrenti nelle piante adattate ai medesimi.

Dunque sono state identificate tre possibili strategie messe in atto dalle piante, che corrispondono a tre Tipi Funzionali (Tab. 09), in base a queste si definiscono:

	Disturbo basso	Disturbo alto
Stress basso	Specie COMPETITIVE “C”	Specie RUDERALI “R”
Stress alto	Specie STRESS TOLLERANTI “S”	Nessuna strategia possibile

**Tab. 09** Tipi Funzionali secondo il modello “CSR”.

- specie competitive (C): quando il disturbo e stress si mantengono a bassi livelli, l’ambiente è produttivo e favorevole per molte piante, la competizione è quindi molto alta e hanno la meglio gli individui che riescono ad occupare efficacemente lo spazio, aggiudicandosi

luce, acqua e nutrienti.

- specie stress-tolleranti (S): alti livelli di stress provocano una carenza cronica di sostanze nutritive o luce che influenza soprattutto i processi vegetativi della pianta; la competizione intraspecifica è ridotta, in quanto la crescita è limitata dalla risorsa presente in minima quantità (legge del minimo di Liebig; Odum, 1988).

- specie ruderali (R): nelle situazioni in cui prevale il disturbo, si hanno ambienti produttivi (vi sono numerose nicchie che possono essere occupate liberamente, poiché sono state liberate dalla vegetazione a seguito del disturbo) ma instabili; è per questo che le piante che li abitano presentano una risposta al disturbo caratteristica, la resilienza, cioè la capacità di recuperare piuttosto velocemente lo stato precedente alla perturbazione (Odum, 1988).

Ovviamente ogni pianta può presentare caratteri relativi a più strategie, ma alcuni hanno un'importanza maggiore per l'adattamento e la sopravvivenza della pianta stessa; analogamente in ogni vegetazione sono presenti specie con strategie diverse, ma alcune hanno un successo maggiore poiché meglio adattate e perciò risultano più significative di altre per caratterizzare la cenosi.

La rappresentazione grafica delle strategie (Tab. 09) si avvale di un triangolo equilatero in cui ogni lato definisce una strategia sul quale viene misurata l'importanza relativa dei caratteri diagnostici, è così possibile posizionare le specie all'interno del triangolo equilatero: ai vertici si posizionano le specie che esprimono una strategia pura C,S o R; all'interno del triangolo si posizionano le specie che esprimono strategie intermedie.





CAPITOLO 3.

# METODI ANALITICI



# METODI ANALITICI.

In questo capitolo vengono esposte le metodologie utilizzate, i protocolli analitici nonché le strumentazioni utilizzate per lo svolgimento del campionamento del suolo, lo scavo delle carcasse, la preparazione dei campioni e l'effettuazione delle diverse analisi rientranti nel progetto.

## 3.1 DESCRIZIONE PEDOLOGICA DI CAMPAGNA

La descrizione di campagna per il profilo pedologico comprende la registrazione delle caratteristiche della stazione, intesa come l'area ristretta all'osservazione puntiforme, un disegno del profilo ed una sua foto recante un riferimento metrico della profondità.

Le informazioni minime da registrare per quanto riguarda la stazione sono di tipo topografico (quota, inclinazione, esposizione), geomorfologico in relazione ad eventi di erosione, deposizione, scivolamenti di versante, terrazzamenti antropici, ... , geologico riferito sia al substrato, nonché alla rocciosità e pietrosità superficiale e di uso del suolo (bosco misto, campo coltivato, pascolo, ... ).

Successivamente a ciò, si passa alla descrizione del profilo pedologico: la sezione o trincea che mette in luce il suolo deve avere una larghezza che si avvicini pressappoco ad un metro ed una profondità tale da evidenziare il profilo fino alla roccia inalterata se presente, altrimenti la massima possibile per le condizioni di lavoro.

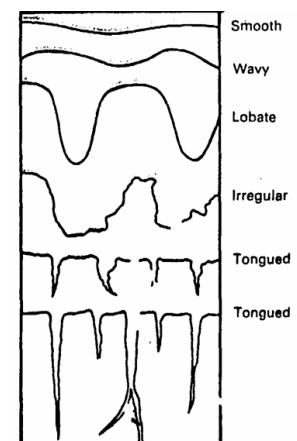


Fig. 07 Tipi di limite.

Inizialmente bisogna procedere con un primo studio basato sulle maggiori variazioni di colore, screziature, struttura e tessitura, necessario a discriminare gli orizzonti i quali andranno poi descritti individualmente. Sul disegno rappresentativo del profilo vengono annotati i limiti

e le rispettive profondità, tra un orizzonte ed il successivo. Dei limiti bisogna pure fornire il loro spessore (abrupto, chiaro, graduale e diffuso) ed il loro andamento (lineare, ondulato, irregolare, a glosse, discontinuo, ...) (Schoeneberger, 2002) (Fig. 07).

Per ciascun orizzonte si procede poi alla descrizione delle seguenti caratteristiche:

- il COLORE e le SCREZIATURE presenti vengono determinati attraverso l'uso delle tavole colorimetriche edite dalla Munsell Color Company® le quali assegnano, ad ogni colore possibile, un codice composto dai valori di Hue, Value e Chroma. Per Hue si intende la proprietà della "tinta" che è definita da un numero da 0 a 10 e da una o più lettere, per Value la "luminosità" di un colore espressa con un numero compreso tra 0 e 10 e per Chroma il tono del colore o meglio l'"intensità" di questo rappresentato da un numero tra 1 e 8; un esempio di codice così composto è 7,5 YR 5/4 corrispondente ad una tipologia di marrone. Per le screziature è necessario inoltre fornire pure una stima delle loro dimensioni (piccole, medie, grandi) e della loro abbondanza in classe percentuale. (Pye & Croft, 2004 b)

- la TESSITURA la quale interessa la porzione di terreno relativa alla terra fine, ossia alle particelle di diametro inferiore ai 2 mm quali sabbie, argille e limi. La stima tessiturale viene fatta stabilendo la sensazione al tatto prevalente di un campione bagnato tenendo conto che il campione sfregato tra indice e pollice contenente sabbia conferisce una sensazione di smeriglio, contenente argilla di adesione e plasticità ed invece contenente limo di saponosità. La stima può essere resa più agevole facendo riferimento alle classi tessiturali riportate nel diagramma triangolare (Fig. 08).

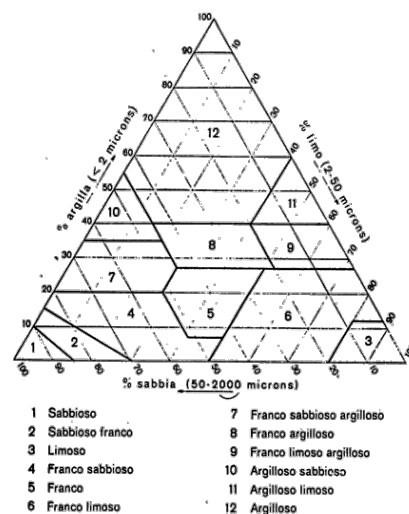


Fig. 08 Diagramma triangolare delle classi tessiturali secondo il servizio del suolo degli Stati Uniti. (Sanesi, 1977)

- lo SCHELETRO, con il quale si intende la frazione litoide con diametro superiore ai 2 mm. Di questo va indicata l'abbondanza, le dimensioni e la forma relativa alle proprietà di sfericità ed arrotondamento.

- l'AGGREGAZIONE o STRUTTURA caratterizzante gli aggregati che può essere prismatica, colonnare, poliedrica angolare, poliedrica subangolare, lamellare e granulare in relazione alla forma stessa degli aggregati. E' necessario inoltre fornire le sue dimensioni ed il grado di aggregazione che può variare da sciolto o incoerente per campione privi di aggregazione a fortemente sviluppata per campioni che mostrano notevole resistenza alla disaggregazione meccanica.

- la POROSITA' intesa come spazi vuoti presenti nel suolo, lasciati da radici o attività biologica in generale. Va fornita una valutazione sia della dimensione che della quantità percentuale.

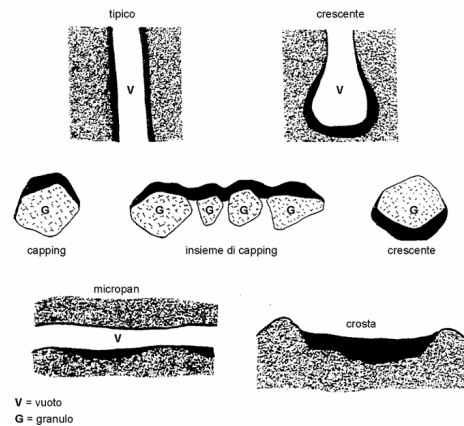
- il PH di campagna il quale va determinato con l'apposita attrezzatura o reagenti (indicatori cromatici).

- il CONTENUTO IN CARBONATI il quale si avvale dell'uso di acido cloridrico diluito al 10% con lo scopo di far avvenire la reazione di effervescenza della quale bisogna stimare l'intensità.

- le FIGURE PEDOLOGICHE, con questo nome si comprendono tutti quegli elementi discreti che sono distinguibili ad occhio nudo o con la lente (10x) all'interno del suolo, sulla superficie degli aggregati o nei pori (Fig. 09). Fanno parte di questa classe le

concentrazioni costituite da corpi di varia natura formati per segregazione della matrice di vari elementi tra cui il ferro, i carbonati, il manganese, l'alluminio, ... le quali possono dare forme tipiche quali cristalli, noduli e concrezioni; ma pure pellicole e pendenti formatesi per accumulo di particolari costituenti del suolo (argilla, limo, ...) sulle superfici.

E' necessario sempre indicare pure l'abbondanza percentuale e le dimensioni. (Hodgson, 1976)

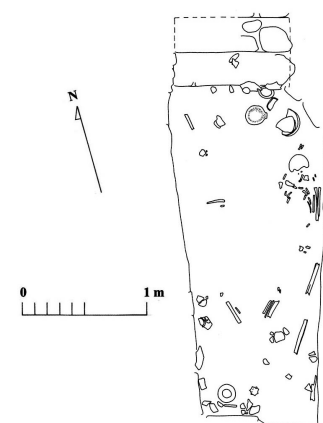


**Fig. 09** Tipologie di figure pedologiche.

## 3.2 SCAVO ARCHEOLOGICO

Questa tipologia di recupero si compone della ricerca di un luogo che segnali la presenza di un corpo in decomposizione o già decomposto e scheletrizzato, poiché sulla planimetria superficiale è possibile osservare anomalie in termini di differenze nella vegetazione, nella morfologia superficiale, ma pure differenze nel suolo di colore, di tessitura e di aggregazione dovute allo spostamento del suolo preesistente ma anche ai liquidi putrefattivi derivanti del corpo stesso.

Questi segni rimangono impressi nel suolo che ingloba il cadavere per un periodo di tempo estremamente lungo. (Hanson, 2004; Saye & Pye 2004; Small *et al.*, 2004)



**Fig. 10** Planimetria di scavo di una presunta sepoltura archeologica.

Per andare dunque a leggere quello che il terreno racconta è necessario scorticare la superficie dalla vegetazione e dallo strato di humus e procedere fino al ritrovamento eventuale di una eterogeneità. Non è tuttavia sempre possibile procedere con uno scorticamento superficiale dell'area, in questo caso si sondano punti ritenuti di particolare interesse evidenziati con una ricognizione di superficie (field walking).

Successivamente al ritrovamento di una eterogeneità, viene allestito lo scavo archeologico con l'ausilio di un reticolato di 1m x 1m di dimensione variabile a seconda della necessità. Si procede rimuovendo strati di pochi centimetri alla volta con lo scopo di creare una stratigrafia artificiale, questo al fine di recuperare qualsiasi reperto, nonché lo scheletro stesso, con i propri dati altimetrici e planimetrici relativi al reticolo di riferimento (Fig. 10).

Tutto il terreno scavato viene setacciato al fine di reperire anche il minimo materiale, quello immediatamente sovrastante il corpo, che ne ingloba le cavità, nonché lo strato sottostante vengono scavati e dopo la setacciatura chiusi in sacchi di plastica nelle tre porzioni di cranio, tronco e arti inferiori (qualora la sepoltura sia quasi in posizione anatomica) per essere trasportati in laboratorio dove saranno risetacciati e controllati nuovamente.

E' possibile avvalersi dell'utilizzo di strumenti propri della geofisica per identificare diversi materiali sepolti ed anomalie del sottosuolo. (Hunter & Cox, 2005; Killam, 1990)

## 3.3 ANALISI DI LABORATORIO SUI CAMPIONI DI SUOLO

### 3.3.1 PREPARAZIONE DEL CAMPIONE

La preparazione del campione deve essere effettuata per tutti i campioni volumetrici di suolo al fine di rendere possibili le analisi che si hanno in programma di svolgere.

Innanzitutto ogni campione è stato steso su un vassoio preferibilmente di cartone, rompendo gli aggregati di maggiori dimensioni, e lasciato all'aria per permettere l'asciugatura delle parti più umide e l'essiccazione totale del campione che può avvenire in giorni o settimane a dipendenza anche delle condizioni atmosferiche. Per campioni estremamente bagnati o in caso di urgenza si può ricorrere all'essiccazione in stufa ponendo il campione in essa ad una temperatura massima di 40/50 °C. Una volta asciutto, il campione viene ulteriormente sminuzzato manualmente allo scopo di frantumare il più possibile gli aggregati; in presenza di scheletro alterato l'operazione si presenta delicata, poiché l'operazione non deve frantumare i clasti ad alterazione intermedia.

Successivamente ciascun campione è stato pesato e setacciato a secco con un setaccio in alluminio a maglie di diametro uguale a 2 millimetri. La frazione superiore ai 2 mm è stata poi lavata, fatta asciugare e pesata per avere il peso delle ghiaie, mentre la frazione inferiore ai 2 mm, a seconda del proprio peso, è stata quartata una o più volte con il metodo del cono di carta al fine di avere un campione rappresentativo per tutte le analisi da effettuare, per analisi che richiedevano un quantitativo molto esiguo di materiale si è proceduto con un prelievamento casuale “al cucchiaio”. Infine, per alcune determinazioni è richiesta la setacciatura a 0.2 mm, per cui è stata prelevata una piccola quantità di terra fine che è stata frantumata in mortaio e risetacciata con un vaglio a maglie di 1.2 mm per ottenere il campione desiderato.

Tutte le metodologie analitiche sono descritte in accordo con quanto riportato da Avery & Bascomb, 1974; Gale & Hoare, 1991; Ministero delle Politiche Agricole 1997 e Ministero delle Politiche Agricole 1999.

### 3.3.2 ANALISI GRANULOMETRICA

Per l'analisi granulometrica è stato utilizzato un quartato della terra fine del peso compreso tra 90 e 150 grammi.

Il quartato è stato poi messo in beaker di plastica e fatto reagire sotto cappa con perossido di idrogeno ( $H_2O_2$ ) a 130 volumi, con lo scopo di ossidare completamente la materia organica degradata presente nel suolo e di liberare perciò ogni particella minerale da aggregazioni superiori al granulo stesso. Dopo un tempo d'attesa variabile, ma superiore alle 24 ore, il quartato è stato vagliato “a umido” con l'ausilio di acqua.

La vagliatura a umido consiste nel versare il campione su una colonna di dieci setacci in alluminio recanti maglie di taglio granulometrico decrescente da 1400  $\mu m$  a 63  $\mu m$  al fine di ripartire la frazione sabbiosa del campione in



**Fig. 11-12** A sinistra l'agitatore meccanico per setacci, sopra vasche di risulta della vagliatura ad umido piene d'acqua lasciate ferme a decantare.

dieci classi distinte (1400, 1000, 710, 500, 355, 250, 180, 125, 90 e 63  $\mu m$ ). I setacci vengono poi fatti asciugare e posti sull'agitatore meccanico (Fig. 11) per setacci per ulteriori 25 minuti di vagliatura “a secco”, dopodichè vengono pesati per conoscere la frazione trattenuta.

Tutto il materiale passante al setaccio dei 63  $\mu\text{m}$  con la vagliatura sia a secco che a umido, viene unito nella vasca d'acqua prodotta con la precedente vagliatura ad umido e lasciato decantare fino ad ottenere un'acqua nuovamente limpida (Fig. 12). La determinazione della frazione fine viene effettuata attraverso la metodologia dell'aerometria, utilizzando la via densimetrica.

Alla frazione inferiore ai 63  $\mu\text{m}$  viene, in un lasso di tempo, ridotto il volume di acqua tramite sifonamento, tale volume di acqua e campione viene versato in beaker al quale viene aggiunto un agente antiflocculante, l'esametafosfato di sodio ( $(\text{NaPO}_3)_6$ ), in misura di 3 grammi ed agitato poi per 20 minuti con un agitatore meccanico. Questo passaggio ha lo scopo di complessare eventuali cariche che potrebbero interagire formando complessi superiori che tenderebbero inevitabilmente a sedimentare velocemente. Si attendono poi 24 ore, si riagita nuovamente il campione per cinque minuti e si procede all'allestimento dell'aerometria. Quest'ultima viene fatta portando il campione ad un volume di due litri aggiungendo acqua distillata.

L'aerometria prevede la lettura della densità e della temperatura a tempi prestabiliti sull'arco di 24 ore, misurando la velocità di sedimentazione e correggendola in base alla temperatura, grazie alla Legge di Stokes, si è in grado di risalire alla dimensione maggiore delle particelle. La legge di Stokes la cui formula è:

$$v = \frac{g}{18\mu} (\rho_P - \rho_L) x^2$$

dove:  $v$  = velocità di caduta delle particelle  
 $g$  = accelerazione di gravità  
 $\rho_P$  = densità delle particelle  
 $\rho_L$  = densità del liquido  
 $x$  = diametro delle particelle  
 $\mu$  = viscosità;

La formula mette in relazione la velocità di caduta delle particelle, in un liquido con caratteristiche note, con le dimensioni del loro diametro.

Si misura dunque la densità con l'uso di un densimetro zavorrato a piombo.



### **3.3.3 ANALISI DEL PH**

L'analisi del pH è stata effettuata sia in acqua che in cloruro di potassio (KCl) grazie all'ausilio di un pH-metro, sono state utilizzate dunque soluzioni tampone per la calibrazione del pH-metro stesso e soluzioni di KCl a concentrazione 1 (M) molare (74.6 g/l) in qualità di soluzioni reagenti.

A 10 grammi di terra fine precedentemente setacciata, riposti in beaker da 50 ml, sono stati aggiunti 25 ml di acqua demineralizzata oppure di soluzione KCl, agitati mediante bacchetta di vetro e lasciati riposare per 24 ore. Si è poi proceduto alla taratura del pH-metro con tampone a pH 7 (sempre) e pH 4 (campioni acidi) o pH 9 (campioni basici); il procedimento di taratura deve essere ripetuto dopo ogni serie di campioni o a verifica di mancata ripetibilità, ossia al termine della serie si riprovano i pH dei primi campioni.

I campioni dopo le 24 ore devono essere nuovamente agitati prima di effettuare la lettura mediante pH-metro. La lettura viene eseguita immergendo l'elettrodo nella sospensione mantenuta in agitazione ed il valore letto dopo che la misurazione si è stabilizzata. L'agitazione può essere ottenuta con agitatore magnetico rotante oppure muovendo lo stesso elettrodo in senso circolare avendo cura di non farlo raschiare con il fondo del beaker. Tra una misura e la successiva bisogna sciacquare l'elettrodo con acqua demineralizzata. I risultati forniti sono espressi in unità di pH con una sola cifra decimale.

### **3.3.4 ANALISI DEL CARBONIO E DELL'AZOTO TOTALE**

L'analisi del carbonio organico o totale così come dell'azoto totale vengono effettuati con diversi analizzatori elementari disponibili in commercio i quali funzionano essenzialmente sulla base del metodo Dumas (1831). Il metodo analitico originale è fondato sulla completa ed istantanea ossidazione del campione per "flash combustion" con conseguente conversione di tutte le sostanze organiche ed inorganiche in prodotti gassosi.

I gas di combustione vengono fatti passare, in corrente di elio, su strato di opportuno catalizzatore per completare il processo di ossidazione e, quindi, su strato di rame per allontanare l'eccesso di ossigeno e per ridurre gli ossidi di azoto ad azoto molecolare (N<sub>2</sub>). Successivamente, la miscela gassosa viene separata per gascromatografia e CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e SO<sub>2</sub> vengono rilevati da un detector a conducibilità termica. Il calcio carbonato, eventualmente presente nel campione, può essere rimosso prima dell'analisi per trattamento con acido cloridrico (HCl).

I reagenti utilizzati sono Acetalinide (N-fenilacetammide) ( $\text{CH}_3\text{CONHC}_6\text{H}_5$ ) titolo minimo 99.5% utilizzato come standard di cui si conosce il contenuto in carbonio. Magnesio perclorato anidro [ $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$ ] da utilizzare in colonna per eliminare l'acqua che si forma durante il processo di "flash combustion". Una soluzione diluita al 10% di acido cloridrico (HCl) ottenuta aggiungendo con cautela in matraccio tarato da 500 ml contenente circa 300 ml di acqua demineralizzata, 135 ml di HCl [37% ( $\rho = 1.186$ )], mescolando e lasciando raffreddare per poi portare a volume con acqua demineralizzata utilizzata in caso di campione altamente calcareo.

Sono poi necessarie le attrezzature da laboratorio di uso comune quali:

- microbilancia;
- capsule di stagno ( $\varnothing$  8 mm x h 5 mm);
- capsule di argento ( $\varnothing$  12.5 mm x h 5 mm);
- supporto di alluminio con alloggiamento per le capsule;
- micropipetta da 40  $\mu\text{L}$ ;
- piastra riscaldante;
- pinzette in acciaio;
- lana di vetro

e naturalmente l'analizzatore elementare.

Si procede subito con la taratura dell'analizzatore elementare pesando in capsule di stagno per campioni di suolo non calcareo e di argento per campioni di suolo calcareo, almeno quattro aliquote di acetanilide comprese tra 0 e 3 mg ( $\pm 1 \mu\text{g}$ ). Si chiudono le capsule e si sistemano nel sampler dell'analizzatore elementare. Successivamente si pesa in capsula di stagno una quantità del campione di suolo, essiccato e setacciato a 0.5 mm, compresa tra 15 e 20 mg ( $\pm 1 \mu\text{g}$ ) e la si alloca opportunamente nel sampler dell'analizzatore elementare per l'analisi.

In caso di campioni di suolo calcareo bisogna pesare una quantità analoga a quanto sopra ma in capsula d'argento e sistemare la capsula su supporto di alluminio. Bisogna poi aggiungere 40  $\mu\text{l}$  della soluzione diluita al 10% di HCl e lasciare a riposo per 24 ore. Successivamente si aggiungono altri 40  $\mu\text{l}$  di soluzione diluita di HCl e si lascia riposare per ulteriori 4 ore, dopodiché si sistema il supporto di alluminio sulla piastra riscaldante e si porta la temperatura a 65°C. Si fa essiccare il campione per circa 3 ore. Una volta raffreddato si chiude la capsula e la si sistema nel sampler dell'analizzatore elementare.

Per la determinazione delle quantità di carbonio e di azoto presenti nel campione, seguire le istruzioni ed impiegare le condizioni d'analisi previste per l'apparecchiatura utilizzata, in questo caso analizzatore elementare CN Thermo Scientific.

Per la determinazione della composizione elementare dei diversi campioni, si rende necessaria la definizione del valore di un fattore di taratura (fattore K) analizzando opportune quantità di una sostanza organica standard (acetanilide) di cui è noto il contenuto percentuale di carbonio e di azoto.

Il valore del fattore K viene ottenuto utilizzando l'espressione:

$$K = (\%t \cdot Ms) / I$$

dove:      %t = contenuto percentuale teorico dell'elemento nella sostanza standard

Ms = massa della sostanza standard utilizzata per la taratura dell'analizzatore in  
[mg]

I = area integrata relativa a ciascun composto gassoso

Per il calcolo del contenuto percentuale di ciascun elemento viene utilizzata l'espressione:

$$C = (K \cdot I) / M$$

dove:      C = contenuto percentuale di ciascun elemento

K = valore medio del fattore di taratura

I = area integrata relativa a ciascun costituente gassoso derivato dal campione

M = massa del campione utilizzata in [mg]

Per valutare la corretta funzionalità dell'analizzatore, è necessario eseguire una prova in bianco utilizzando una capsula di stagno (o di argento) vuota. Le aree integrate ottenute devono essere sottratte nei calcoli per la determinazione del valore del fattore K o della composizione elementare dei campioni.

Per il calcolo del contenuto percentuale di carbonio e di azoto è possibile avvalersi del software disponibile per la gestione computerizzata del sistema relativo all'analizzatore elementare utilizzato. Il contenuto di carbonio totale o organico e di azoto totale viene espresso in g/kg.

### 3.3.5 ANALISI DELLA CAPACITA' DI SCAMBIO CATIONICO

La capacità di scambio cationica misura i cationi che si possono legare alle cariche permanenti negative presenti nel suolo, le quali sono rappresentate essenzialmente dalla sostanza organica (gruppi funzionali  $-\text{COO}^-$  e  $-\text{O}^-$ ) e dalle argille T-O-T (smectite, montmorillonite, illite) e dipende tra l'altro dal pH, perché anche gli ioni  $\text{H}^+$  possono legarsi alle cariche negative. Quindi la capacità di scambio cationico è un parametro estremamente complesso.

Per effettuare l'analisi sono necessari numerosi reagenti quali:

- una soluzione di acido cloridrico (HCl) 1 (M) molare.
- una soluzione estraente che si effettua facendo sciogliere 100 grammi di cloruro di bario ( $\text{BaCl}_2$ ) in 800 ml di acqua [ $(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ ], vi si aggiungono poi 22.5 ml di trietanolamina (TEA) e si porta il pH della soluzione a  $8.1 \pm 0.1$  mediante aggiunta della soluzione di HCl 1 M. Si diluisce poi il tutto a 1000 ml in matraccio tarato.
- una soluzione di magnesio solfato ( $\text{MgSO}_4$ ) 0.05(M) molare [ $(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$ ].
- una soluzione di sale bisodico dell'acido etilendiamminotetracetico (EDTA) 0.025(M) molare.
- Una soluzione tampone a pH 10 fatta sciogliendo 54 grammi di cloruro d'ammonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) in 500 ml di acqua, aggiungendo successivamente 350 ml di soluzione di idrossido d'ammonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) ( $p=0.89$ ) e portando a volume in matraccio tarato da 1000 ml con acqua.
- Indicatore ottenuto mescolando in un mortaio 20 grammi di cloruro di sodio (NaCl) e 0.2 grammi di Nero Eriocromo T (sale sodico dell'acido 1-1-idrossi-2-naftilazo-6-nitro-2-naftol-4-solfonico).

Si procede iniziando a pesare un tubo da centrifuga vuoto e riponendovi successivamente all'interno 2 grammi di campione di terra fine, si ripesa il tubo contenente il campione. Si aggiungono con pipetta graduata 25 ml di soluzione estraente, si chiude il tubo e si agita su agitatore rotativo per 3 minuti, si lascia riposare per 5 minuti e si riagita per altri 3 minuti. Infine si centrifuga a circa 3000 rpm per 5 minuti e si raccoglie il surnatante che verrà utilizzato per l'analisi dei cationi di scambio e dell'acidità complessiva. Questo va filtrato su filtri veloci e va conservata anche un'aliquota di soluzione estraente da utilizzare come bianco.

Al sedimento aggiungere 25 ml di acqua ed agitare manualmente fino a completa risospensione, centrifugare a circa 3000 rpm per 5 minuti e scartare il surnatante versandolo nel bidone apposito per i rifiuti CSC. Ripetere questo lavaggio una seconda volta, dopodiché

persare nuovamente il tubo privo del surnatante. Aggiungere con pipetta graduata 25 ml di soluzione magnesio solfato, agitare manualmente fino a completa risospensione del seimento e centrifugare a circa 3000 rpm per 5 minuti.

Prelevare con pipetta graduata 10 ml della soluzione limpida, porli in una beuta da 250 ml ed aggiungere 100 ml di acqua, 10 ml di soluzione tampone e una punta di spatola di indicatore; titolare con la soluzione di EDTA 0.025 M fino a viraggio azzurro della soluzione. Per eseguire la prova in bianco, porre 10 ml di soluzione di magnesio solfato in una beuta, aggiungere 100 ml di acqua, 10 ml di soluzione tampone a pH 10 e una punta di spatola di indicatore; titolare con EDTA 0.025 M fino a viraggio azzurro.

I risultati vengono espressi con CSC in milliequivalenti per 100 grammi di suolo che sono equivalenti a cmol(+)/Kg, con una cifra decimale, secondo la seguente espressione:

$$CSC = (1 / P) \cdot [250 - (10 \cdot (A / B) \cdot (25 + C - D))]$$

dove:  $CSC = CSC \text{ meq}/100g \text{ [cmol(+)/Kg]}$

A = ml di EDTA utilizzati per la titolazione del campione

B = ml di EDTA utilizzati per la titolazione del bianco

P = grammi di suolo analizzati

C = peso del tubo dopo la centrifugazione

D = peso del tubo da centrifuga + campione da analizzare (prima dell'estrazione)

### 3.3.6 CATIONI DI SCAMBIO

Si prelevano 0.3 ml (oppure 0.15 ml) dell'estratto ottenuto durante l'estrazione nella determinazione della Capacità di Scambio Cationico. Si aggiunge 1 ml di Lantanio (soluzione), diluendo il tutto ad un volume finale di 10 ml con HNO<sub>3</sub> 1%.

Negli standard dei cationi deve essere aggiunta una quantità di BaCl<sub>2</sub> pari a quella presente nei campioni da analizzare. Infine si esegue la lettura allo spettrofotometro.

Le basi di scambio si esprimono in g/meq corrispondenti a cmol(+)/kg con due cifre decimali ed il tasso di saturazione basica si ottiene dividendo la somma dei cationi di scambio per la capacità di scambio.

### 3.3.7 ANALISI DEL FOSFORO ASSIMILABILE

La valutazione della dotazione in fosforo determinata da un'analisi chimica è strettamente legata al metodo impiegato. Quello maggiormente adottato e contemplato anche dalla metodologia ufficiale è il Metodo Olsen (Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali, 1994), che determina il cosiddetto fosforo assimilabile. Questa frazione corrisponde al fosforo solubile e ad una parte di quello precipitato come fosfato di calcio e si è riscontrato che le determinazioni con il metodo Olsen sono quelle che si avvicinano meglio alla quantità di fosforo effettivamente presente nel suolo (Ministero delle Risorse agricole alimentari e forestali, 2000)

I reagenti necessari per lo svolgimento del protocollo analitico sono acido solforico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) al 96% ( $\rho = 1.84$ ) ed in soluzione 2.5 M, ottenuta mediante aggiunta di 140 ml di acido solforico al 96% in 500 ml di acqua in matraccio da 1000 ml, dopo opportuna muscolazione e raffreddamento si porta la soluzione a volume con acqua; idrossido di sodio (NaOH) in soluzione 1 M; soluzione estraente ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0.5 M a pH  $8.5 \pm 0.1$ , ottenuta sciogliendo 42 g di  $\text{NaHCO}_3$  in 600 ml di acqua in un beaker, portando la soluzione a pH  $8.5 \pm 0.1$  con la soluzione 1 M di NaOH e portando a volume con acqua in matraccio tarato da 1000 ml; p-Nitrofenolo ( $\text{NO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$ ) allo 0.25%; ammonio molibdato ( $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ ) in soluzione 40 g/l; acido ascorbico ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ) 0.1 M (17.6 g/l); antimonio potassio tartrato ( $\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ) in 0.2728 g/l corrispondente a 1 mg di Sb/ml; reagente solfo molibdico ottenuto mescolando prima dell'uso, 50 ml della soluzione 2.5 M di acido solforico, 15 ml della soluzione di ammonio molibdato, 30 ml della soluzione di acido ascorbico e 5 ml della soluzione di antimonio potassio tartrato; fosforo soluzione standard madre a 1000 mg/l di P, ottenuta pesando 4.3938 g di  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  essiccato a  $40^\circ\text{C}$ , messi successivamente in matraccio tarato da 1000 ml e portato a volume con aggiunta di acqua; fosforo soluzione standard a 2 mg/l di P, ottenuta prelevando 2 ml della soluzione madre di fosforo, posti in matraccio da 1000 ml e portati a volume con aggiunta di acqua.

Si inizia il procedimento pesando 2.5g di terra fine e ponendola in un provetta in plastica da 50 ml munita di tappo. Si aggiungono 0.5 g di carbone attivo e, successivamente, 40 ml di soluzione estraente, mescolando il tutto con l'ausilio di un agitatore meccanico per 30 minuti. Eseguite queste operazioni si filtra il contenuto delle provette, raccogliendo il surnatante in provette da 50 ml. Con la stessa soluzione estraente si effettua la prova in bianco, ovvero senza il campione.

Successivamente si estraggono 10 ml di surnatante ponendoli in un matraccio da 50 ml. Si aggiungono 10 ml di acido solforico, avendo cura di farlo scivolare lungo le pareti per

evitare un rapido sviluppo dell'anidride carbonica e si agita il tutto fino alla scomparsa dell'effervescenza. Si lascia il tutto a riposo per dieci minuti ed infine si porta a volume di 50 ml aggiungendo acqua demineralizzata.

Si costruisce la retta di taratura ponendo in matracci da 50 ml rispettivamente 0 – 10 – 15 – 20 – 25 ml della soluzione standard da 2 mg/l di fosforo. Essa darà concentrazioni rispettivamente pari a: 0 – 0.2 – 0.4 – 0.6 – 0.8 – 1.0 mg/l di fosforo.

L'analisi viene completata leggendo dallo spettrofotometro l'estinzione della soluzione colorata a 720 nm contro il campione in bianco.

La quantità di fosforo presente nel suolo viene espressa con la seguente formula:

$$C = A \cdot (V1 / V2) \cdot (50 / m)$$

dove: C = fosforo contenuto nel suolo (mg/kg)

A = concentrazione del fosforo nel campione ricavata dalla retta di taratura espressa in mg/l

V1 = volume della soluzione estraente (40 ml)

V2 = volume della soluzione utilizzata per la determinazione colorimetrica

m = massa del campione sottoposta all'analisi, in grammi

### **3.3.8 ANALISI IN MICROSCOPIA ELETTRONICA (S.E.M.)**

Per l'analisi al microscopio elettronico a scansione (S.E.M.) sono stati effettuati campionamenti sul suolo incoerente già essiccato con due modalità: mediante dischetti adesivi di grafite a loro volta poi grafitati e mediante inglobamento in resina (30 ml) con formazione di plug di 3 cm circa di diametro, lucidati a secco con fogli per mola a granulometria decrescente (400 – 600 – 1200) e successivamente con l'uso di pasta diamantata ed infine grafitati. Un'altra tipologia di campioni che sono stati studiati tramite il S.E.M. sono le sezioni sottili di suolo preparate a partire dal suolo indisturbato raccolto con le apposite scatole di Kubiëna; anche questi campioni sono stati grafitati prima dell'osservazione e delle analisi composizionali.

Il SEM utilizzato presso il Dipartimento di Scienze della Terra è un Cambridge Instruments Stereoscan 360 e la microsonda per l'analisi chimica è un rivelatore EDS Oxford ISIS 300. Il filamento è in esaboruro di lantanio (LaB<sub>6</sub>), la corrente di filamento utilizzata, variabile, è stata mediamente di 1.91 A mentre quella di fascio di circa 300 pA; è stata mantenuta una distanza di lavoro di 25 mm ed una tensione di accelerazione di 20 KV. Lo

strumento possiede tre pompe per la creazione del vuoto in camera di lavoro e nella colonna: una ionica, una turbomolecolare ed una rotativa; le condizioni di lavoro iniziali sono state di  $3.1 \cdot 10^{-6}$  Torr in camera e di  $2.1 \cdot 10^{-7}$  Torr in colonna.

L'analisi chimica-composizionale quali-quantitativa è stata eseguita in modalità "spot analysis", ossia in maniera puntiforme. Sono state pure scattate delle foto per indagare eventuali anomalie e per decidere dove eseguire le analisi.

### **3.3.9 ANALISI DEGLI ACIDI GRASSI VOLATILI (AGV)**

Durante i processi di decomposizione della sostanza organica del suolo, qualsiasi sia la sua origine (quindi anche un cadavere) le molecole lipidiche, proteiche e carboidratiche dei tessuti subiscono reazioni di ossidazione e riduzione ad opera dei microrganismi del suolo, producendo tra i vari metaboliti, acidi organici idrosolubili a catena corta (acidi grassi) alcuni dei quali, a causa della loro volatilità, vengono denominati Acidi Grassi Volatili (AGV) (Vass *et al.*, 1992; Vass, 2001). Questi composti, solubili in acqua, vengono rapidamente rilasciati nella soluzione circolante del suolo e possono fungere da substrato per i microrganismi del suolo o essere accumulati in funzione, soprattutto, delle caratteristiche dei suoli stessi oppure ancora, essere indicatori della presenza o meno di un cadavere. Gli AGV predominanti nella fase liquida del suolo sono, di norma, l'acetico, il propionico e il butirrico (Kirchmann & Lundvall, 1993; Sommer & Husted, 1995). Gli acidi organici si decompongono quasi completamente nei suoli nell'arco di pochi giorni (Kassim *et al.*, 1981), ovviamente se non sono presenti apporti continui, come di norma accade. Sembrerebbe inoltre che (Ladd *et al.*, 1995) il contenuto di frazioni argillose nel suolo, possano essere determinanti, in maniera inversamente proporzionale, nella velocità di degradazione degli acidi organici (Sørensen, 1998). Sulla base di quanto riportato dalla bibliografia, la determinazione del contenuto nei suoli di acidi organici rappresenta il primo passo per stimare il così detto Time Since Death (TSD), stimabile avendo a disposizione altri dati analitici quali, il peso del corpo e le temperature medie registrate durante il periodo di permanenza del cadavere nel sito (Vass *et al.*, 1992; Vass, 2001).

Diversi lavori quali Arcara *et al.* (1999), Paul and Beauchamp (1989), Sørensen (1998), Ramakrishnan *et al.* (2000) e Hrapovic & Rowe (2002) studiano l'evoluzione degli AGV in suoli, ma in contesti molto particolari che riguardano o l'apporto di biomasse fermentate al suolo (tipicamente reflui zootecnici) oppure si basano su disegni sperimentali in scala di laboratorio, che prevedono l'aggiunta dei diversi composti e lo studio del loro destino in



condizioni ambientali molto specifiche. Spesso l'attenzione degli autori viene focalizzata sul rilascio di elementi utili alla vita dei vegetali (es. azoto), in relazione all'aggiunta di AGV, oppure sulle popolazioni microbiche attive nei meccanismi di degradazione degli stessi.

Nel presente progetto si attua lo studio di caratterizzazione e quantificazione degli acidi organici in campioni di suolo prelevati al di sotto delle carcasse per tutti gli intervalli di tempo delle diverse esumazioni. L'estrazione degli acidi organici dai campioni di suolo è stata effettuata a temperatura ambiente utilizzando acqua e  $H_2SO_4$  0.5 M, in maniera tale da ottenere un pH finale dell'estratto compreso tra 2 e 3 ed utilizzando un rapporto di estrazione suolo:acqua pari a 1:5 p/p (Canale *et al.*, 1984). La determinazione degli acidi organici è stata successivamente effettuata a mezzo di HPLC (Waters 1500 Series) (High Performance Liquid Chromatography) con rilevatore UV (Waters 2487 Dual  $\lambda$ ) e colonna Aminex HPX-87H. Le condizioni operative adottate sono state le seguenti: fase mobile  $H_2SO_4$  0.0025 M, flusso  $0.6 \text{ ml min}^{-1}$ , temperatura della colonna  $41^\circ\text{C}$ , volume di iniezione  $20 \mu\text{l}$ , acquisizione a 210 nm. Allo scopo di poter comparare tra loro i differenti campioni, i valori di AGV determinati vengono espressi come mg/kg di suolo essiccato in stufa a  $105^\circ\text{C}$ .



**Fig. 13** Esempio di sezione sottile.

### 3.4 ANALISI MICROMORFOLOGICA SULLE SEZIONI SOTTILI

I campioni di suolo indisturbati sono stati preparati per lo studio presso un laboratorio specializzato. La preparazione si è articolata in una prima fase di essiccazione dei blocchi di terreno entro le proprie scatole di Kubiěna, una seconda fase di impregnazione mediante immersione in resina epossidica e una terza fase di taglio, molatura e lucidatura per ottenere le sezioni sottili così come sono notoriamente conosciute (Murphy, 1986) (Fig. 13). Le sezioni sottili sono state esaminate e studiate con un microscopio ottico petrografico (Leitz Laborlux 12 pol).

La particolarità di questo strumento risiede nella sua particolare struttura. A differenza di un microscopio ottico biologico, quello che per così dire è più presente nella conoscenza

comune, utilizzato al solo scopo di ingrandire ciò che si vuole vedere, un microscopio petrografico offre una possibilità in più per quanto riguarda l'indagine delle proprietà ottiche dei materiali, e nello specifico caso, dei minerali i quali mostrano proprietà ottiche diagnostiche.

Infatti si compone di un piatto portacampione girevole e di una speciale meccanica di polarizzatori della luce che rendono possibile la scelta di questa allo scopo di vedere il campione attraversato dalla luce vibrante in tutte le direzioni oppure vibrante solo ed esclusivamente lungo un piano direzionale. Questa opzione fa sì che, una volta inserito il polarizzatore, la luce polarizzata (la quale viene denotata XPL, ossia Cross Polarised Light) che raggiunge il campione possa indicare le sue proprietà ottiche, grazie anche al fatto che il campione può essere fatto girare sul piatto girevole.

Per il resto, quando si lavora in luce non polarizzata (denominata PPL, Parallel Polarised Light) il campione è visto similmente a come lo si vedrebbe al più comune microscopio ottico biologico.

I criteri descrittivi per le sezioni sottili di suolo sono ispirati ai seguenti manuali:

- *Handbook for Soil Thin Section Description* (Bullock P. *et al.*, 1985)
- *Fabric and mineral analysis of soils* (Brewer R., 1976)
- *Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections*. (Stoops G., 2003)

mentre l'interpretazione si basa su:

- *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. (Stoops G. *et al.*, 2010)

## 3.5 ANALISI GEOFISICA SUI TERRENI

Le indagini geofisiche si sono concentrate in quelle che sono definite come prospezioni geoelettriche multi-elettrodo (Reynolds, 2011). La tecnica multi-elettrodo consente di ottenere immagini bidimensionali (in orizzontale ed in profondità) di sezioni di terreno attraverso la misura della resistività elettrica del suolo/sottosuolo, stimata mediante misure indirette effettuate a partire dalla superficie.

Le prospezioni geoelettriche si basano, così come la fisica elettrica e tutta l'elettrotecnica, sulla nota Legge di Ohm:

$$\Delta V = R \cdot I$$

dove:  $\Delta V$  = differenza di potenziale

$R$  = resistenza del materiale

$I$  = intensità di corrente

Si precisa poi che:

$$R = \rho (L / S)$$

dove:  $\rho$  = resistività elettrica propria del materiale

$L$  = lunghezza del campione attraversato da  $I$

$S$  = sezione del campione attraversato da  $I$

Combinando le due equazioni si ottiene:

$$\Delta V / L = \rho \cdot I / S$$

dove:  $\Delta V / L$  indica il campo elettrico  $E$  agente all'interno della sezione in analisi

$I / S$  definisce la densità di corrente  $j$

Quindi si può riscrivere la medesima equazione come:

$$j = E / \rho$$

Per analizzare dunque le modalità di propagazione della corrente elettrica nelle rocce, nei sedimenti e nel suolo è utile osservare il comportamento del campo elettrico e del potenziale generato. Stante il fatto di prendere a modello il caso più semplice costituito da uno spazio infinito ed una resistività del suolo omogenea, si osserva che la corrente fluisce radialmente dalla sorgente ed il valore del potenziale è inversamente proporzionale alla distanza dalla sorgente di corrente.

La strumentazione utilizzata per la misurazione reale è costituita da un quadripolo formato da un dipolo potenziometrico (M e N) e da un dipolo energizzante (A e B). Il primo dipolo è collegato ai poli di un generatore di corrente continua che crea così un campo elettrico tra A e B, mentre il secondo è collegato ad un voltmetro avente una grande resistenza interna (Fig. 14).

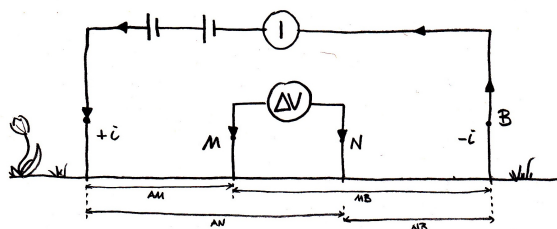


Fig. 14 Quadripolo di misura.

La valutazione del potenziale elettrico che viene a crearsi in ogni elettrodo potenziometrico ed il valore tra i due (M e N) consente di avere come unica incognita la resistività del terreno ( $\rho$ ) e rende quindi possibile il suo calcolo con quella che viene definita l'equazione fondamentale della geoelettrica:

$$\rho = 2 \pi k \cdot (\Delta V / I)$$

dove:  $k$  = coefficiente geometrico, parametro dipendente esclusivamente dalla disposizione degli elettrodi, quindi dalla tipologia di stendimento utilizzato nelle misurazioni.

Se ci si trova nel caso in cui il suolo/sottosuolo è omogeneo ed isotropo si calcolerà la resistività reale del terreno, mentre se è non omogeneo, come nella quasi totalità dei casi reali, il valore ottenuto si dirà resistività apparente.

Dal momento che il coefficiente geometrico è strettamente dipendente dal posizionamento spaziale del quadripolo di indagine esistono degli stendimenti "standard"; fra quelli lineari, ovvero posizionati in allineamento rettilineo, i più comuni sono:

- Quadripolo Schlumberger
- Quadripolo Wenner
- Dipolo-Dipolo

Lo stendimento Dipolo-Dipolo si differenzia dai primi due poiché gli elettrodi potenziometrici sono esterni a quelli energizzanti, inoltre la distanza tra le coppie di elettrodi è un multiplo della distanza tra gli elettrodi, per cui all'aumentare di questa lunghezza aumenta la profondità di investigazione (Fig. 15). Questa proprietà fa sì che questo tipo di stendimento sia molto sensibile a variazioni di resistività orizzontali, di conseguenza risulta ottimale nell'individuazione di cavità o, come nel caso oggetto di questo lavoro, di buche.

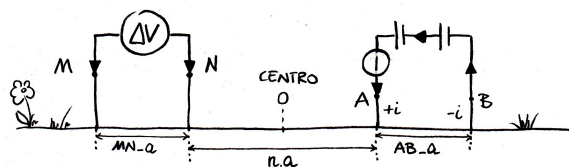


Fig. 15 Stendimento dipolo-dipolo.

Per quanto riguarda le proprietà elettriche del suolo si dà breve cenno delle diverse e coesistenti modalità di conduzione della corrente:

- Conduzione elettronica

Si manifesta nei terreni costituiti da metalli nativi, solfuri o ossidi metallici che hanno nei loro reticoli cristallini elettroni liberi che possono muoversi.

- Conduzione elettrolitica

Si osserva in tutti quei terreni e rocce dove sono presenti dei vuoti, se questi sono imbibite con fluidi ed intercomunicanti si realizza la continuità che permette il passaggio di ioni e quindi la trasmissione di corrente elettrica.

- Conduzione superficiale (tipo "shale")

Riguarda sedimenti fini (limi e argille) dove si hanno valori molto piccoli di porosità efficace, di conseguenza la continuità dei pori è praticamente nulla e si hanno valori molto bassi di permeabilità idraulica, è così impedita la movimentazione degli ioni e quindi la conduzione di corrente per via elettrolitica.

Il protocollo sperimentale si è dipanato nell'area localizzata in quel di Santa Maria della Versa dove sono stati sepolti un totale di dieci lattonzoli in due buche distanti tra loro 2.8 metri e profonde circa un metro. Una volta richiuse le fosse sono stati conficcati nel suolo 32 elettrodi spazati tra loro di 0.5 metri lungo uno stendimento prefissato di lunghezza totale pari a 15.5 metri, collocato in modo rettilineo tale da intercettare trasversalmente entrambe le sepolture simmetricamente al centro dello stendimento stesso.

E' stato poi utilizzato un georesistivimetro a 32 canali (Pasi 16G) per le misurazioni, questo è stato connesso tramite cavi multicolore e linkbox agli elettrodi per l'effettuazione delle misurazioni e l'acquisizione dei dati. Gli elettrodi sono stati lasciati in posto per tutta la durata della sperimentazione.

In totale sono state eseguite due misurazioni in configurazione Dipolo-Dipolo per ogni giornata di raccolta dati, una misura definita "diretta" ed una "inversa", invertendo appunto la disposizione del quadripolo asimmetrico di misura. Tale scelta è stata effettuata per valutare se è osservabile o meno nelle sezioni bidimensionali l'effetto dell'anisotropia della conducibilità elettrica legata ai liquidi putrefattivi di un corpo sepolto.

Prima dello scavo delle buche è stata effettuata una misura definita "bianco" quale misura di riferimento, specialmente utile nell'elaborazione time-lapse.

Lo scopo della prospezione elettrica, che è quello di effettuare una stima dei valori di resistività elettrica del sottosuolo mediante misure indirette effettuate dalla superficie, vuole esaminare le variazioni nei valori di capacità di conduzione dell'argilla apportate dai fluidi decomposizionali e di conseguenza le modifiche ai valori di resistività del suolo.

Per l'elaborazione dei dati acquisiti è stato utilizzato il software RES2DINV® il quale simula il terreno investigato come se fosse costituito da un numero definito di celle all'interno delle quali viene assegnato un determinato valore di resistività, questo valore viene calcolato mediante un codice numerico di inversione alle differenze finite (Dey & Morrison, 1979); l'algoritmo lavora mediante un'ottimizzazione per iterazioni successive secondo la tecnica dei minimi quadrati (Loke, 1999). Tale metodo viene utilizzato in modo da cercare di minimizzare lo scarto quadratico medio tra i valori della pseudo-sezione di resistività apparente misurata sul terreno ed i valori della pseudo-sezione di resistività apparente calcolata dal software.

Molto importante risulta essere l'indice RSM il quale permette di verificare la qualità della sezione di resistività ottenuta tramite l'algoritmo di inversione; il valore è percentuale: più è alto e peggiore è la qualità del modello di resistività ottenuto.

## 3.6 ANALISI DELLA COPERTURA VEGETALE

### 3.6.1 RILEVAMENTO BOTANICO

Il rilevamento botanico all'interno della zona del Parco del Ticino è stato eseguito su ciascuna area interessata dallo scavo prima dell'apertura della buca stessa, in modo da avere il "campione bianco" relativo alla medesima area e di conoscere quindi la situazione vegetazionale prima dell'alterazione (meccanica ed edafica). Inoltre è stata allestita una situazione di controllo (C) costituita da una zona indisturbata prossima a ciascuna area sperimentale ed una di falso positivo (FP), ovvero una buca scavata e richiusa senza la deposizione della carcassa, che permette di distinguere gli effetti dovuti alla presenza del maiale (disturbo edafico) dagli effetti dovuti allo scavo (disturbo meccanico).

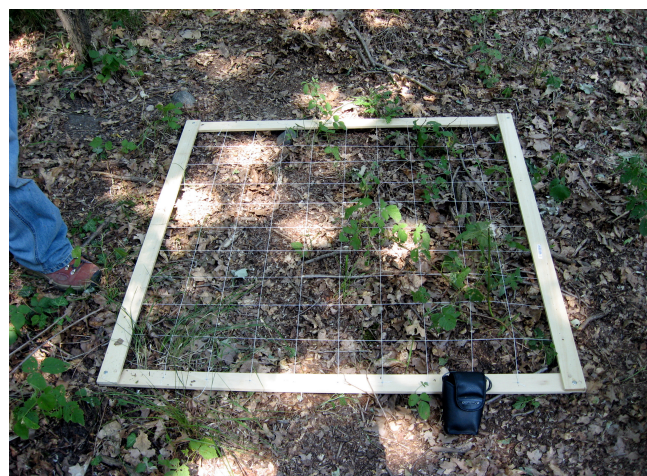
In seguito all'inumazione, il campionamento botanico è avvenuto con cadenza più o meno mensile per un intero anno. L'ultimo rilevamento è stato eseguito il 13/05/2010 per un totale di 13 visite. L'organizzazione del piano di campionamento ha previsto mensilmente il campionamento di C, FP e buche dei maiali (M). Ovviamente il numero di rilievi per ciascuna buca contenente il maiale è crescente in relazione al tempo trascorso, dal momento che l'esumazione della carcassa pone un termine all'osservazione e raccolta dei dati botanici superficiali.

Su ciascuna fossa, compreso il falso positivo (FP) ed il controllo (C), sono stati eseguiti rilievi di due tipologie: il campionamento secondo la "Point Quadrat Analysis" e la redazione della lista floristica.

### 3.6.2 POINT QUADRAT ANALYSIS

La "Point Quadrat Analysis" (PQA) è una metodologia quali-quantitativa di campionamento botanico. Essa si propone di prendere in considerazione cento punti entro un telaio recante una griglia a maglie di 10 cm (Fig. 15) che viene collocato e ricollocato nella medesima posizione nei successivi campionamenti mensili sulla superficie da esaminare. La vegetazione sottostante al reticolato viene manualmente e delicatamente rimessa in posizione naturale "pettinandola" verso l'alto e distribuendola naturalmente entro le maglie. Successivamente si identificano gli individui che cadono esattamente nei 100 punti stabiliti, e si definisce il numero di contatti che gli individui hanno con una virtuale retta perpendicolare al terreno e passante per l'incrocio stesso.

In tale modo è possibile esprimere la frequenza degli individui identificati tramite un numero percentuale. La possibilità di ottenere una percentuale permette di avere una maggiore precisione nella successiva fase di analisi dei dati. La PQA garantisce una maggiore oggettività e standardizzazione del rilievo rispetto ad un tradizionale rilievo fitosociologico, in quanto le specie presenti vengono rilevate in maniera regolare. Inoltre,



**Fig. 15** Griglia per il rilevamento secondo PQA.

attraverso tale metodo, è possibile seguire i cambiamenti dei singoli individui nel tempo, poiché la griglia viene posta sempre nello stesso punto come un quadrato permanente.

I dati così raccolti sono stati utilizzati anche per la redazione della lista floristica. La lista floristica è l'elenco di tutte le specie presenti all'interno dell'area rilevata. Le specie osservate all'interno del quadrato ma non rilevate dalla griglia sono state comunque annotate, andando a formare in questo modo la lista floristica.

L'area viene fotografata con fotocamera digitale ogni volta che si esegue il rilievo.

I dati raccolti sono stati elaborati confrontando la presenza e l'abbondanza delle specie vegetali nel corso del tempo, per tipologia di quadrato (controlli vs FP vs maiali); per effetto del disturbo (controllo vs disturbato: maiali + FP). L'elaborazione è stata eseguita mediante ANOVA per verificare se l'osservazione dei parametri (n. di specie e n. di contatti) e l'abbondanza di ciascuna specie variassero in modo significativo in funzione della data, del quadrato, del tipo di quadrato o del tipo di disturbo. Per realizzare l'analisi della varianza è stato utilizzato il software statistico SPSS.

### 3.7 ESAME ESTERNO DELLE CARCASSE AL TEMPO DI ESUMAZIONE

In data di esumazione per ciascuna carcassa è stato eseguito un esame esterno allo scopo di valutare il grado di decomposizione delle stesse. Sono state prese in considerazione le alterazioni della cute nei diversi stadi (colorazione verdastra – colliquazione – epidermolisi),



nonché le esposizioni di tessuto osseo nelle diverse sedi corporee. Inoltre, sempre durante lo scavo e l'esumazione, è stata presa nota di come appariva la carcassa in relazione al terreno contiguo, della sua riconoscibilità relativamente all'intorno delle pareti della buca e della situazione più o meno complessa riguardante il suo recupero, questo a causa dell'ovvio disfacimento dei tessuti con la conseguente disarticolazione dei vari distretti corporei.

In sede di autopsia è stata inoltre eseguita una quantificazione del grado di decomposizione in base al metodo Accumulated Degree-Days (ADD). Questo metodo si fonda sull'assegnazione di un punteggio in base alle condizioni di putrefazione dei diversi distretti corporei: capo e collo, tronco ed arti. Questo punteggio viene successivamente convertito in un numero corrispondente alla somma di gradi Fahrenheit ambientali sopra lo zero che hanno investito il maiale dal giorno di esposizione/sepoltura (Megyesi, 2006). Tale numero consente di quantificare l'avanzamento dei fenomeni trasformativi/putrefattivi e di ottenere un'informazione complementare alla valutazione morfologica dei tessuti.



CAPITOLO 4.

DESCRIZIONE  
DEI PROFILI  
PEDOLOGICI



# DESCRIZIONE

## DEI PROFILI PEDOLOGICI.

In questa sezione sono esposte le descrizioni pedologiche dei profili esposti a nord ovest di tutte le buche scavate sia nell'area a prato (area A) che nell'area boscata (area B) del Parco del Ticino, nonché i profili descritti nella zona di Santa Maria della Versa (PV). I colori sono descritti da nomenclatura Munsell 2000, mentre le tessiture secondo Sanesi versione USDA.

La caratterizzazione pedologica è molto importante, perché dà la possibilità di farsi un'idea del suolo con cui si avrà a che fare. Nel caso in oggetto, come si è già detto, il suolo ricopriva solamente la parte più superficiale delle buche che sono state scavate. Questo fatto è dovuto alla morfologia del luogo che come riportato dalle carte pedologiche e geologiche della zona rilevano un'area ora stabile, ma che nel passato recente è stata interessata da esondazioni del fiume Ticino e perciò ne reca, in profondità, i segni di quelli che possiamo definire a tutti gli effetti sedimenti e morfologie sedimentarie fluviali.

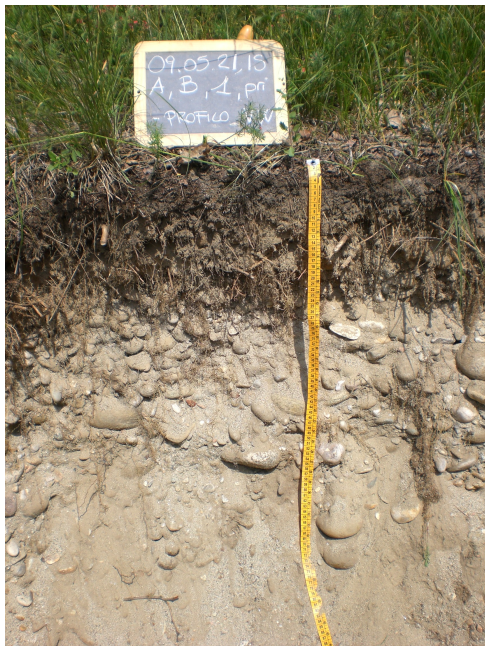
L'area A, ossia l'area prato si presenta pianeggiante, con scarsa pietrosità superficiale.

La vegetazione è assimilabile a quella di prato arido e l'area non è adibita a particolare uso ed si trova quindi in una situazione di naturalità.

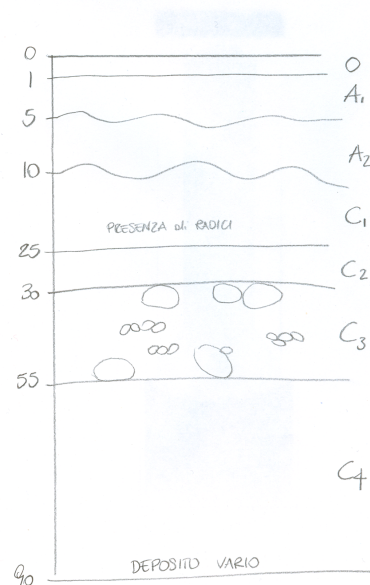
L'area B, ossia l'area a bosco, si presenta pianeggiante, con scarsa pietrosità superficiale.

La vegetazione è assimilabile a quella di un bosco seminaturale, l'area è adibita ad uso ricreativo ma poco frequentata.

## DESCRIZIONE DEL PROFILO 09.05.21 IS, A, B, 1, pri (prof NW)



09.05.21 IS A B 1 pri (PROF NW)



O orizzonte che consta di un centimetro di materiale vegetale accumulatosi alla base della vegetazione erbacea presente.

A1 orizzonte di colore bruno scuro (7.5 YR 3/2); tessitura da franca a franco-sabbiosa, aggregazione granulare fine scarsamente sviluppata; abbondante porosità. Limite inferiore ondulato e chiaro.

A2 orizzonte di colore bruno (7.5 YR 4/2); tessitura da franca a franco-sabbiosa, aggregazione granulare fine scarsamente sviluppata; abbondante porosità. Limite inferiore ondulato e chiaro.

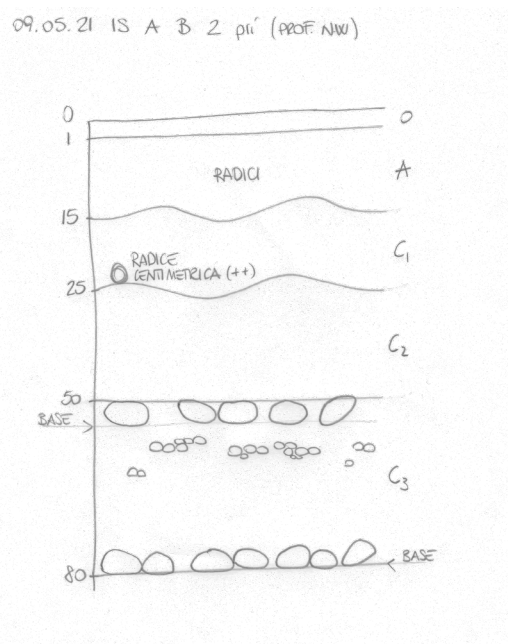
C1 orizzonte di colore bruno (7.5 YR 4/2); tessitura franco-sabbiosa presenza di clasti centimetrici (2-5 cm), aggregazione poco evidente, abbondante porosità, abbondanti radici. Limite inferiore lineare e netto.

C2 orizzonte di colore bruno (7.5 YR 5/2); tessitura sabbiosa, presenza di clasti centimetrici di dimensioni maggiori dell'orizzonte precedente (5-10 cm), incoerente. Limite inferiore lineare e chiaro.

C3 orizzonte di colore bruno (7.5 YR 5/2); tessitura sabbiosa, presenza di livelli embricati di clasti decimetrici e livelli di clasti centimetrici, incoerente. Limite inferiore lineare e chiaro.

C4 orizzonte di colore bruno (7.5 YR 5/2); tessitura sabbiosa, presenza di clasti da centimetrici a decimetrici, è possibile individuare una leggera gradazione diretta, incoerente. Limite inferiore non raggiunto.

## DESCRIZIONE DEL PROFILO 09.05.21 IS, A, B, 2, pri (prof NW)



O orizzonte che consta di un centimetro di materiale vegetale accumulatosi alla base della vegetazione erbacea presente.

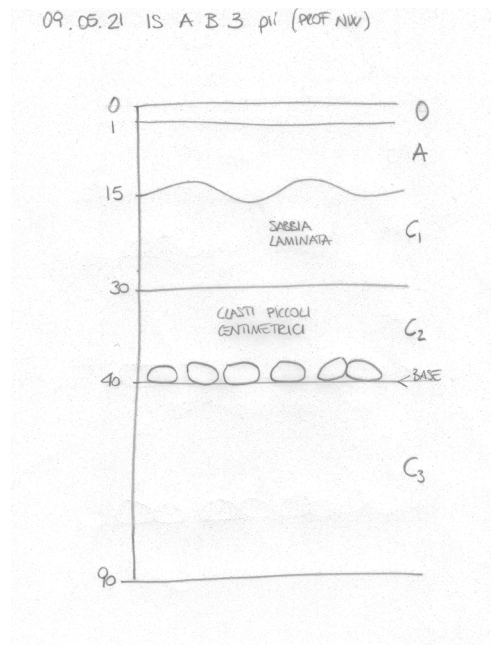
A orizzonte di colore bruno scuro (7.5 YR 3/2); tessitura da franca a franco-sabbiosa, aggregazione granulare fine scarsamente sviluppata; abbondante porosità. Limite inferiore ondulato e chiaro.

C1 orizzonte di colore bruno (7.5 YR 4/2); tessitura sabbiosa-franca presenza di clasti centimetrici, aggregazione poco evidente, abbondante porosità, abbondanti radici centimetriche verso la base. Limite inferiore ondulato e chiaro.

C2 orizzonte di colore bruno (7.5 YR 4/2); tessitura sabbiosa, presenza di clasti centimetrici, incoerente. Limite inferiore lineare chiaro.

C3 orizzonte di colore bruno (7.5 YR 5/2); tessitura sabbiosa, presenza di livelli di clasti decimetrici e livelli embricati di clasti centimetrici, incoerente. Limite inferiore non raggiunto.

DESCRIZIONE DEL PROFILO 09.05.21 IS, A, B, 3, pri (prof NW)



O orizzonte che consta di un centimetro di materiale vegetale accumulatosi alla base della vegetazione erbacea presente.

A orizzonte di colore bruno scuro (7.5 YR 3/2); tessitura franco-sabbiosa, aggregazione granulare fine scarsamente sviluppata; abbondante porosità. Limite inferiore ondulato e chiaro.

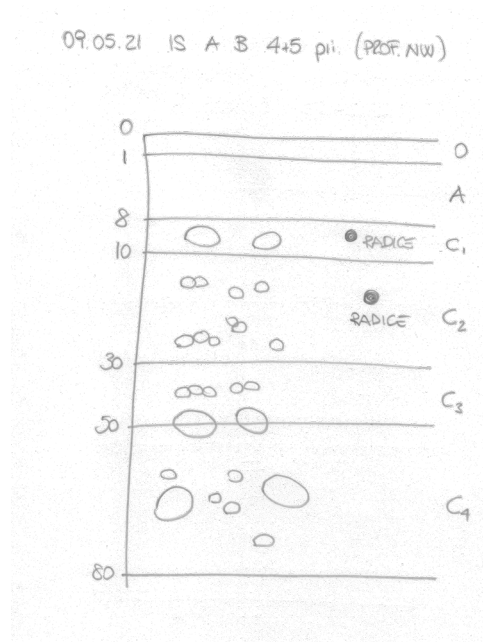
C1 orizzonte di colore bruno (7.5 YR 4/2); tessitura sabbiosa, incoerente, laminato. Limite inferiore lineare e chiaro.

C2 orizzonte di colore bruno (7.5 YR 5/2); tessitura sabbiosa, presenza di clasti da centimetrici a decimetrici, questi ultimi in aumento verso la base, incoerente. Limite inferiore lineare e netto.

C3 orizzonte di colore bruno (7.5 YR 5/2); tessitura sabbiosa, presenza di clasti da centimetrici a decimetrici, incoerente. Limite inferiore non raggiunto.



DESCRIZIONE DEL PROFILO 09.05.21 IS, A, B, 4/5, pri (prof NW)



O orizzonte che consta di un centimetro di materiale vegetale accumulatosi alla base della vegetazione erbacea presente.

A orizzonte di colore grigio molto scuro (10 YR 3/1); tessitura da franca a franco-sabbiosa, aggregazione granulare fine scarsamente sviluppata; abbondante porosità. Limite inferiore lineare e chiaro.

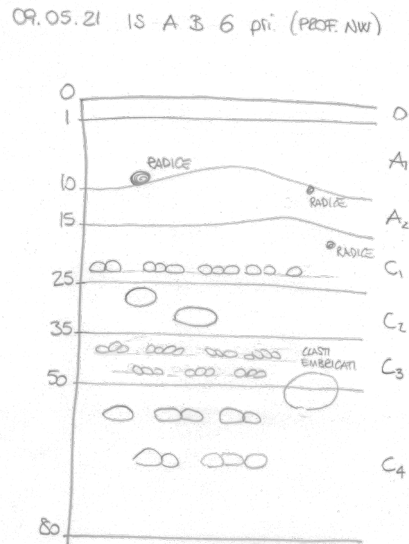
C1 orizzonte di colore bruno grigiastro scuro (2.5 Y 4/2); tessitura sabbioso-franca presenza di clasti da centimetrici a decimetrici, incoerente, abbondante porosità, presenza di radici centimetriche. Limite inferiore lineare e netto.

C2 orizzonte di colore bruno olivastro chiaro (2.5 Y 5/3); tessitura sabbiosa, presenza di clasti centimetrici talora embricati, presenza di radici centimetriche, incoerente. Limite inferiore lineare e chiaro

C3 orizzonte di colore bruno grigiastro (2.5 Y 5/2); tessitura sabbiosa, presenza di livelli embricati di clasti centimetrici, è possibile individuare una leggera gradazione diretta, incoerente. Limite inferiore lineare e chiaro.

C4 orizzonte di colore bruno grigiastro (2.5 Y 5/2); tessitura sabbiosa, presenza di clasti da centimetrici a decimetrici, incoerente. Limite inferiore non raggiunto.

DESCRIZIONE DEL PROFILO 09.05.21 IS, A, B, 6, pri (prof NW)



O orizzonte che consta di un centimetro di materiale vegetale accumulatosi alla base della vegetazione erbacea presente.

A1 orizzonte di colore bruno grigiastro molto scuro (10 YR 3/2); tessitura da franca a franco-sabbiosa, aggregazione granulare fine scarsamente sviluppata; abbondante porosità, presenza di radici centrimetriche. Limite inferiore ondulato e chiaro.

A2 orizzonte di colore grigio scuro (10 YR 4/1); tessitura da franca a franco-sabbiosa, aggregazione granulare fine scarsamente sviluppata; abbondante porosità, presenza di radici centrimetriche. Limite inferiore lineare e chiaro.

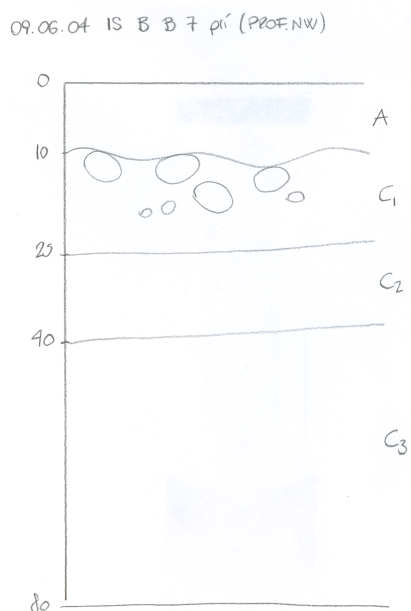
C1 orizzonte di colore bruno olivastro (2.5 Y 4/3); tessitura sabbioso-franca presenza di clasti centimetrici, talora embriati, incoerente, abbondante porosità, presenza di radici centimetriche. Limite inferiore lineare e netto.

C2 orizzonte di colore bruno grigiastro (2.5 Y 5/2); tessitura sabbiosa, presenza di clasti da centimetrici a decimetrici, incoerente. Limite inferiore lineare e chiaro.

C3 orizzonte di colore grigio (10 YR 5/1); tessitura sabbiosa, presenza di livelli embriati di clasti centimetrici, incoerente. Limite inferiore lineare e chiaro.

C4 orizzonte di colore grigio molto scuro (2.5 Y 3/1); tessitura sabbiosa, presenza di livelli embriati clasti da centimetrici a decimetrici, incoerente. Limite inferiore non raggiunto.

DESCRIZIONE DEL PROFILO 09.06.04 IS, B, B, 7, pri (prof NW)



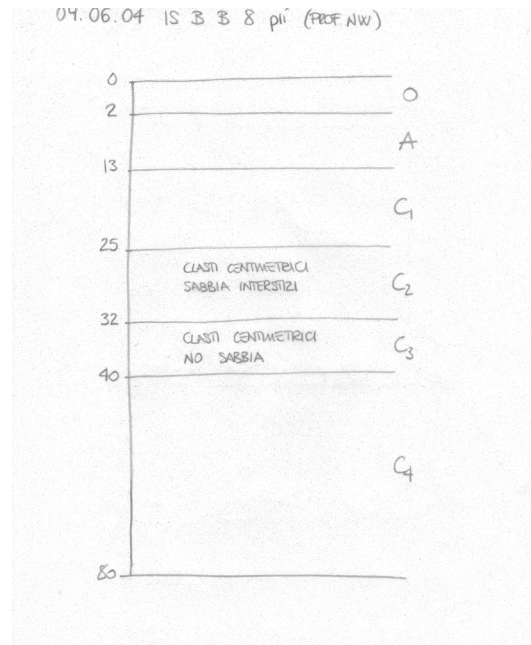
A orizzonte di colore bruno scuro (7.5 YR 3/4); tessitura da franca a franco-sabbiosa, aggregazione granulare moderatamente sviluppata; abbondante porosità. Limite inferiore ondulato e chiaro.

C1 orizzonte di colore bruno (7.5 YR 4/4); tessitura franco-sabbiosa, presenza di clasti centimetrici e decimetrici (2-10 cm), aggregazione scarsamente evidente, abbondante porosità, abbondanti radici. Limite inferiore lineare e chiaro.

C2 orizzonte di colore bruno (7.5 YR 4/4); tessitura sabbioso-franca, presenza di clasti centimetrici (2-5 cm) talora embricati, abbondante porosità, abbondanti radici. Limite inferiore lineare netto.

C3 orizzonte di colore bruno (7.5 YR 4/2); tessitura sabbiosa, presenza di clasti centimetrici e decimetrici, incoerente. Limite inferiore non raggiunto.

DESCRIZIONE DEL PROFILO 09.06.04 IS, B, B, 8, pri (prof NW)



O orizzonte che consta di due centimetri di materiale vegetale accumulatosi alla superficie del suolo.

A orizzonte di colore grigio molto scuro (10 YR 3/1); tessitura da franca a franco-sabbiosa, aggregazione granulare debolmente sviluppata; abbondante porosità. Limite inferiore lineare e chiaro.

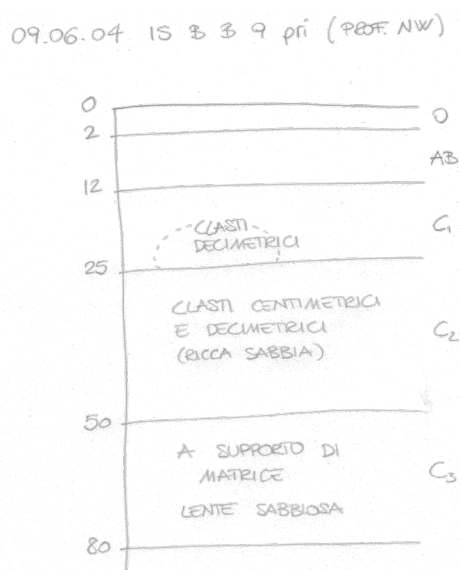
C1 orizzonte di colore grigio scuro (7.5 YR 4/1); tessitura franco-sabbiosa, presenza di clasti, aggregazione scarsamente evidente, abbondante porosità. Limite inferiore lineare e chiaro.

C2 orizzonte di colore bruno (7.5 Y 4/2); tessitura sabbiosa, presenza di clasti centimetrici a supporto di matrice, incoerente. Limite inferiore lineare e chiaro.

C3 orizzonte di colore bruno (7.5 Y 5/2); tessitura sabbiosa, presenza di clasti centimetrici a supporto clastico, incoerente. Limite inferiore lineare e chiaro.

C4 orizzonte di colore bruno (7.5 Y 5/2); tessitura sabbiosa, presenza di clasti, incoerente. Limite inferiore non raggiunto.

DESCRIZIONE DEL PROFILO 09.06.04 IS, B, B, 9, pri (prof NW)



O orizzonte che consta di due centimetri di materiale vegetale accumulatosi alla superficie del suolo.

AB orizzonte di colore bruno grigiastro molto scuro (10 YR 3/2); tessitura franca, aggregazione da granulare a poliedrica subangolare moderatamente sviluppata; abbondante porosità. Limite inferiore lineare e chiaro.

C1 orizzonte di colore colore bruno grigiastro molto scuro (10 YR 3/2); tessitura franco-sabbiosa, presenza di clasti decimetrici, aggregazione scarsamente evidente, abbondante porosità. Limite inferiore lineare e chiaro.

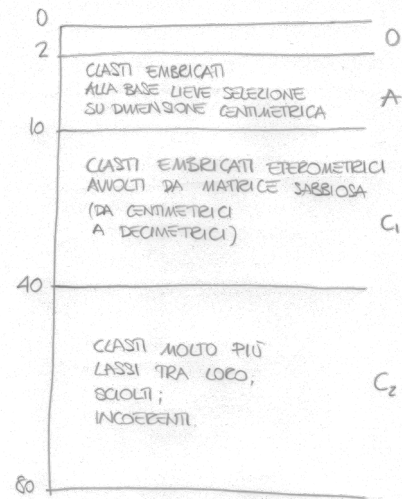
C2 orizzonte di colore bruno grigiastro (2.5 Y 5/2); tessitura sabbiosa, presenza di clasti centimetrici e decimetrici, abbondante porosità. Limite inferiore lineare e netto.

C3 orizzonte di colore grigio (2.5 Y 5/1); tessitura sabbiosa, presenza di clasti centimetrici a supporto di matrice, incoerente. Limite inferiore non raggiunto.

DESCRIZIONE DEL PROFILO 09.06.04 IS, B, B, 10, pri (prof NW)



09.06.04 IS B B 10 pri (PROF. NW)



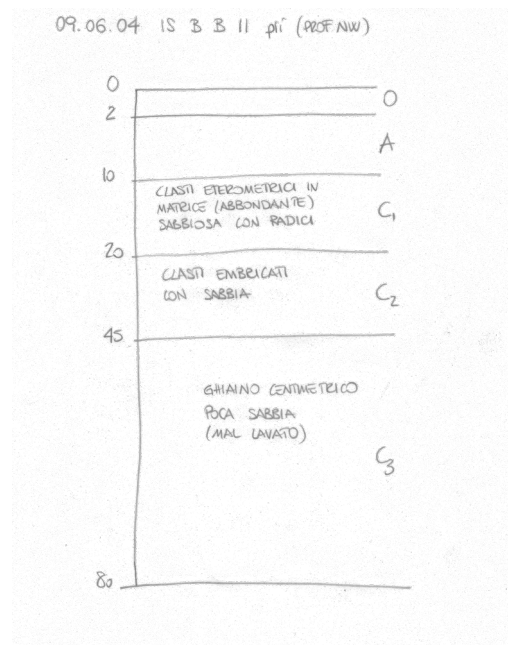
O orizzonte che consta di due centimetri di materiale vegetale accumulatosi alla superficie del suolo.

A orizzonte di colore bruno scuro (10 YR 3/3); tessitura da franca a franco-sabbiosa, presenza di clasti centimetrici embriati alla base dell'orizzonte, aggregazione granulare scarsamente sviluppata; abbondante porosità. Limite inferiore lineare e chiaro.

C1 orizzonte di colore bruno olivastro chiaro (2.5 Y 5/3); tessitura franco-sabbiosa, presenza di clasti da centimetrici a decimetrici embriati, aggregazione scarsamente evidente, abbondante porosità. Limite inferiore lineare e chiaro.

C2 orizzonte di colore bruno grigiastro (2.5 Y 5/2); tessitura sabbiosa, presenza di clasti da centimetrici a decimetrici a supporto di matrice, incoerente. Limite inferiore non raggiunto.

DESCRIZIONE DEL PROFILO 09.06.04 IS, B, B, 11, pri (prof NW)



O orizzonte che consta di due centimetri di materiale vegetale accumulatosi alla superficie del suolo.

A orizzonte di colore bruno scuro (7.5 YR 3/2); tessitura franca, aggregazione granulare scarsamente sviluppata; abbondante porosità. Limite inferiore lineare e chiaro.

C1 orizzonte di colore bruno (7.5 YR 4/2); tessitura franco-sabbiosa, presenza di clasti da centimetrici a decimetrici, aggregazione scarsamente evidente, abbondante porosità, abbondanti radici. Limite inferiore lineare e chiaro.

C2 orizzonte di colore bruno (7.5 Y 5/2); tessitura sabbiosa, presenza di clasti da centimetrici a decimetrici embriati, incoerente, abbondante porosità. Limite inferiore lineare e chiaro.

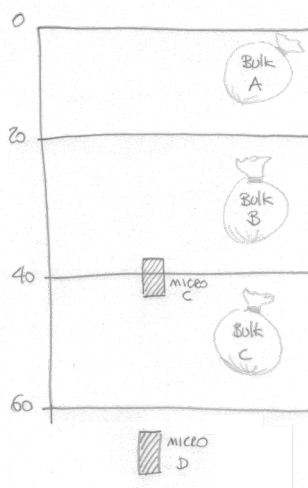
C3 orizzonte di colore bruno (7.5 Y 4/2); tessitura sabbiosa, presenza di clasti centimetrici a supporto clastico, incoerente. Limite inferiore non raggiunto.

Data l'uniformità morfologica dei profili realizzati nell'area di Santa Maria della Versa (PV) si è optato per la descrizione/campionamento ad intervalli regolari di profondità, ogni 20 cm. Seguono le descrizioni di campagna relative.

#### DESCRIZIONE DEL PROFILO    Profilo VER IS I



10.04.09 SANTA MARIA DELLA VERSA  
PROFILO: VER-IS I



**Bulk A**        colore grigio olivastro (5Y 5/2); tessitura argillosa, presenza di clasti angolari millimetrici in aumento con la profondità; aggregazione da granulare fine scarsamente sviluppata a poliedrica angolare moderatamente sviluppata; porosità moderata in diminuzione con la profondità; abbondanti radici.

**Bulk B**        colore grigio olivastro leggero (5Y 6/2); tessitura argillosa, presenza di clasti millimetrici; aggregazione poliedrica angolare moderatamente sviluppata; porosità scarsa; presenza di radici.

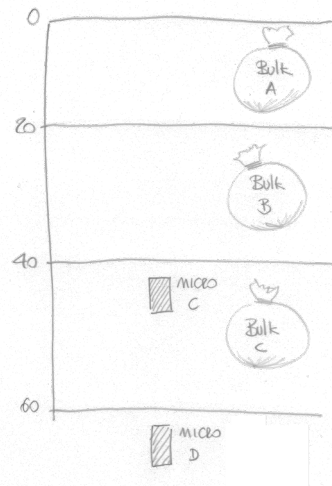
**Bulk C**        colore bruno olivastro (2.5Y 4/4); tessitura argillosa, presenza di clasti millimetrici; aggregazione poliedrica angolare moderatamente sviluppata; porosità scarsa; presenza di radici.



## DESCRIZIONE DEL PROFILO    Profilo VER IS II



10.04.09 SANTA MARIA DELLA VESPA  
PROFILO: VER-IS II



**Bulk A**        colore grigio olivastro leggero (5Y 6/2); tessitura argillosa, presenza di clasti angolari millimetrici in aumento con la profondità; aggregazione da granulare fine scarsamente sviluppata a poliedrica angolare moderatamente sviluppata; porosità moderata in diminuzione con la profondità; abbondanti radici.

**Bulk B**        colore bruno olivastro leggero (2.5Y 6/4); tessitura argillosa, presenza di clasti millimetrici; aggregazione poliedrica angolare moderatamente sviluppata; porosità scarsa; presenza di radici.

**Bulk C**        colore bruno olivastro leggero (2.5Y 6/4); tessitura argillosa, presenza di clasti millimetrici; aggregazione poliedrica angolare moderatamente sviluppata; porosità scarsa; presenza di radici.



CAPITOLO 5.

RISULTATI DELLE  
ANALISI DI  
LABORATORIO

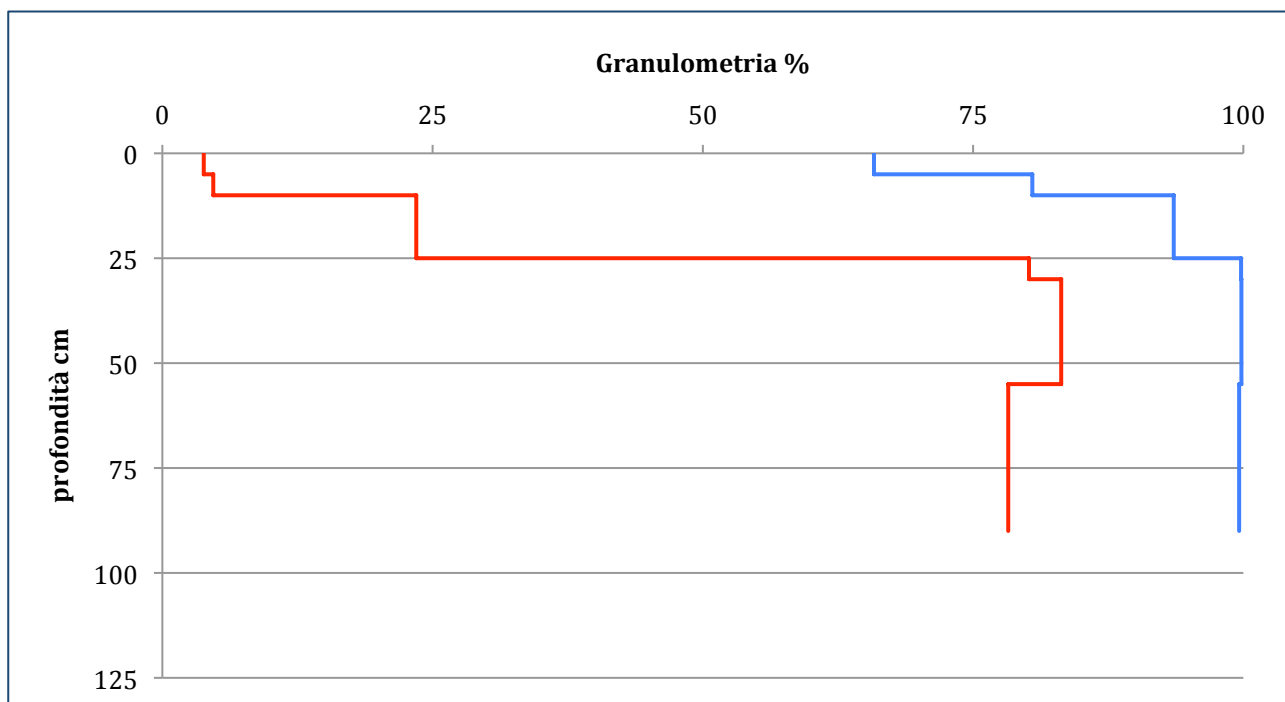


# RISULTATI ANALISI DI LABORATORIO.

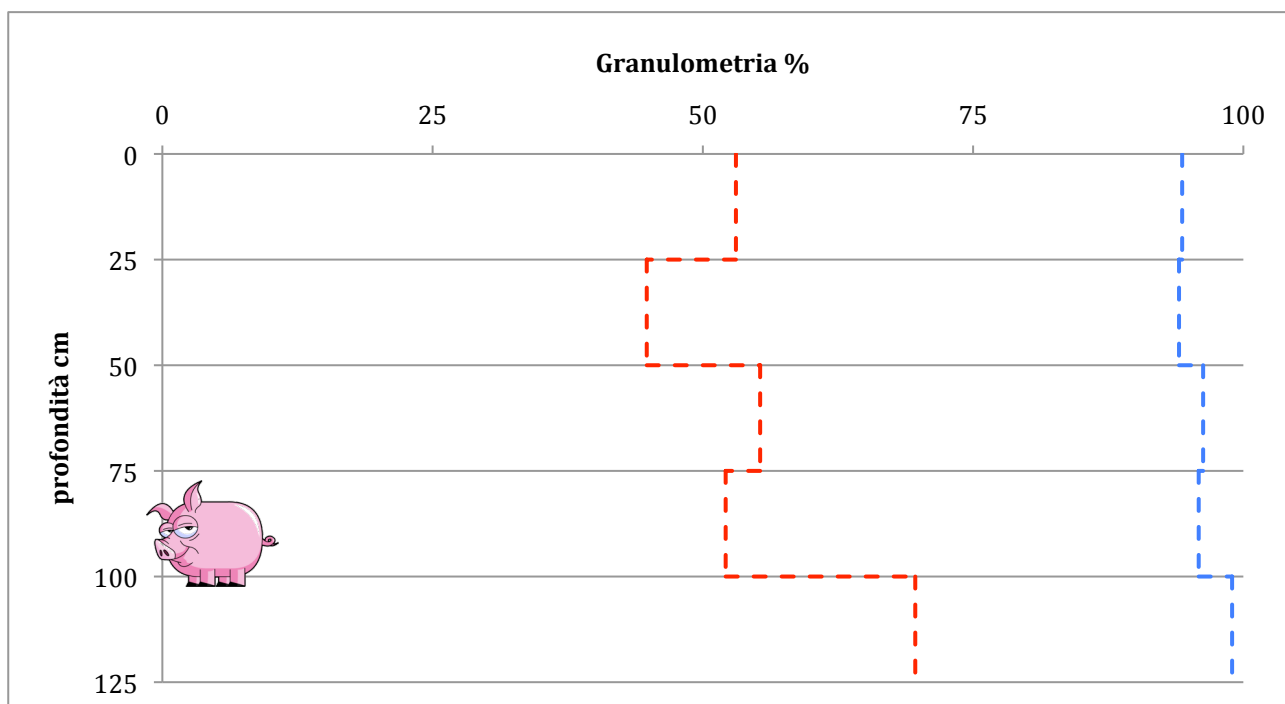
Vengono in questo capitolo prese in considerazione tutte le analisi di laboratorio effettuate. L'esposizione segue la logica di presentare ciascuna analisi per le due aree di sperimentazione a mezzo di grafici molto semplici all'interno dei quali si possa ben distinguere l'andamento sia temporale, grazie ad una legenda in scala cromatica, sia in relazione alla profondità della buca scavata e opportunamente campionata in sede Pre\_IS e Post\_ES, grazie all'asse delle ordinate. Segue poi una breve discussione dell'analisi relativa alla sperimentazione e la conclusione sull'analisi presa in considerazione.

## 5.1 ANALISI GRANULOMETRICA

Per ciò che concerne l'analisi granulometrica si precisa che questa è stata effettuata solamente su due buche (numero 1 e numero 7) relative alle due aree (A e B), alla prima esumazione dopo un mese dal seppellimento. Questo poiché come si vedrà poco avanti, i risultati forniti sono sufficientemente chiari per l'ipotesi formulata in partenza, ma soprattutto poiché essendo le successive buche collocate nelle immediate vicinanze, dove il suolo presentava irrilevanti differenze granulometriche, non si avrebbero avuto variazioni significative dei risultati analitici, men che meno per la scala temporale (tre anni) considerata in questa tesi si avrebbe avuto l'espressione di alterazioni pedogenetiche *in situ*.



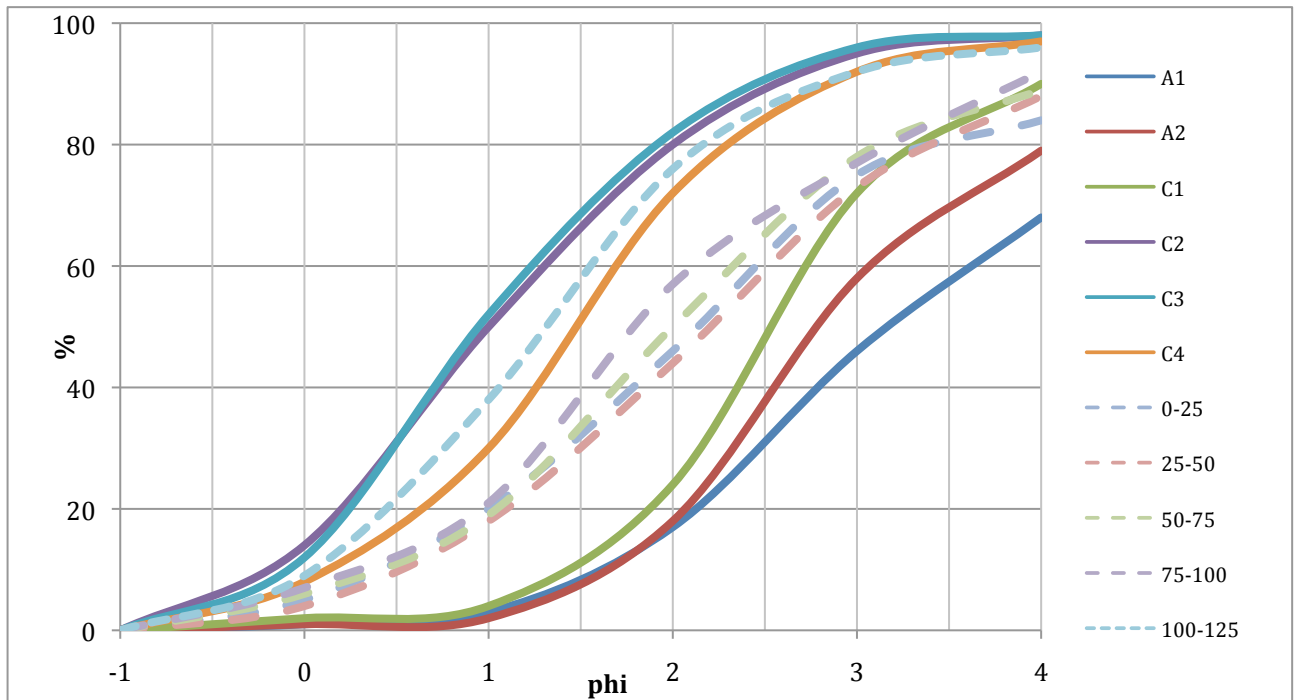
**Grafico 06** Istogramma cumulativo della granulometria % buca 1, area A, Pre\_IS.



**Grafico 07** Istogramma cumulativo della granulometria % buca 1, area A, Post\_ES.

Il grafico 06 relativo alla situazione Pre\_IS della buca numero 1 nell'area A, espone la composizione percentuale di ciascuna granulometria per ciascun orizzonte campionato riportato alla propria profondità. E' possibile notare gli orizzonti più superficiali, fino a 25 cm di profondità, ricchi della componente granulometrica fine (contenuto in limo+argilla: orizzonte A1=34.17% A2=19.52% e C1=6.44%), mentre gli orizzonti profondi nettamente

dominati dalla componente ghiaiosa grossolana (contenuto in ghiaia: orizzonte C2=80.17% C3=83.15% e C4=78.25%), .

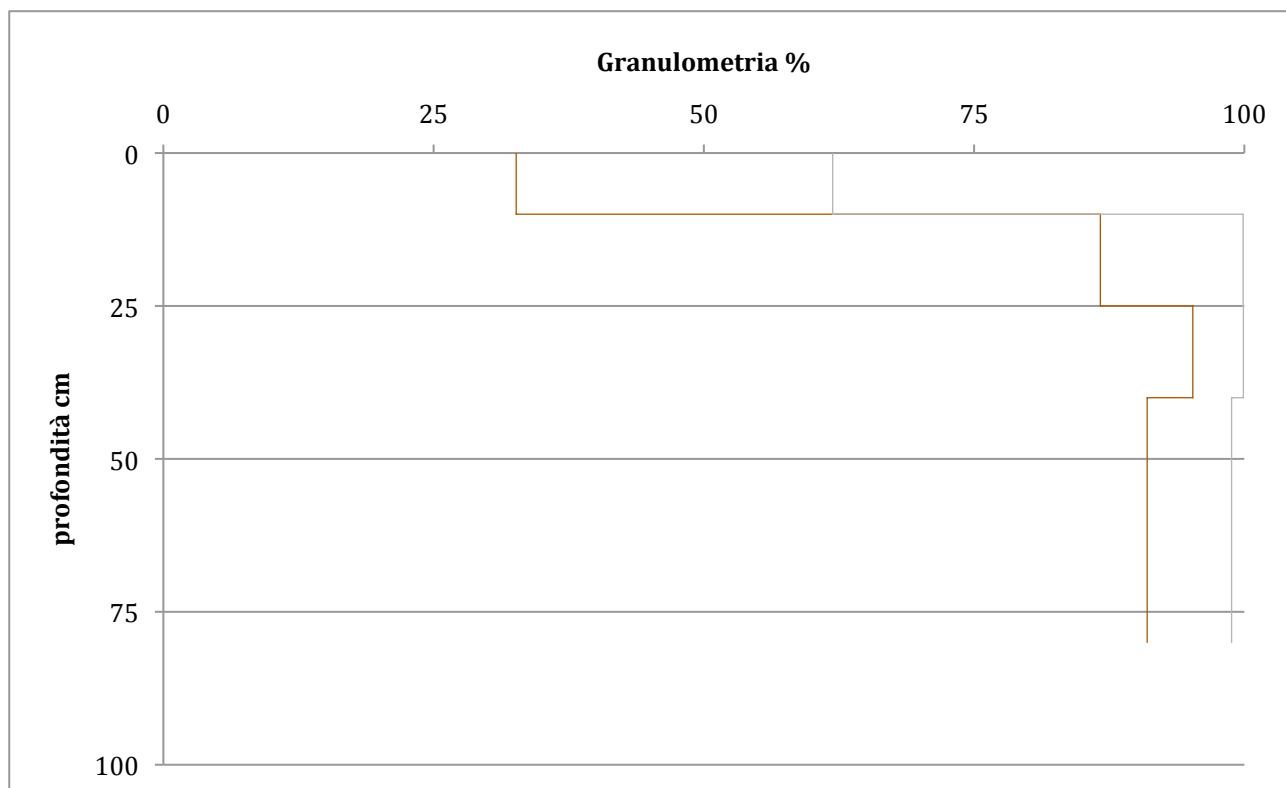


**Grafico 08** Curve granulometriche cumulative della frazione sabbiosa buca 1 area A.

Nel grafico 07 relativo agli orizzonti campionati in fase di esumazione (situazione Post\_ES) per standardizzazione ogni 25 cm è compreso pure un campione profondo campionato sotto la carcassa. Si nota come le diverse granulometrie siano più omogenee rispetto alla situazione Pre\_IS per quanto riguarda i campioni sopra la carcassa (valori % in ghiaia tra 44.81 e 55.30 e valori % in limo+argilla tra 3.72 e 5.95), mentre per quanto riguarda il campione profondo sotto la carcassa, questo si presenta in linea con i valori degli orizzonti immediatamente sovrastanti della situazione Pre\_IS (ghiaia=69.65%, limo+argilla=1.04%).

Per quanto riguarda le curve granulometriche cumulative relative alla frazione sabbiosa della medesima buca in studio (Grafico 08) è possibile riconoscere tre popolazioni di curve: la prima popolazione comprende i campioni Pre\_IS A1, A2, C1 che mostrano curve sigmoideali e che sono campioni appartenenti a quegli orizzonti che nei grafici precedenti sono stati identificati come ricchi di frazioni fini e dunque superficiali; la seconda popolazione, composta sempre dai campioni Pre\_IS C2, C3, C4 mostra curve quasi asintotiche ed è relativa a campioni appartenenti agli orizzonti che nei grafici precedenti sono stati identificati come sedimenti profondi, dunque orizzonti definiti ghiaiosi; i campioni da 0 a 100 cm di profondità

sono rapportabili a quegli orizzonti individuati in fase Post\_ES e campionati per standard ogni 25 cm che mostrano curve che cadono entro quelle delineate dalle precedenti due popolazioni. Infine il campione Post\_ES 100-125 cm mostra una curva con andamento corrispondente a quello della popolazione di curve degli orizzonti profondi, ovvero la curva ricade entro la variabilità mostrata dagli orizzonti profondi, tale per cui si può facilmente intuire che il campione Post\_ES 100-125 appartiene agli orizzonti profondi grossolani poichè egli stesso è, a tutti gli effetti, un campione profondo del medesimo profilo, indisturbato dallo scavo effettuato.

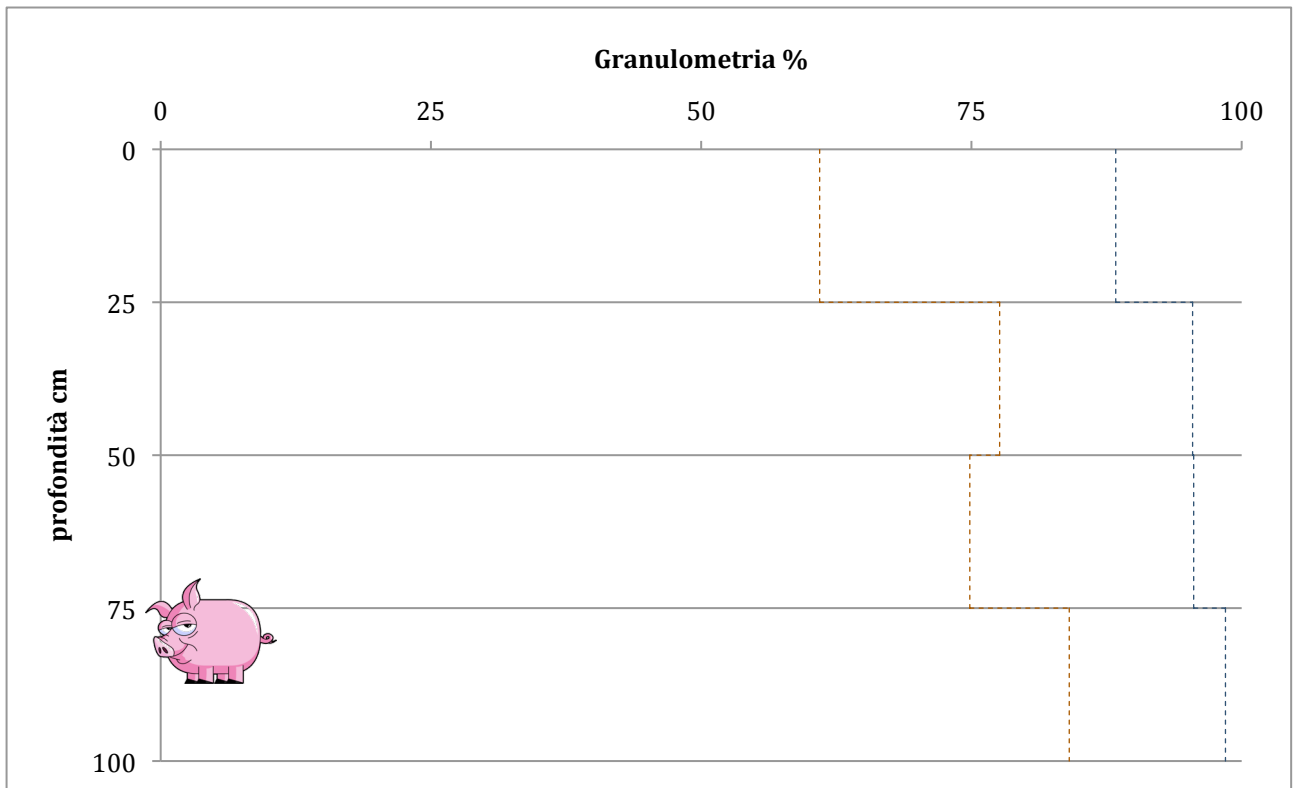


**Grafico 09** Istogramma cumulativo della granulometria % buca 7, area B, Pre\_IS.

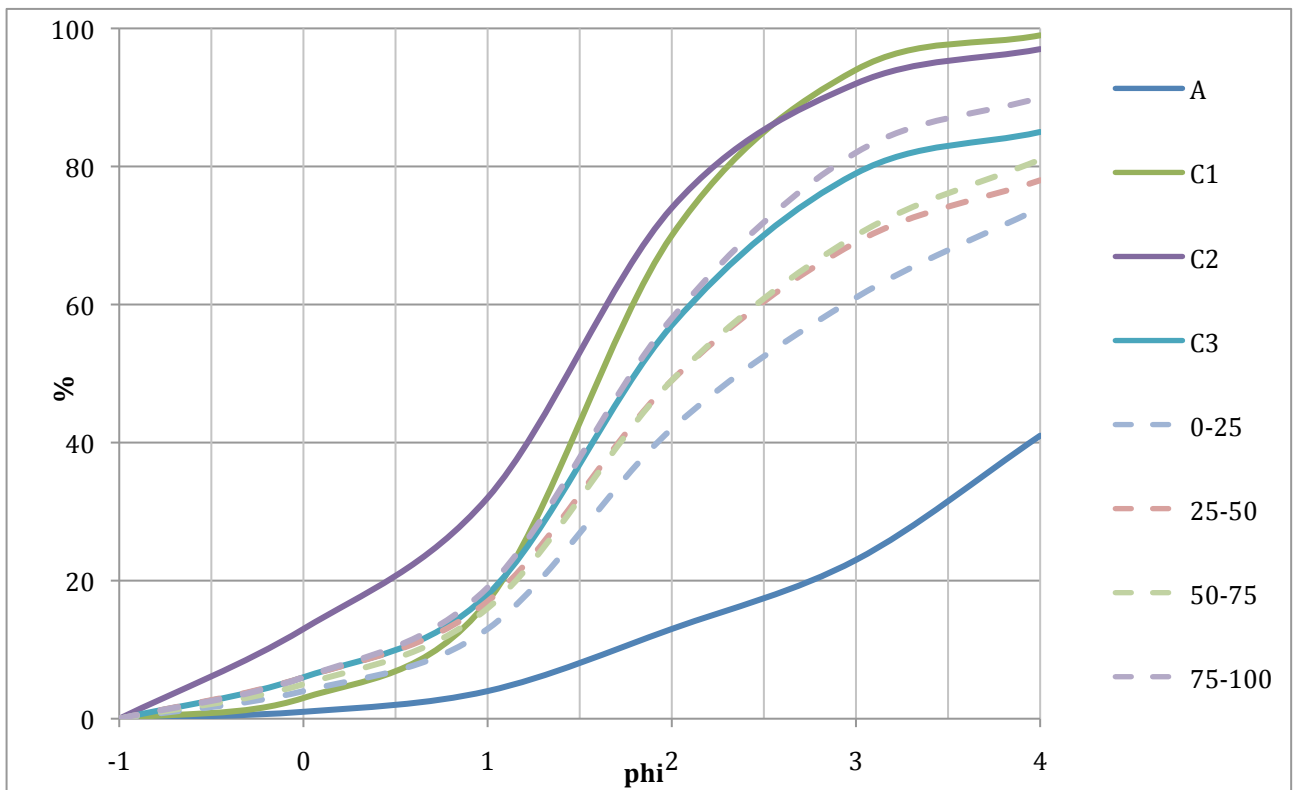
Il grafico 09 relativo all'area B, analogamente a quanto mostrato dal grafico gemello dell'area A, mette in luce la presenza di un orizzonte superficiale dominato dalla terra fine (sabbia + limo + argilla) che raggiunge circa il 70% e tre orizzonti profondi, ricchi in materiale grossolano per i quali il contenuto di ghiaia risulta compreso tra l'85 ed il 95%.

Per quanto riguarda il grafico Post\_Es della buca 7 (Grafico 10), anche in questo caso come nell'area A, i risultati mostrano una maggiore uniformità del contenuto granulometrico degli orizzonti standardizzati di 25 cm (valori % in ghiaia tra 60.96 e 74.85 e valori % in





**Grafico 10** Istogramma cumulativo della granulometria % buca 7, area B, Post\_ES.

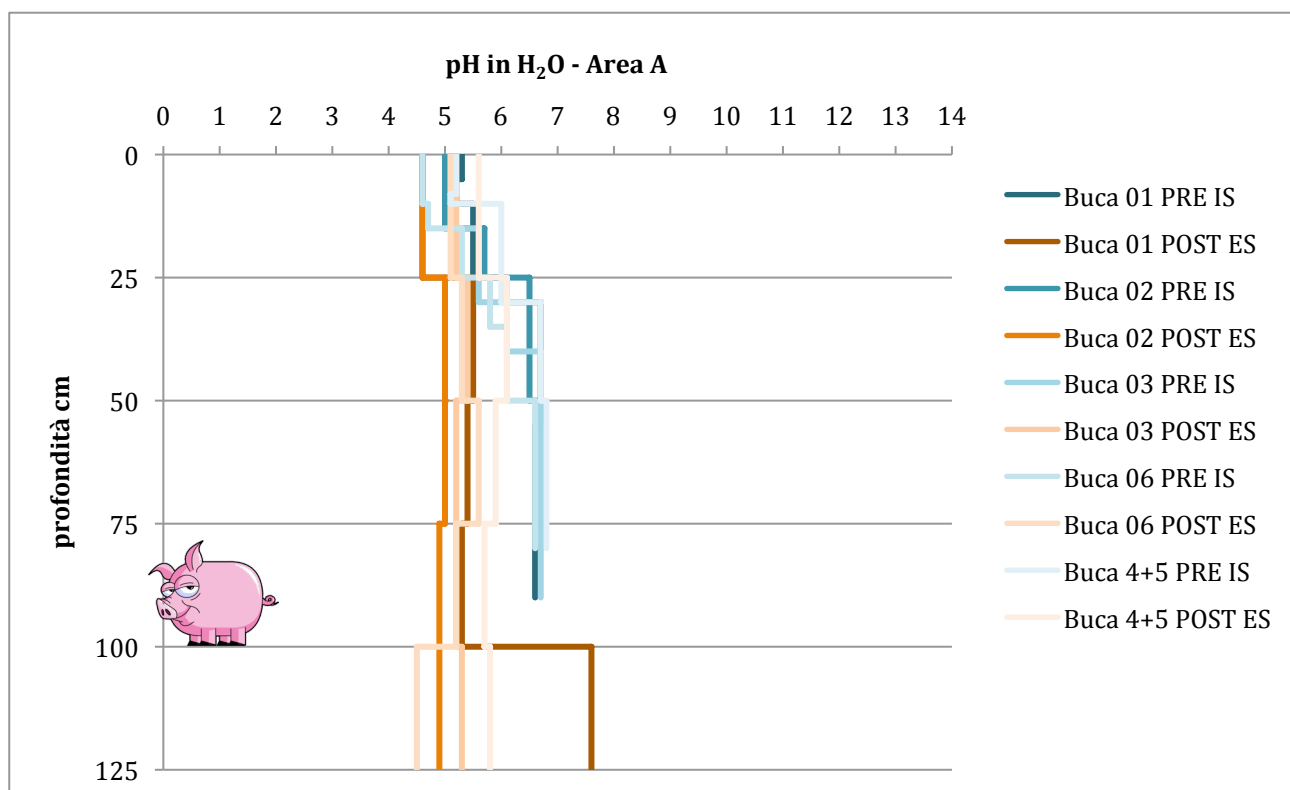


**Grafico 11** Curve granulometriche cumulative della frazione sabbiosa buca 7 area B.

limo+argilla tra 11.65 e 4.54), eccezion fatta per il campione 75-100 cm che ha un contenuto confrontabile con i valori degli orizzonti immediatamente sovrastanti relativi alla situazione Pre\_IS (ghiaia=84.05%; limo+argilla=1.50%).

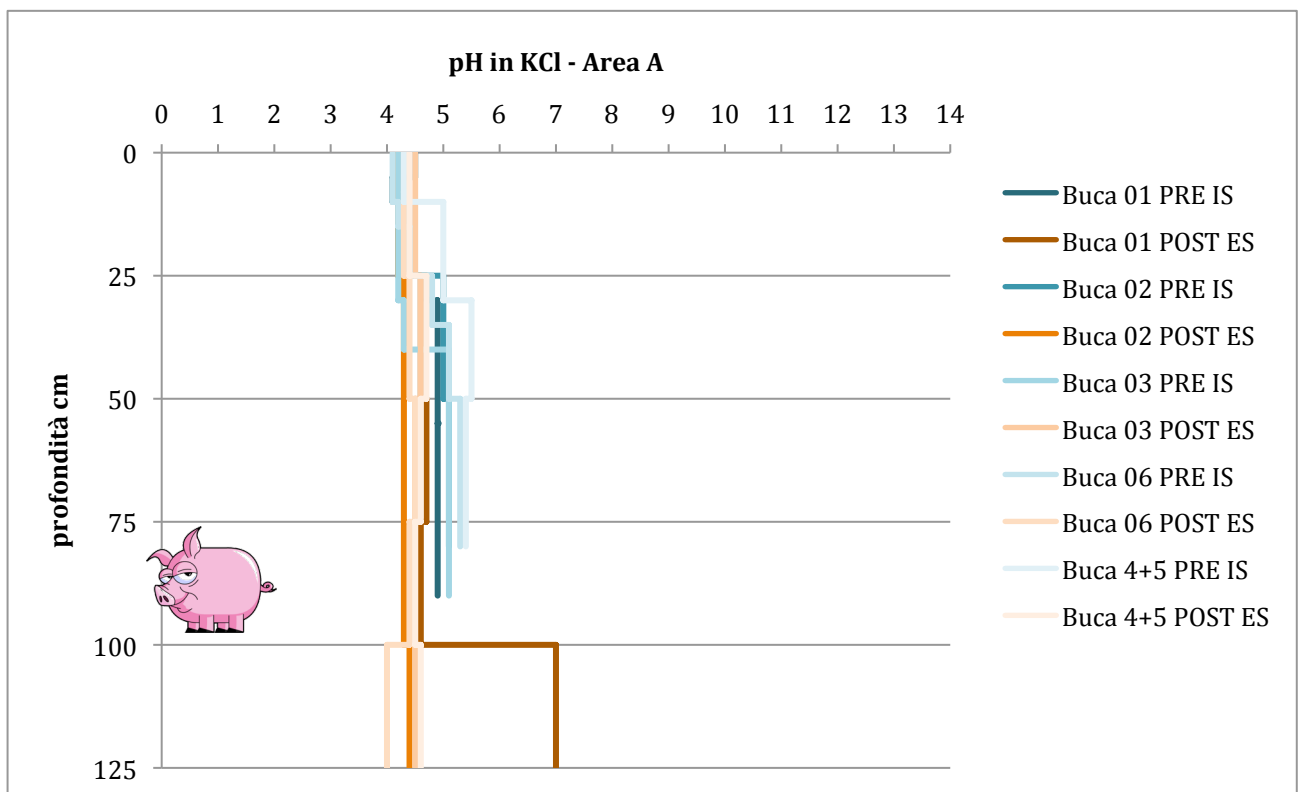
Per quanto riguarda le curve granulometriche cumulative relative alla frazione sabbiosa (Grafico 11), sono identificabili tre andamenti differenti delle stesse. L'orizzonte A ricco in materiale fine presenta una curva crescente ad andamento regolare che raggiunge il 40% di contenuto in sabbie. Invece gli orizzonti profondi C1, C2, C3 mostrano delle curve sigmoidali e valori di contenuto in sabbie oltre l'85%. Gli orizzonti Post\_ES presentano anche loro una curva sigmoidale, con un punto di flesso decisamente meno accentuato, e contenuto in sabbie inferiori all'80%. Infine l'orizzonte 75-100 cm mostra una curva esattamente sovrapponibile a quella dell'orizzonte C3, evidenziandosi nuovamente come sedimento indisturbato dalle operazioni di scavo durante le inumazioni.

## 5.2 ANALISI DEL PH



**Grafico 12** Valori di pH in acqua relativi alle profondità per tutti i campioni: Pre\_IS e Post\_ES dell'Area A.

Il grafico 12 riporta i valori di pH misurati in acqua di tutti i campioni relativi all'area A in relazione alla loro profondità di campionamento. Le linee nei toni del petrolio si riferiscono ai campioni Pre\_IS, mentre quelle nei toni del mattone a quelli Post\_ES. Il tempo è desumibile dalle linee grazie ad una trasparenza crescente direttamente correlata. E' possibile notare che tra i campioni Post\_ES nella parte dei sedimenti sussiste un'acidità leggermente più marcata. Si riscontra in essi un'alcalinizzazione dell'orizzonte sotto la carcassa entro il primo mese, seguita da un'acidificazione, come si può notare dall'andamento nel grafico (Grafico 12) della linea Post\_ES buca 02 pari a 7 mesi, acidificazione che viene mantenuta nel tempo, con minime variazioni, nelle esumazioni successive (campioni Post\_ES buche 03-13 mesi, 06-24 mesi e 4e5-30 mesi).



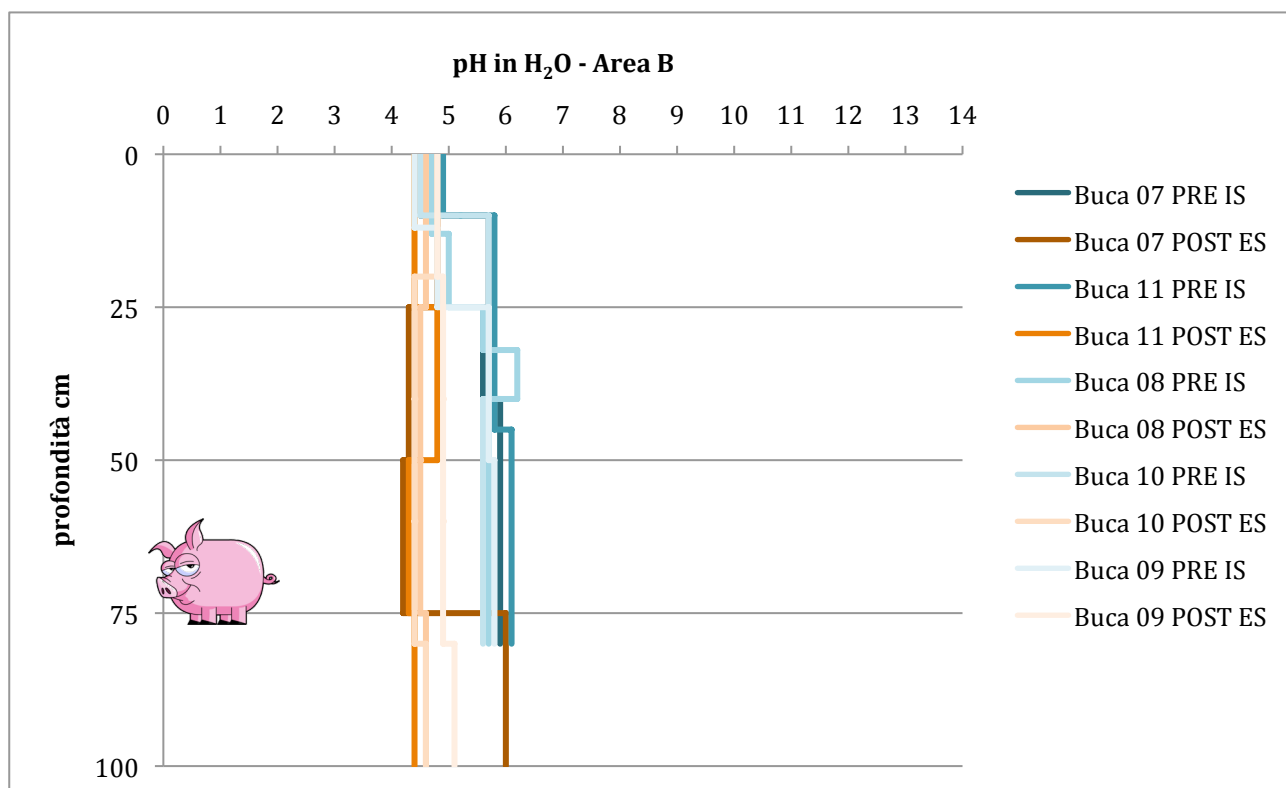
**Grafico 13** Valori di pH in KCl misurato al fondo Pre\_IS e Post\_ES ai diversi tempi di esumazione in area A

Il grafico relativo al pH misurato in KCl (Grafico 13) è analogo a quello ottenuto misurando il pH in acqua, l'andamento è simile ed i valori possiedono una differenza data dal metodo analitico. Questo permette di avvalorare la bontà della misurazione del pH in acqua.

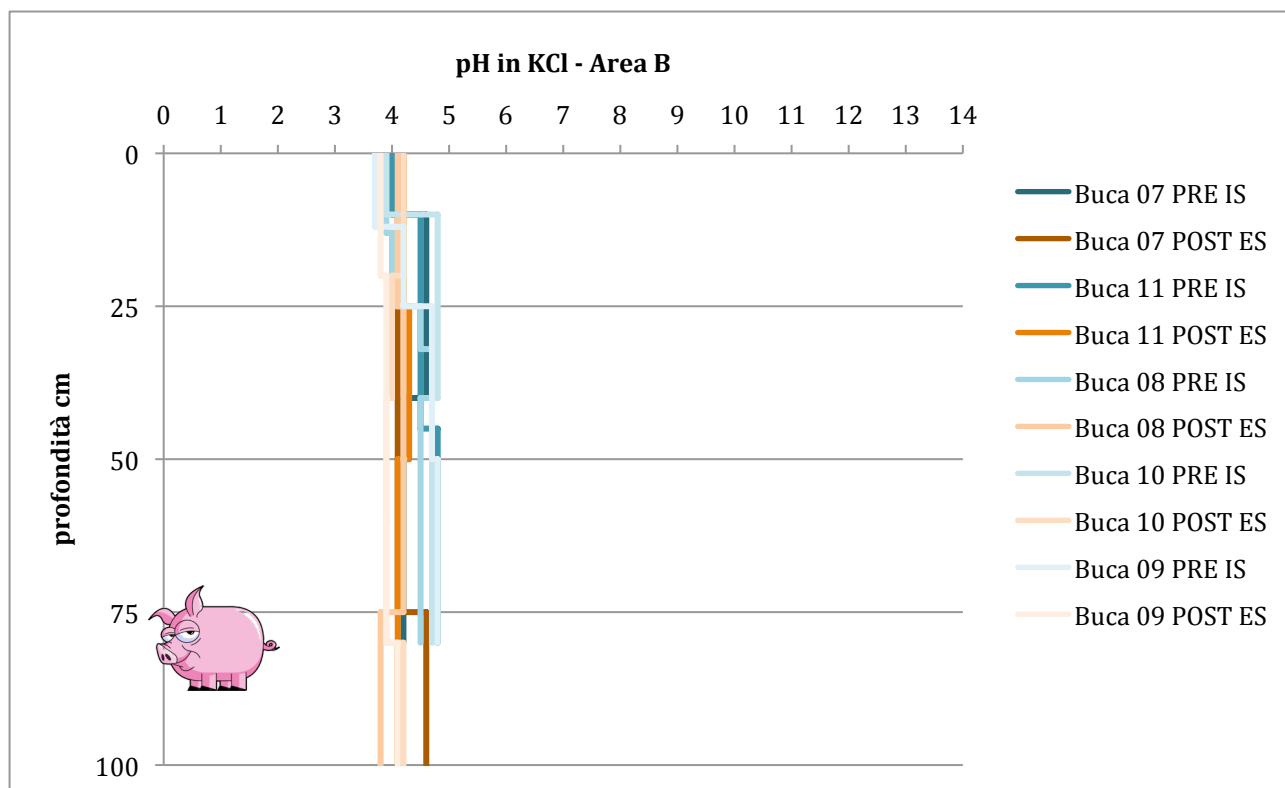
Passando ora alla valutazione del pH misurato in acqua per l'area B, si vede che in questa area i campioni Post\_ES mostrano un diffuso aumento dell'acidità già a partire dagli

orizzonti superficiali (Grafico 14). L'alcalinizzazione del campione Post\_ES buca 07 relativa all'esumazione di un mese è molto fievole mentre l'acidificazione entro i 7 mesi, campione Post\_ES buca 11, si ripropone chiaramente.

Sempre focalizzando l'attenzione sull'area B, ma considerando i valori di pH misurati in KCl, si vede che l'andamento grafico dei valori (Grafico 15) è simile seppure differente in assoluto con i valori di pH misurati in acqua nella medesima area. Indirettamente ciò fornisce un controllo sulla corretta valutazione del pH misurato in acqua.

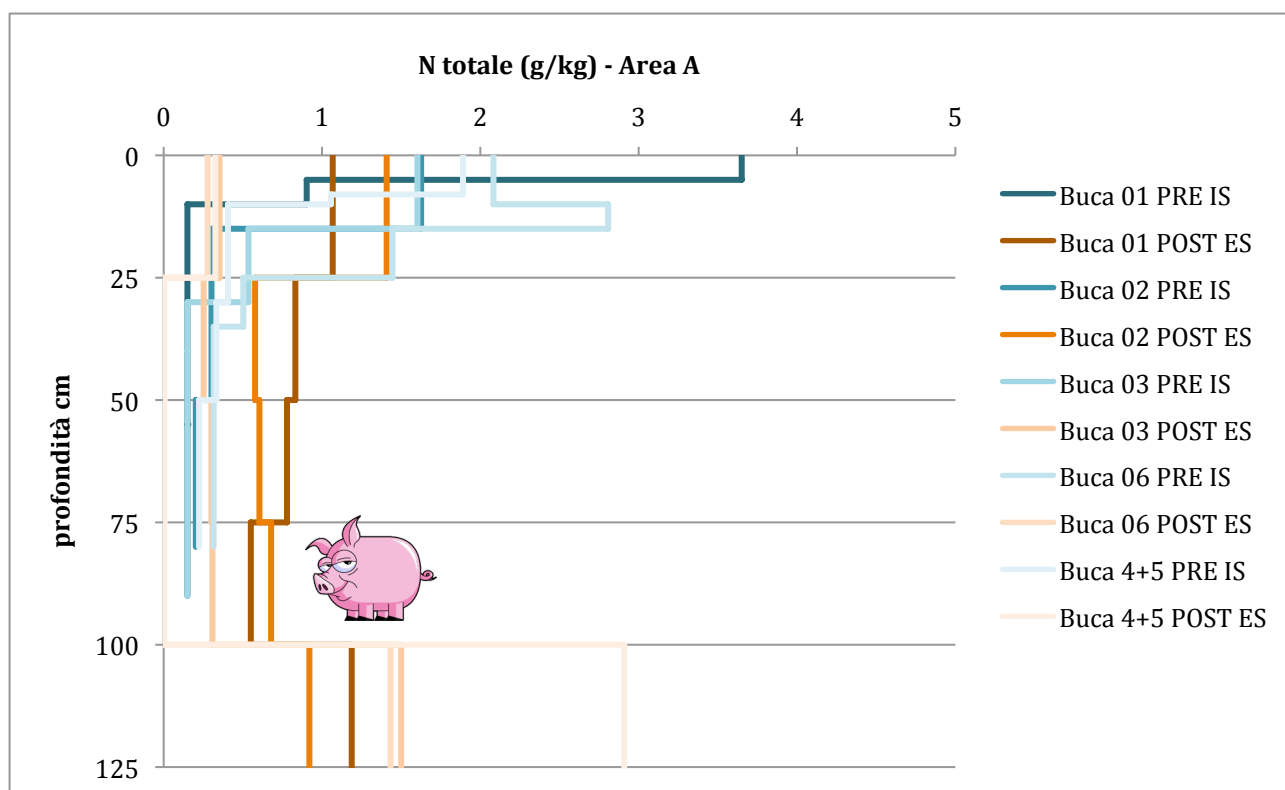


**Grafico 14** Valori di pH in acqua relativi alle profondità per tutti i campioni: Pre\_IS e Post\_ES dell'Area B.



**Grafico 15** Valori di pH in KCl misurato al fondo Pre\_IS e Post\_ES ai diversi tempi di esumazione.

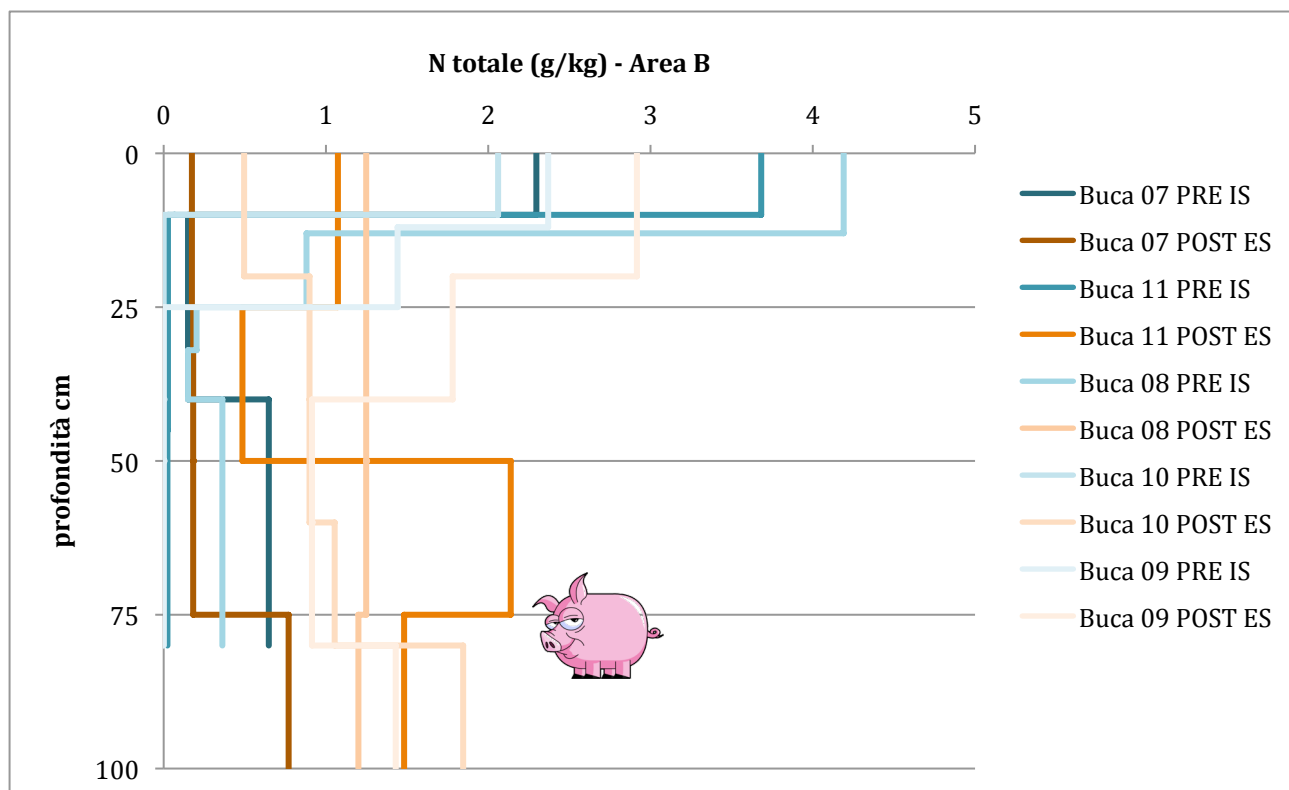
### 5.3 ANALISI DELL'AZOTO



**Grafico 16** Valori dell'N % relativi alle diverse profondità di tutti i campioni Pre\_IS e Post\_ES dell'Area A.

Nei risultati dell'analisi sul contenuto in fosforo relativa a tutti i campioni dell'area A (Grafico 16), si nota subito che i valori ottenuti per l'azoto sono molto bassi, chiaramente inferiori a 4 g/Kg. E' possibile individuare un andamento dei valori decrescente con l'aumentare della profondità (da 3.65 g/kg del campione superficiale 01 Pre\_IS a 0.15 g/kg dei campioni profondi 01 e 03 Pre\_IS) per quanto riguarda i campioni Pre\_IS rappresentati in grafico dalle linee sui toni del petrolio. Mentre il comportamento dei campioni Post\_ES (linee con toni sul mattone) non evidenzia particolarmente un comportamento analogo, ma sottolinea una lieve tendenza all'aumento nel tempo dei valori ottenuti dai campioni al di sotto della carcassa (campioni Post\_ES "sotto": buca 01=1.19 g/kg, buca 02=0.92 g/kg, buca 03=1.50 g/kg, buca 06=1.43 g/kg, buca 4e5=2.91 g/kg). In assenza di dati sperimentali per intervalli temporali più brevi di quelli della presente sperimentazione, variazioni di pochi punti decimali possono anche non essere del tutto significative. Le profondità tra i 25 cm e gli 80 cm presentano valori leggermente più elevati nei campioni Post\_ES verosimilmente a causa dell'azione di rimescolamento legato disturbo meccanico di riempimento. Tuttavia, i campioni Post\_ES raccolti sotto la carcassa mostrano valori chiaramente più alti del Pre\_IS immediatamente sovrastante (buca 4e5: 2.91 g/kg del Post\_ES contro 0.22 g/kg del Pre\_IS), ad indicare una percolazione dei liquidi putrefattivi che arricchiscono il suolo nel contenuto di azoto. Alla luce di queste supposizioni suffragate dai risultati ottenuti, si può ipotizzare che l'azoto subisca un accumulo nel tempo e che probabilmente esiste una soglia di rilevabilità oltre la quale la leggibilità ed attendibilità del dato risulta affidabile.

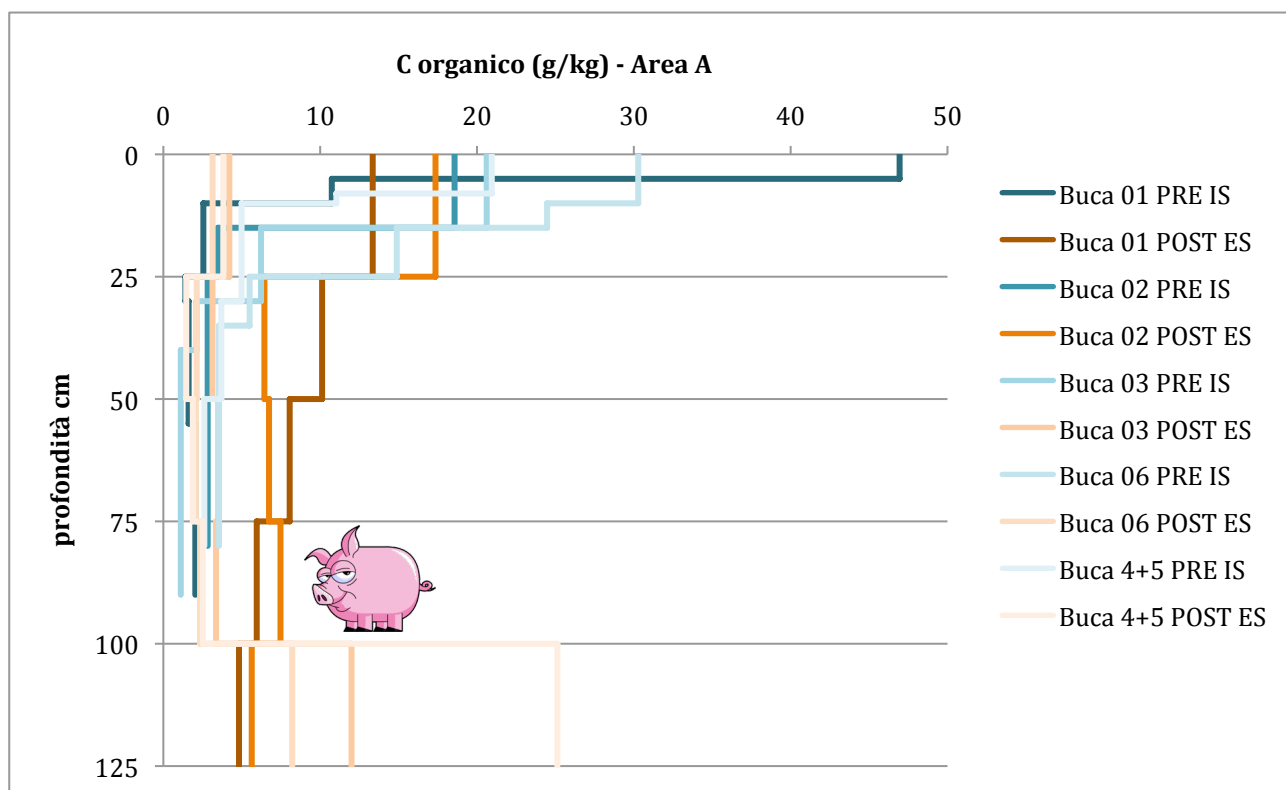
Il grafico 17 relativo al contenuto in azoto dei campioni Pre\_IS e Post\_ES nell'area B evidenzia che i campioni presentano sempre valori piuttosto bassi, analogamente a quanto visto per l'area A, tuttavia i campioni Pre\_IS di tutte le buche presentano valori più elevati per quanto riguarda l'orizzonte superficiale. Questo maggior contenuto in azoto è imputabile agli orizzonti organici superficiali. Anche in questo caso, come per l'area A, al di sotto degli orizzonti organici fino alla profondità della carcassa i valori Post\_ES (valori intorno all'1.00 g/kg) sono lievemente più alti dei relativi Pre\_IS (valori nulli o di poco sopra lo zero), anche se in concomitanza dell'orizzonte ospitante la carcassa si notano incrementi inattesi del contenuto in azoto (in particolare per la buca 11, 7 mesi: 2.14 g/kg). Si ipotizza dunque che questo fenomeno sia in qualche modo correlabile alla vegetazione *in situ*, anche perché quando sono



**Grafico 17** Valori dell'N % relativi alle diverse profondità di tutti i campioni Pre\_IS e Post\_ES dell'Area B.

state riesumate le carcasse, sono state trovate numerose radici appartenenti agli arbusti ed agli alberi dell'area. I campioni Post\_ES raccolti sotto la carcassa, infine, evidenziano tenori in azoto più elevati (buca 10=1.85 g/kg, buca 11=1.48 g/kg, buca 8=1.20 g/kg) dei corrispondenti Pre\_IS ed in generale sembrano coerenti con un accumulo di azoto nel tempo al di sotto della carcassa come discusso per l'area A.

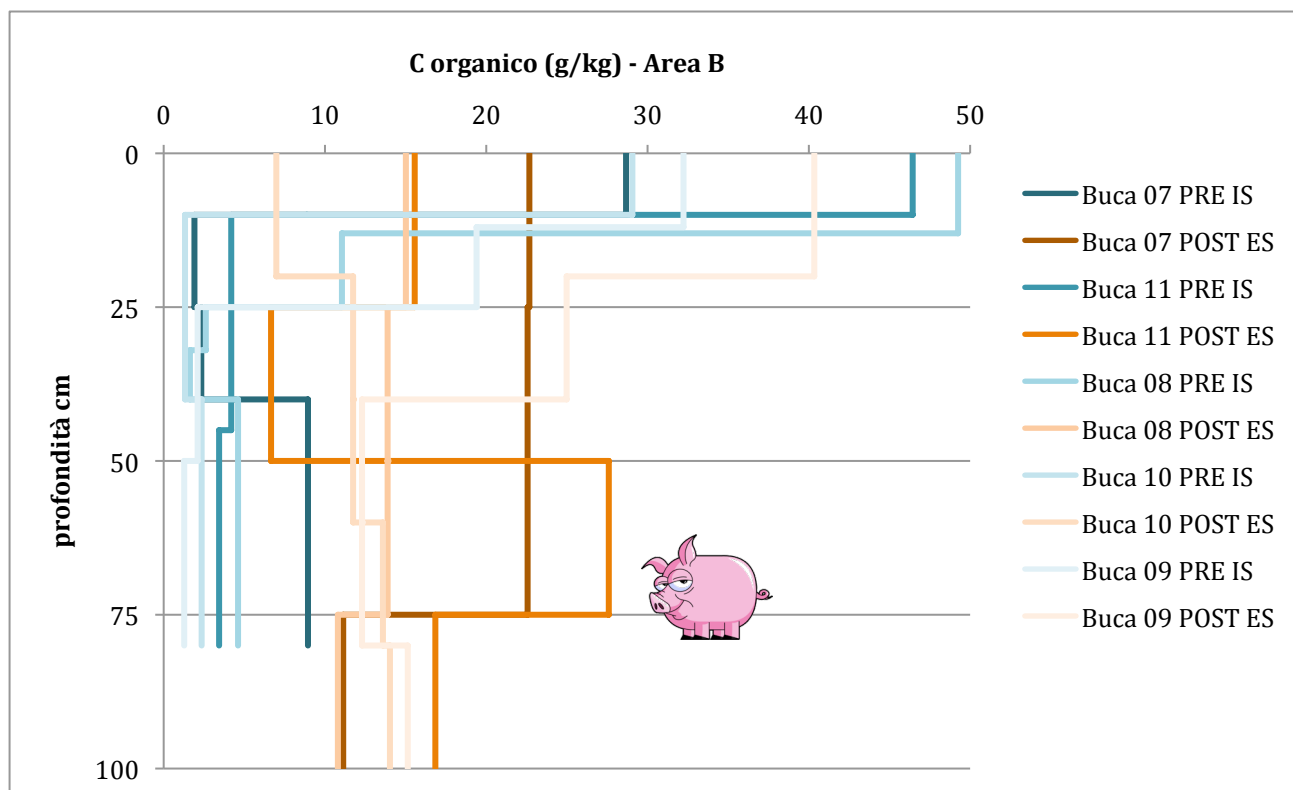
## 5.4 ANALISI DEL CARBONIO



**Grafico 18** Valori del C % relativi alle diverse profondità di tutti i campioni Pre\_IS e Post\_ES dell'Area A.

Affrontando ora i valori del contenuto in carbonio organico relativi all'area A si nota che essi sono numericamente più elevati di quelli dell'azoto, ma presentano un trend simile a quest'ultimo (Grafico 18). Gli orizzonti superficiali Pre\_IS sono molto più ricchi in carbonio di quanto non lo siano i corrispondenti orizzonti profondi (valori da 18.57 g/kg a 46.95 g/kg). Per quanto riguarda i campioni Post\_ES, essi possiedono valori superiori o coincidenti ai relativi Pre\_IS ed in generale più omogenei scendendo in profondità, questo a causa dell'azione di rimescolamento legato allo scavo. E' interessante notare che i valori dei campioni raccolti sotto la carcassa mostrano un accumulo progressivo nel tempo che risulta più evidente per le esumazioni effettuate dopo un intervallo di tempo superiore all'anno. Anche in questo caso, come per l'azoto, è possibile ipotizzare una soglia temporale oltre la quale il quantitativo di carbonio organico può diventare significativo e utilizzabile con un grado di bontà usufruibile in qualità di evidenza.

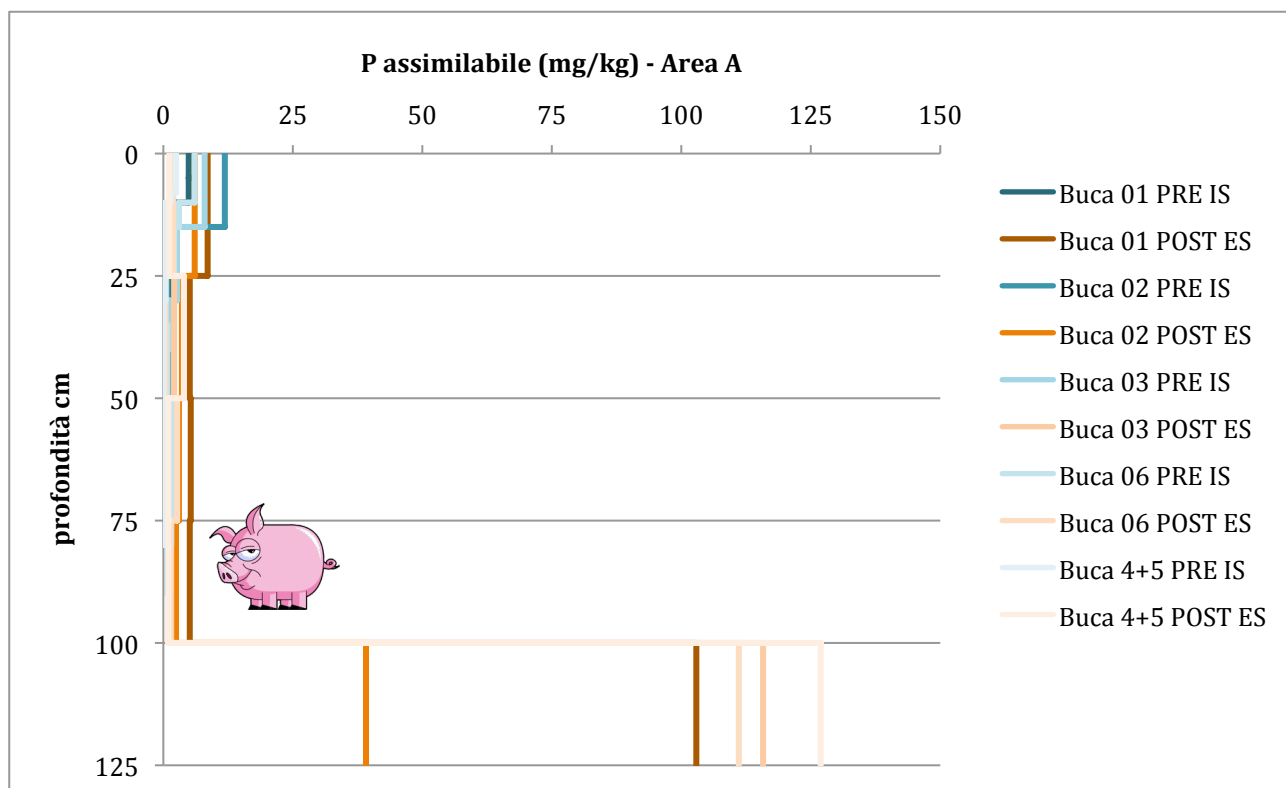




**Grafico 19** Valori del C % relativi alle diverse profondità di tutti i campioni Pre\_IS e Post\_ES dell'Area B.

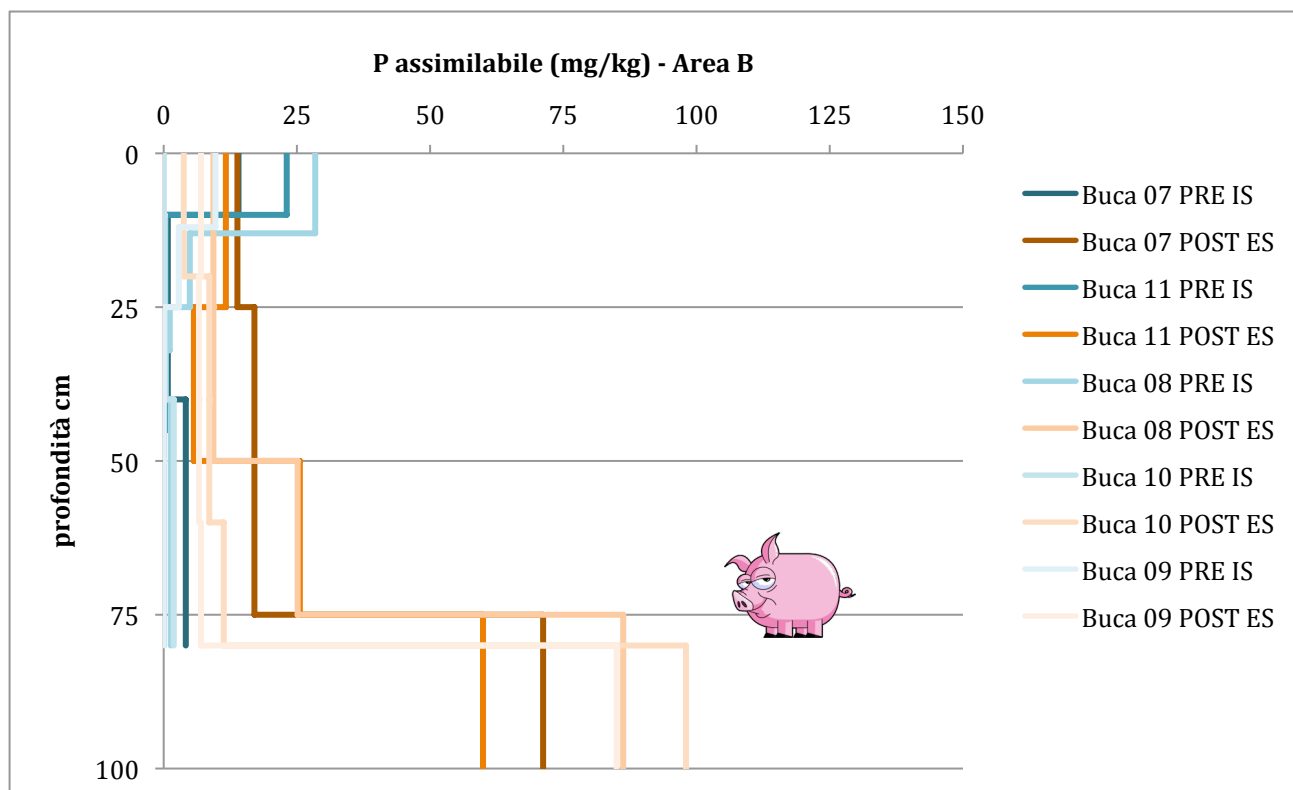
Il grafico 19 che espone i risultati del contenuto in carbonio organico di tutti i campioni relativi all'area B, enfatizza l'alto tenore in carbonio organico a carico degli orizzonti superficiali Pre\_IS (valori da 28.67 g/kg a 49.25 g/kg), la sua diminuzione negli orizzonti profondi Pre\_IS (valori da 1.27 g/kg a 8.95 g/kg), un generale effetto di omogeneizzazione dovuta al rimescolamento del materiale di riempimento nei campioni Post\_ES sopra la carcassa ed il trend di accumulo nel tempo del carbonio organico nei campioni Post\_ES al di sotto della carcassa (valori da 10.80 g/kg a g/kg16.84). Si discostano da questa tendenza generale i campioni Post\_ES immediatamente sovrastanti ed adiacenti alla carcassa, per i quali si può ipotizzare un ruolo attivo svolto dalla presenza abbondante di radici, nonché il campione superficiale Post\_ES dell'ultima esumazione che mostra valori di carbonio organico del tutto corrispondenti a quelli dei Pre\_IS, dipendente dal metabolismo del suolo e dal turn-over della sostanza organica che dopo trenta mesi mostrano i primi segni di ristabilizzazione dell'equilibrio preesistente al tempo zero.

## 5.5 ANALISI DEL FOSFORO ASSIMILABILE



**Grafico 20** Valori del fosforo assimilabile Pre\_IS e Post\_ES per l'area A in relazione al tempo di esumazione.

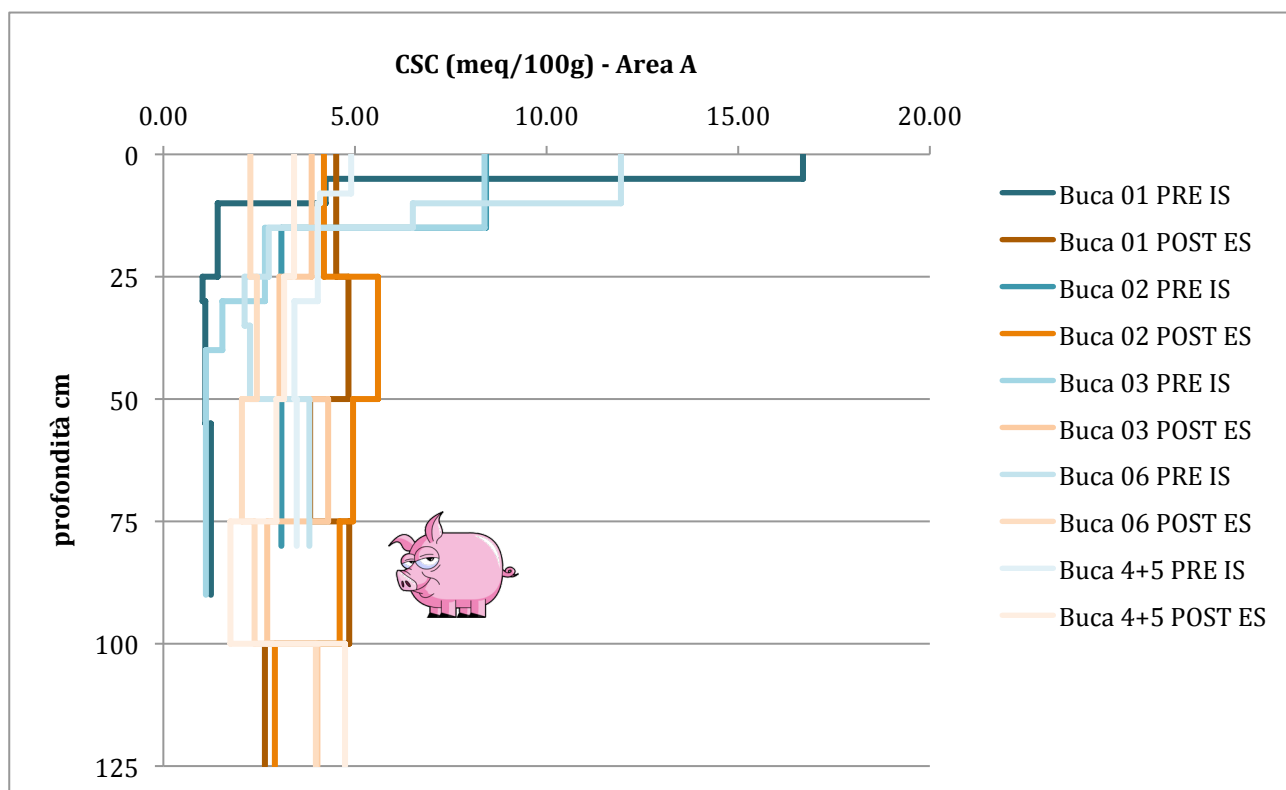
Nel grafico 20 sono riportati i valori del fosforo assimilabile per tutti i campioni dell'area A, da questi si possono evidenziare valori alti (11.87 mg/kg) del fosforo dovuti agli orizzonti superficiali organici che presentano turn-over normale della sostanza organica, mentre negli orizzonti più profondi il fosforo assimilabile ha valori pressoché nulli nei campioni Pre\_IS e valori leggermente più alti dovuti al disturbo meccanico nei campioni Post\_ES. Grande importanza hanno invece i campioni Post\_ES raccolti al di sotto della carcassa: tutti i campioni presentano valori estremamente più elevati (fino a 126.92 mg/kg del Post\_ES buca 4e5) tranne il campione Post\_ES buca 02, 7 mesi (39.13 mg/kg), che comunque ha un valore più elevato di tutti i Pre\_IS e Post\_ES superiori corrispondenti. Tale aumento è imputabile all'apporto che i liquidi putrefattivi forniscono al suolo in termini di nutrienti.



**Grafico 21** Valori del fosforo assimilabile Pre\_IS e Post\_ES per l'area B in relazione al tempo di esumazione.

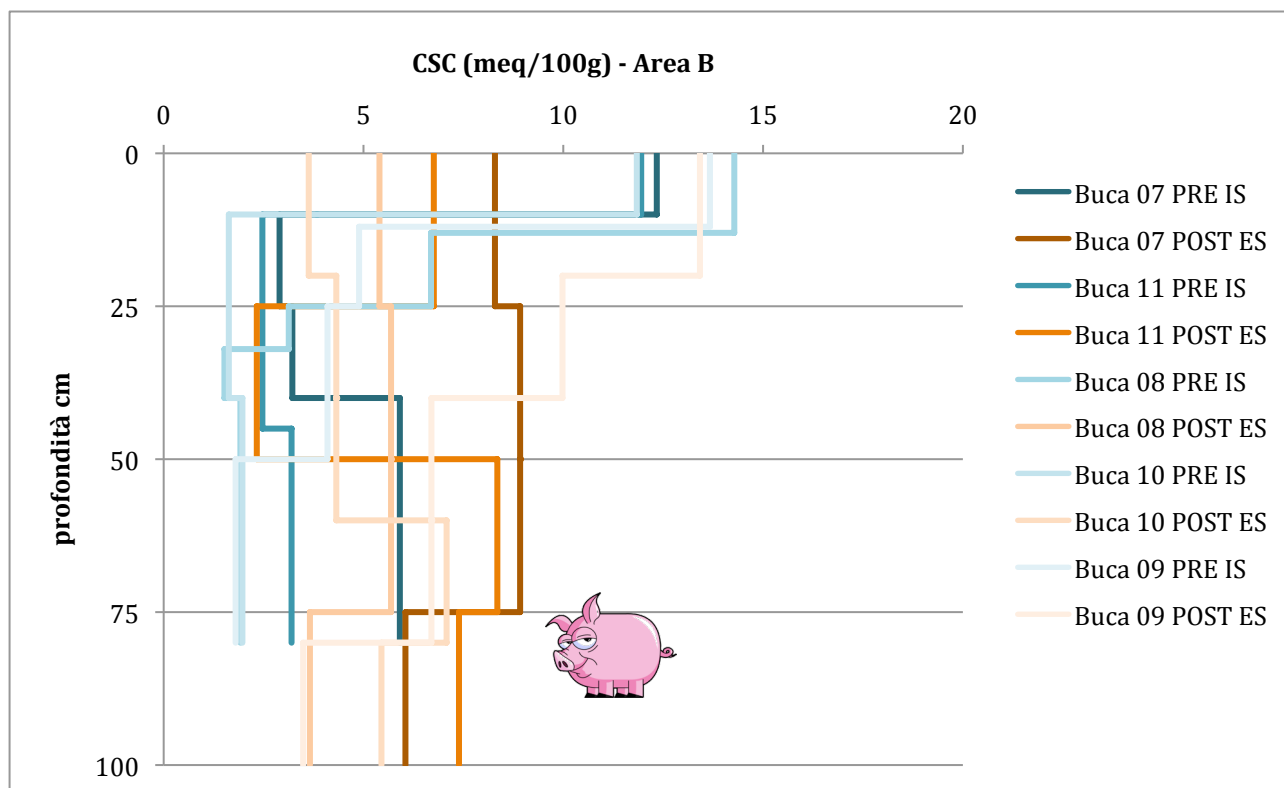
Per quanto riguarda l'area B (Grafico 21) la situazione si presenta analoga a quanto visto per l'area A. Sussistono valori elevati negli orizzonti superficiali, che diminuiscono in profondità nei campioni Pre\_IS o si mantengono pressoché costanti nei campioni Post\_ES, eccezione fatta per alcuni campioni Post\_ES campionati nell'orizzonte entro il quale vi era sepolta la carcassa, i quali mostrano valori lievemente maggiori (intorno ai 25 mg/kg). Per quanto riguarda i campioni raccolti sotto la carcassa è più che evidente l'aumento dei valori già evidenziato per l'area A (valore massimo: 98.03 mg/kg).

## 5.6 ANALISI DELLA CAPACITA' DI SCAMBIO CATIONICO



**Grafico 22** Capacità di scambio cationico per l'area A in relazione al tempo.

Prendendo in considerazione i grafici relativi alla capacità di scambio cationico per entrambe le aree A e B (Grafici 22 e 23) si può affermare che la tendenza grafica è media per gli orizzonti organici e bassa per quelli profondi e per tutti i Post\_ES, tranne che per il campione superficiale buca 09, 30 mesi, che sembra tornare ad un equilibrio con l'ambiente circostante. Si nota come la variabilità dei valori dei Pre\_IS all'interno del medesimo profilo, quindi la variabilità verticale, sia talmente ampia da impedire un corretto uso dell'analisi nella valutazione e comparazione con i campioni Post\_ES che a loro volta manifestano tale variabilità verticale; inoltre, confrontando buche adiacenti nella medesima area il parametro analitico fornisce valori contraddittori o quantomeno altamente variabili (variabilità orizzontale). Il motivo di ciò è da ricercare nella

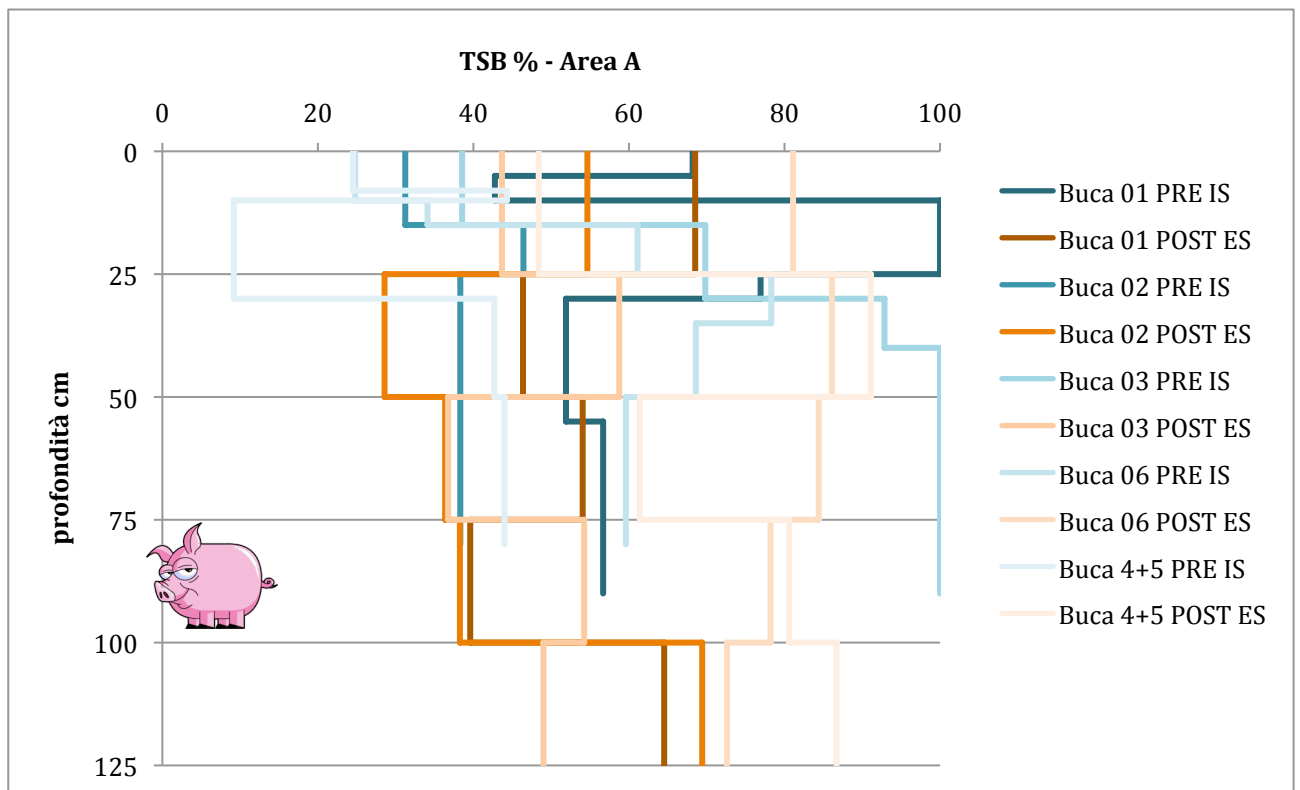


**Grafico 23** Capacità di scambio cationico per l'area A in relazione al tempo.

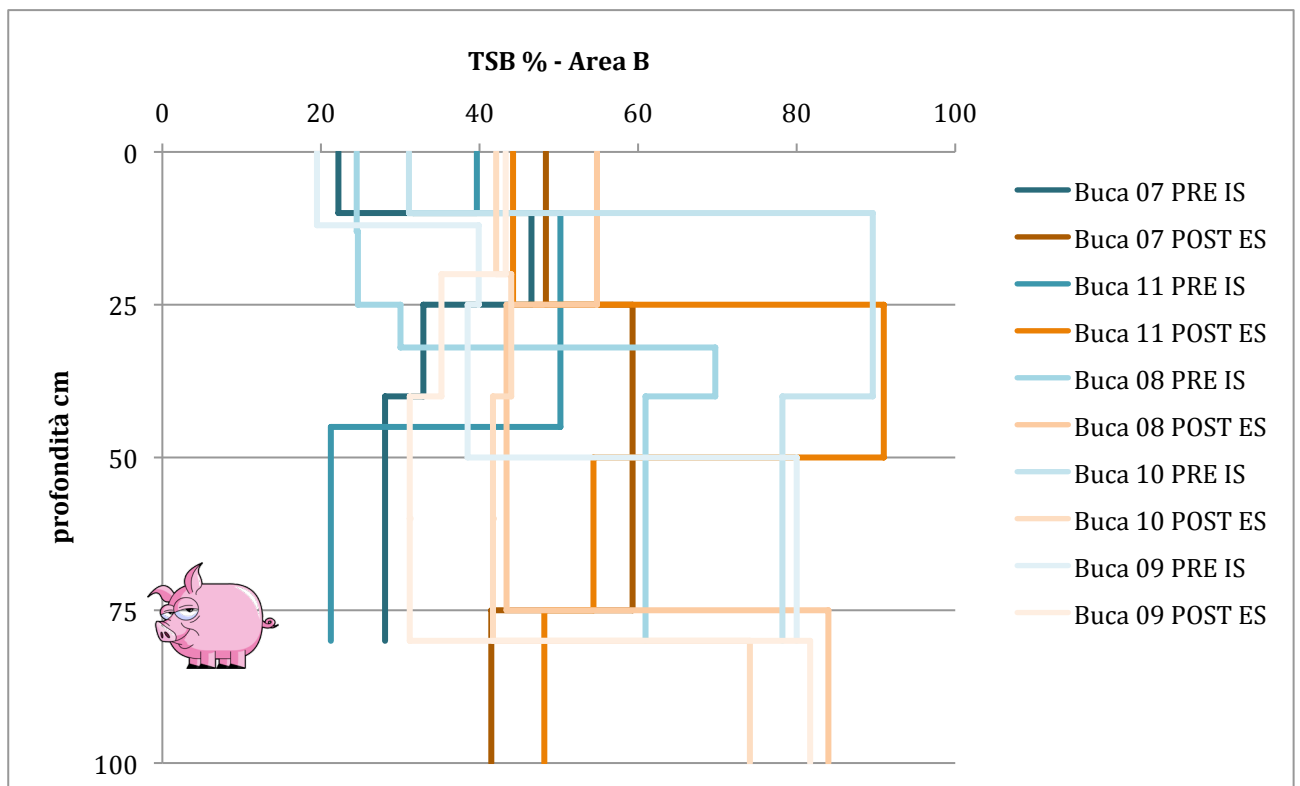
complessità del parametro utilizzato (vedi Cap. 3 Metodi Analitici). In generale si può affermare che la maggior parte dei campioni Post\_ES mostra un minor grado di variabilità verticale imputabile all'omogeneizzazione derivante dallo scavo; nei medesimi la variabilità orizzontale si presenta comunque elevata.

## 5.7 TASSO DI SATURAZIONE IN BASI

Se la capacità di scambio cationico è risultato per questa sperimentazione un parametro poco significativo, il tasso di saturazione in basi è oltremodo di scarsa applicazione. La sua variabilità verticale ed orizzontale sia per tutti i campioni Pre\_IS sia per tutti i campioni Post\_ES (Grafici 24 e 25) è tale da impedire qualsivoglia interpretazione. Anche in questo caso la motivazione di ciò risiede nella complessità intrinseca del parametro stesso (vedi Cap. 3 Metodi Analitici).



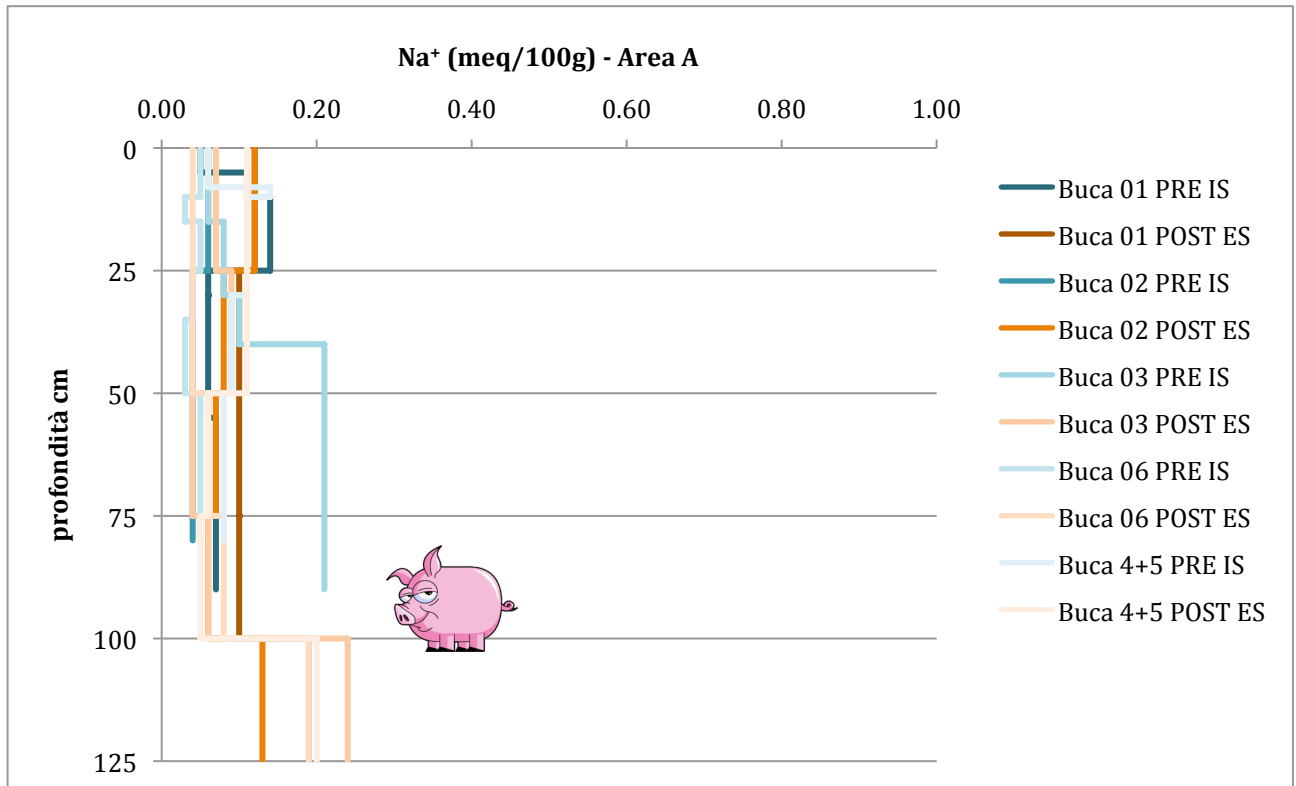
**Grafico 24** Tasso di saturazione in basi per l'area A in relazione al tempo.



**Grafico 25** Tasso di saturazione in basi per l'area B in relazione al tempo.

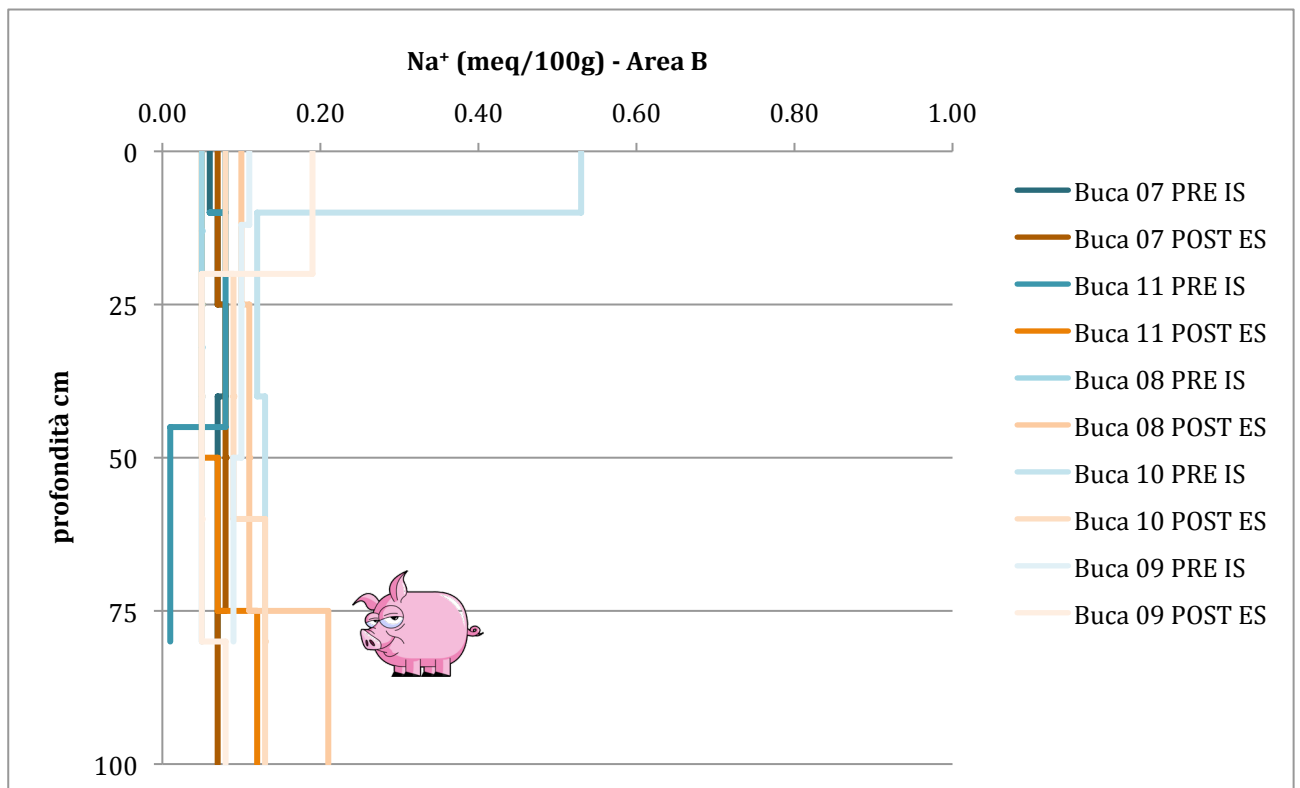
## 5.8 CONTENUTO IN IONE SODIO ADSORBITO

A questo punto, dopo aver affrontato e presentato i dati relativi ai due parametri sintetici quali sono la CSC e la TSB, vengono qui di seguito mostrati e brevemente discussi i parametri analitici, ovvero le singole basi.



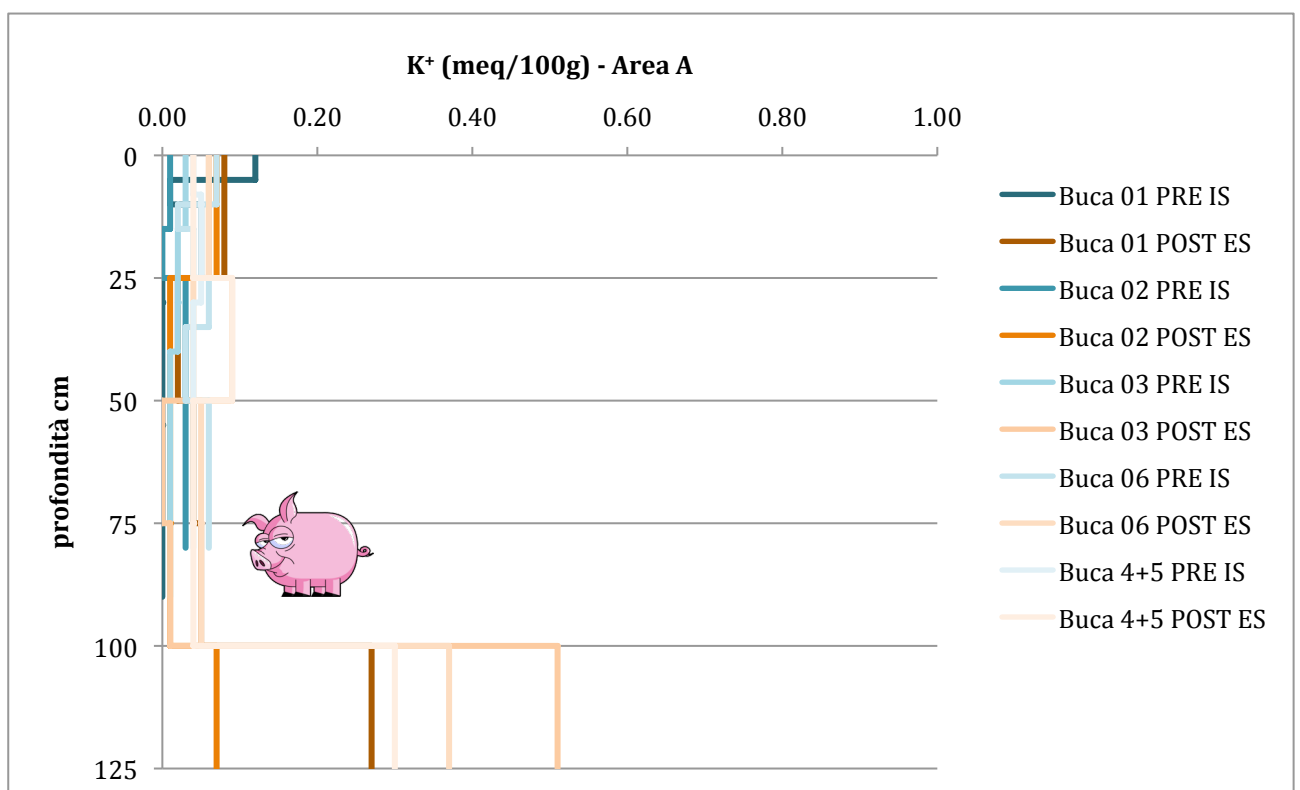
**Grafico 26** Contenuto in ione Na<sup>+</sup> per l'area A in relazione al tempo.

Per quanto riguarda lo ione sodio (Na<sup>+</sup>) si riscontrano ubiquitariamente, sia in area A che in area B, valori estremamente bassi (mediamente 0,10 meq/100g) che ne inficiano l'applicabilità in ambito forense (Grafici 26 e 27). In generale l'unica tendenza evidente ma da verificare con analisi più puntuali è un incremento del contenuto di tale ione nei campioni Post\_ES raccolti sotto la carcassa.



**Grafico 27** Contenuto in ione Na<sup>+</sup> per l'area B in relazione al tempo.

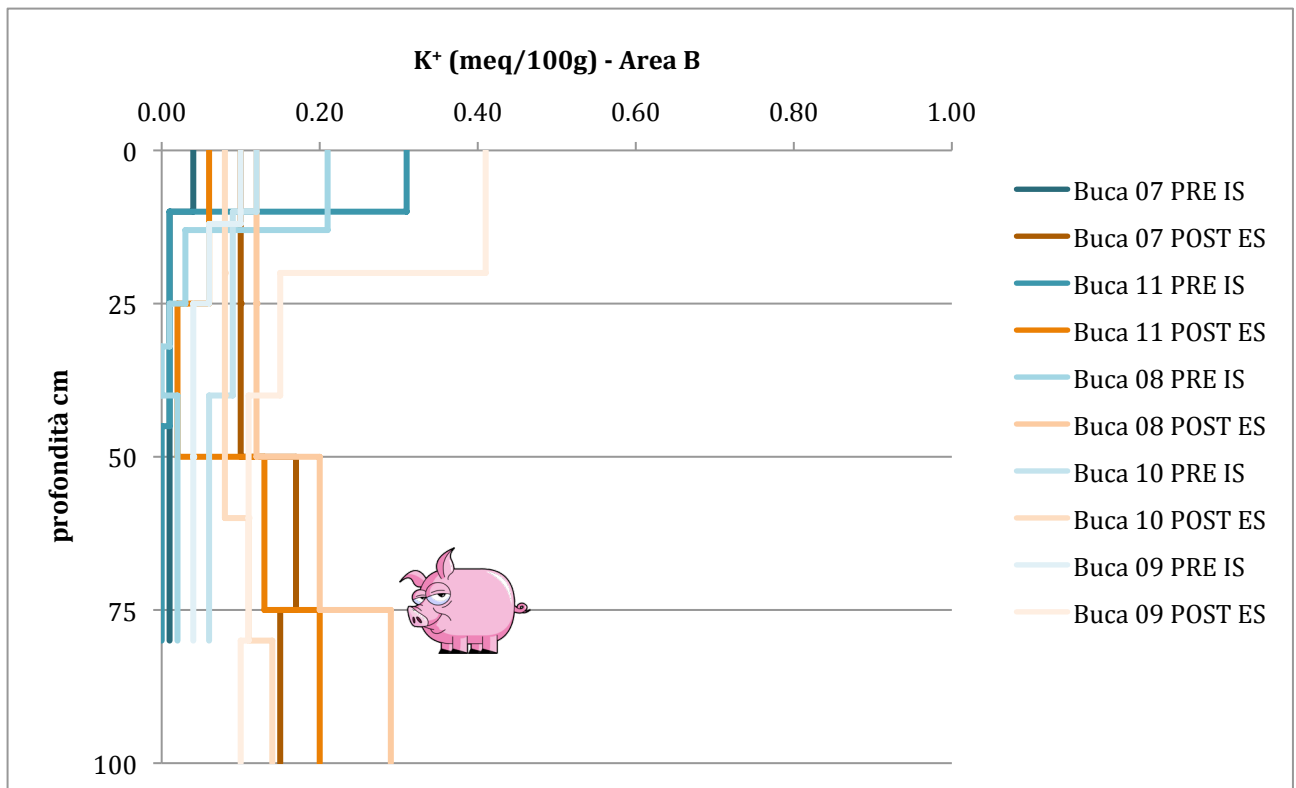
## 5.9 CONTENUTO IN IONE POTASSIO ADSORBITO



**Grafico 28** Contenuto in ione K<sup>+</sup> per l'area A in relazione al tempo.



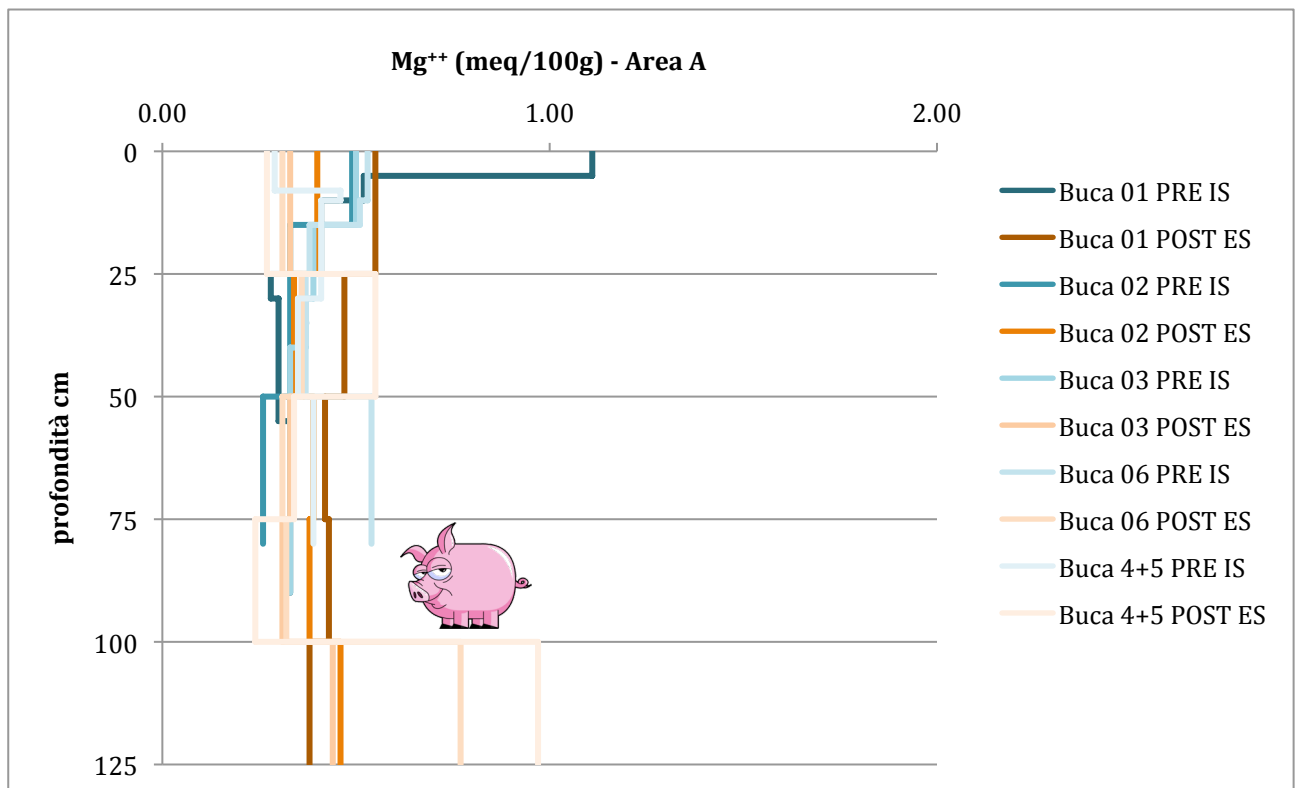
Per quanto riguarda lo ione potassio ( $K^+$ ) i valori permangono estremamente bassi (mediamente attorno a 0.10 meq/100g) in entrambe le aree come per lo ione sodio e pertanto anche questo parametro si rivela identicamente di scarsa applicabilità in ambito forense (Grafici 28 e 29). In generale si nota una tendenza marcata all'incremento del contenuto di tale ione nei campioni Post\_ES raccolti sotto la carcassa, ma da verificare con analisi più puntuali.



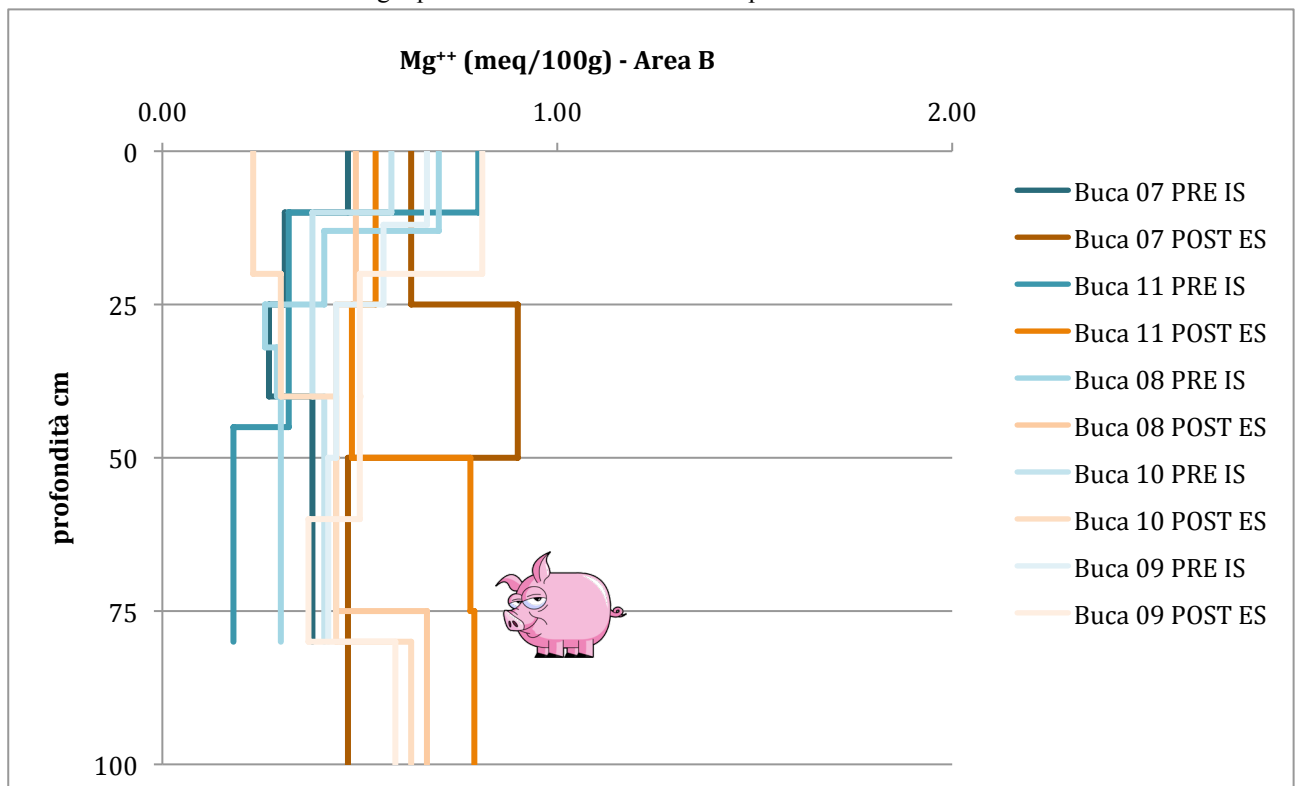
**Grafico 29** Contenuto in ione  $K^+$  per l'area B in relazione al tempo.

## 5.10 CONTENUTO IN IONE MAGNESIO ADSORBITO

Per quanto riguarda lo ione magnesio ( $Mg^{++}$ ) si ripropongono valori estremamente bassi (mediamente attorno allo 0.50 meq/100g) sia in area A che in area B. Risulta altresì meno evidente l'incremento dello ione nei campioni Post\_ES raccolti sotto la carcassa (Grafici 30 e 31).



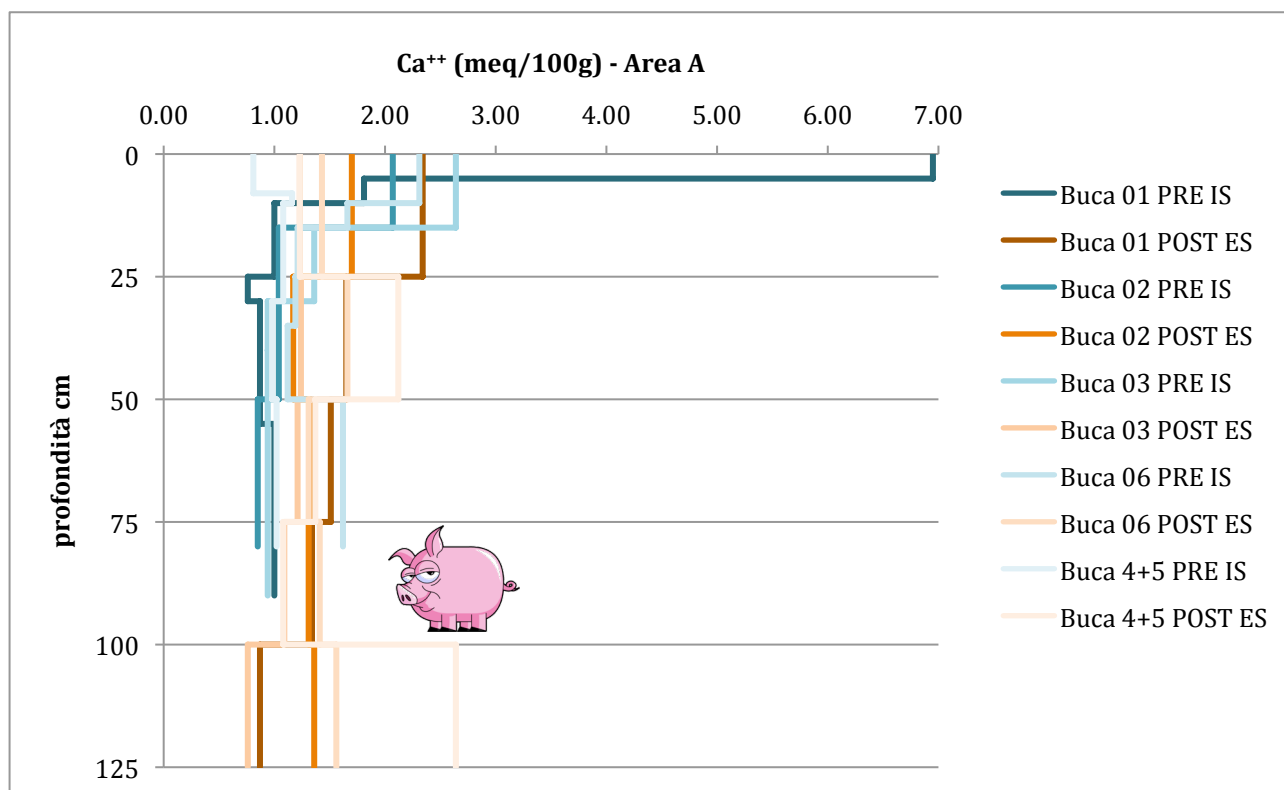
**Grafico 30** Contenuto in ione Mg<sup>++</sup> per l'area A in relazione al tempo.



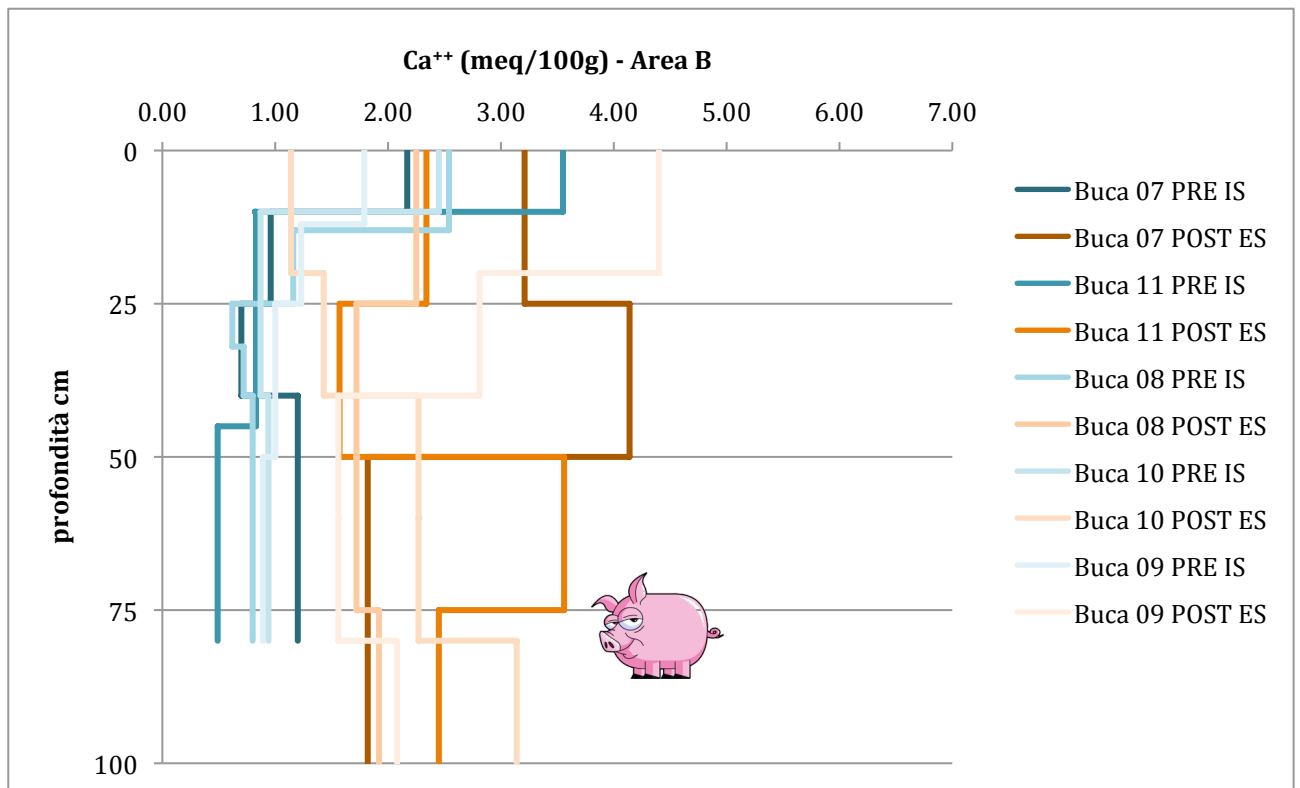
**Grafico 31** Contenuto in ione Mg<sup>++</sup> per l'area B in relazione al tempo.

## 5.11 CONTENUTO IN IONE CALCIO ADSORBITO

Lo ione calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) presenta valori assoluti maggiori (mediamente attorno a 1.50 meq/100g per l'area A e 2.50 meq/100g pwe l'area B) degli altri ioni fino ad ora considerati. In generale per l'area A (Grafico 32) si hanno valori più alti (fino a 6.95 meq/100g) per gli orizzonti organici superficiali rispetto ai rispettivi orizzonti profondi. Per quanto riguarda i campioni Post\_ES i valori risultano più omogenei per tutto il riempimento della buca a causa del solito effetto di disturbo meccanico di scavo. Non vi è un trend univoco di aumento/diminuzione dei valori Post\_ES relativi ai campioni raccolti sotto la carcassa.



**Grafico 32** Contenuto in ione  $\text{Ca}^{++}$  per l'area A in relazione al tempo.



**Grafico 33** Contenuto in ione Ca<sup>++</sup> per l'area B in relazione al tempo.

Esaminando il comportamento dello ione calcio (Ca<sup>++</sup>) nell'area B (Grafico 33) si nota come per i campioni Pre\_IS la situazione sia analoga a quanto visto nell'area A, ovvero valori più alti (da 1.79 a 3.55 meq/100g) a carico degli orizzonti organici superficiali e più bassi (al di sotto di 1.50 meq/100g) nei rispettivi orizzonti profondi. Viceversa, i campioni Post\_ES mostrano perlopiù valori molto più alti dello ione calcio se comparati con i corrispondenti Pre\_IS sia sopra, sia in corrispondenza, sia sotto la carcassa. Questo induce a pensare ancora una volta il non trascurabile ruolo attivo svolto dalla vegetazione nell'area B (vedi capitolo risultati vegetazionali e risultati dell'esame esterno delle carcasse).

## 5.12 ANALISI DEGLI ACIDI GRASSI VOLATILI (AGV)

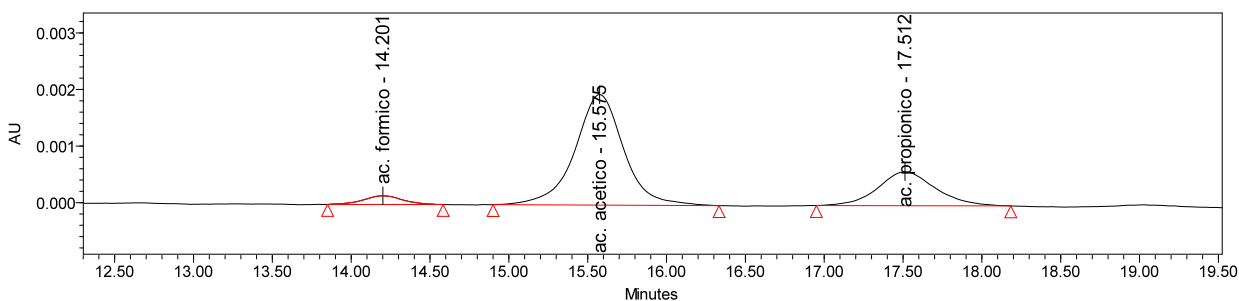
L'analisi degli Acidi Grassi Volatili è stata effettuata su tutti i campioni raccolti durante le cinque esumazioni. O meglio, i campioni relativi alle prime due esumazioni non sono stati tempestivamente congelati per una opportuna conservazione tale per cui l'estrazione dei relativi AGV non è stata purtroppo possibile. Dalla terza esumazione i campioni sono stati congelati a distanza di poche ore dal loro campionamento, tuttavia, a causa della necessità di acquistare gli standard, necessari per l'analisi tramite HPLC, costosi, si è deciso di attendere la fine delle esumazioni per poter utilizzare un solo set di standard di riferimento per la corsa di tutti i campioni. Questa mancanza di mezzi economici ha avuto ripercussioni sulle analisi, poiché i campioni relativi alla terza esumazione si sono deteriorati a causa del tempo intercorso tra campionamento ed analisi. Infine, i campioni relativi alla quarta (24 mesi) e quinta (30 mesi) esumazione sono stati estratti ed analizzati: questi hanno dato buoni risultati che vengono di seguito esposti e commentati.

Prima di passare ai risultati però, si vuole portare l'attenzione a quanto accaduto ai campioni a causa della loro non corretta conservazione e del loro deterioramento dovuto alla prolungata conservazione (Gale & Hoare, 1991). I campioni che devono essere sottoposti ad analisi HPLC per la ricerca degli AGV pongono una difficoltà in materia di immagazzinamento, poiché vanno raccolti, posti in contenitori a tenuta stagna e congelati entro 3-5 ore dal loro campionamento. Inoltre, per lunghi periodi di stoccaggio, anche il congelamento si rivela essere inefficace per preservare gli AGV dal deterioramento e dalla scomparsa nel campione stesso.

Una breve precisazione va fatta tuttavia, sempre per la terza esumazione, ossia per il campionamento effettuato a 12 mesi. Nel campione "sotto maiale" relativo all'area B dei 12 mesi e solo in questo, sono state ritrovate tracce, ovvero picchi, ascrivibili agli acidi grassi volatili butirrico ed isobutirrico, benché i risultati forniti dall'analisi HPLC non possano essere ritenuti di valido utilizzo poiché quantitativamente non significativi. Come si vedrà più avanti, questi due specifici acidi grassi volatili non si riscontrano nei successivi campioni relativi alle sepolture prolungate di 24 e 30 mesi. Solo una nuova sperimentazione in futuro potrà meglio chiarire se questi due AGV non sono più riscontrabili entro il medesimo suolo dopo un tempo limite e se prima di tale tempo limite essi possano essere ritenuti di valido aiuto per la stima del tempo intercorso dal seppellimento.

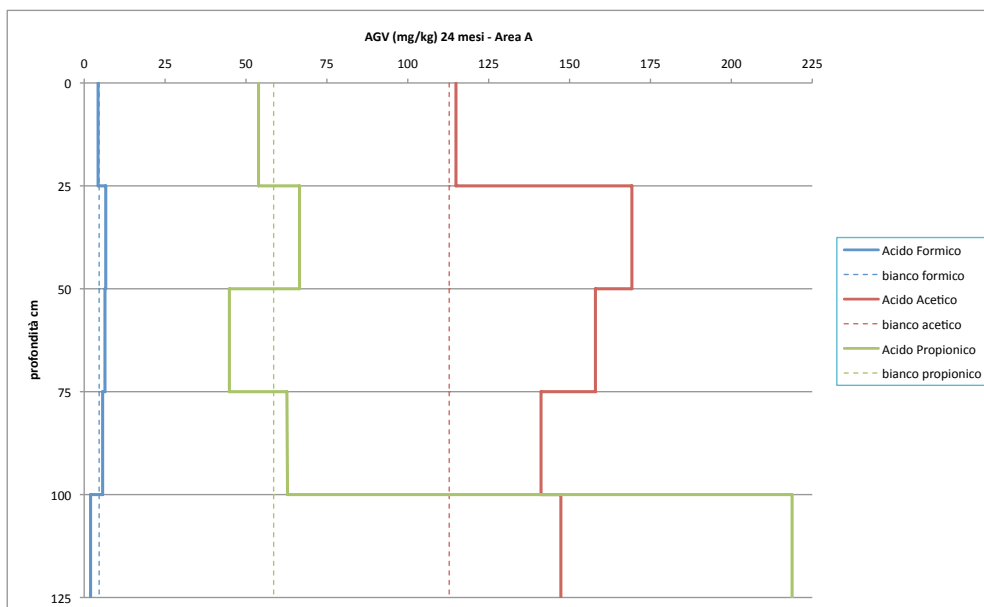
Detto ciò, sono di seguito riportati i risultati dei campionamenti a 24 e 30 mesi sotto forma grafica, per i quali i dati numerici sono riportati in Appendice A.

L'estrazione degli AGV dai suoli dopo 24 e 30 mesi dalla sepoltura delle carcasse di maiale nell'area prato-A e bosco-B della zona Parco del Ticino ha messo in evidenza la presenza di tre diversi composti presenti in tutti i campioni: acido formico, acetico e propionico. Un tipico cromatogramma ottenuto viene riportato in fig. 16.



**Fig. 16** Tipico cromatogramma degli estratti dai campioni

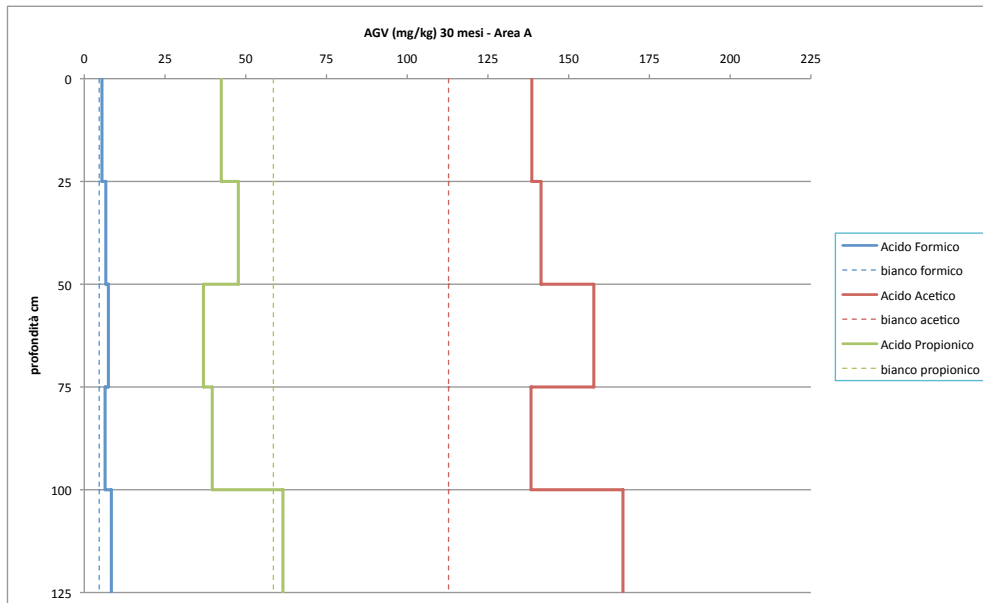
Nei grafici 17-20, per una migliore visualizzazione, vengono riportate le quantità di AGV rilevate a mezzo di HPLC negli estratti dai suoli per l'area prato-A e l'area bosco-B.



**Fig. 17.** Concentrazione di AGV nel profilo “area prato” 24 mesi

Relativamente alla ripartizione degli AGV nell'area A dopo 24 mesi (Fig. 17) si nota come l'acido formico non presenti sostanziali variazioni con la profondità e mantenga dei valori molto simili a quelli del bianco; l'acido propionico invece, mostra un evidente

incremento per il campione al di sotto della carcassa mentre i valori più superficiali oscillano in un intervallo ragionevolmente prossimo ai valori del campione bianco; infine l'acido acetico mostra un generale incremento a tutte le profondità tranne per il campione superficiale che corrisponde perfettamente al bianco, in questo caso è dunque possibile ipotizzare una risalita di tale composto verso l'alto durante la fase di decomposizione.

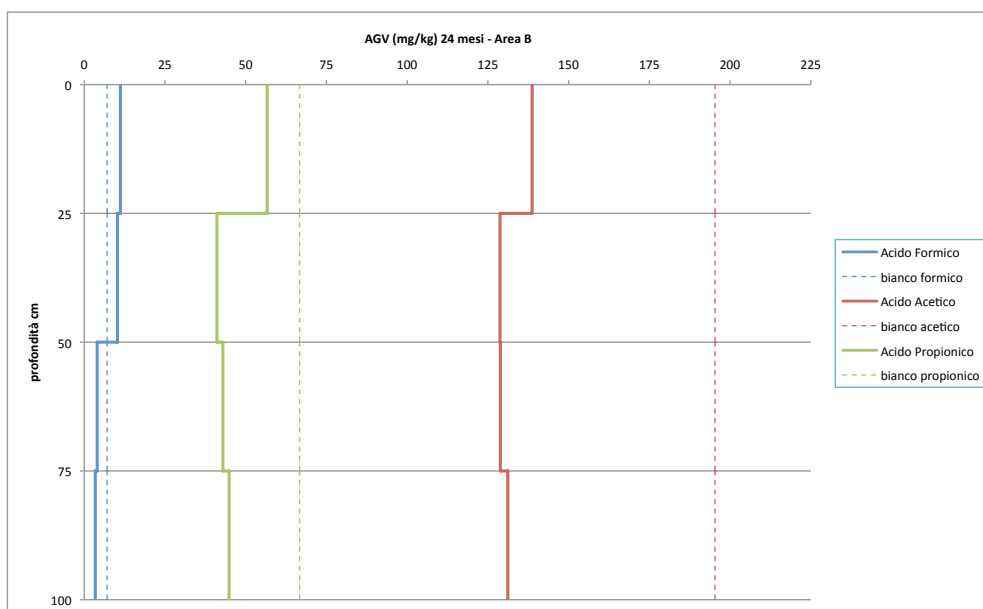


**Fig. 18.** Concentrazione di AGV nel profilo “area prato” 30 mesi

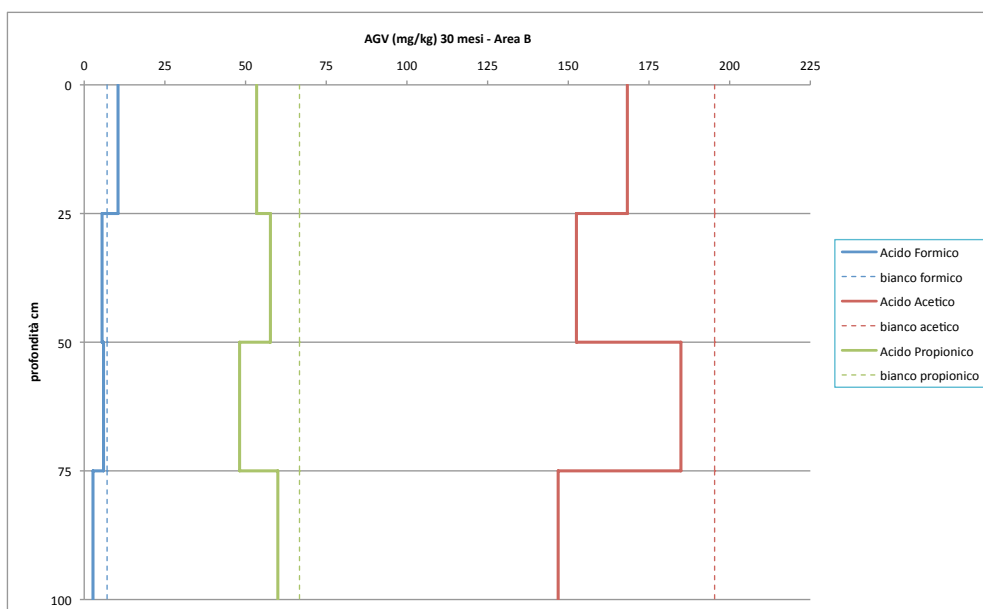
Restando sempre nell'area A ma portando il tempo di seppellimento a 30 mesi (Fig. 18) si nota come l'acido formico continui a non presentare sostanziali variazioni con la profondità e mantenga dei valori molto simili a quelli del bianco; l'acido propionico mostra sì un incremento per il campione al di sotto della carcassa ma in questo caso è proprio questo campione dal valore più elevato a corrispondere al bianco, mentre i valori più superficiali sono decisamente più bassi del campione bianco; infine l'acido acetico mostra un generale incremento a tutte le profondità, come visto precedentemente, anche per il campione superficiale, anche in questo caso è dunque possibile ipotizzare una risalita di tale composto verso l'alto durante la fase di decomposizione.

Per quanto riguarda l'area B relativamente alla sepoltura a 24 mesi (Fig. 19) si nota come l'acido formico anche in questa area non presenti sostanziali variazioni con la profondità e mantenga dei valori molto simili a quelli del bianco; l'acido propionico mostra anch'esso valori costanti tendenzialmente in diminuzione con la profondità e sempre inferiori al

campione bianco; infine l'acido acetico mostra valori decisamente inferiori a quelli del campione bianco e senza significative variazioni con la profondità.



**Fig. 19** Concentrazione di AGV nei profili “area bosco” 24 mesi



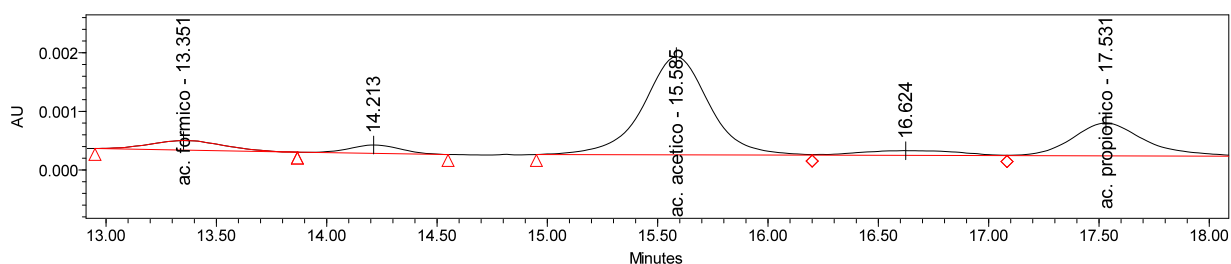
**Fig. 20** Concentrazione di AGV nel profilo “area bosco” 30 mesi



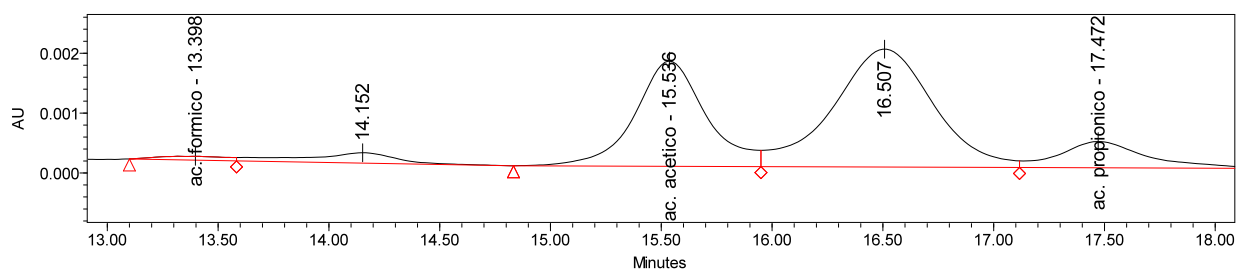
Passando al tempo di sepoltura di 30 mesi sempre nell'area B (Fig. 20) si nota come l'acido formico sia in linea con tutti gli altri campioni analizzati ed esposti fino ad ora; l'acido propionico presenta valori piuttosto uniformi e tutti inferiori relativamente a quelli del campione bianco. Anche l'acido acetico mostra valori più bassi del bianco, ma è da sottolineare un incremento per il campione immediatamente sopra la carcassa, spiegabile con una risalita dello stesso durante il procedere della decomposizione o in analogia a quanto visto per le analisi di laboratorio imputabile all'azione della vegetazione tramite il metabolismo degli apparati radicali.

Dai dati ottenuti relativamente alla concentrazione degli AGV emerge quanto segue:

- In tutti i campioni di suolo il composto dominante è l'acido acetico. Il suo andamento mette in evidenza incrementi con la profondità del profilo, verosimilmente in vicinanza con la carcassa. Ciò per quanto riguarda l'area bosco. Per quanto attiene invece l'area prato, non si evidenziano differenze, lungo il profilo, attribuibili alla presenza o meno della carcassa. In generale però, nell'area prato, le concentrazioni di acido acetico risultano essere più elevate dopo 30 mesi.
- L'acido propionico non mostra variazioni significative lungo il profilo, né in relazione al tempo, per tutti i campioni, eccezion fatta un valore molto elevato nel campione area bosco, dopo 24 mesi, in prossimità della carcassa. Anche in questo caso sembrerebbe legato alla presenza della carcassa.
- L'acido formico, infine, non mostra variazioni rilevanti, né in relazione alla profondità, né con il trascorrere del tempo.



**Fig. 21** Cromatogramma del campione profondità Ø serie prato 24 mesi



**Fig. 22** Cromatogramma del campione profondità >100 cm serie prato 24 mesi

Vi è peraltro da segnalare che nella serie nei campioni “24 mesi area prato” appare un picco ( $t_r=16.6$  min. circa), posizionato tra l’acetico ed il propionico, di particolare interesse. L’area di tale picco infatti risultava essere via via crescente con la profondità del suolo (Fig. 21-22). Successive indagini ed approfondimenti potranno individuare l’identità di tale picco e valutarne l’origine. Resta infatti da accertare se la sua origine sia legata alla presenza della carcassa o piuttosto a composti di origine organica (es. residui vegetali) presenti in quel profilo di suolo.

CAPITOLO 6.

RISULTATI  
MICRO-  
MORFOLOGICI  
E S.E.M.



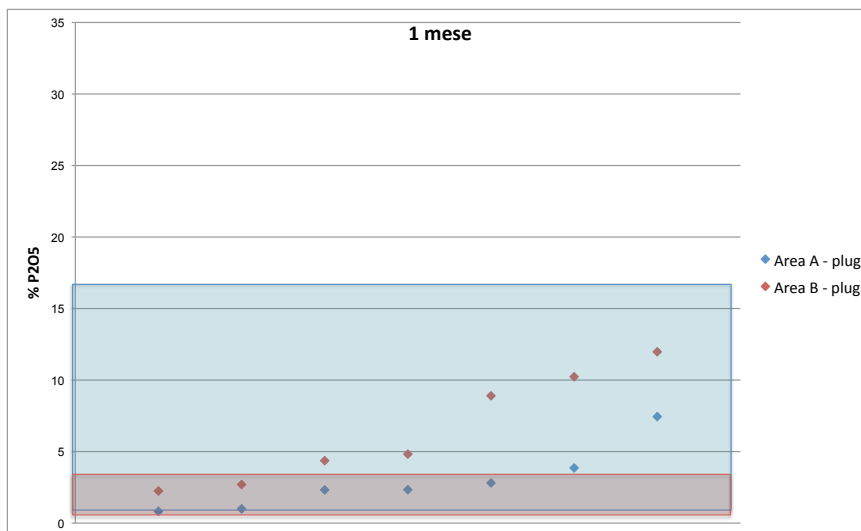
## RISULTATI MICRO & S.E.M.

Nel presente capitolo sono esposti e discussi i risultati relativi alle analisi effettuate con il microscopio elettronico a scansione (S.E.M.) sui campionamenti di suolo sciolto effettuati nell'area del Parco del Ticino e preparati *ad hoc* sottoforma di campioni denominati "plug" e "dust". Successivamente viene esposto lo studio delle sezioni sottili di suolo, campionate nell'area di Santa Maria della Versa (PV), tramite l'approccio micromorfologico/geopedologico classico grazie all'utilizzo del microscopio ottico petrografico. Infine, l'ultima parte del capitolo viene dedicata al confronto fra le due metodologie (ultramicroscopica e microscopica) applicato alle sezioni sottili di suolo scoperte campionate sempre nell'area di Santa Maria della Versa (PV).

### 6.1 ANALISI ULTRAMICROSCOPICA (S.E.M.)

I campioni per questa analisi sono stati raccolti sotto le carcasse di maiale durante l'attività di esumazione sia per l'area A, sia per l'area B e preparati *ad hoc* come campioni "dust" e campioni "plug" (cfr. Cap. 3 Metodi Analitici). Tramite S.E.M. è stata effettuata un'analisi topografica puntiforme su oggetti discreti e visibili come rivestimenti, impregnazioni, resti vegetali, microaggregati, ecc.

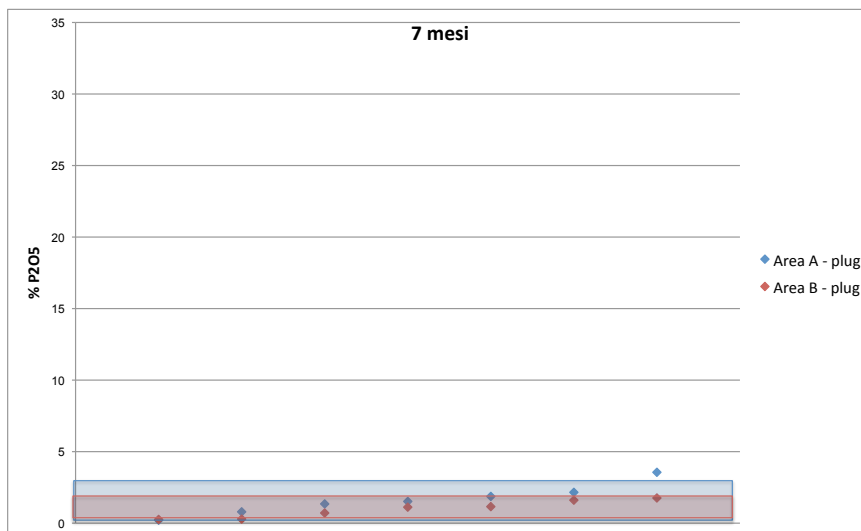
E' opportuno precisare che il suolo naturale presente in loco, campionato in sede di scavo prima dell'inumazione delle carcasse ed il suolo campionato sopra alla carcassa durante l'azione di scavo archeologico per l'esumazione della stessa, si presentano alle analisi sempre privi di fosforo.



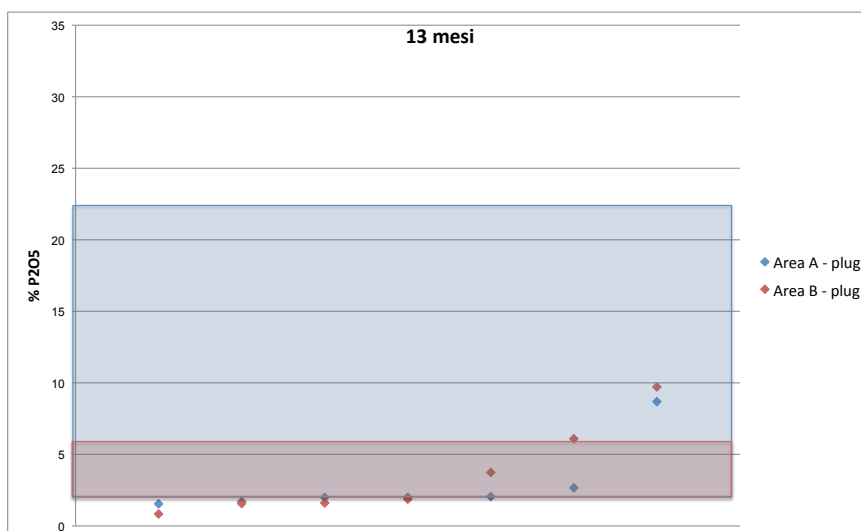
**Grafico 34** Percentuali di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per le esumazioni dopo il primo mese: sono mostrati i singoli valori misurati per i campioni “plug” e le aree comprese tra il valore massimo e minimo per i campioni “dust”.

Nel grafico 34 relativo alle analisi effettuate tramite il SEM sui campioni “dust” e “plug” per entrambe le aree relative al primo mese di seppellimento si nota che i valori dei “plug” che per l’area A raggiungono il 7.4% di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per l’area B si spingono fino a valori di quasi 12% di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; andamenti opposti sono mostrati dai campi di esistenza dei valori dei campioni “dust” per il quali nell’area A si supera abbondantemente il 15% di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mentre per l’area B non si raggiunge il 5% di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Per quanto riguarda le analisi SEM, sempre effettuate su “plug” e “dust” ma al settimo mese di seppellimento (grafico 35), si può osservare che i valori misurati per i “plug” in entrambe le aree sono sostanzialmente sovrapponibili eccetto i massimi rispettivamente di 3.55% di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per l’area A e di 1.76% di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per l’area B. In riferimento ai campioni “dust”, si osserva una notevole contrazione rispetto all’esumazione precedente con valori massimi al di sotto del 3% di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

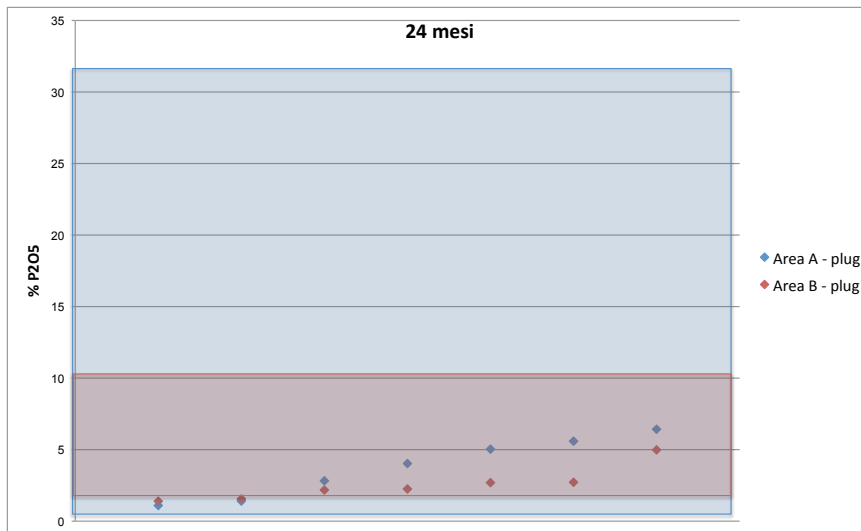


**Grafico 35** Percentuali di  $P_2O_5$  per le esumazioni dopo il settimo mese: sono mostrati i singoli valori misurati per i campioni “plug” e le aree comprese tra il valore massimo e minimo per i campioni “dust”.



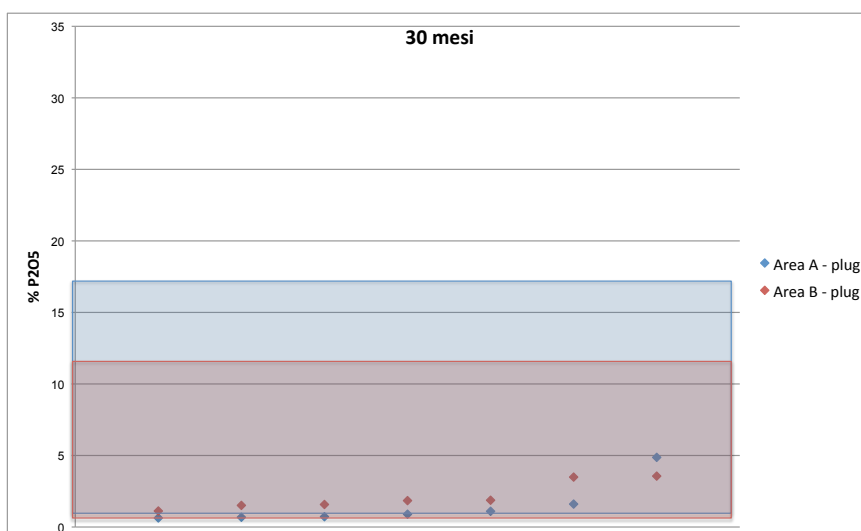
**Grafico 36** Percentuali di  $P_2O_5$  per le esumazioni dopo il tredicesimo mese: sono mostrati i singoli valori misurati per i campioni “plug” e le aree comprese tra il valore massimo e minimo per i campioni “dust”.

La situazione mostrata dai campioni plug dopo tredici mesi di seppellimento (grafico 36) sottolinea dei valori massimi confrontabili (poco sotto il 10% di  $P_2O_5$ ) confrontabili con quelli relativi al primo mese; anche i valori dei campioni dust, con un massimo per l'area A superiore al 20% di  $P_2O_5$  e uno per l'area B superiore al 5% di  $P_2O_5$ , mostrano un andamento simile a quello del primo mese. Interessante è osservare come per questa esumazione il valore minimo concernente i campioni dust si discosti dallo zero.



**Grafico 37** Percentuali di  $P_2O_5$  per le esumazioni dopo il ventiquattresimo mese: sono mostrati i singoli valori misurati per i campioni “plug” e le aree comprese tra il valore massimo e minimo per i campioni “dust”.

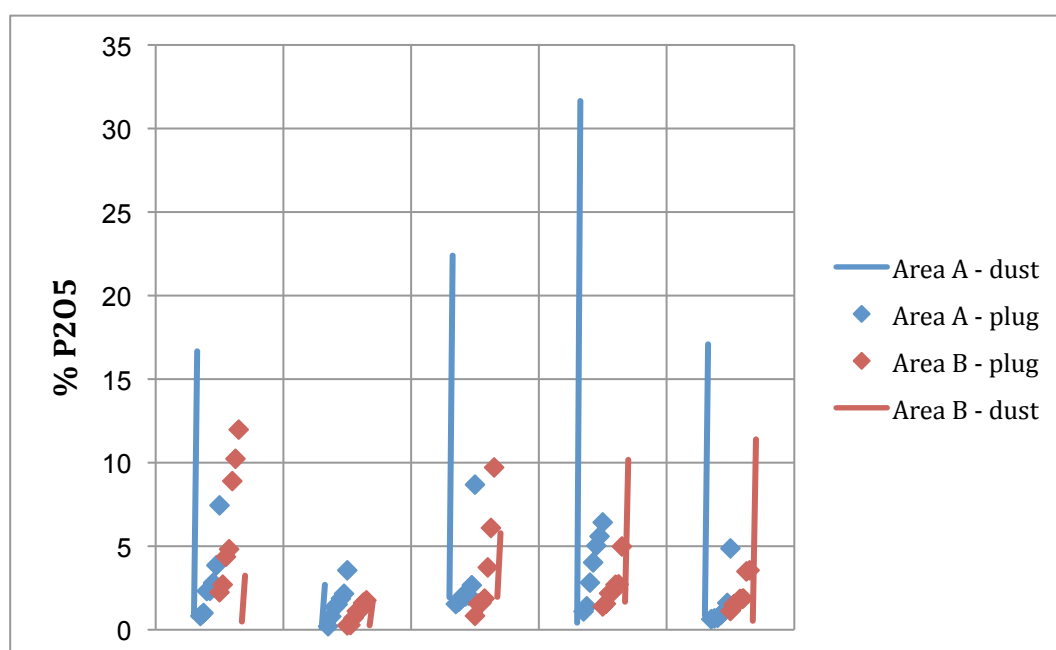
Passando al grafico 37 che espone i valori ottenuti con l’analisi al SEM sui campioni “plug” e “dust” dopo ventiquattro mesi di seppellimento è evidente quanto il campo di esistenza dei campioni “dust” per entrambe le aree sia molto più ampio di tutte le precedenti esumazioni, in particolare per l’area A esso si spinge oltre il 30% di  $P_2O_5$ . Per quanto riguarda i valori misurati dei campioni “plug”, l’andamento è analogo a quanto visto per i campioni a 1 e 13 mesi, soprattutto per ciò che riguarda l’area A, mentre l’area B mostra valori lievemente più bassi.



**Grafico 38** Percentuali di  $P_2O_5$  per le esumazioni dopo il trentesimo mese: sono mostrati i singoli valori misurati per i campioni “plug” e le aree comprese tra il valore massimo e minimo per i campioni “dust”.



Infine, l'ultimo grafico (Grafico 38) espone i valori dei campioni plug e dust alla quinta ed ultima esumazione dopo trenta mesi di seppellimento. I valori misurati sui campioni plug dell'area B sono corrispondenti a quelli misurati precedentemente nell'esumazione a 24 mesi, mentre i valori dei campioni plug relativi all'area A mostrano una lieve diminuzione che li rende più prossimi ai valori dell'area B attuali (30 mesi). Spostando l'attenzione sui campioni dust, anche in questo caso si nota che il campo di esistenza dell'area B è molto simile a quello mostrato dall'esumazione precedente, mentre quello relativo all'area A è sovrapponibile al campo di esistenza mostrato dalla medesima area alla prima esumazione (1 mese).



**Grafico 39** Percentuali di  $P_2O_5$  per tutte e cinque le esumazioni nelle due aree di riferimento (A e B): sono mostrati i singoli valori misurati per i campioni “plug”, mentre sono mostrate linee verticali comprendenti il valore massimo e minimo per i campioni “dust”.

Il grafico 39 mostra un andamento caratterizzato da un incremento-decremento del contenuto in  $P_2O_5$  durante il tempo nel suolo campionato sul fondo delle buche di seppellimento. Ovviamente la fonte di fosforo ( $P_2O_5$ ) non può che essere la carcassa in decomposizione sepolta all'interno della buca.

Non è possibile evidenziare un nitido andamento correlato con il tempo intercorso dal seppellimento (TSB, Time Since Burial), ma è possibile asserire che trenta mesi dopo la sepoltura, le carcasse possono ancora essere una fonte di fosforo sufficiente per implementare il suolo adiacente, anche se si presentano ormai scheletrizzate.

Confrontando nel dettaglio i risultati di tutte e cinque le esumazioni, si può notare come il rilascio di materiale/liquidi di natura fosfatica da parte della carcassa sepolta inizia subito ed in maniera evidente, come sottolineano i valori alti del primo mese, e continua nel tempo mantenendo anche dopo due anni valori estremamente alti. L'unica sostanziale variazione riguarda l'esumazione effettuata durante la stagione umida (7 mesi), quando si può verosimilmente supporre che la lisciviazione (leaching) del suolo dilavi i fosfati.

Le variazioni riscontrate a carico delle figure fosfatiche sembrano quindi essere relazionate con la loro persistenza all'interno del suolo, la quale potrebbe essere a sua volta correlata con la granulometria delle particelle di suolo impregnate, ma anche con le condizioni meteorologiche (o stagionali) relative all'esumazione che potrebbero indurre il dilavamento pedogenetico (leaching) ad opera dell'acqua piovana (cfr. Cap. 2.1.5 Inquadramento meteorologico). Infatti, i campioni raccolti in tarda primavera/inizio estate (precipitazioni in giugno tra 35 mm nel 2009 e 76.6 mm nel 2011) forniscono sempre valori di contenuto in fosforo più elevati, mentre i campioni raccolti in inverno (valori medi mensili di precipitazioni dei mesi invernali tra 81.33 mm nel 2011 e 100.93 mm nel 2010) mostrano i più bassi valori in tenore di fosforo; i campioni autunnali (valori medi mensili di precipitazioni dei mesi autunnali nel 2010: 177.66 mm) mostrano invece valori intermedi, considerando però che l'ultimo autunno preso in considerazione è stato caratterizzato da una diffusa siccità regionale (56.4 mm di precipitazioni totali nei mesi autunnali).

Per di più, i campioni "dust" se comparati ai campioni "plug", mostrano valori assoluti molto differenti ed anche differenti andamenti (in particolar modo i campioni dust dell'area B): in questa ottica, è possibile dire che i campioni "plug" permettono una corretta caratterizzazione quantitativa delle impregnazioni fosfatiche, grazie alla metodologia analitica utilizzata (preparazione campione – SEM), mentre i campioni "dust" sono affidabili solamente come indicatori della presenza/assenza delle medesime figure, possono quindi essere utilizzati come discriminanti in fase preliminare di indagine.

## 6.2 ANALISI MICROMORFOLOGICA

Per poter effettuare l'analisi micromorfologica del suolo in questione, quindi analizzare il suolo a mezzo di un microscopio ottico petrografico, ovvero a luce polarizzata, i campioni

indisturbati raccolti nell'area di Santa Maria della Versa sono stati preparati sottoforma di sezioni sottili presso il laboratorio 'Servizi per la Geologia' di Piombino (LI).

L'osservazione delle sezioni sottili e la loro relativa descrizione in termini micromorfologici, sono state condotte secondo i canoni proposti nel "Handbook for Soil Thin Section Description" (Bullock *et al.*, 1985). Talvolta si è adottata parzialmente la terminologia del sistema descrittivo proposto da Brewer (1964) perché più calzante nel caso specifico dei pedorelitti, mentre invece la traduzione della terminologia, ove presente, è stata eseguita come suggerito da Nicosia *et al.* (2011).

Dal punto di vista più strettamente metodologico è stato deciso di fissare il limite c/f è a 5 µm per ogni sezione sottile descritta, questo per consentire una migliore comparazione degli aspetti semi-quantitativi. Inoltre sono state modificate le "classi di frequenza generali" (Bullock *et al.*, 1985) ottenendo le classi di frequenza utilizzate nella descrizione (Tab. 10).

Più che dominante	> 70 %
Dominante	50-70 %
Comune	30-50 %
Frequente	15-30 %
Scarso	5-15 %
Molto scarso	2-5 %
Raro	< 2 %

**Tabella 10** Classi di frequenza utilizzate

### **Descrizioni Micromorfologiche (Tab. 11)**

Le sei sezioni sottili studiate di cui si riporta in questo capitolo la descrizione di ognuna, provengono dalla porzione profonda di due profili ideali dell'area di Santa Maria della Versa (Figure X e X):

- Profilo VER IS I, a cui si ascrivono le sezioni sottili VER IS I Micro C e VER IS I Micro D, campionate sulle pareti della buca prima dell'inumazione delle carcasse, rispettivamente al di sopra e al di sotto del fondo della buca stessa. A queste si aggiungono le sezioni sottili VER ES Sotto Alto e VER ES Sotto Basso, campionate dopo l'esumazione delle carcasse, nella porzione di suolo indisturbato al di sotto delle carcasse dei lattonzoli, appositamente scavato ad di sotto del fondo buca;
- Profilo VER IS II, a cui si ascrivono le sezioni sottili VER IS II Micro C e VER IS II Micro D, campionate sulle pareti della buca prima dell'inumazione delle carcasse, rispettivamente al di sopra e al di sotto del fondo della buca stessa.

Descrizione Sezione Sottile: **VER IS I Micro C**

**Microstruttura e Porosità**

Aggregati poliedrici angolari comuni, della dimensione massima della ghiaia, separati e accomodanti; aggregati di suolo grossolano (pedorelitti - Brewer, 1964) rari, di colore bruno rossastro, arrotondati e allungati, della dimensione massima della ghiaia.

Vuoti planari frequenti, sottili; canali scarsi, a lume della dimensione massima della sabbia grossolana; camere scarse, a lume della dimensione massima della ghiaia.

Microstruttura: poliedrica angolare, localmente fessure/crack.

**Massa di Fondo**

Materiale grossolano costituito da frammenti di argilliti e siltiti comuni, subangolari e subarrotondati, lisci, talora fratturati, di dimensioni fino alla ghiaia; frammenti di arenaria scarsi, subarrotondati, lisci, di dimensioni fino alla sabbia grossolana; frammenti di rocce carbonatiche molto scarsi, irregolari, ruvidi, di dimensioni fino alla ghiaia; granuli di quarzo rari, subarrotondati, lisci, di dimensioni fino alla sabbia media.

	VER IS I Micro C	VER IS I Micro D	VER IS II Micro C	VER IS II Micro D	VER ES Sotto Alto	VER ES Sotto Basso
<b>Aggregates</b>	Angular Blocky Peds C-G Pedorelicts R-G	Angular Blocky Peds C-G Pedorelicts VF-G	Angular Blocky Peds C-G Granules VF-FS Pedorelicts R-G	Angular Blocky Peds C-G Pedorelicts R-G	Angular Blocky Peds D-G Pedorelicts VF-G	Angular Blocky Peds C-G Pedorelicts VF-G
<b>Voids</b>	Planes Fr-T Channels F-CS Chambers F-G	Planes Fr-T Channels F-CS Chambers F-G	Planes Fr-T Channels F-CS Chambers F-G Packing Voids R-MS	Planes Fr-T Channels F-G Chambers VF-G	Planes Fr-T Channels F-CS Chambers VF-G	Planes Fr-T Channels F-CS Chambers VF-G
<b>Microstructure</b>	Angular Blocky Fissure and Crack	Angular Blocky Fissure and Crack	Angular Blocky Granular	Angular Blocky Fissure and Crack	Angular Blocky	Angular Blocky Fissure and Crack
<b>Mineral Components</b>	Clay-Siltstones C-G Sandstones F-CS Limestones VF-G Quartz R-MS	Clay-Siltstones C-G Sandstones F-G Limestones VF-G Quartz R-CS	Clay-Siltstones C-G Sandstones VF-CS Limestones VF-G Quartz R-FS	Clay-Siltstones C-G Sandstones F-G Limestones R-CS Quartz R-MS	Clay-Siltstones C-G Sandstones F-CS Limestones VF-G Quartz VF-MS	Clay-Siltstones C-G Sandstones F-CS Limestones VF-G Quartz VF-MS
<b>Micromass</b>	Clay & Silt Cloudy to Opaque Speckled	Clay & Silt Cloudy to Opaque Speckled	Clay & Silt Cloudy to Opaque Speckled	Clay & Silt Cloudy to Opaque Speckled	Clay & Silt Cloudy to Opaque Speckled - Striated	Clay & Silt Cloudy to Opaque Speckled
<b>C/F Related Distribution</b>	Porphyric 5 µm 35/65	Porphyric 5 µm 30/70	Porphyric 5 µm 40/60	Porphyric 5 µm 45/55	Porphyric 5 µm 35/65	Porphyric 5 µm 40/60
<b>Organic Components</b>	Vegetal Organs VF-G Vegetal Tissues R-MS	Vegetal Organs R-MS Vegetal Tissues R-CS	Vegetal Organs VF-G Vegetal Tissues R-MS Charcoals R-FS	Vegetal Organs VF-G Vegetal Tissues R-MS	Vegetal Organs VF-CS Vegetal Tissues R-MS Aggregates R-CS	Vegetal Organs VF-CS Vegetal Tissues VF-MS Charcoals R-MS Aggregates R-CS
<b>Amorphous Pedofeatures</b>	Nodules VF-CS Hypocoatings R-T	Nodules R-MS	Nodules VF-MS	Nodules VF-MS	Nodules F-MS Hypocoatings R-T	Nodules VF-MS Hypocoatings R-T
<b>Crystalline Pedofeatures</b>	Nodules R-MS	Nodules R-CS	Nodules R-CS	Nodules VF-CS	Nodules F-CS	Nodules F-MS
<b>Fabric Pedofeatures</b>	<i>not observed</i>	Slickensides R-T	<i>not observed</i>	Slickensides R-T	Slickensides R-T	<i>not observed</i>

**Tabella 11** Descrizioni micromorfologiche

Materiale fine costituito da una massa di argilla e limo, bruno grigiastro, da nebulosa a opaca, a b-fabric maculata.

Limite c/f 5 µm; rapporto c/f 35/65; distribuzione relativa c/f porfirica.

#### ***Costituenti Organici***

Residui di organismi (vegetali) molto scarsi, irregolari, ruvidi, della dimensione massima della ghiaia.

Residui di tessuti (vegetali) rari, irregolari, ruvidi, della dimensione massima della sabbia media.

#### ***Figure Pedologiche***

Amorfe: noduli di ferro/manganese molto scarsi, rossastri, della dimensione massima della sabbia grossolana; iporivestimenti di ferro/manganese rari, rossastri, sottili.

Cristalline: noduli di carbonato di calcio, rari, impregnativi, della dimensione massima della sabbia media.

Descrizione Sezione Sottile: **VER IS I Micro D**

#### ***Microstruttura e Porosità***

Aggregati poliedrici angolari comuni, della dimensione massima della ghiaia, separati e accomodanti; aggregati di suolo grossolano (pedorelitti - Brewer, 1964) molto scarsi, di colore bruno rossastro, arrotondati, della dimensione massima della ghiaia.

Vuoti planari frequenti, sottili; canali scarsi, a lume della dimensione massima della sabbia grossolana; camere scarse, a lume della dimensione massima della ghiaia.

Microstruttura: poliedrica angolare, localmente fisure/crack.

#### ***Massa di Fondo***

Materiale grossolano costituito da frammenti di argilliti e siltiti comuni, subangolari e subarrotondati, lisci, talora fratturati, di dimensioni fino alla ghiaia; frammenti di arenaria scarsi, subarrotondati, lisci, talora alterati, di dimensioni fino alla ghiaia; frammenti di rocce carbonatiche e fossilifere molto scarsi, irregolari, ruvidi, di dimensioni fino alla ghiaia; granuli di quarzo rari, subangolari e subarrotondati, lisci, di dimensioni fino alla sabbia grossolana.

Materiale fine costituito da una massa di argilla e limo, bruno grigiastro, da nebulosa a opaca, a b-fabric maculata localmente granostriata.

Limite c/f 5 µm; rapporto c/f 30/70; distribuzione relativa c/f porfirica.

#### ***Costituenti Organici***

Residui di organismi (vegetali) rari, irregolari, ruvidi, della dimensione massima della sabbia media.

Residui di tessuti (vegetali) rari, irregolari, ruvidi, della dimensione massima della sabbia grossolana.

### ***Figure Pedologiche***

Amorfe: noduli di ferro/manganese molto rari, rossastri, della dimensione massima della sabbia media.

Cristalline: noduli di carbonato di calcio, rari, impregnativi, della dimensione massima della sabbia grossolana.

Della fabric: slikensides rari, sottili, relativi a vuoti planari.

Descrizione Sezione Sottile: **VER IS II Micro C**

### ***Microstruttura e Porosità***

Aggregati poliedrici angolari comuni, della dimensione massima della ghiaia, separati e accomodanti; aggregati granulari molto scarsi, della dimensione massima della sabbia fine, moderatamente separati e non accomodanti; aggregati di suolo grossolano (pedorelitti - Brewer, 1964) rari, di colore bruno rossastro, arrotondati, della dimensione massima della ghiaia.

Vuoti planari frequenti, sottili; canali scarsi, a lume della dimensione massima della sabbia grossolana; camere scarse, a lume della dimensione massima della ghiaia; vuoti di costruzione composti rari, a lume della dimensione massima della sabbia media.

Microstruttura: poliedrica angolare, localmente granulare.

### ***Massa di Fondo***

Materiale grossolano costituito da frammenti di argilliti e siltiti comuni, subangolari e subarrotondati, lisci, talora fratturati, di dimensioni fino alla ghiaia; frammenti di arenaria molto scarsi, subarrotondati, lisci, di dimensioni fino alla sabbia grossolana; frammenti di rocce carbonatiche molto scarsi, irregolari, ruvidi, di dimensioni fino alla ghiaia; granuli di quarzo rari, subarrotondati, lisci, di dimensioni fino alla sabbia fine.

Materiale fine costituito da una massa di argilla e limo, bruno grigiastra, da nebulosa a opaca, a b-fabric maculata.

Limite c/f 5  $\mu\text{m}$ ; rapporto c/f 40/60; distribuzione relativa c/f porfirica.

### ***Costituenti Organici***

Residui di organismi (vegetali) molto scarsi, irregolari, ruvidi, della dimensione massima della ghiaia.

Residui di tessuti (vegetali) rari, irregolari, ruvidi, della dimensione massima della sabbia media.

Carboni rari, irregolari, ruvidi, della dimensione massima della sabbia fine.

### ***Figure Pedologiche***

Amorfe: noduli di ferro/manganese molto scarsi, rossastri, della dimensione massima della sabbia media.

Cristalline: noduli di carbonato di calcio, rari, impregnativi, della dimensione massima della sabbia grossolana.

Descrizione Sezione Sottile: **VER IS II Micro D**

### ***Microstruttura e Porosità***

Aggregati poliedrici angolari comuni, della dimensione massima della ghiaia, separati e accomodanti; aggregati di suolo grossolano (pedorelitti - Brewer, 1964) rari, di colore bruno rossastro, arrotondati, della dimensione massima della ghiaia.

Vuoti planari frequenti, sottili; canali scarsi, a lume della dimensione massima della ghiaia; camere molto scarse, a lume della dimensione massima della ghiaia.

Microstruttura: poliedrica angolare, localmente fessure/crack.

### ***Massa di Fondo***

Materiale grossolano costituito da frammenti di argilliti e siltiti comuni, subangolari e subarrotondati, lisci, talora fratturati, di dimensioni fino alla ghiaia; frammenti di arenaria scarsi, subarrotondati, lisci, di dimensioni fino alla ghiaia; frammenti di rocce carbonatiche rari, irregolari, ruvidi, di dimensioni fino alla sabbia grossolana; granuli di quarzo rari, subarrotondati, lisci, di dimensioni fino alla sabbia media.

Materiale fine costituito da una massa di argilla e limo, bruno grigiastra, da nebulosa a opaca, a b-fabric maculata.

Limite c/f 5 µm; rapporto c/f 45/55; distribuzione relativa c/f porfirica.

### ***Costituenti Organici***

Residui di organismi (vegetali) molto scarsi, irregolari, ruvidi, della dimensione massima della ghiaia.

Residui di tessuti (vegetali) rari, irregolari, ruvidi, della dimensione massima della sabbia media.

Carboni rari, irregolari, ruvidi, della dimensione massima della sabbia fine.

### ***Figure Pedologiche***

Amorfe: noduli di ferro/manganese molto scarsi, rossastri, della dimensione massima della sabbia media.

Cristalline: noduli di carbonato di calcio, molto scarsi, impregnativi, della dimensione massima della sabbia grossolana.

Della fabric: slikensides rari, sottili, relativi a vuoti planari.

Descrizione Sezione Sottile: **VER ES Sotto Alto**

### ***Microstruttura e Porosità***

Aggregati poliedrici angolari dominanti, della dimensione massima della ghiaia, separati e accomodanti; aggregati di suolo grossolano (pedorelitti - Brewer, 1964) molto scarsi, di colore bruno rossastro, arrotondati, della dimensione massima della ghiaia.

Vuoti planari frequenti, sottili, talora orientati subverticalmente; canali scarsi, a lume della dimensione massima della sabbia grossolana; camere molto scarse, a lume della dimensione massima della ghiaia.

Microstruttura: poliedrica angolare.

### ***Massa di Fondo***

Materiale grossolano costituito da frammenti di argilliti e siltiti comuni, subangolari e subarrotondati, lisci, talora fratturati, di dimensioni fino alla ghiaia; frammenti di arenaria scarsi, subarrotondati e allungati, lisci, di dimensioni fino alla sabbia grossolana; frammenti di rocce carbonatiche molto scarsi, irregolari, ruvidi, di dimensioni fino alla ghiaia; granuli di quarzo molto scarsi, subarrotondati, lisci, di dimensioni fino alla sabbia media.

Materiale fine costituito da una massa di argilla e limo, bruno grigiastra, da nebulosa a opaca, a b-fabric maculata localmente granostriata e porostriata.

Limite c/f 5 µm; rapporto c/f 35/65; distribuzione relativa c/f porfirica.

### ***Costituenti Organici***

Residui di organismi (vegetali) molto scarsi, irregolari, ruvidi, della dimensione massima della sabbia grossolana.

Residui di tessuti (vegetali) rari, irregolari, ruvidi, della dimensione massima della sabbia media.

Aggregati organici (o organo minerali) rari, arrotondati, della dimensione massima della sabbia grossolana.

### ***Figure Pedologiche***

Amorfe: noduli di ferro/manganese scarsi, rossastri, della dimensione massima della sabbia media; iporivestimenti di ferro/manganese rari, rossastri, sottili.

Cristalline: noduli di carbonato di calcio, scarsi, impregnativi, della dimensione massima della sabbia grossolana.



Della fabric: slikenides rari, sottili, relativi a vuoti planari.

Descrizione Sezione Sottile: **VER ES Sotto Basso**

### ***Microstruttura e Porosità***

Aggregati poliedrici angolari comuni, della dimensione massima della ghiaia, separati e accomodanti; aggregati di suolo grossolano (pedorelitti - Brewer, 1964) molto scarsi, di colore bruno rossastro, arrotondati, della dimensione massima della ghiaia.

Vuoti planari frequenti, sottili; canali scarsi, a lume della dimensione massima della sabbia grossolana; camere molto scarse, a lume della dimensione massima della ghiaia.

Microstruttura: poliedrica angolare, localmente fessure/crack.

### ***Massa di Fondo***

Materiale grossolano costituito da frammenti di argilliti e siltiti comuni, subangolari e subarrotondati, lisci, talora fratturati, di dimensioni fino alla ghiaia; frammenti di arenaria scarsi, subangolari, lisci, di dimensioni fino alla sabbia grossolana; frammenti di rocce carbonatiche molto scarsi, irregolari, ruvidi, di dimensioni fino alla ghiaia; granuli di quarzo molto scarsi, subarrotondati e subangolari, lisci, di dimensioni fino alla sabbia media.

Materiale fine costituito da una massa di argilla e limo, bruno grigiastro, da nebulosa a opaca, a b-fabric maculata.

Limite c/f 5  $\mu\text{m}$ ; rapporto c/f 40/60; distribuzione relativa c/f porfirica.

### ***Costituenti Organici***

Residui di organismi (vegetali) molto scarsi, irregolari, ruvidi, della dimensione massima della sabbia grossolana.

Residui di tessuti (vegetali) molto scarsi, irregolari, ruvidi, della dimensione massima della sabbia media.

Carboni rari, irregolari, ruvidi, della dimensione massima della sabbia media.

Aggregati organici (o organo minerali) rari, arrotondati, della dimensione massima della sabbia grossolana.

### ***Figure Pedologiche***

Amorfe: noduli di ferro/manganese molto scarsi, rossastri, della dimensione massima della sabbia media; iporivestimenti di ferro/manganese rari, rossastri, sottili.

Cristalline: noduli di carbonato di calcio, scarsi, impregnativi, della dimensione massima della sabbia media.

Le sei sezioni sottili descritte, sia relative ai campioni pre-inumazione sia post-esumazione, mostrano una generale uniformità nei costituenti e nella loro organizzazione.

La microstruttura si presenta sempre poliedrica angolare e localmente fessure/crack, tranne che nella sezione VER IS II Micro C, ove essa è localmente granulare, e nella sezione VER ES Sotto Alto, ove essa è uniformemente dominata da aggregati poliedrici.

I vuoti più frequenti in tutte le sezioni sottili sono quelli planari, accompagnati da scarsi canali e da camere con una frequenza compresa da molto scarsa a scarsa; solo nella sezione VER IS II Micro C sono stati identificati dei vuoti di costruzione.

Anche pedorelitti (*sensu* Brewer, 1964) arrotondati sono ubiquitari in tutte le sezioni descritte. Per ciò che concerne i costituenti grossolani della massa di fondo, frammenti di argilliti, siltiti, arenarie, rocce carbonatiche e granuli di quarzo sono sempre presenti con frequenze e granulometrie che mostrano solo minime variazioni tra una sezione e l'altra.

Anche la micromassa è piuttosto omogenea, essendo costituita generalmente da una massa di argilla e limo opaca e nebulosa a b-fabric maculata (tranne nella sezione VER ES Sotto Alto, ove è anche granostriata e porostriata).

Come esplicitato in precedenza, il limite c/f è stato fissato preventivamente a 5 µm per tutte le sezioni sottili: in questo modo la distribuzione relativa c/f risulta sempre porfirica e il rapporto c/f oscilla tra 30/70 (sezione VER IS I Micro D) e 45/55 (sezione VER IS I Micro D).

Organi e tessuti di origine vegetale sono presenti in tutti i campioni, con frequenze e granulometrie che mostrano solo minime variazioni tra una sezione sottile e l'altra; ad essi si aggiungono frammenti di carbone (nelle sezioni sottili VER IS II Micro C e VER ES Sotto Basso) e aggregati di materiale di natura organica e minerale (nelle sezioni sottili VER ES Sotto Alto e VER ES Sotto Basso).

Infine, per quanto riguarda le figure pedologiche, i noduli, siano essi di ferro-manganese (quindi amorfi) o di carbonati (quindi cristallini) sono presenti in tutte le sezioni descritte; le loro frequenze e dimensioni non mostrano una variabilità significativa; inoltre, nelle sezioni VER IS I Micro C, VER ES Sotto Alto e VER ES Sotto Basso sono stati identificati rari iporivestimenti di ferro-manganese (quindi amorfi), mentre nelle sezioni VER IS I Micro D, VER IS II Micro D e VER ES Sotto Alto sono presenti rari slickensides sottili che costituiscono figure pedologiche della fabric.

L'interpretazione di ciò che si evince dallo studio delle sezioni sottili, sottolinea che i processi pedogenetici responsabili dello sviluppo dei profili di Santa Maria della Versa sono principalmente di natura meccanica. Questi si manifestano tramite la vertisolizzazione, la

bioturbazione e la colluviazione; a questi processi principali si sovraimpongono processi connessi alle condizioni di ristagno di acqua all'interno del profilo, ossia l'idromorfia e la precipitazione di carbonato, che sono altresì compatibili con i (e talora caratteristici dei) processi principali.

Il processo di vertisolizzazione risulta identificabile anche a scala di terreno ed è documentato anche dalla cartografia pedologica esistente (ERSAL, 2001), questo processo si evidenzia in sezione sottile soprattutto in virtù della presenza di specifiche caratteristiche micromorfologiche (Kovda & Mermut, 2010) quali:

- la microstruttura poliedrica angolare (Fig. 23a, 23b), presente in tutte le sezioni descritte;
- il colore scuro della micromassa (Fig. 24a, 24b), presente in tutte le sezioni descritte;
- la b-fabric striata (Fig. 25a, 25b), presente nella sezione VER ES Sotto Alto;
- i noduli di ferro-manganese a bordi netti (Fig. 26a, 26b), presenti in tutte le sezioni descritte;
- i noduli di carbonato di calcio a bordi netti (Fig. 27a, 27b), presenti in tutte le sezioni descritte;
- gli slickensides (Fig. 28a, 28b), presenti nelle sezioni VER IS I Micro D, VER IS II Micro D e VER ES Sotto Alto.

Per quanto riguarda gli effetti della bioturbazione, oltre alle osservazioni di terreno, le principali caratteristiche micromorfologiche che rimandano a tale processo riguardano la porosità (Kooistra & Pulleman, 2010), in particolare i canali (Fig. 29a, 29b - presenti in tutte le sezioni descritte).

Il fenomeno della colluviazione, infine, è indicato dalle osservazioni di terreno nonché dalle seguenti caratteristiche descritte in sezione sottile (Mücher *et al.*, 2010):

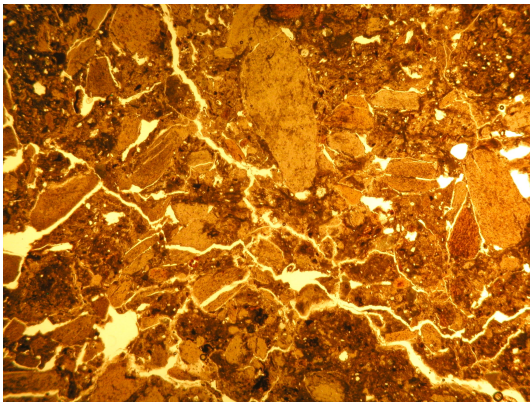
- i noduli di ferro-manganese a bordi netti (Fig. 26), presenti in tutte le sezioni descritte;
- i pedorelitti arrotondati (Fig. 30a, 30b), presenti in tutte le sezioni descritte;
- i costituenti minerali eterogenei (Fig. 31a, 31b e 28), presenti in tutte le sezioni descritte.

I processi indotti dal ristagno dell'acqua, cioè l'idromorfia e la precipitazione di carbonato, sono comunque caratteristici dei vertisuoli (Kovda & Mermut, 2010): il primo di tutti i vertisuoli, il secondo soprattutto dei vertisuoli calcarei.

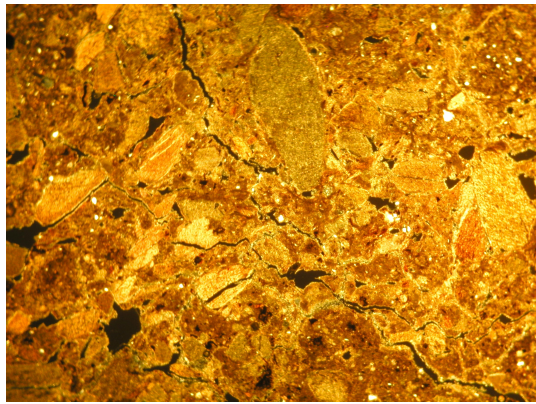
In ogni caso l'idromorfia è riconoscibile in sezione sottile attraverso (Lindbo *et al.*, 2010):

- i noduli di ferro-manganese a contorni sfumati (Fig. 32a, 32b), presenti in tutte le sezioni descritte;
- gli iporivestimenti di ferro-manganese (Fig. 33a, 33b), presenti nelle sezioni VER IS I Micro C, VER ES Sotto Alto e VER ES Sotto Basso.

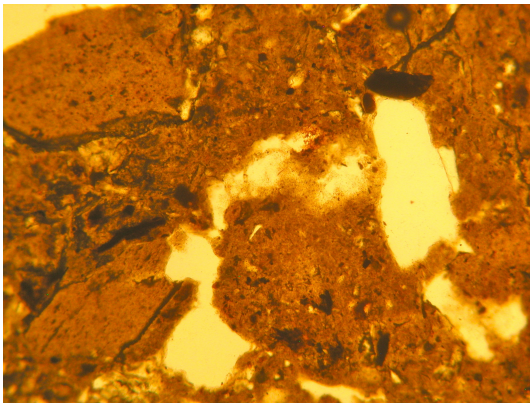
La precipitazione di carbonato (Durand *et al.*, 2010) induce nei suoli oggetto del presente studio la formazione di noduli di carbonato di calcio (Fig. 34a, 34b), presenti anch'essi in tutte le sezioni descritte.



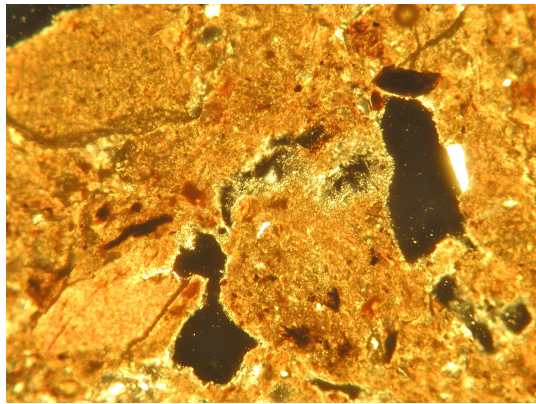
**Fig. 23a** VER IS I C - Blocky Peds 16x ppl



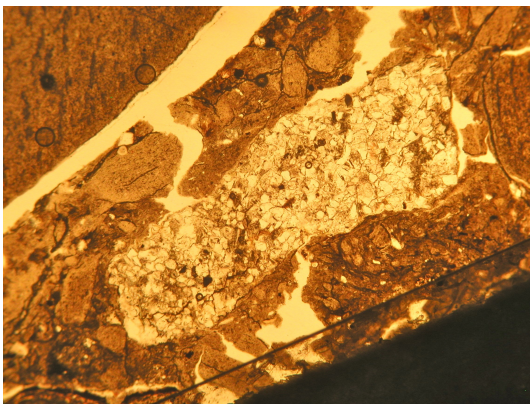
**Fig. 23b** VER IS I C - Blocky Peds 16x xpl



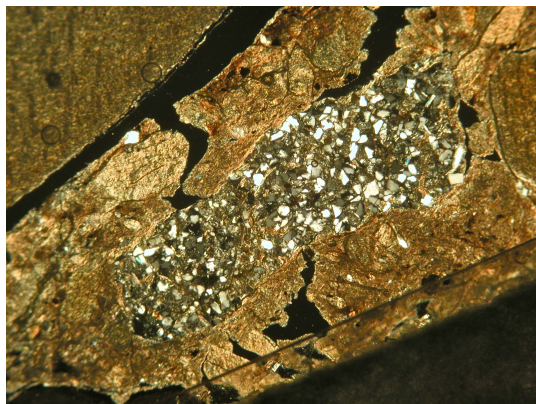
**Fig. 24a** VER IS II C - Micromass 100x ppl



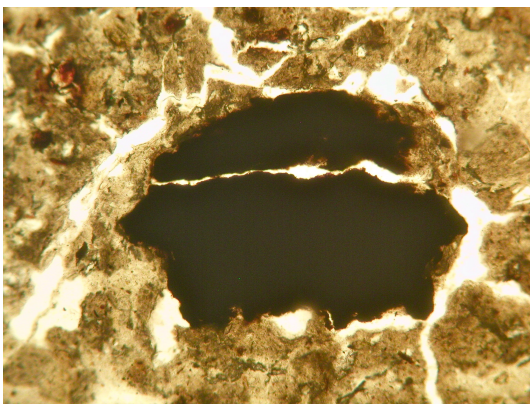
**Fig. 24b** VER IS II C - Micromass 100x xpl



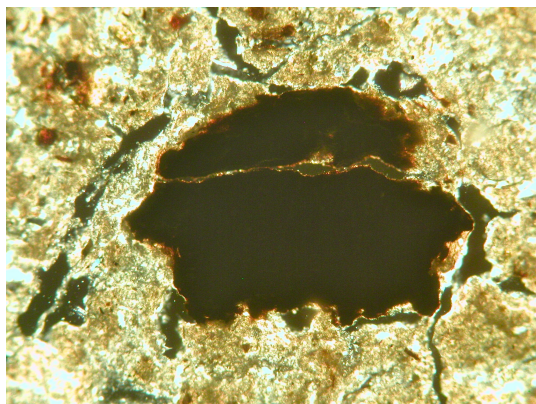
**Fig. 25a** VERSA ES SA - Sandstone 40x ppl



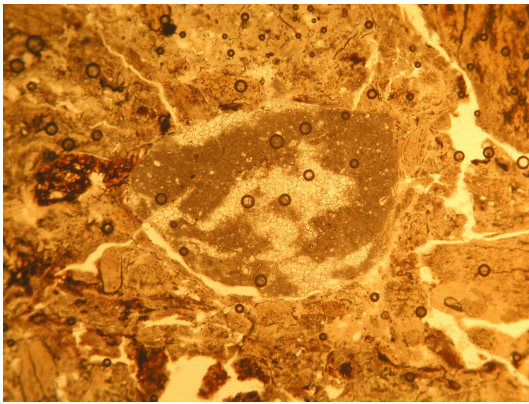
**Fig. 25b** VERSA ES SA - Sandstone 40x xpl



**Fig. 26a** VERSA ES SB - Nodule 100x ppl



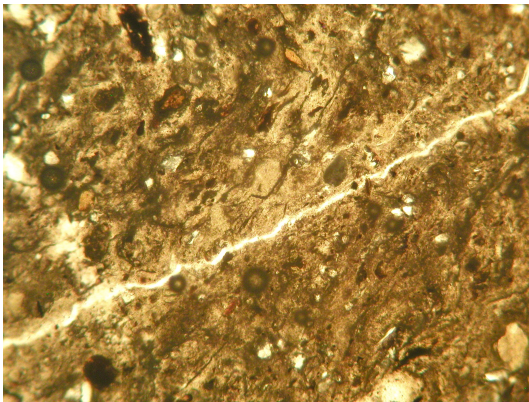
**Fig. 26b** VERSA ES SB - Nodule 100x xpl



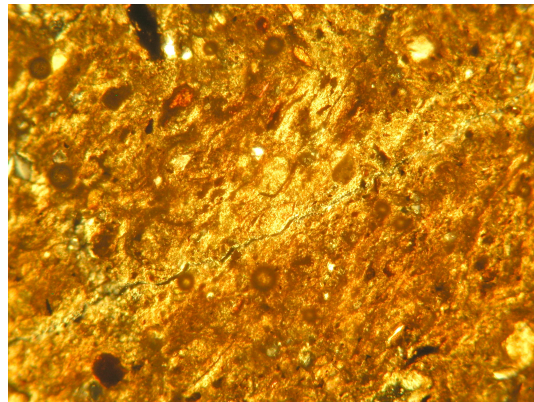
**Fig. 27a** VERSA ES SA - Calcite 40x ppl



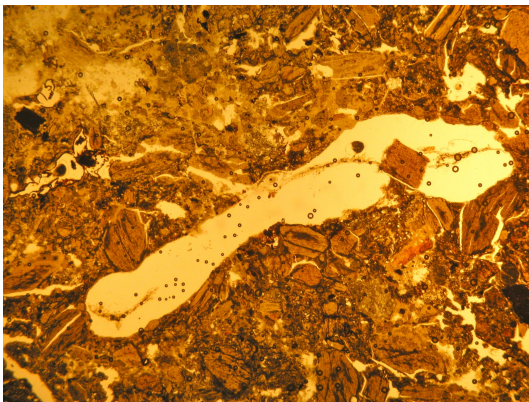
**Fig. 27b** VERSA ES SA - Calcite 40x xpl



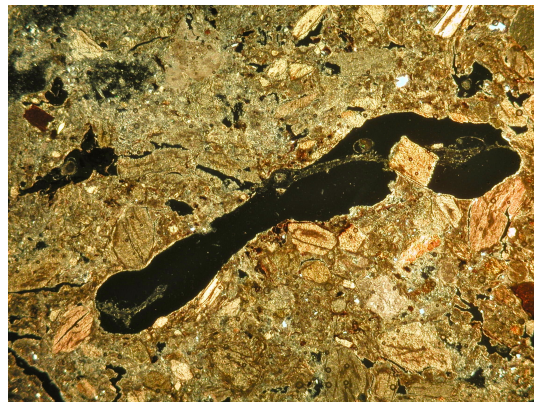
**Fig. 28a** VER IS II D - Slickenside 100x ppl



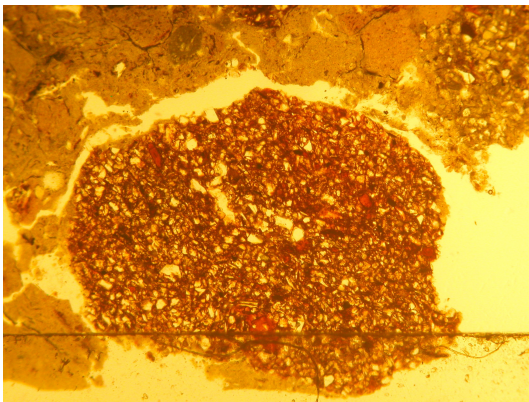
**Fig. 28b** VER IS II D - Slickenside 100x xpl



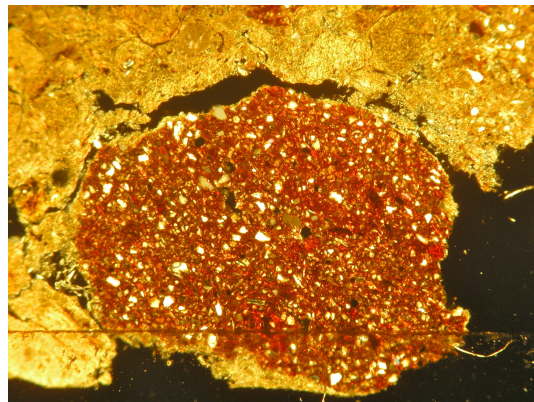
**Fig. 29a** VERSA ES SA - Channel 16x ppl



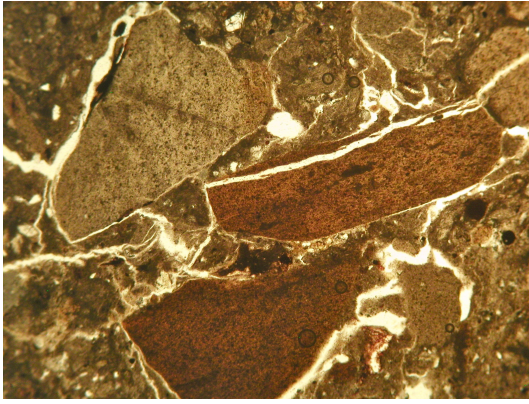
**Fig. 29b** VERSA ES SA - Channel 16x xpl



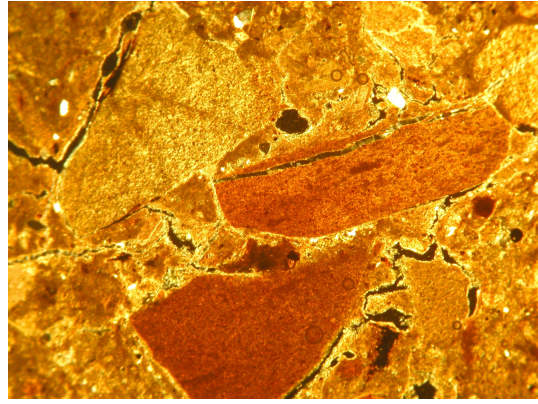
**Fig. 30a** VER IS II C - Pedorelict 40x ppl



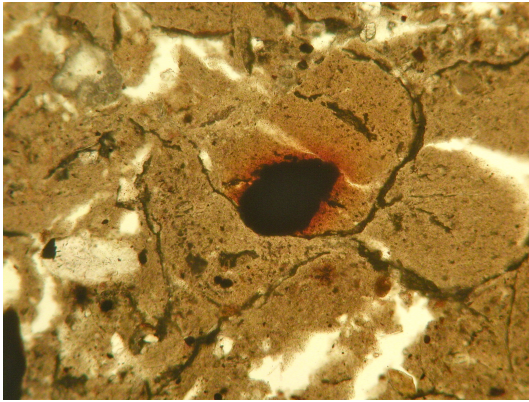
**Fig. 30b** VER IS II C - Pedorelict 40x xpl



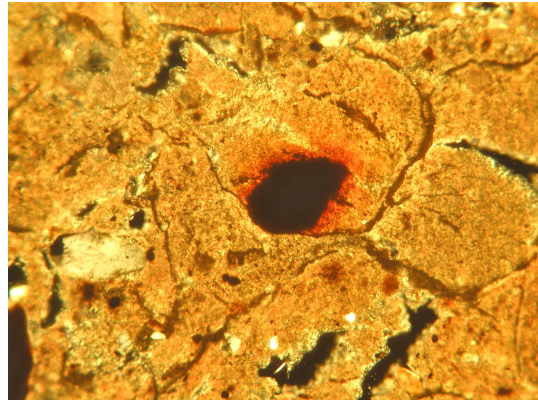
**Fig. 31a** VER IS I D - Claystones 40x ppl



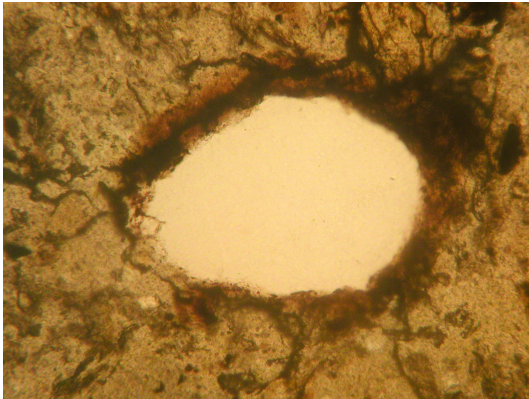
**Fig. 31b** VER IS I D - Claystones 40x xpl



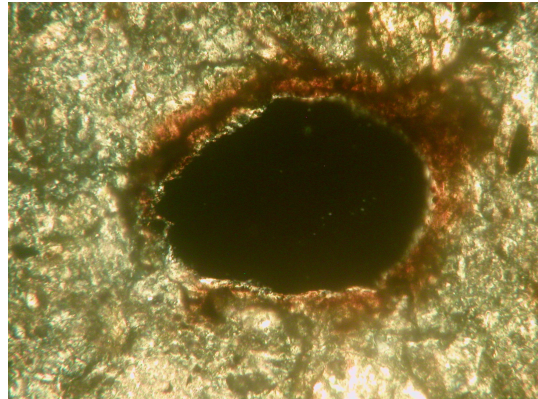
**Fig. 32a** VER IS II D - Nodule 100x ppl



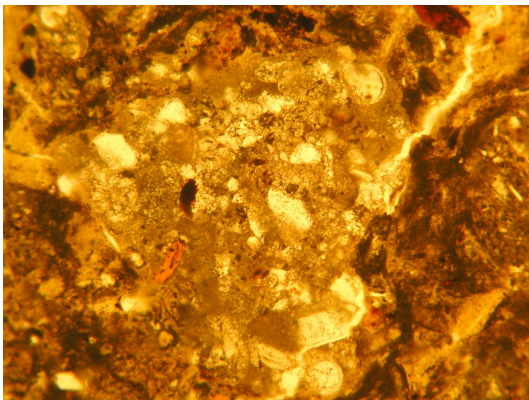
**Fig. 32b** VER IS II D - Nodule 100x xpl



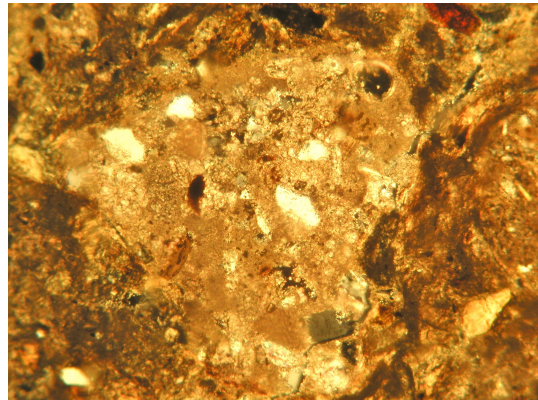
**Fig. 33a** VERSA ES SA - Hypo 250x ppl



**Fig. 33b** VERSA ES SA - Hypo 250x xpl



**Fig. 34a** VER IS I C - Calcite 100x ppl



**Fig. 34b** VER IS I C - Calcite 100x xpl

## 6.3 PASSAGGIO DI SCALA: STUDIO INTEGRATO DELLE METODOLOGIE MICROSCOPICA ED ULTRAMICROSCOPICA.

Per attuare lo studio integrato delle due metodologie precedentemente discusse, microscopia ottica ed elettronica, si è operato su sezioni sottili appositamente preparate senza vetrino copri oggetto, comunemente dette “sezioni scoperte”. Lo studio si è sviluppato dapprima con una osservazione preliminare al microscopio ottico petrografico al fine di identificare ed indicare con precisione gli aggregati organici/organo-minerali presenti e le altre figure pedologiche che avrebbero presumibilmente potuto trattenere efficacemente oppure interagire con i liquidi putrefattivi come frammenti vegetali, impregnazioni, fibre, aggregati spugnosi analoghi ai già descritti al SEM nei “dust” e “plug” della sperimentazione al Parco del Ticino. Successivamente le medesime sezioni sottili sono state ricoperte di grafite per consentirne l’analisi composizionale tramite SEM-EDS, grazie al quale tutti gli oggetti discreti identificati al microscopio ottico sono stati individuati ed analizzati al fine di verificarne all’interno la presenza di costituenti di natura fosfatica, quindi di origine putrefattiva.

Per quanto riguarda la sezione sottile VER ES Sotto Alto, sono stati identificati ventitré punti al microscopio ottico di cui quattordici hanno mostrato al SEM-EDS la presenza di costituenti di natura fosfatica. Dal momento che nel suolo preventivamente campionato come confronto, quindi nel suolo originario, non si riscontrava l’elemento “fosforo”, la presenza dello stesso dopo il periodo di giacenza delle carcasse non può che essere determinata dai liquidi putrefattivi. Nel dettaglio, sono stati identificati tre aggregati, tre rivestimenti, tre residui vegetali e cinque impregnazioni.

In particolare, presentando un esempio per ogni tipologia di figura identificata:

- il punto ALTO-01 si riferisce ad un aggregato (Fig. 35 – 40) contenente fosforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tra 22.53% e 34.46%);
- il punto ALTO-10 si riferisce ad un rivestimento (Fig. 41 – 43) di un residuo vegetale contenente fosforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tra 32.21% e 33.73%);
- il punto ALTO-12 si riferisce ad un residuo vegetale (Fig. 44 – 46) impregnato di fosforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tra 8.99% e 26.91%);



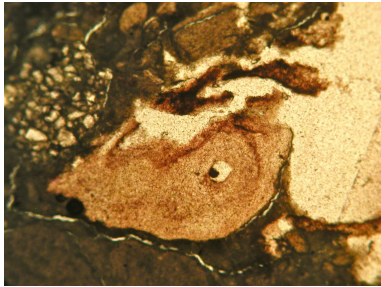
- il punto ALTO-13 si riferisce ad una impregnazione (Fig. 47 – 49) di natura localmente fosfatica ( $P_2O_5 = 32.48\%$ ).

Per quanto riguarda la sezione sottile VER ES Sotto Basso invece, dei ventitré punti identificati al microscopio ottico, solamente tre hanno mostrato al SEM-EDS la presenza di costituenti di natura fosfatica, che come detto in precedenza sono indotti dai liquidi purefattivi. Nel dettaglio, sono stati identificati un rivestimento e due impregnazioni.

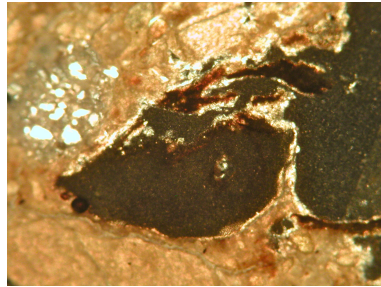
In particolare, presentando un esempio per ogni tipologia di figura identificata:

- il punto BASSO-03 si riferisce ad un rivestimento (Fig. 50 – 52) blandamente fosfatico ( $P_2O_5 = 6.72\%$ );

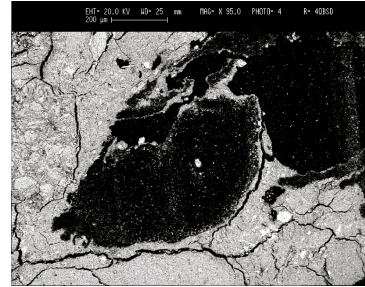
- il punto BASSO-09 si riferisce ad una impregnazione (Fig. 53 – 58) di natura localmente fosfatica ( $P_2O_5$  tra  $24.35\%$  e  $33.18\%$ ).



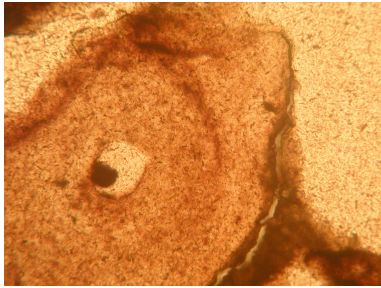
**Fig. 35** Alto 01 10x ppl



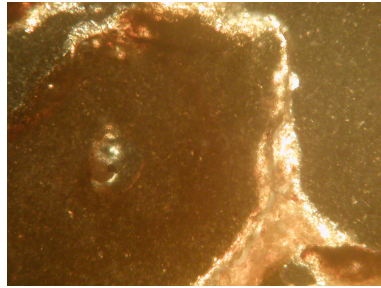
**Fig. 36** Alto 01 10x xpl



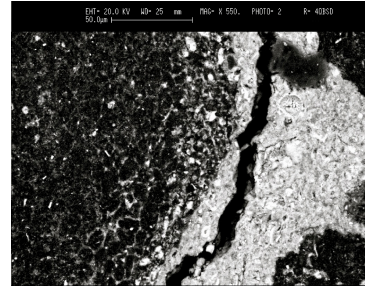
**Fig. 37** Alto 01 10x SEM



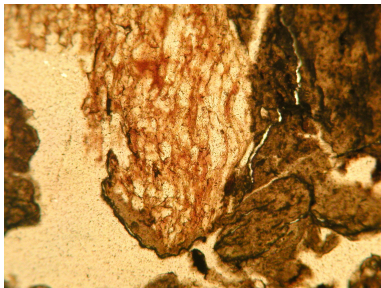
**Fig. 38** Alto 01 25x ppl



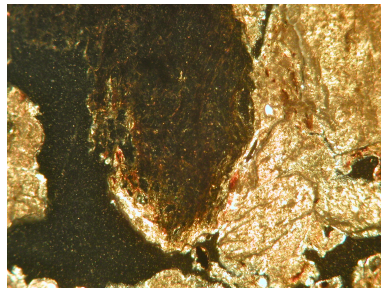
**Fig. 39** Alto 01 25x xpl



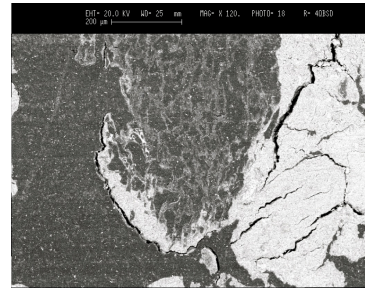
**Fig. 40** Alto 01 25x SEM



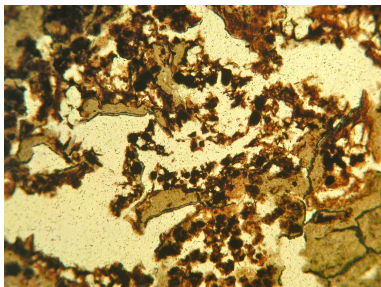
**Fig. 41** Alto 10 10x ppl



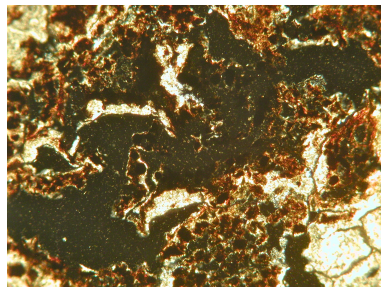
**Fig. 42** Alto 10 10x xpl



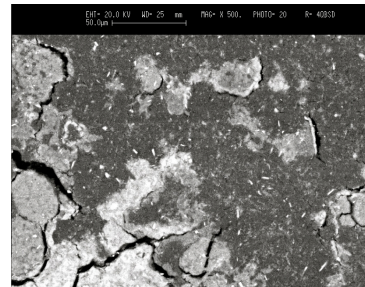
**Fig. 43** Alto 10 10x SEM



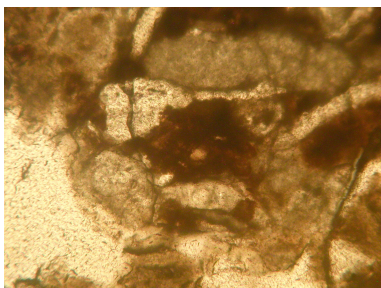
**Fig. 44** Alto 12 10x ppl



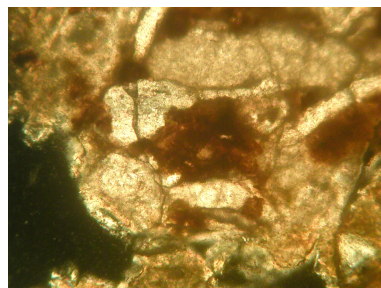
**Fig. 45** Alto 12 10x xpl



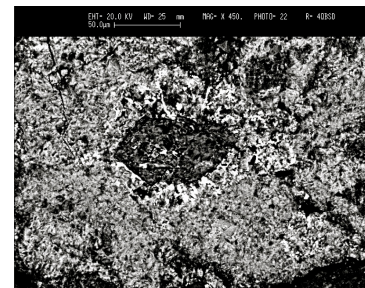
**Fig. 46** Alto 12 10x SEM



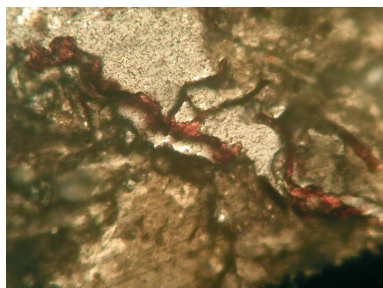
**Fig. 47** Alto 13 25x ppl



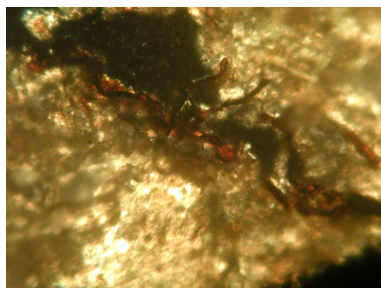
**Fig. 48** Alto 13 25x xpl



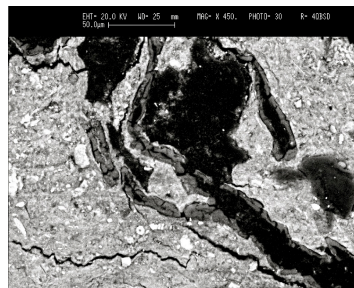
**Fig. 49** Alto 13 25x SEM



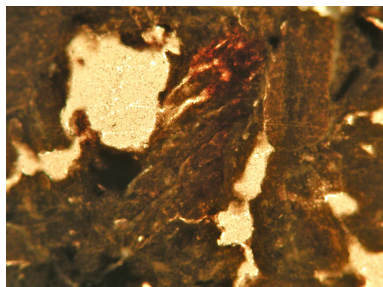
**Fig. 50** Basso 03 25x ppl



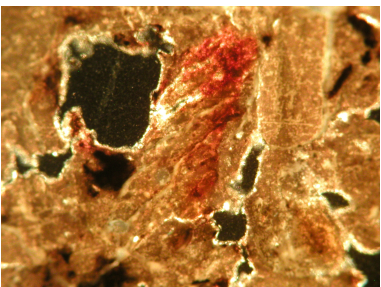
**Fig. 51** Basso 03 25x xpl



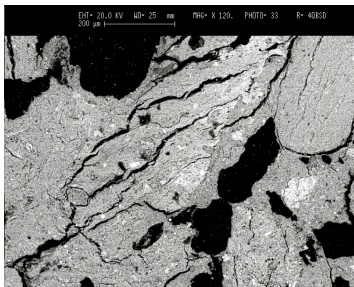
**Fig. 52** Basso 03 25x SEM



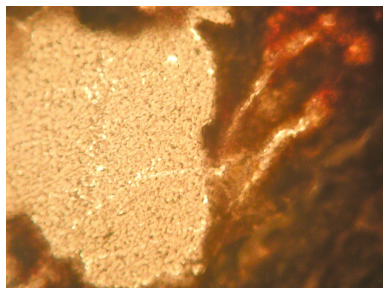
**Fig. 53** Basso 09 10x ppl



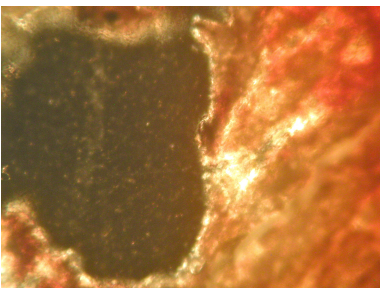
**Fig. 54** Basso 09 10x xpl



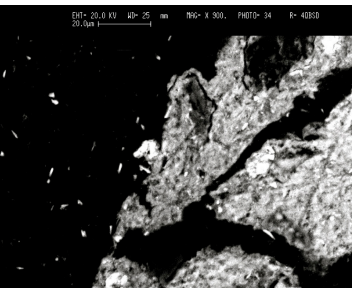
**Fig. 55** Basso 09 10x SEM



**Fig. 56** Basso 09 25x ppl



**Fig. 57** Basso 09 25x xpl



**Fig. 58** Basso 09 25x SEM



CAPITOLO 7.

RISULTATI  
ANALISI  
GEOELETRICA



## RISULTATI ANALISI GEOELETRICA.

L'analisi geoelettrica è stata effettuata solo nell'area dedicata in Oltrepò, con lo scopo di monitorare nel tempo le variazioni di resistività elettrica all'interno del suolo entro il quale erano stati sepolti, in due buche distinte, un totale di dieci lattonzoli. Si è ipotizzato che, con lo scorrere del tempo il processo di decomposizione fornisse fluidi ricchi di ioni i quali avrebbero interagito con la conduzione della corrente elettrica utilizzata per i sondaggi. In questo capitolo vengono esposte le misurazioni effettuate e le estrapolazioni matematico-statistiche e grafiche dei risultati per una più facile comprensione.

<b>Data</b>	<b>Nome</b>	<b>N° Misure</b>	<b>Tipologia</b>	<b>N° Livelli</b>	<b>N° Misure</b>
01.04.2010	Versa 0	1	Diretta	29	519
09.04.2010	Versa 1	2	Diretta e Inversa	29	617 / 617
30.04.2010	Versa 2	2	Diretta e Inversa	29	617 / 617
28.05.2010	Versa 3	2	Diretta e Inversa	29	617 / 617
11.06.2010	Versa 4	2	Diretta e Inversa	29	617 / 617
02.07.2010	Versa 5	2	Diretta e Inversa	29	617 / 617
22.10.2010	Versa 6	2	Diretta e Inversa	18	479 / 479
14.01.2011	Versa 7	2	Diretta e Inversa	17	358 / 357
25.03.2011	Versa 8	2	Diretta e Inversa	20	390 / 390

**Tab. 12** Tabella riepilogativa della campagna di acquisizione dati.

Sullo stendimento a 32 elettrodi in modalità dipolo-dipolo sono state eseguite nove giornate di acquisizione dati che hanno coperto un lasso di tempo pari a 11 mesi e 15 giorni. In ogni data, ad esclusione della prima dove è stata effettuata la misura del "bianco", sono state effettuate due misure (Tab. 12), una con orientazione da Sud a Nord (chiamata sezione diretta)

e l'altra con orientazione da Nord a Sud (sezione inversa). L'acquisizione dati è terminata quando la raccolta non ha più determinato significativi cambiamenti nelle misurazioni registrate.

Tuttavia, dopo aver effettuato un numero ragionevole di misure (dopo la sesta giornata di campo) e dopo avere elaborato in fase preliminare i dati, avendo verificato la coerenza tra il modello geologico della zona desunto dalla carta geologica (foglio 59 Pavia) ed il modello elettrostratigrafico stimato dai dati raccolti, si è deciso di effettuare un numero minore di misure concentrando lo studio solo sui primi due metri della sezione. Questo poiché è stato osservato che a profondità maggiori di 1.5-2.0 metri si incontra un livello caratterizzato da valori di resistività più alto rispetto alla zona superficiale argillosa, in questa zona non ci si aspetta il coinvolgimento dei fluidi decompositivi, risulta quindi non funzionale scendere oltre tale profondità con le indagini. In questo modo è stato possibile diminuire l'incertezza nelle sezioni di resistività calcolate nonché velocizzare la raccolta dati (come spiegato nel capitolo relativo ai Metodi Analitici).

Nelle sezioni bidimensionali (2D) i valori sono stati rappresentati con colori differenti e sono suddivisi da limiti: le tonalità fredde (blu, azzurro, verdone, giallo scuro) sono state utilizzate per rappresentare valori relativamente conduttivi, le tonalità calde (giallo acceso, arancio, rosso, viola) per le aree maggiormente resistive.

Il range dei valori di resistività utilizzato per la visualizzazione delle sezioni 2D varia da 3 a circa 90  $\Omega\text{m}$ ; la scelta è stata fatta in modo da realizzare sezioni 2D il più possibile rappresentative della zona interessata dallo scavo.

In relazione ai parametri che possono influenzare la resistività, quali la quota piezometrica, la litologia del terreno e la presenza di fluidi decompositivi di varia natura, si è scelto di interpretare le variazioni temporali e la distribuzione spaziale di resistività elettrica attraverso un modello elettrostratigrafico della porzione di sottosuolo investigata come risultante di tutti i fattori elencati in precedenza che influenzano il risultato.

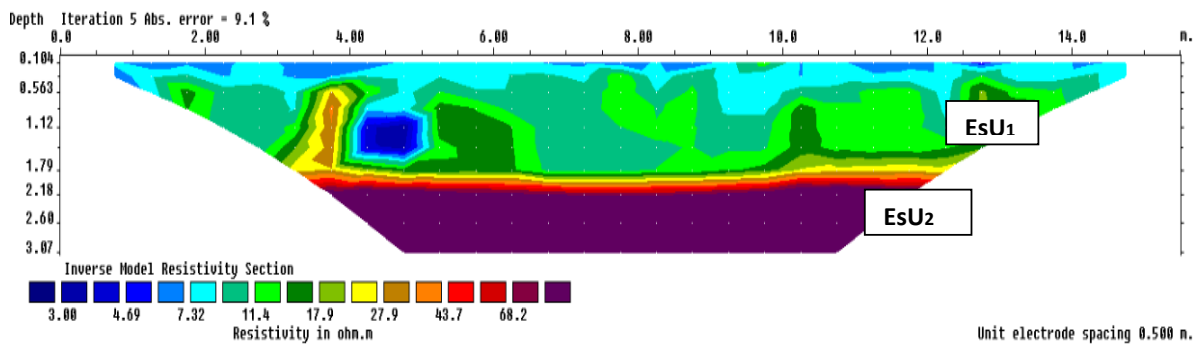
Quindi il modello elettrostratigrafico è stato definito attraverso unità elettrostratigrafiche, ovvero corpi 3D distinguibili sulla base del contrasto elettrico con le unità adiacenti e delle proprietà elettriche interne, dotate di una propria geometria apparente. Quando si determina una discontinuità tra due unità non si rappresenta una superficie fisica esistente, ma una corrispondenza tra contrasti elettrici. Una sezione geoelettrica basata su un modello di resistività 2D non è da intendere come una rappresentazione geometrica di unità fisiche bensì come espressione della variazione della struttura elettrica di un sottosuolo eterogeneo.



Di fatto, nelle sezioni sono state determinate due unità, nominate dalla più superficiale alla più profonda EsU1 ed EsU2 (Fig. 59).

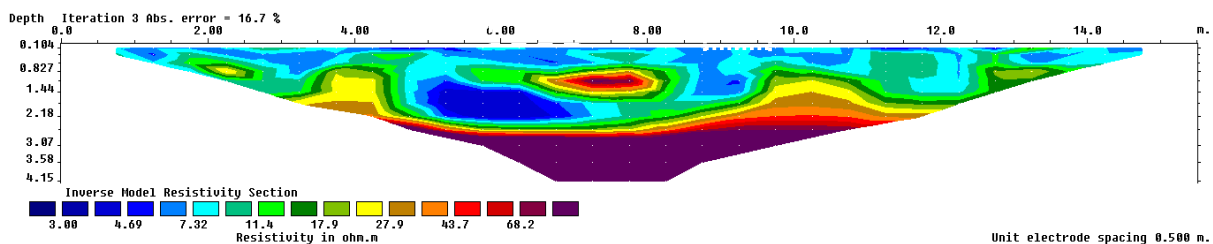
L'unità EsU1 è l'unità più superficiale, rappresentativa di un livello conduttivo (da 1  $\Omega\text{m}$  fino a 15-20  $\Omega\text{m}$ ) avente spessore medio di circa 1.5 m e tetto corrispondente con il piano di campagna. L'unità non è omogenea in tutto il suo spessore, è costituita da corpi lenticolari di lunghezza metrica e spessore decimetrico, aventi valori di resistività diversi con il passare del tempo.

L'unità EsU2 rappresenta un livello più resistivo (tra 18  $\Omega\text{m}$  e fino a oltre 90  $\Omega\text{m}$ ), il tetto dell'unità coincide con la base dell'unità EsU1 mentre la profondità massima della nostra indagine ci impedisce di definire la base dell'unità. E' caratterizzata da comportamento omogeneo in quanto si osserva un aumento dei valori di resistività con l'aumentare della profondità.



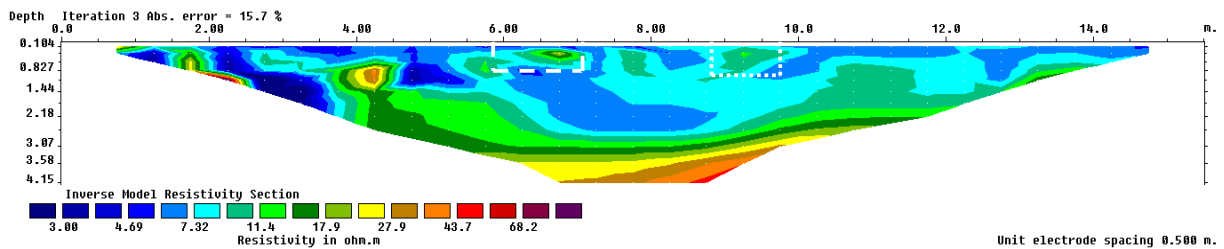
**Fig. 59** Posizionamento delle unità stratigrafiche all'interno della sezione 2D di resistività.

Di seguito vengono proposte le immagini (Fig. 60-64) relative al modello di resistività diretta elaborata con i dati acquisiti di cinque giornate di acquisizione dati, scelte perché rappresentative dei vari cambiamenti che si sono succeduti durante il periodo monitorato. Si rimanda all'Appendice C – Geofisica per le immagini della resistività elettrica apparente misurata e calcolata che hanno fornito i dati di base per la costruzione del modello qui riportato.



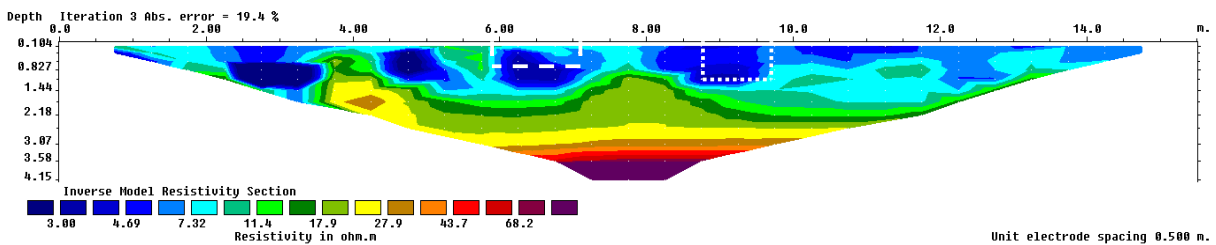
**Fig. 60** Sezione 2D (modello) di resistività diretta elaborata con i dati acquisiti il 01/04/2010 prima dell'inumazione dei maiali (la posizione delle fosse è indicata con i box bianchi a tratteggio)

La fig. 60 mostra la situazione in sezione di come si presentava il terreno indagato prima dell'inumazione dei lattonzoli, ossia prima che le buche indicate con in box bianchi tratteggiati venissero scavate. L'immagine del modello resistivo non segnala nulla di anomalo.



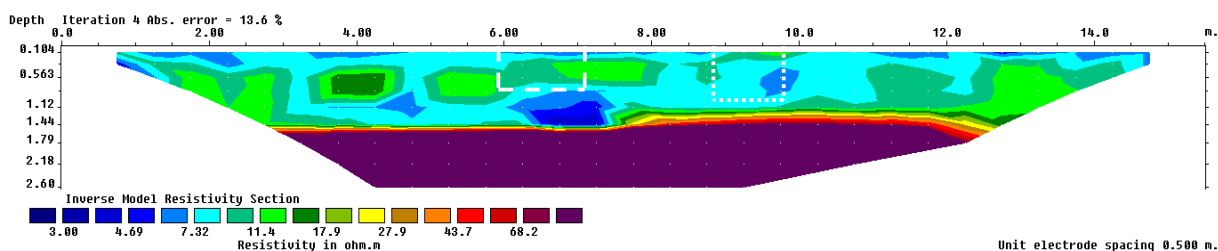
**Fig. 61** Sezione 2D (modello) di resistività diretta elaborata con i dati acquisiti il 09/04/2010 (la posizione delle fosse è indicata con i box bianchi a tratteggio)

La fig. 61, relativa ad otto giorni dopo l'apertura delle buche e l'inumazione dei lattonzoli, mostra chiaramente delle anomalie di resistività in concomitanza delle buche (box bianchi) dove la conduttività diminuisce verosimilmente a causa del suolo smosso e quindi più aerato e del “vuoto conduttivo” creato dai lattonzoli.



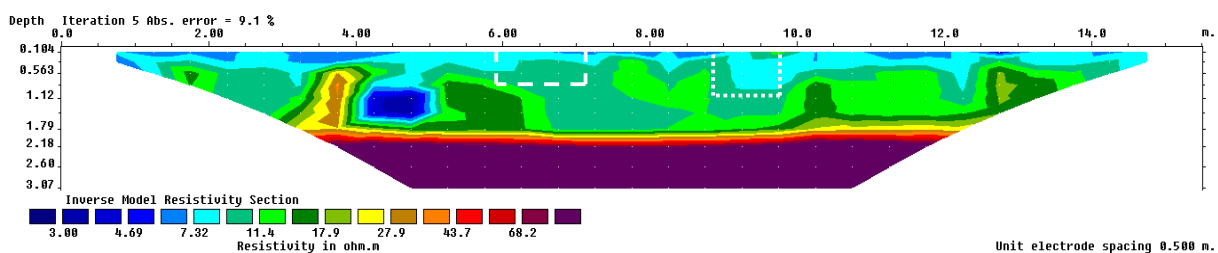
**Fig. 62** Sezione 2D (modello) di resistività diretta elaborata con i dati acquisiti il 02/07/2010 (la posizione delle fosse è indicata con i box bianchi a tratteggio)

La fig. 62, relativa al periodo estivo, mostra anomalie in concomitanza delle buche (box bianchi) che presentano una conduttività maggiore di quella osservata precedentemente. La spiegazione di ciò può risiedere nell'avanzare della decomposizione dei lattonzoli che per tanto forniscono nell'immediato intorno liquidi putrefattivi altamente conduttivi. Si presuppone che durante la stagione estiva, con caratteristiche meteorologiche di spiccata siccità, si verifichi una fissazione dei fosfati nel suolo.



**Fig. 63** Sezione 2D (modello) di resistività diretta elaborata con i dati acquisiti il 14/01/2011 (la posizione delle fosse è indicata con i box bianchi a tratteggio)

Nella fig. 63, relativa al periodo invernale, dieci mesi dopo l'inumazione, si nota una generale omogeneità dell'area e l'assenza di significative anomalie in concomitanza delle buche (box bianchi). In questo caso si ipotizza ad una massima espressione del processo di dilavamento dei fosfati ad opera delle abbondanti precipitazioni verificatesi nel periodo invernale.



**Fig. 64** Sezione 2D (modello) di resistività diretta elaborata con i dati acquisiti il 25/03/2011 (la posizione delle fosse è indicata con i box bianchi a tratteggio)

La fig. 64, relativa all'ultima raccolta dati avvenuta a fine marzo 2011, mostra che a circa 12 mesi di distanza dall'inumazione dei lattonzoli, la situazione si presenta molto simile alla situazione riscontrata precedentemente allo scavo ed all'inumazione degli stessi. Questo fatto porta verosimilmente a pensare che a distanza di un anno il processo di decomposizione si sia esaurito e che i liquidi putrefattivi siano stati dilavati in profondità oppure siano stati degradati in componenti volatili per cui non si riscontra più la conducibilità elevata osservata nell'estate 2010.



CAPITOLO 8.

RISULTATI  
ANALISI DELLA  
VEGETAZIONE



# RISULTATI ANALISI DELLA VEGETAZIONE.

L'analisi vegetazionale si è dipanata durante il primo anno della presente sperimentazione, i dati rilevati sono stati riordinati ed elaborati al fine di evidenziare eventuali differenze tra i trend dinamici delle aree di controllo e quelle oggetto di indagine; una elaborazione completa è stata possibile solo per il sito A (area prato) della zona utilizzata all'interno del Parco del Ticino, poiché il sito B (area bosco) non ha fornito dati sufficienti, viene perciò presentato in coda al presente capitolo.

Tutti i dati relativi ai settantasette rilievi effettuati, ossia le specie dei cento punti della PQA e la loro abbondanza in termini di contatti ortogonali all'incrocio, sono stati trascritti in tabelle Excel per poter essere ordinati e monitorati nel tempo. Essenzialmente sono state condotte due tipologie di osservazioni sui dati: una che permette di evidenziare le variazioni all'interno dei singoli quadrati di rilevamento ed una che permette un confronto tra i vari quadrati.

## **8.1 Elenco floristico**

Si precisa che nel presente studio sono state prese in considerazione esclusivamente le specie rinvenute nei siti rilevati, in quanto un'analisi dettagliata di tutta la flora, ovvero del complesso dei taxa vegetali elementari che esiste in un determinato territorio, esulava dalle finalità dello studio stesso. Tutte le specie rilevate sono state elencate creando una lista (vedi Appendice D) nella quale sono state riportate pure informazioni circa l'habitat prevalente, la forma biologica, la corologia e l'intervallo altitudinale caratteristico di ciascuna specie; per il sito A inoltre, si è indicato anche il valore degli indici ecologici di Landolt (F, R, N, H, D, L) (Pignatti, 1982; Landolt, 1977). Complessivamente sono state rilevate 38 specie, appartenenti a 23 famiglie: 27 specie nel sito A, 14 nel sito B.

## 8.2 Forme biologiche

L'organizzazione delle piante superiori segue la classificazione in "forme biologiche" introdotte da Raunkier (1934). Esse sono determinate dagli adattamenti ai quali le piante ricorrono per proteggere le gemme durante la stagione avversa: l'inverno per quanto riguarda la nostra regione, piuttosto che l'estate (per la presenza di periodi d'aridità) nelle regioni mediterranee. Dunque, questo ordinamento riunisce i taxa sulla base degli adattamenti ecologici adottati dalle piante e comprende sei categorie :

- Terofite (T): piante annuali, prive di gemme svernanti, che superano la stagione avversa allo stato di seme;
- Geofite (G): piante perenni che svernano con organi ipogei (radici, bulbi, rizomi) sui quali si trovano le gemme;
- Emicriptofite (H): piante perenni erbacee con gemme situate a livello del suolo, protette dagli apparati aerei morti o ancora assimilanti oppure dalla neve. Alcune sono pluriennali, altre biennali;
- Camefite (Ch): piante perenni con gemme a meno di 40 cm di altezza dal suolo. Possono essere a fusto completamente legnoso o avere solo la base lignificata;
- Fanerofite (P): piante perenni che possiedono gemme portate ad un'altezza dal suolo di più di 4 m. Comprende alberi e arbusti;
- Nanofanerofite (NP): tutti gli arbusti che hanno un'altezza dal suolo compresa tra 4 m e 40 cm.

Lo spettro biologico mostra le frequenze delle varie forme biologiche delle specie presenti nei rilievi effettuati (Tab. 13). Si evidenzia la dominanza di emicriptofite nel sito A, a struttura erbacea, e di fanerofite nel sito forestale B.

	N° specie sito A	N° specie sito B
CH – Camefite	2	0
G – Geofite	2	1
H – Emicriptofite	11	3
T – Terofite	9	1
NP – Nanofanerofite	0	1
P – Fanerofite	0	6

**Tab. 13** Spettro biologico area A e B.



### 8.3 Analisi a differenti soglie temporali

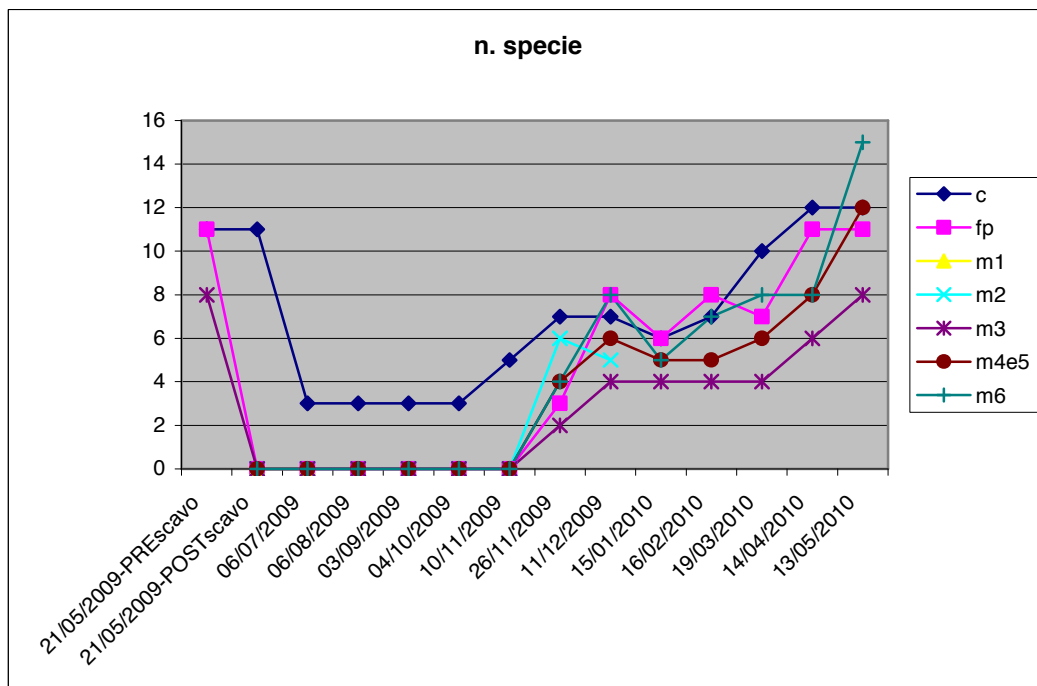
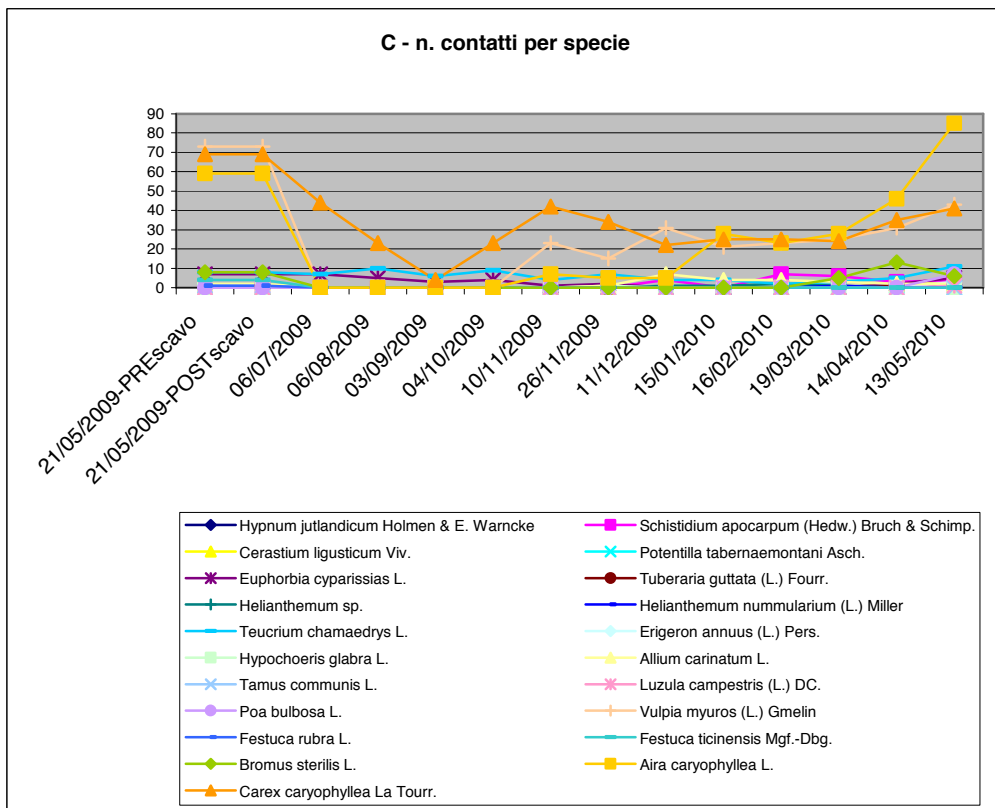
Per quanto riguarda le variazioni all'interno dei singoli quadrati nel tempo, si è tenuto conto del numero di contatti totali per ogni specie rilevata dalla griglia in ciascuna data di rilevamento.

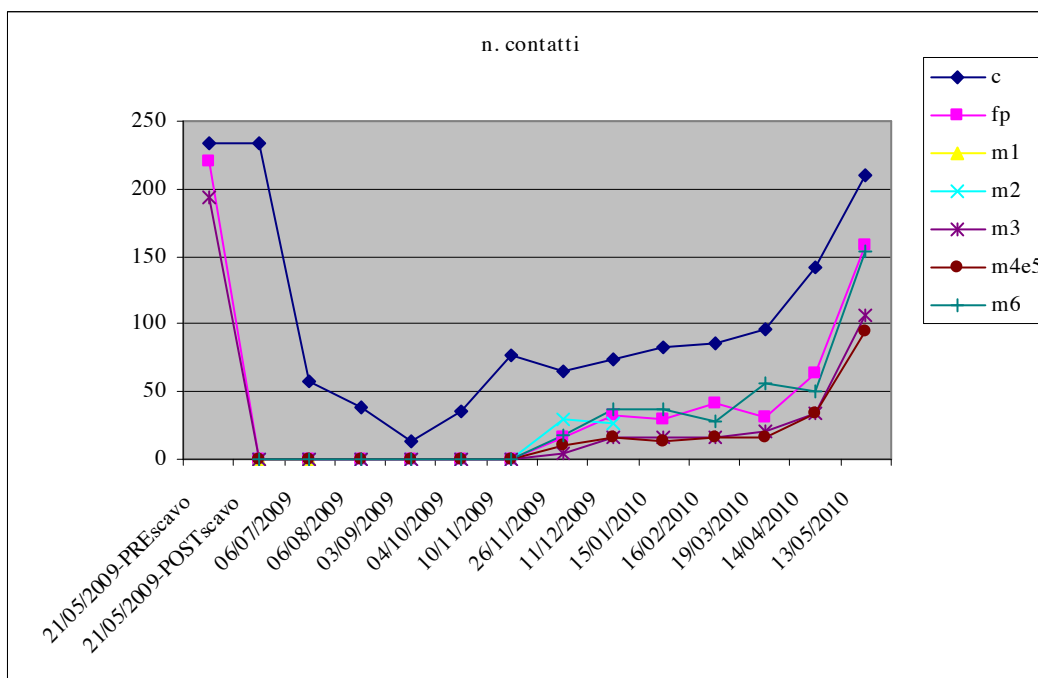
Per ciò che riguarda le variazioni tra quadrato e quadrato, sempre nel tempo, l'attenzione è stata posta sul:

- numero delle specie rilevate tramite la griglia, in ciascun quadrato per ogni data di rilevamento per ottenere informazioni sulla ricchezza floristica;
- numero di contatti totali (a prescindere dalla specie) rilevati dalla griglia, in ogni quadrato per ciascuna data di rilevamento per ricavare informazioni sull'abbondanza degli individui;
- numero di incroci totali (a prescindere dalla specie) rilevati dalla griglia, in ciascun quadrato per ogni data di rilevamento per estrapolare indicazioni riguardo la biomassa complessiva.

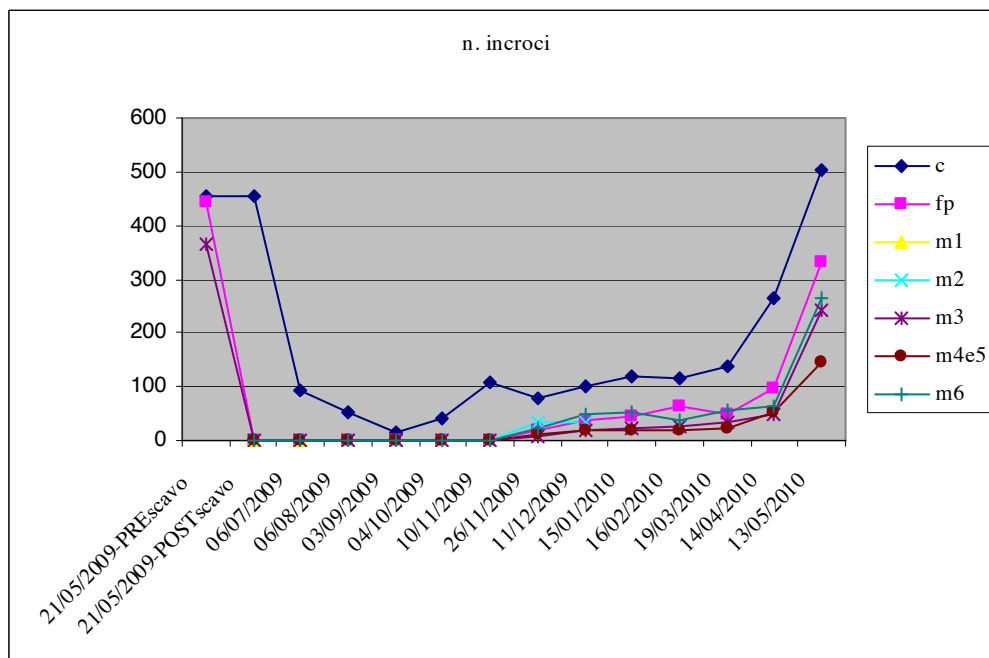
Tutti questi dati sono stati organizzati in matrici che hanno permesso la costruzione di grafici rappresentanti con linee l'andamento nel tempo dei vari parametri presi in considerazione:

- variazione dell'abbondanza di ciascuna specie per ogni quadrato (Grafico 40);
- variazione del numero di specie per quadrato (Grafico 41);
- variazione del numero di contatti per quadrato (Grafico 42);
- variazione del numero di incroci per quadrato (Grafico 43).





**Grafico 42** Numero di contatti per quadrato



**Grafico 43** Numero di incroci per quadrato

### 8.4 Specie esclusive e comuni

Grazie all'analisi dei dati opportunamente raggruppati è stato possibile effettuare confronti con lo scopo di individuare le specie esclusive in funzione del quadrato (C, FP, M1, M2, M3, M4e5, M6), della data, del tipo di quadrato (controllo, falso positivo, maiale) e del tipo di disturbo (indisturbato, disturbato) di seguito brevemente esposte.

• **Specie esclusive e comuni in funzione del quadrato:**

Sono state rilevate tre specie che compaiono esclusivamente nel controllo: *Tamus communis* L., *Poa bulbosa* L. e *Festuca rubra* L. *Tamus communis* e *Festuca rubra* si presentano solamente nel rilievo del 21/05/2009 e con una copertura molto scarsa, un solo contatto per ciascuna specie. *Poa bulbosa* si presenta solamente nel rilievo del 13/05/2010, con 7 contatti e 15 incroci.

È stata rilevata un'unica specie esclusiva del falso positivo, *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv. Questa graminacea compare tuttavia solamente nel rilievo pre-scavo del 21/05/2009, con 2 contatti e 6 incroci e non è quindi indicativa delle condizioni di disturbo del falso positivo.

*Myosotis ramosissima* Rochel compare esclusivamente nel quadrato M4e5. Si presenta solo nel rilievo del 13/05/2010 e con una copertura assai ridotta: 2 contatti, ciascuno dei quali con un incrocio.

Non sono state rilevate specie esclusive per i quadrati M1, M2, M3 e M6.

Non sono nemmeno state rilevate specie che compaiono in tutti i quadrati; questo è probabilmente dovuto al fatto che il maiale n°1 è stato riesumato quando ancora non era ricresciuto nulla sulla superficie della sua fossa. Se si esclude M1, si nota che alcune specie, pur con coperture assai diseguali, sono presenti in tutti gli altri quadrati; queste sono: *Tuberaria guttata* (L.) Fourr., *Helianthemum nummularium* (L.) Miller, *Allium carinatum* L. e *Aira caryophylla* L.

• **Specie esclusive e comuni in funzione della data:**

Cinque specie si sono presentate esclusivamente nei primi rilievi, quelli pre-scavo del 21/05/2009: *Tamus communis* L., *Festuca rubra* L., *Festuca ticinensis* Mgf.-Dbg., *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv. e *Koeleria pyramidata* (Lam.) Domin.

Mentre tre specie si sono presentate esclusivamente negli ultimi rilievi, quelli del 13/05/2010: *Myosotis ramosissima* Rochel, *Erigeron annuus* (L.) Pers. e *Poa bulbosa* L.

Non sono state rilevate specie esclusive delle altre date nelle quali sono stati eseguiti i rilievi.

Due specie erano presenti in ogni data in cui sono stati eseguiti i rilievi, pur con una variazione consistente nel numero dei contatti dovuto all'andamento stagionale. Queste specie sono: *Teucrium chamaedrys* L. (numero massimo di contatti: 22, rilevato il 21/05/2009; numero minimo di contatti: 2, il 16/02/2010) e *Carex caryophylla* La Tourr. (n. max. contatti: 129 il 21/05/2009; n. min. contatti: 4 il 03/09/2009).

• **Specie esclusive e comuni in funzione del tipo di quadrato:**

Tre specie sono esclusive del controllo, una del falso positivo ed una del maiale (si vedano le considerazioni fatte per le specie esclusive in funzione del quadrato).

Due specie sono comuni al controllo ed al falso positivo: *Teucrium chamaedrys* L. e *Hypnum jutlandicum* Holmen & E. Warncke; quest'ultimo si presenta con una copertura assai ridotta nel controllo, un unico contatto.

Specie comuni al falso positivo ed al maiale, che non si sviluppano sul controllo sono: *Rumex acetosella* L., *Hypericum perforatum* L. (copertura molto scarsa, 1 contatto per il falso positivo e 3 per il maiale), *Teesdalia nudicaulis* (L.) R. Br. e *Koeleria pyramidata* (Lam.) Domin., che si sviluppa molto bene sul falso positivo (71 contatti complessivi), ma poco sul maiale (2 contatti).

Sono state rilevate anche specie che si sviluppano sia sul controllo sia sul maiale, ma non sul falso positivo. Queste specie sono: *Schistidium apocarpum* (Hedw.) Bruch & Schimp., *Potentilla tabernaemontani* Asch., *Erigeron annuus* (L.) Pers. e *Festuca ticinensis* Mgf.-Dbg.

Le altre specie rilevate sono comuni a tutti i tipi di quadrato.

• **Specie esclusive e comuni in funzione del tipo di disturbo:**

Sono state rilevate specie che sono cresciute solamente sui quadrati che hanno subito il disturbo dovuto allo scavo. Queste specie sono *Teesdalia nudicaulis* (L.) R. Br., che si presenta abbondantemente (62 contatti complessivi) e *Myosotis ramosissima* Rochel, che invece si presenta con una copertura molto scarsa (2 contatti).

Sono state rilevate anche specie esclusive dell'indisturbato, cioè del controllo e dei rilievi pre-scavo: *Teucrium chamaedrys* L., *Tamus communis* L., *Poa bulbosa* L., *Festuca rubra* L., *Festuca ticinensis* Mgf.-Dbg., *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv. e *Koeleria pyramidata* (Lam.) Domin. Queste si presentano con frequenze anche molto diverse tra loro: ad esempio, *Teucrium chamaedrys* presenta 94 contatti totali, mentre *Festuca rubra* un solo contatto.

Per verificare se l'osservazione dei parametri sopra elencati (n. di specie e n. di contatti) e l'abbondanza di ciascuna specie variassero in modo significativo in funzione della data, del quadrato, del tipo di quadrato o del tipo di disturbo è stata eseguita l'analisi della varianza (ANOVA). Per realizzare l'analisi della varianza è stato utilizzato il software statistico SPSS. In particolare si è confrontato:

I dati relativi al numero di specie per rilievo, al numero di contatti totali per rilievo e al numero di contatti di ciascuna specie per rilievo, sono stati confrontati in funzione:

■ **del quadrato su cui è stato eseguito il rilievo.**

Dall'ANOVA risulta che esiste una differenza significativa ( $p < 0.05$ ) per quanto riguarda il numero delle specie, il numero dei contatti totali e il numero di contatti di *Carex caryophylla* La Tourr., *Euphorbia cyparissias* L., di *Hypnum jutlandicum* Holmen & E. Warncke, di *Schistidium apocarpum* (Hedw.) Bruch & Schimp, di *Teucrium chamaedrys* L., di *Vulpia myuros* (L.) Gmelin e di *Allium carinatum* L.

#### ■ della data del rilievo.

Dall'ANOVA risulta che esiste una differenza significativa ( $p < 0.05$ ) per quanto riguarda il numero delle specie, il numero dei contatti totali e il numero di contatti di *Aira caryophylla* L., di *Cerastium ligusticum* Viv., di *Erigeron annuus* (L.) Pers., di *Helianthemum* sp., di *Hypericum perforatum* L., di *Hypochoeris glabra* L., di *Rumex acetosella* L., di *Teesdalia nudicaulis* (L.) R. Br., di *Tuberaria guttata* (L.) Fourr. e di *Allium carinatum* L.. Ovvero le specie aumentano in numero dal sesto rilievo post-scavo; aumentano pure i contatti di *Aira caryophylla* L., di *Rumex acetosella* L., di *Teesdalia nudicaulis* (L.) R. Br., relativamente al confronto fra gli ultimi due rilievi e di conseguenza aumentano pure considerevolmente i contatti totali

#### ■ del tipo di quadrato.

Dall'ANOVA risulta che esiste una differenza significativa ( $p < 0.05$ ) per quanto riguarda il numero delle specie, il numero dei contatti totali ed il numero di contatti di *Carex caryophylla* La Tourr., di *Cerastium ligusticum* Viv., di *Euphorbia cyparissias* L., di *Helianthemum nummularium* (L.) Miller, di *Hypnum jutlandicum* Holmen & E. Warncke, di *Schistidium apocarpum* (Hedw.) Bruch & Schimp, di *Teucrium chamaedrys* L. e di *Vulpia myuros* (L.) Gmelin. Il controllo ed il falso positivo si differenziano tra loro per il numero dei contatti totali e per il numero di contatti di *Carex caryophylla*, di *Euphorbia cyparissias*, di *Schistidium apocarpum*, di *Teucrium chamaedrys*, di *Vulpia myuros* e di *Hypnum jutlandicum*. Tutti questi parametri, ad eccezione di *Hypnum jutlandicum*, per il quale vale la considerazione opposta, presentano valori significativamente maggiori nel controllo rispetto al falso positivo (*Schistidium apocarpum* non compare proprio nel falso positivo); il falso positivo ed il maiale si differenziano tra loro per il numero di contatti di *Hypnum jutlandicum*, di *Cerastium ligusticum* e di *Helianthemum nummularium*. Tutti questi parametri assumono valori maggiori nel falso positivo rispetto al maiale (*Hypnum jutlandicum* non compare nel tipo di quadrato maiale); mentre il controllo ed il maiale si differenziano tra loro per il numero di specie, il numero di contatti totali e il numero di contatti di *Carex caryophylla*, di *Euphorbia cyparissias*, di *Schistidium apocarpum*, di *Teucrium chamaedrys* e di *Vulpia myuros*. Tutte

queste variabili assumono valori maggiori nel controllo rispetto alle fosse che contengono il maiale. *Teucrium chamaedrys* non compare mai con i maiali.

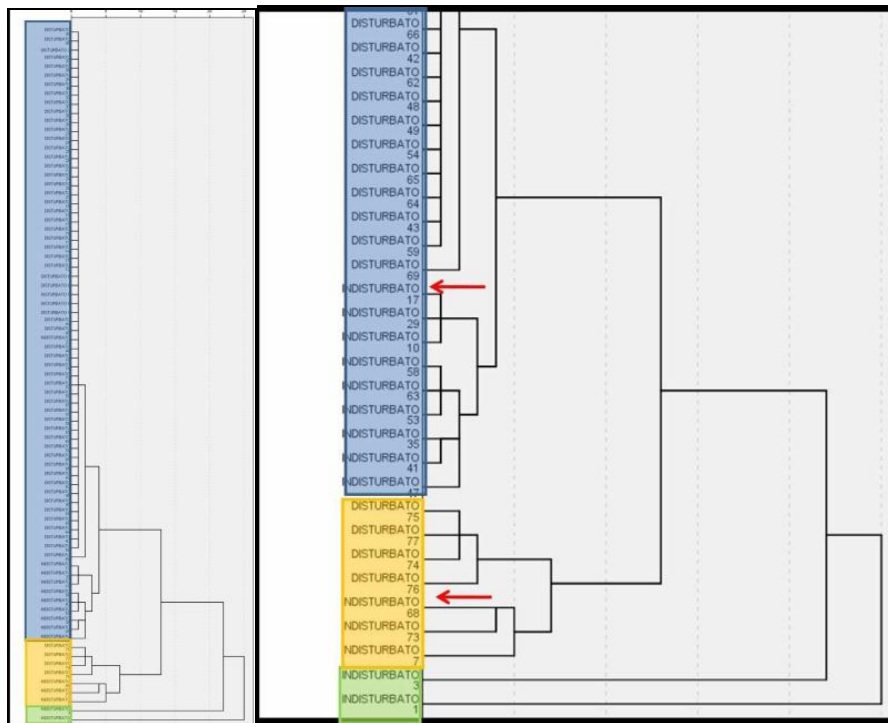
#### ■ del disturbo o meno subito dal quadrato.

Dall'ANOVA risulta che esiste una differenza significativa ( $p < 0.05$ ) tra i quadrati disturbati e quelli non per quanto riguarda il numero delle specie, il numero dei contatti totali e il numero di contatti di *Aira caryophylla* L., di *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv., di *Bromus sterilis* L., di *Carex caryophylla* La Tourr., di *Euphorbia cyparissias* L., di *Festuca rubra* L., di *Festuca ticinensis* Mgf.-Dbg., di *Koeleria pyramidata* (Lam.) Domin., di *Poa bulbosa* L., di *Schistidium apocarpum* (Hedw.) Bruch & Schimp, di *Tamus communis* L., di *Teucrium chamaedrys* L. e di *Vulpia myuros* (L.) Gmelin. Tutte queste variabili, ad eccezione di *Aira caryophylla*, per la quale vale la considerazione opposta, assumono valori maggiori nei rilievi su quadrati indisturbati rispetto ai quadrati che hanno subito il disturbo dello scavo. *Brachypodium pinnatum*, *Festuca rubra*, *Festuca ticinensis*, *Koeleria pyramidata*, *Poa bulbosa*, *Tamus communis* e *Teucrium chamaedrys* non compaiono mai nei rilievi su quadrati disturbati.

### 8.5 Cluster Analysis

Con il fine ultimo di individuare rilievi simili, la tabella comprendente tutti i dati è stata elaborata con un'analisi multivariata la quale permette di raggruppare gli oggetti (in questo caso i singoli rilievi) a seconda della loro somiglianza, che dipende dalle specie presenti e dalla loro abbondanza (Fowler & Cohen, 2002). Questa analisi meglio conosciuta sotto l'appellativo di "Cluster Analysis" è stata eseguita grazie all'uso del software statistico SPSS, utilizzando come indice di similitudine la distanza cordale e come metodo di agglomerazione l'UPGMA (Unweighted Pair Group Method using arithmetic Averages). Il risultato dell'elaborazione è un dendrogramma, un grafico ramificato dicotomicamente che evidenzia gruppi di rilievi affini (Pignatti, 1995). Il dendrogramma ottenuto (Fig. 65) individua tre grandi gruppi. Tale suddivisione è basata sulla stagionalità:

- Gruppo 1 (verde): ne fanno parte i rilievi pre- intervento (ad eccezione del rilievo 7, che è più simile a quelli di maggio 2010);
- Gruppo 2 (blu): ne fanno parte tutti gli altri rilievi, quelli compresi tra luglio 2009 ed aprile 2010.
- Gruppo 3 (giallo): ne fanno parte i rilievi di maggio 2010, il rilievo 68, che è di aprile 2010, ed il rilievo 7;



**Fig. 65** Dendrogramma relativo all'area A (con dettaglio a destra)

All'interno del secondo e terzo gruppo sono ben distinti i rilievi su quadrati indisturbati (controllo) da quelli su quadrati che hanno subito il disturbo dello scavo (falsi positivi e maiali). Non è invece chiara una distinzione tra maiali e falsi positivi.

Prendendo in considerazione solamente il gruppo 3 (poiché il primo è molto omogeneo e nel secondo sono presenti poche specie e con un basso numero di contatti), si possono osservare meglio le differenze esistenti tra i rilievi in funzione del disturbo subito o meno ed in funzione del tipo di quadrato (controllo, falso positivo o maiale). Le specie che maggiormente marcano il disturbo in questi casi sono *Rumex acetosella* L., *Cerastium ligusticum* Viv., *Teesdalia nudicaulis* (L.) R. Br. e *Tuberaria guttata* (L.) Fourr.

Le specie che maggiormente differenziano falso positivo e maiale sono *Hypnum jutlandicum* Holmen & e. Warncke, *Hypericum perforatum* L., *Myosotis ramosissima* Rochel e *Helianthemum nummularium* (L.) Miller. Queste specie presentano però una copertura estremamente ridotta, tale da non poter affermare che discriminano realmente i due tipi di quadrato disturbato.

## 8.6 Elaborazione dei dati relativi all'area B

Per quanto riguarda i dati rilevati nel sito B, sarebbe stato interessante poter applicare le stesse analisi eseguite per il sito A e confrontare le differenze o similitudini tra i due siti, anche in considerazione del fatto che presentano delle specie in comune quali *Allium carinatum* L.,



*Hypochoeris glabra* L. e *Carex caryophyllea* La Tourr. In realtà, non è stato possibile fare ciò in quanto sulla maggior parte delle fosse del sito B non è ricresciuto nulla o quasi dal momento dello scavo.

Con gli stessi criteri utilizzati per il sito A, si è verificato se esista o meno una differenza significativa tra i vari quadrati, ma solo per quanto riguarda i rilievi pre-scavo del 04/06/2009 e i rilievi del 13/05/2010, gli unici nei quali ci sono dati diversi da 0.

In particolare si è confrontato:

- il numero di specie per rilievo con la data del rilievo (1. 04/06/2009; 2. 13/05/2010);
- il numero di contatti per rilievo con la data del rilievo;
- il numero di contatti di ciascuna specie per rilievo con la data del rilievo;
- il numero di specie per rilievo con il tipo di quadrato (1. controllo; 2. falso positivo; 3. maiale);
- il numero di contatti per rilievo con il tipo di quadrato;
- il numero di contatti di ciascuna specie per rilievo con tipo di quadrato;
- il numero di specie per rilievo con il disturbo o meno del quadrato (2. disturbato, 1. indisturbato);
- il numero di contatti per rilievo con il disturbo o meno del quadrato;
- il numero di contatti di ciascuna specie per rilievo con il disturbo o meno del quadrato.

Il numero di contatti durante il periodo invernale si azzera per la maggior parte delle specie rilevate, ad eccezione di *Brachypodium rupestre* (Host.) R. et S. e di *Rubus* sp., che permangono anche durante l'inverno con una frequenza ridotta. La ripresa della vegetazione si ha per queste due specie a marzo-aprile, mentre per altre, ma con minor copertura, si verifica già a febbraio.

Anche per il sito B si è verificato, attraverso l'analisi della varianza, se esista una differenza significativa tra i vari quadrati, ma solo per quanto riguarda i rilievi pre-scavo e quelli del 13-05-2010, per la medesima motivazione di cui sopra. I risultati hanno rilevato che non esiste alcuna differenza significativa per quanto riguarda la data, il numero di specie, il numero di contatti totali, il numero di contatti di ciascuna specie rilevata.

Si è anche osservato che esiste una differenza significativa ( $p < 0.05$ ) tra i tipi di quadrato (1. controllo, 2. falso positivo, 3. maiale) per quanto riguarda il numero di contatti di *Rubus* sp. In particolare, questo parametro differenzia il controllo dal falso positivo ed il controllo dal maiale, assumendo valori più alti nel controllo.

Infine, i dati relativi al numero di specie per rilievo, al numero di contatti totali per

rilievo e al numero di contatti di ciascuna specie per rilievo, sono stati confrontati in funzione del disturbo o meno subito dal quadrato (1. rilievo su quadrato indisturbato – controllo e rilievi pre-scavo – e 2. rilievo su quadrato disturbato). Dall'ANOVA risulta che esiste una differenza significativa ( $p < 0.05$ ) tra i quadrati disturbati e quelli non per quanto riguarda il numero totali di contatti ed il numero di contatti di *Brachypodium rupestre*; queste variabili assumono valori maggiori nei quadrati indisturbati.

### **8.7 Considerazioni sui risultati ottenuti**

Una prima considerazione che può essere fatta a seguito dell'osservazione dei risultati ottenuti con la sperimentazione descritta in questa tesi riguarda le conseguenze immediate dello scavo. L'azione dell'apertura e chiusura della fossa ha portato alla completa distruzione della copertura vegetale preesistente, come si può dedurre dai grafici riguardanti il numero di specie, numero di contatti e numero di incroci per quadrato. Ciò significa che lo scavo ha rappresentato per la vegetazione un'azione di disturbo meccanico, come ipotizzato.

La ripresa della vegetazione sui diversi quadrati è avvenuta in tempi differenti tra sito A, dove i rilievi hanno ricominciato ad intercettare specie a novembre 2009, e sito B, dove ancora a maggio 2010 non era ricresciuto quasi nulla. Inoltre, la ripresa della vegetazione nel sito A è avvenuta non in modo graduale, ma quasi improvviso: si è passati da zero specie rilevate il 10/11/2009 ad una media di 4 specie per quadrato nei rilievi del 26/11/2009. Questo permette di affermare che dal presente studio non è possibile trarre grandi considerazioni sul tempo trascorso dal momento di inumazione del corpo, in quanto la situazione della vegetazione a luglio (un mese dopo l'inumazione) e ad ottobre (a cinque mesi dall'inumazione) appare molto simile. Appare determinante l'influenza dell'andamento stagionale e delle caratteristiche ambientali: su suoli drenanti come quelli del sito, la stagione estiva rappresenta un momento critico per la vegetazione, che comincia a riprendersi in modo significativo solo con le piogge autunnali.

A conferma di ciò, la cluster analysis eseguita per il sito A mostra che i rilievi possono essere suddivisi in tre grandi gruppi. L'osservazione delle caratteristiche dei rilievi propri di questi tre gruppi permette di evincere che la divisione principale tra i rilievi è su base stagionale. Infatti, un gruppo – gruppo 1 – è costituito dai rilievi pre-intervento; un altro gruppo – gruppo 3 – è costituito dai rilievi di aprile e maggio 2010; infine, il gruppo 2 è costituito dalla massa di tutti gli altri rilievi, quelli compresi tra luglio 2009 e aprile 2010.

La differenza principale tra il grande gruppo che racchiude tutti i rilievi intermedi e gli altri due, risiede nel numero di specie rilevate e nel numero di contatti. Il numero medio di

specie rilevate per i rilievi del primo gruppo e del terzo gruppo è 11, mentre per il gruppo intermedio è 3. Il numero medio di contatti per i rilievi del primo gruppo è 226, per gli ultimi rilievi eseguiti è 151, mentre per i rilievi eseguiti nel periodo intermedio è 19.

L'ulteriore suddivisione dei rilievi del secondo e terzo gruppo mostra che esiste anche un'altra differenza tra i rilievi: questa è dovuta al disturbo o non subito dal quadrato. Vengono infatti, distinti i rilievi su quadrati indisturbati (controllo e rilievo 7, pre-scavo del quadrato M3) da quelli su quadrati che hanno subito l'azione dello scavo (falsi positivi e maiali).

Dalla Cluster Analysis non emerge invece una distinzione chiara tra maiali e falsi positivi.

Prendendo in considerazione solamente il gruppo 3 evidenziato dalla Cluster Analysis, poiché il primo è molto omogeneo e nel secondo sono presenti poche specie e con un basso numero di contatti, possiamo osservare meglio le differenze esistenti tra rilievi su quadrati disturbati e non. Le specie che maggiormente marcano il disturbo in questi casi sono *Rumex acetosella* L., *Cerastium ligusticum* Viv., *Teesdalia nudicaulis* (L.) R. Br. e *Tuberaria guttata* (L.) Fourr. Queste specie, dal punto di vista ecologico, appartengono allo stesso Tipo Funzionale, cioè presentano strategie simili che gli permettono la sopravvivenza.

Le specie che sono state individuate come caratteristiche del disturbo nella presente ricerca sono tutte specie stress-tolleranti (crescono in ambienti poco produttivi), così come quelle del controllo, ma anche ben adattate al disturbo; si tratta cioè di specie a strategia SR – stress-tollerante ruderale (Grime *et al.*, 1988). Questo indica che il nostro sito non solo è stato disturbato dallo scavo ma presenta anche una qualche situazione di stress. Si ritiene che lo stress principale al quale l'ambiente indagato è sottoposto sia la scarsità d'acqua. Infatti, l'osservazione dei dati climatici, rivela che esistono almeno due momenti l'anno in cui si raggiunge una situazione di subaridità, in cui la curva delle precipitazioni si abbassa notevolmente, mentre quella delle temperature risulta relativamente elevata. Inoltre, anche le caratteristiche del suolo favoriscono una situazione di stress idrico: il suolo, infatti, presenta una granulometria piuttosto grossolana (ghiaia e sabbia grossolana), una capacità di ritenzione idrica molto bassa (meno di 50 mm) ed un drenaggio rapido. (ERSAL, 1996). Un ultimo indizio che permette di avvalorare ulteriormente l'ipotesi dello stress idrico è l'osservazione delle specie dominanti nei rilievi effettuati prima dello scavo; come si evidenzia anche dall'analisi degli indici di Landolt, prevalgono specie di ambiente arido: *Bromus sterilis*, *Aira caryophylla*, *Koeleria pyramidata*, *Carex caryophylla*, *Vulpia myuros*, ...

Le quattro specie individuate come caratteristiche del disturbo presentano una serie di adattamenti che permette loro di vivere in queste condizioni. Ad esempio, *Rumex acetosella*

affronta lo stress idrico con un sistema di radici profondo e affronta, anzi è favorita da, il disturbo grazie al fatto che si riproduce anche per via vegetativa a partire dalla rottura o frammentazione meccanica di radici orizzontali che portano gemme e da cui si rigenerano nuovi individui.

Lo stress al quale l'ambiente in esame è sottoposto ha probabilmente limitato lo sviluppo della vegetazione sulle aree disturbate, permettendo una crescita rilevante solo a poche specie dotate di una strategia che fosse in grado di tollerare condizioni di stress e affrontare il disturbo.

L'andamento degli indici di Landolt, si mantiene per quasi tutti gli indici utilizzati più o meno costante. Inoltre, l'andamento dei valori assunti dagli indici non mostra quasi mai differenze particolari tra controlli, maiali e FP. Solo l'ultimo rilevamento mostra per l'indice N, quello della ricchezza in nutrienti, un timido innalzamento dell'indice per i maiali, rimanendo comunque più basso rispetto al controllo; l'indice R (reazione del suolo) mostra valori più bassi per i quadrati disturbati rispetto al controllo, comunque in un contesto di generale acidità del substrato.

Il fatto che in nessuno dei due siti indagati si abbiano indicazioni che permettano di distinguere le fosse con maiale inumato dal falso positivo, sia per quel che riguarda le specie presenti e il loro grado di copertura, sia per quel che riguarda le caratteristiche ecologiche dell'ambiente (descritte dagli indici di Landolt) non significa necessariamente che la presenza del corpo non abbia causato un arricchimento locale in acqua, C o nutrienti come N, P, K. Il motivo per il quale non si verificano differenze significative può essere dovuto al fatto che l'ambiente era talmente stressato dal punto di vista idrico che il disturbo apportato dallo scavo ha impedito di approfittare dell'aumentata disponibilità di nutrienti, nonostante una diminuzione locale dello stress dovuta alla presenza del corpo in decomposizione.

Altri fattori che potrebbero anch'essi aver influito sulla risposta della vegetazione sono la profondità di seppellimento e la data di inizio dell'esperimento, piuttosto avanzata nella stagione.

Nel complesso, quindi, il fattore determinante sull'andamento della copertura vegetale è risultato essere il disturbo meccanico. Poiché le condizioni dell'ambiente indagato impediscono di avere un effetto positivo della decomposizione del corpo, una sepoltura può essere confusa con un disturbo di altro tipo. D'altra parte, però, in queste condizioni gli effetti del disturbo sono marcati e durevoli, rendendo immediata l'identificazione di un luogo alterato. In ambienti più umidi, la copertura della vegetazione potrebbe tornare ad essere abbondante in tempi più brevi, andando a nascondere il luogo oggetto dello scavo.

CAPITOLO 9.

RISULTATI  
ESAMI SULLE  
CARCASSE



# RISULTATI DEGLI ESAMI SULLE CARCASSE ESUMATE

## 9.1 ESAME MACROSCOPICO DELLE CARCASSE AL TEMPO DI ESUMAZIONE

### **Maiale 1 (area A, esumazione: 06.07.09 – tempo di permanenza: 1.5 mesi)**

La superficie cutanea del lato destro, esposto verso l'alto nella deposizione, si presenta ben conservato, mentre il lato sinistro, a contatto con il terreno, presenta una diffusa colorazione verdastra con perdita degli annessi cutanei; un'isolata area di colliquazione cutanea di colore verdastro è identificabile in regione toracica sinistra in corrispondenza della soluzione di continuo chirurgica.

### **Maiale 7 (area B, esumazione: 20.07.09 – tempo di permanenza: 1.4 mesi)**

Il lato esposto verso l'alto presenta un'iniziale processo di putrefazione, con diffusa colorazione verdastra del tegumento ed epidermolisi con perdita degli annessi cutanei. Il lato a contatto con il terreno ed il dorso si presentano diffusamente colliquati, facilmente deformabili al tatto, con completa perdita degli annessi piliferi.

### **Maiale 2 (area A, esumazione: 14.02.09 – tempo di permanenza: 6.9 mesi)**

Si evidenzia un'iniziale scheletrizzazione della superficie dorsale del capo e degli arti anteriori e posteriori con esposizione della superficie ossea. Il lato esposto verso l'alto si presenta di colore brunastro, diffusamente colliquato, deformabile al tatto, con isolate brecche cutanee spontanee sviluppatesi nel contesto dei tessuti decomposti. Il lato appoggiato sul fondo del sito evidenzia una colorazione verdastra diffusa, con epidermolisi e perdita degli annessi piliferi.

### **Maiale11 (area B, esumazione: 25.01.10 – tempo di permanenza: 7.8 mesi)**

La carcassa evidenzia una diffusa scheletrizzazione al capo ed all'addome, con esposizione della superficie ossea di cranio e coste; il lato destro, esposto verso l'alto, ed il dorso presentano una colorazione brunastro e consistenza poltacea, con facile deformabilità al tatto. Il lato sinistro, aderente al fondo, è diffusamente colliquato, con isolate aree di colorazione verdastra in corrispondenza del collo e del gluteo. Gli arti sono completamente scheletrizzati.

**Maiale 3 (area A, esumazione: 21.06.10 – tempo di permanenza: 13.2 mesi)**

La carcassa presenta una completa scheletrizzazione del capo, degli arti e dell'addome, con esposizione della superficie ossea. Entrambi i lati del torace evidenziano la presenza di tessuti molli colliquati, di colore brunastro, privi di annessi piliferi, deformabili al tatto.

**Maiale 8 (area B, esumazione: 22.06.10 – tempo di permanenza: 12.7 mesi)**

La carcassa si presenta completamente scheletrizzata con residui di cute colliquata in corrispondenza della regione dorsale, del collo e dei glutei, di consistenza poltacea, facilmente deformabile al tatto.

**Maiale 6 (area A, esumazione: 02.05.11 – tempo di permanenza: 23.7 mesi)**

All'esame esterno si evidenzia una diffusa scheletrizzazione della carcassa con completa esposizione della superficie ossea in tutte le sedi corporee e persistenza di residui di cute colliquata in corrispondenza del dorso. Le ossa sono parzialmente colonizzate da radici.

**Maiale 10 (area B, esumazione: 31.05.11 – tempo di permanenza: 24.2 mesi)**

All'esame esterno si evidenzia diffusa scheletrizzazione della carcassa con completa esposizione della superficie ossea in tutte le sedi corporee; non sono identificabili residui di tessuti molli. Le ossa sono parzialmente colonizzate da radici.





















**Maiali 4 e 5 (area A, esumazione: 30.11.11 – tempo di permanenza: 30.8 mesi)**

All'esame esterno entrambe le carcasse si presentano diffusamente scheletrizzati con completa esposizione della superficie ossea in tutte le sedi corporee e commistione dei segmenti ossei nelle zone di sovrapposizione. Non sono identificabili residui di tessuti molli. Le ossa sono parzialmente colonizzate da radici.



**Maiale 9 (area B, esumazione: 01.12.11 – tempo di permanenza: 30.8 mesi)**

All'esame esterno si evidenzia diffusa scheletrizzazione della carcassa con completa esposizione della superficie ossea in tutte le sedi corporee; non sono identificabili residui di tessuti molli. Le ossa sono parzialmente colonizzate da radici.

Esumazione /Luogo	schema decomposizione autopsia	
	dx	sn
Esumazione 1 /AREA A		
Esumazione 1 /AREA B		
Esumazione 2 /AREA A		
Esumazione 2 /AREA B		
Esumazione 3 /AREA A		
Esumazione 3 /AREA B		
Esumazione 4 /AREA A		
Esumazione 4 /AREA B		
Esumazione 5 /AREA A		
Esumazione 5 /AREA B		

**Legenda Fig. 66:**

- Rosa** = Ben conservato
- Verde** = Primi stadi della decomposizione
- Marrone** = Avanzato stato di decomposizione
- Grigio** = Scheletrizzazione

**Fig. 66**

Schema figurativo dell'avanzamento dei processi di compostivi durante le esumazioni nelle due aree A e B.

Per quanto riguarda l'attività entomologica, è da segnalare che sulle carcasse non sono state ritrovate tracce relative ad insetti, questo può essere dovuto alla breve esposizione all'ambiente subaereo durante la sepoltura, che non ha permesso la deposizione di uova sulle carcasse, ed alle condizioni sfavorevoli del sottosuolo, quali la mancanza di luce ed ossigeno, per la fauna entomologica caratteristica dei processi di decomposizione.

## 9.2 COMPARAZIONE DEGLI ESAMI MACROSCOPICI DELLE CARCASSE

In relazione a quanto osservato con l'esame macroscopico in sede di esumazione e successivamente anche in sala anatomica, è possibile evidenziare delle similitudini e delle differenze, tra quanto accaduto a ciascuna carcassa, legate sia al tempo di permanenza nel terreno sia alla diversa tipologia di area entro la quale è avvenuta la sepoltura. Si denota in questo modo un ruolo attivo della vegetazione residente nell'area B.

Si possono perciò individuare tre gruppi di maiali che condividono circa le medesime alterazioni post mortali:

- il primo gruppo comprende i maiali 1, 2 (area A) e 7 (area B); questi condividono un'alterazione lieve dei tessuti molli, un'iniziale scheletrizzazione per quanto riguarda il maiale 2 esumato su un intervallo più lungo, una perfetta riconoscibilità della carcassa, sia nei contorni che nella massa, all'interno della buca ed una consistenza corporea



Fig. 67 Maiale 1 - (1°esumazione)

- che ha permesso la rimozione della stessa in posizione anatomica. (Fig. 67)
- del secondo gruppo fanno parte i maiali 3, 6 (area A) 11, 8 (area B); la disgregazione e dissoluzione dei tessuti molli è accentuata ed interi distretti corporei sono scheletrizzati, tuttavia permangono frammenti di tessuti molli e colliquati sul fondo della buca una volta rimossa la carcassa. La consistenza poltacea dei tessuti molli misti al suolo non permettono di identificare il reale volume della carcassa e la stessa deve essere recuperata secondo i vari distretti corporei disarticolati. (Fig. 68)



Fig. 68 Maiale 3 - (3°esumazione)

- nel terzo ed ultimo gruppo rientrano i maiali 4+5 (area A), 10 e 9 (area B); in questi casi si è riscontrata una diffusa e spiccata scheletrizzazione che non permette un facile riconoscimento della carcassa poiché altamente integrata con il suolo circostante. Per queste esumazioni il recupero



Fig. 69 Maiale 10 - (4°esumazione)

avviene forzatamente “osso per osso” poiché la disarticolazione è marcata. (Fig. 69)

E' possibile affermare che, a seconda della granulometria prevalente, il riconoscimento in sede di scavo della carcassa inumata può risultare più o meno difficoltoso, e questa difficoltà aumenta in relazione all'aumentare del tempo di sepoltura per l'intrusione del suolo entro gli spazi corporei resi vacanti di tessuti molli a causa della decomposizione.

Inoltre, è possibile notare che si manifesta una sorta di accelerazione dei processi decompositivi all'interno dell'area B, ossia i maiali 11 e 10 relativi alla seconda (7 mesi) e quarta (24 mesi) esumazione rientrano rispettivamente nel secondo e terzo gruppo, mentre i corrispettivi maiali 2 (7 mesi) e 6 (24 mesi) dell'area A appartengono al gruppo immediatamente precedente. Con questa evidenza è possibile asserire che la zona boscata (area B) sembra avere un metabolismo della sostanza organica più sviluppato ad opera della vegetazione, la quale grazie ad apparati radicali più importanti dell'area prato (area A) accelera la decomposizione delle carcasse. Anche questo risultato sembra avvalorare quelli forniti dalle analisi di laboratorio (cfr. Cap. 5 Risultati Analisi di Laboratorio) per le quali sembra che la vegetazione si ponga come parte attiva nel metabolismo del suolo per quello che riguarda l'area B.

### **9.3 ACCUMULATED DEGREE-DAYS (ADD)**

Il risultato ottenuto dalla metodologia Accumulated Degree-Days (ADD) che si propone di valutare quantitativamente ed assegnare un punteggio allo stato di decomposizione dei diversi distretti corporei per poi sommarli ed ottenere un punteggio totale (Total Body Score TBS), da relazionare al tempo di permanenza sotto terra, ha dato i seguenti risultati mostrati in tab. 14.

Si osserva che nell'area B si raggiunge il punteggio totale (TBS) massimo, corrispondente alla completa scheletrizzazione, alla quarta esumazione, cioè dopo un periodo pari a 102 settimane mentre nell'area A questo avviene solo all'esumazione successiva, 28 settimane più tardi.

Esumazione	Tempo di permanenza sotto terra		TBS	TBS
	(settimane)	(mesi)	Area A	Area B
I°	7	1,5	93.76	140.60
II°	30	7	340.41	2387.81
III°	56	13	7211.07	9727.47
IV°	102	24	9727.47	18197.01
V°	130	30	18197.01	18197.01

**Tab. 14** Valori di TBS e numero di ADD corrispondenti ad ogni maiale esumato per le due aree di sepoltura.

#### 9.4 RISULTATI RELATIVI ALLE LESIONI CHIRURGICHE

Il presente progetto di dottorato ha fornito anche il materiale di studio per un altro dottorato in biotecnologie per le scienze mediche, concluso nell'anno accademico 2010, dal titolo "Alterazioni microscopiche della decomposizione: implicazioni per la medicina legale" (Taborelli A., 2010). Questo studio in microscopia ottica ha preso in considerazione l'alterazione dei diversi tessuti ed organi dei maiali sepolti ed esumati dopo 1, 6 e 12 mesi. Nella tab. 15 sono riportate ulteriori specifiche relative ai sei maiali della sperimentazione presi in considerazione ed utilizzati.

Area	Maiale	Data morte	Tipo di intervento	Localizzazione del taglio
A	1	27.01.09	Sostituz. valvola aortica	Toracotomia sul lato sinistro
A	2	204.02.09	Valvuloplastica	Superficie anteriore del torace
A	3	24.02.09	Valvuloplastica	Superficie anteriore del torace
B	4	02.04.09	Valvuloplastica	Superficie anteriore del torace e sul dorso
B	5	21.04.09	Valvuloplastica	Superficie anteriore del torace
B	6	22.04.09	Valvuloplastica	Superficie anteriore del torace

**Tab. 15** Caratteristiche dei sei maiali analizzati

I campioni istologici prelevati in sede autoptica sono stati fissati in formalina tamponata al 10%, successivamente sono stati processati secondo metodo standard:

- disidratazione in alcol
- chiarificazione in xilene

- impregnazione in paraffina
- taglio di sezioni istologiche di 4 micron.

Le metodologie di colorazione utilizzate sono state:

- Ematossilina eosina – colorazione standard
- Tricromica secondo Masson – colorazione specifica del tessuto connettivo
- Weigert – per la dimostrazione delle fibre elastiche

in accordo con le metodiche riportate in “Manual of histologic staining methods of the Armed Forces Institute of Pathology” (Luna L.G., 1968)

A causa dell'avanzato stato di putrefazione delle carcasse esumate dopo sei mesi ed un anno, non è stato possibile raccogliere campioni da tutti i visceri; in queste carcasse erano riconoscibili soltanto residui di encefalo, tessuto muscolare striato e stomaco.

Inoltre, per ogni maiale sono stati prelevati campioni corrispondenti alla lesione chirurgica da utilizzare come “controlli”, cioè indicanti la situazione prima dell'inizio del processo di putrefazione.

Si può riassumere che, per quanto visto in microscopia ottica, i preparati istologici relativi ai campioni di controllo presentavano tutte strutture cutanee quali epitelio, derma, tessuto adiposo sottocutaneo e tessuto muscolare istantaneamente riconoscibili. Non è stato invece possibile riconoscere segni di infiltrazione emorragica riferibile alle ferite chirurgiche.

Non essendo state rilevate importanti variazioni sui campioni istologici relativi alle esumazioni circa le due diverse aree utilizzate (A e B), vengono brevemente esposti i risultati per i tre intervalli di tempo considerati:

1 MESE Il campione della lesione appare completamente disepitelializzato; il tessuto connettivo dermico presenta ampie lacerazioni; il tessuto adiposo sottocutaneo ed il tessuto muscolare sono ancora riconoscibili ma sono presenti grosse bolle indotte da putrefazione gassosa.

6 MESI Il campione della lesione appare completamente disepitelializzato ed in gran parte in avanzata autolisi; sono riconoscibili residui di tessuto connettivo dermico e l'impalcatura fibrosa del tessuto adiposo sottocutaneo che presenta diffusi fenomeni degenerativi sottoforma di ampia dilatazione dei lobuli adiposi e deposizione di materiale grigiastro di aspetto amorfo.

12 MESI Il campione cutaneo è completamente disepitelializzato; il tessuto connettivale del derma, il tessuto adiposo sottocutaneo ed il tessuto muscolare sono comunque riconoscibili, in particolare il tessuto muscolare conserva la tipica striatura citoplasmatica.

I risultati macroscopici ottenuti hanno rilevato, in accordo con la letteratura inerente, che la putrefazione in sepoltura in terra è influenzata dalla tipologia del terreno; mentre l'esame istologico ai margini della ferita chirurgica non hanno mostrato variazioni in base al tipo di suolo (area A-prato, area B-bosco).

A causa della colliquazione degli organi interni non è stato possibile esaminarli tutti e in tutte le carcasse, confrontando proprio la riconoscibilità nel tempo dei diversi visceri si evince che il tessuto più resistente alla putrefazione è il tessuto muscolare striato. Al contrario, l'encefalo è riconoscibile solo dopo un mese e lo stomaco, sebbene identificabile macroscopicamente, istologicamente non lo è più a partire dal primo mese di seppellimento.

CAPITOLO 10.

# DISCUSSIONI





# DISCUSSIONI.

Nel presente capitolo vengono discussi i risultati geopedologici relativi alle analisi di laboratorio e delle analisi micromorfologiche & SEM effettuate, tenendo conto degli scopi dell'analisi applicata e delle problematiche eventualmente sorte ed affrontate. Le discussioni relative alle analisi geoelettriche, vegetazionali e sulle carcasse sono state trattate direttamente nel relativo capitolo dei risultati.

## **10.1 DISCUSSIONE RISULTATI ANALISI DI LABORATORIO**

### **10.1.1 Analisi Granulometrica**

La scelta di effettuare questa tipologia di analisi è stata basata sul fatto che in precedenti lavori (Ern, 2008) si è potuto osservare un ribaltamento degli orizzonti ad opera dello scavo e del successivo riempimento. L'ipotesi che in una buca aperta possa franare materiale dalle pareti andando a depositare sul fondo della stessa, ha alimentato la possibilità di discernere tra una buca scavata da tempo per accogliere un cadavere oppure no, azione che riconduce al fatto giuridico della premeditazione. Nel caso sperimentale, vista l'immediata sepoltura e il riempimento della buca non si sono trovati campioni sottomaiale ascrivibili a quelli sopra lo stesso, gravati appunto dal rimescolamento.

L'analisi granulometrica è stata condotta alla prima esumazione sulle buche 1 e 7 e sui campionamenti relativi alle medesime buche in sede di scavo Pre\_IS e fornisce un quadro evidente di quanto l'operazione di scavo e riempimento della buca apporti un disturbo meccanico a quella che è la naturale sovrapposizione di orizzonti con diverse caratteristiche, con conseguentemente una loro omogeneizzazione in termini fisici. Gli unici campioni che sfuggono a questa spiegazione sono rispettivamente i campioni Post\_ES 100-125 cm per l'area A ed il campione Post\_ES 75-100 cm per l'area B, che altro non sono che un sedimento indisturbato relativo alla rispettiva buca e che guarda caso nei relativi grafici (vedi Cap. 5.1

Risultati Analisi Granulometrica) vanno a posizionarsi entro la famiglia nella quale si raccolgono le curve della frazione sabbiosa relative agli orizzonti profondi C2, C3, C4 per l'area A e C1, C2, C3 per l'area B.

In conclusione l'analisi granulometrica su campioni correttamente campionati, per materiali con caratteristiche sedimentologiche paragonabili a quelli utilizzati nella sperimentazione, potrebbe essere di aiuto per individuare se sia trascorso, oppure no, del tempo tra lo scavo della buca ed il suo riempimento, ovvero se nel campione sotto la carcassa si dovesse trovare una ripartizione granulometrica simile a quanto campionato sopra la carcassa e considerevolmente diverso da un campione indisturbato campionato alla medesima profondità, a poca distanza, come campione bianco, si potrebbe ipotizzare che la buca sia stata aperta e richiusa dopo un lasso di tempo durante il quale parte del materiale delle pareti ha avuto modo di franare andandosi a depositare sul fondo.

Nel caso della sperimentazione effettuata, l'ipotesi di deposizione di materiale franato dalle pareti sul fondo della buca non si è verificata a suffragio del fatto che le buche sono state scavate ed i maiali immediatamente sepolti.

### **10.1.2. Analisi del pH**

Seguendo la bibliografia esistente, si è deciso di effettuare l'analisi del pH su tutti i campioni per verificare quanto riportato in bibliografia ed annoverare nuovi dati, soprattutto relativi all'ambiente locale.

L'analisi del pH evidenzia nell'area A una leggera acidificazione di tutti i campioni Post\_ES comparabili a quelli relativi alla medesima profondità, a partire dai 25 cm di profondità, verosimilmente si può attribuire questo comportamento al disturbo meccanico di rimescolamento che favorisce attraverso l'omogeneizzazione la mobilizzazione verso la profondità degli acidi organici prodotti a seguito del turn-over della sostanza organica superficiale. In questa ottica, si spiegherebbe che nell'area B, con un sottobosco dove i processi di turn-over della sostanza organica sono più accentuati, il valore di pH è inizialmente nella situazione Pre\_IS già più acido, quindi la mobilizzazione in profondità apporta questi valori superficiali anche negli orizzonti sottostanti. Quello che accade in profondità, invece, che interessa la zona sotto la carcassa è di diretta responsabilità dei fenomeni decompositivi in atto nella carcassa stessa, infatti in accordo con Wilson *et al.* (2007) in materia si assiste ad una alcalinizzazione seguita da una acidificazione.

In conclusione l'analisi avvalorata la bibliografia per quanto riguarda il susseguirsi di condizioni dapprima alcaline e poi acide in concomitanza della decomposizione di una

carcassa, ma successivamente, per tempistiche di sepolture prolungate, si osserva che il pH si mantiene acido, con variazioni di cui non si ha ad oggi una chiara spiegazione. Tale fenomeno potrebbe essere strettamente legato al suolo locale.

Dal momento che un corpo in decomposizione rilascia sostanze e composti catabolici semplici, si è pensato di condurre analisi circa il contenuto di azoto, carbonio e fosforo assimilabile per poter sottolineare eventualmente dei trend di accumulo entro il suolo. Va ricordato che il turn-over della sostanza organica, e perciò di tutti i costituenti organici che non vengono fissati sottoforma minerale nel suolo, possono avere persistenze molto brevi e scomparire velocemente ad esempio ad opera delle acque percolanti nel suolo derivanti dalle piogge. Viceversa, un costituente minerale perde la sua origine organica, dunque non è sempre possibile provare che tale elemento sia prodotto della decomposizione, per ovviare a questa problematica appunto, si sono raccolti i campioni bianchi in situazione Pre\_IS. Con la comparazione delle due situazioni Pre\_IS e Post\_ES si è inteso provare ad evidenziare particolari comportamenti dei relativi elementi e soprattutto si sono andate ad indagare le diversità tra sopra e sotto la carcassa, poiché i fluidi de compositivi sotto l'influsso della gravità veicolano facilmente gli elementi in profondità, al di sotto della carcassa.

### **10.1.3 Analisi dell'Azoto (N)**

L'analisi del contenuto in azoto del suolo fornisce risultati abbastanza simili per entrambe le aree: simili sono, infatti, gli andamenti Pre\_IS con valori massimi a carico degli orizzonti superficiali e trascurabili per gli orizzonti profondi; simili sono gli andamenti Post\_ES per quanto riguarda l'effetto di rimescolamento a carico degli orizzonti di riempimento delle buche; simili sono le tendenze di accumulo dell'azoto nel tempo nei campioni raccolti sotto le carcasse. Al contrario, si nota una differenza per i campioni Post\_ES adiacenti alla carcassa, dove si registra un incremento nella sola area B, in corrispondenza di un orizzonte diversamente e maggiormente interessato dalle radici della vegetazione che si presenta arbustiva ed arborea, diversamente da quella erbacea presente nell'area A.

E' possibile ipotizzare che la vegetazione giochi un ruolo attivo nell'accumulo e/o persistenza dell'azoto.

#### **10.1.4 Analisi del Carbonio (C)**

L'analisi del contenuto in carbonio organico nel suolo per entrambe le aree mostra alti livelli a carico degli orizzonti superficiali dei campioni Pre\_IS a cui corrispondono contenuti molto inferiori nei relativi orizzonti profondi. Inoltre, evidenzia ancora una volta l'azione di rimescolamento dovuto al disturbo meccanico di scavo e riempimento nei campioni Post\_ES e la tendenza all'accumulo nel tempo al di sotto della carcassa. Per la prima volta però, compaiono evidenti segni dell'effetto del metabolismo del suolo indotto dalla copertura vegetale che discriminano le due aree, sia a livello degli orizzonti superficiali (campioni Post\_ES buca 09, 30 mesi) sia a carico degli orizzonti ospitanti la carcassa: i valori di carbonio organico sono più elevati in questi orizzonti dell'area B, dove la diversa copertura vegetale gioca probabilmente un ruolo attivo.

#### **10.1.5 Analisi del Fosforo Assimilabile**

L'analisi del contenuto in fosforo assimilabile nel suolo espone chiaramente un pattern di distribuzione legato alla presenza di una carcassa in decomposizione, infatti i valori numerici del contenuto di tale elemento al di sotto della stessa risultano da tre a cinque volte superiori a quelli misurati prima dell'inumazione o, comunque, al di sopra della carcassa. Quindi il fosforo si pone come un elemento assolutamente importante poiché si fissa nel suolo sin dalle prime fasi di decomposizione, a dispetto di quanto non facciano l'azoto ed il carbonio trattati in precedenza per i quali si è visto necessario un tempo minimo di accumulo superiore all'anno. Per quanto riguarda la variabilità del contenuto in fosforo assimilabile, essa sembra avere rapporti con la periodicità delle precipitazioni atmosferiche: mostrando valori più bassi per l'esumazione invernale rispetto a quelle estive e primaverili. Per questi aspetti si rimanda al cap. 6 Risultati Micromorfologici e S.E.M. di questa tesi.

#### **10.1.6 Analisi della Capacità di Scambio Cationico**

Avendo il presente lavoro di Dottorato un approccio spiccatamente geopedologico, non è stato possibile, viste le precedenti analisi, prescindere da altre direttamente correlate e necessariamente parte di studio normalmente intrapreso nei confronti del suolo. Tuttavia permane una problematica da non sottovalutare, ossia, uno studio geopedologico non avrebbe mai affrontato una tale densità di campioni orizzontali, ovvero arealmente molto vicini, poiché si presuppone una certa costanza delle caratteristiche stazionali e del suolo relativo; in questo caso invece, necessitando di una comparazione ai fini forensi, ciascuna buca è stata studiata come "a sé" e si è potuto notare quanto i valori orizzontali Pre\_IS siano omogenei entro l'area

considerata. Ovviamente i valori Post\_ES mostrano una variabilità, ma questa non si dimostra altrettanto omogenea come nei campioni bianchi Pre\_IS.

La variabilità dei valori dei Pre\_IS all'interno del medesimo profilo, quindi la variabilità verticale, è invece talmente ampia da impedire un corretto uso dell'analisi nella valutazione e comparazione con i campioni Post\_ES che a loro volta manifestano tale variabilità verticale. Il motivo di ciò è da ricercare nella complessità del parametro utilizzato (vedi Cap. 3 Metodi Analitici). In generale si può affermare che la maggior parte dei campioni Post\_ES mostra un minor grado di variabilità verticale imputabile all'omogeneizzazione derivante dallo scavo; nei medesimi la variabilità orizzontale si presenta comunque elevata.

#### **10.1.7 Tasso di Saturazione in Basi (TSB)**

Come precedentemente spiegato per la capacità di scambio cationico, anche l'analisi del Tasso di Saturazione in Basi è stata effettuata per una sorta di completezza di studio verso il suolo. Ovviamente ci si aspettava delle alterazioni, ma tuttavia non vi erano ipotesi ben definite circa i risultati ottenibili poiché si tratta di tecniche analitiche poco affrontate per scopi forensi, anche se nel caso di occultamento di cadavere, si è pensato sempre ad una interazione tra suolo e liquidi putrefattivi rilasciati dal cadavere/carcassa.

Tuttavia il parametro in questione è risultato per questa sperimentazione un parametro poco significativo, la variabilità sia orizzontale che verticale per tutti i campioni (Pre\_IS e Post\_ES) impedisce un'interpretazione logica. Anche in questo caso la motivazione di ciò risiede nella complessità intrinseca del parametro stesso (vedi Cap. 3 Metodi Analitici).

#### **10.1.8 Contenuto in ione sodio (Na<sup>+</sup>)/potassio (K<sup>+</sup>)/magnesio (Mg<sup>++</sup>)/calcio (Ca<sup>++</sup>) adsorbiti**

Sempre alla luce della possibile ipotesi di arricchimento e scambio di elementi e composti da parte della carcassa in decomposizione verso il suolo si è proceduto alla ricerca di significativi cambiamenti nel contenuto dello ione sodio (Na<sup>+</sup>), potassio (K<sup>+</sup>), magnesio (Mg<sup>++</sup>) e calcio (Ca<sup>++</sup>) adsorbiti. Per tutti questi ioni sono stati riscontrati valori da bassi ad estremamente bassi (tranne per il calcio i quali valori restano seppur di poco più elevati) che ne inficiano l'applicabilità in ambito forense; in generale si nota una tendenza all'incremento del contenuto di tali ioni nei campioni Post\_ES raccolti sotto la carcassa, ma da verificare con analisi più puntuali.

### **10.1.9 Analisi degli AGV**

L'analisi degli acidi grassi volatili ha anche in questo caso voluto considerare la bontà di quanto scritto in bibliografia (Vass, 2001) e tuttavia non ha trovato completa sovrapposizione per quanto riguarda le categorie di acidi grassi volatili coinvolti nella decomposizione ai diversi tempi di esumazione. Si fa riferimento alla precisazione fatta per le analisi al tempo di esumazione dei 12 mesi, le quali pur non avendo fornito dati attendibili hanno quantomeno individuato dei picchi ascrivibili agli acidi grassi volatili butirrico ed isobutirrico, di cui si ha conoscenza in bibliografia, ma nessuna traccia di acido valerico. Viceversa, vengono ritrovati a lungo termine, nei campioni relativi a 24 e 30 mesi di seppellimento, gli acidi grassi volatili acetico, propionico e formico. Il mancato ritrovamento a lungo termine di taluni acidi grassi volatili propende nel far pensare che il suolo giochi un ruolo estremamente importante nella conservazione di questi. Un suolo molto poroso, a prevalenza grossolana e quarzosa come quello qui utilizzato, potrebbe non mantenere al suo interno, perché dilavati o perché passati in fase volatile più facilmente, gli acidi grassi volatili tipici descritti in bibliografia, quali il butirrico ed il valerico. Altro fatto molto importante a cui si deve dare giusto peso, è la conservazione dei campioni adeguatamente raccolti e conservati e dei relativi estratti per l'analisi HPLC vertente alla ricerca degli acidi grassi volatili tramite comparazione con standard di laboratorio. Infatti, si nota che il congelamento prolungato dei campioni, superiore ad un anno, così come anche degli estratti, rende assai difficile l'estrazione dal campione della soluzione contenente gli acidi grassi volatili che si presentano troppo poco concentrati, e la soluzione estratta al tempo del campione fresco altamente degradata, fornendo entrambi un segnale quantitativo sotto la soglia del relativo standard utilizzato.

La bibliografia fornisce una stadiazione dei diversi acidi grassi volatili ritrovabili nel suolo a diversi intervalli dal tempo di seppellimento, nella presente sperimentazione si sottolinea la possibilità che suoli con caratteristiche peculiari possano alterare tale stadiazione tempo dipendente e che alcuni acidi grassi volatili possiedano affinità differenti con la diversa natura delle componenti del suolo.

## **10.2 DISCUSSIONE RISULTATI ANALISI MICROMORFOLOGICHE E S.E.M.**

### **10.2.1 Analisi Ultramicroscopica (S.E.M.)**

La vera innovazione apportata dal presente lavoro è stato il protocollo relativo all'analisi ultramicroscopica di cui non si hanno precedenti bibliografici. Dal momento che una strumentazione così performante come il S.E.M. può utilmente venir in aiuto in casi forensi, si

è deciso di utilizzarlo per i campioni di suolo e, come verrà ricordato più avanti, su campioni di suolo opportunamente preparati (plug e dust) e su sezioni sottili. La grande scoperta sono state le figure fosfatice che sono state ritrovate nel suolo solo ed esclusivamente in situazione Post\_ES: ascrivibili quindi all'apporto della decomposizione delle carcasse.

I risultati forniti da questo approccio sul set di esperimenti forniti da questa tesi mostrano andamenti variabili della persistenza delle figure pedologiche fosfatice descritte nel suolo campionato al di sotto di carcasse di maiale in diversi stadi di decomposizione. Un primo elemento di variabilità può essere introdotta verosimilmente dalla diversa granulometria delle particelle del suolo (e.g. rivestimenti *versus* impregnazioni su micropeds) che dovrà essere accuratamente soppesata con nuovi esperimenti. Un secondo elemento di variabilità potrebbe invece essere in relazioni con il fattore tempo intercorso dal seppellimento (Time Since Burial - TSB), ma ha importanza marginale nel presente progetto di ricerca a causa del lasso di tempo considerato (30 mesi) e della frequenza dei campionamenti troppo elevata.

Ad oggi, il segnale ambientale più efficace evidenziato dalla persistenza delle figure fosfatice osservate sembra essere in relazione con le condizioni meteorologiche della stagione entro cui si effettua l'esumazione. Quindi si ipotizza l'interferenza del regime pluviometrico con il tempo di decomposizione dei tessuti molli, ovvero la somma degli effetti del rilascio da parte della carcassa, da una parte, e del dilavamento (leaching in senso pedogenetico) dall'altra.

Le indagini effettuate tramite il S.E.M. sia su polveri ("dust") che su "plug" hanno mostrato differenze stagionali su patine e rivestimenti di fosfato in accordo con i risultati dell'analisi del fosforo su campioni sciolti "bulk", fatto veramente sensazionale, trattandosi di due approcci assolutamente difforni, seppur legati allo stesso elemento chimico.

### **10.2.2 Analisi Micromorfologica**

L'approccio micromorfologico è anch'esso un'innovazione apportata dalla presente tesi, malgrado infatti sia opportuno da tempo di ricerca a scopo forense in questa direzione, non è nota bibliografia in materia. Si è proceduto con lo studio delle sezioni sottili sia in microscopia ottica che elettronica, ipotizzando la possibilità di trovare figure pedologiche o alterazioni della fabric dovute ai prodotti della decomposizione.

Dal punto di vista micromorfologico, i suoli analizzati sono perfettamente inseriti nel loro contesto pedoambientale, in totale accordo con quanto riportato in letteratura (ERSAL, 2001). Inoltre non si notano differenze sostanziali tra gli aspetti micropedologici descritti nelle sezioni sottili campionate prima e dopo le inumazioni/esumazioni delle carcasse, eccezione

fatta per gli “aggregati organici (o organo minerali) rari, arrotondati, della dimensione massima della sabbia grossolana” presenti solo e soltanto nelle sezioni VER ES Sotto Alto e VER ES Sotto Basso. Ma la sola presenza di tali elementi di natura organica, difficilmente può assurgere al valore di prova giudiziale se non affiancata da ulteriori osservazioni mirate.

L’approccio micropedologico classico non ha perciò avuto riscontri decisivi, tuttavia ha posto le basi per proseguire su questo filone di ricerca.

### **10.2.3 Passaggio di Scala: Studio integrato delle metodologie microscopica ed ultramicroscopica**

Le sezioni sottili di suolo delle quali si è discusso poco sopra, sono state ulteriormente studiate in microscopia elettronica (S.E.M.) fornendo, questa volta sì, importanti osservazioni circa le componenti fosfatiche ritrovate entro le sezioni campionate al di sotto della carcassa.

Il significato forense dei materiali di natura fosfatica precipitati dai liquidi putrefattivi nel suolo al di sotto delle carcasse è già stato ampiamente discusso nel Cap. 6 Risultati Micromorfologici e S.E.M.. In questa sede è opportuno osservare come l’uso sinergico di due tecniche di indagine micropedologica, una microscopica e l’altra ultramicroscopica, possa aumentare il dettaglio dell’indagine stessa e la qualità dei risultati.

A causa delle loro dimensioni e del loro comportamento ottico peculiare, le figure fosfatiche indotte dai fluidi putrefattivi sono identificabili con certezza in sezione sottile solo attraverso le analisi condotte al SEM-EDS. D’altra parte lo studio preliminare delle sezioni sottili al microscopio ottico risulta essenziale per ridurre la superficie da esaminare al SEM-EDS. La corrispondenza morfologica tra le stesse figure pedogenetiche osservate in microscopia ottica ed in ultramicroscopia (mostrata nelle figure da 35 a 58 nel Cap. 6 Risultati Micromorfologici e S.E.M.) permette agevolmente questo tipo di passaggio di scala.



CAPITOLO 11.

# CONCLUSIONI



# CONCLUSIONI.

L' esposizione delle conclusioni può sembrare ostica dal momento che sono stati ricavati una serie di dati provenienti da discipline e tecniche molto variegate; si è cercato perciò di dare un'organicità alle conclusioni guardando ad esse attraverso la lente degli aspetti forensi. Quindi esse vengono affrontate seguendo l'esposizione cronologica dei risultati nella presente tesi di dottorato e mettendo in evidenza l'aspetto forense di ciascuna analisi.

## **11.1 Analisi di Laboratorio Forensi.**

Incominciando con la prima tecnica analitica trattata, ovvero l'analisi granulometrica, si ricorda che questa è stata effettuata sulle prime due buche (una buca per area A e B) per avvalorare l'ipotesi di campioni provenienti dal sottomaiale ascrivibili, in composizione delle frazioni granulometriche, a quelli sopra lo stesso, tale per cui si può ipotizzare la tesi di scavo della buca in un tempo antecedente alla sepoltura della carcassa. I risultati ottenuti dalla sperimentazione mostrano come tale tecnica si riveli estremamente efficace per la rivelazione del disturbo meccanico, legato allo scavo di una probabile buca di occultamento nonché al suo successivo riempimento, attraverso il semplice confronto tra il suolo naturale articolato in orizzonti caratteristico dell'area ed il riempimento della buca che si presenta spiccatamente disorganizzato. Come già presentato all'interno della Tesi Magistrale "L'applicazione della pedologia forense in ambito medico legale: studi di casi reali" (Ern, 2008), attraverso l'analisi granulometrica è possibile riconoscere anche situazioni di premeditazione: nella presente sperimentazione tale aspetto è stato evidenziato dal trend dalle curve granulometriche della sabbia, tra i campioni di suolo "disturbati dallo scavo" relativi ai campionamenti sopra la carcassa e "non disturbati dallo scavo" relativi a quelli raccolti sotto la medesima. Chiaramente il tipo di valutazione deve essere appropriato alla tipologia di materiale (suolo/sedimento) ed opportunamente preso in considerazioni dall'esperto in materia.

I campioni analizzati provenienti da sotto il maiale hanno mostrato che vi era una situazione granulometrica diversa da quelli campionati sopra lo stesso e gravati dal disturbo meccanico. Questo convalida l'ipotesi negativa che non è trascorso un tempo sufficientemente lungo tra lo scavo della buca e la deposizione della carcassa tale per cui il materiale dalle pareti sia scivolato, per gravità, sul fondo della buca andando a costituire un orizzonte rimescolato sotto la carcassa.

Successivamente è stato misurato il parametro del pH per il quale i risultati riferiscono una piena conferma a quanto già conosciuto in bibliografia, riportando un'alcalinizzazione del suolo al di sotto della carcassa nelle prime fasi della decomposizione, seguita da una acidificazione diffusa nelle fasi tardive. I processi in atto durante la decomposizione del corpo sono la causa principale di queste alterazioni del pH, tuttavia diversi suoli potrebbero avere leggere sfumature nel comportamento a lungo termine, mantenendo l'acidificazione più a lungo o viceversa tornando a valori alcalini più rapidamente, questo anche a dipendenza dei valori di pH caratteristici del suolo in questione. Il pH può essere considerato come valido strumento per la messa in evidenza del disturbo meccanico operato dallo scavo, come già precedentemente discusso per l'analisi granulometrica. Infine, stante il fatto che il pH può essere misurato attraverso diverse metodologie (in H<sub>2</sub>O/in KCl) che necessitano di pochi grammi di campione è importante sottolineare l'elevata cautela che si deve impiegare, qualora si decida di prendere tale parametro in considerazione per l'aspetto del disturbo meccanico.

Nel caso di analisi sul pH per l'identificazione di fosse di sepoltura entro le quali non è più presente il cadavere, è necessario prestare molta attenzione poiché, come già ripetuto ampiamente, in un sistema semi-naturale possono essere notevoli e disparati gli apporti di materiale che causano alterazioni di pH; in presenza del cadavere, invece, è possibile leggere nel suolo una permanenza in loco più o meno lunga, per la quale sono comunque necessarie ulteriori analisi di convalida.

Le analisi elementali effettuate sui campioni di suolo volumetrici, ossia campionati in quantità lungo il profilo e sotto la carcassa, eseguite per poter rilevare apporti di nutrienti quali azoto, carbonio e fosforo forniti dalle carcasse in decomposizione, con lo scopo evidenziare anomalie che possano aiutare le analisi giudiziarie, hanno riportato che per quanto riguarda l'azoto (N) si può notare che la sua utilità ricade nella stima del tempo intercorso dal seppellimento (Time Since Burial, TSB) in quanto esso mostra nei campioni al di sotto della carcassa valori in aumento dovuti verosimilmente all'accumulo dello stesso nel tempo, per

periodi superiori all'anno. Una cautela va comunque suggerita nell'applicazione valutativa di tale parametro, poiché i valori mostrati e la frequenza dei campionamenti per il presente lavoro sono rispettivamente molto bassi e molto ampia, motivo per cui la discriminazione può risultare difficoltosa. Inoltre sarebbe opportuno valutare in modo peculiare l'interazione che questo elemento ha con gli apparati radicali delle diverse tipologie di vegetazione residenti nell'area considerata.

Per quanto riguarda l'elemento carbonio (C), esso presenta le medesime potenzialità e criticità esposte per l'elemento azoto (N). Ovvero, il carbonio mostra uno spiccato accumulo nei campioni al di sotto della carcassa durante il tempo. In questa ottica esso si pone come un possibile indicatore della stima del TSB, per cui con opportuni nuovi esperimenti si crede possibile identificare una soglia al di sopra della quale l'elemento stesso possa divenire significativo. Benché i valori siano più elevati che i rispettivi relativi all'azoto, essi devono essere comunque ponderati con cautela trattandosi di valori dell'ordine delle decine di grammi per chilogrammo.

Osservando il terzo ed ultimo elemento analizzato nei campioni volumetrici di suolo, il fosforo (P), si è notato che esso presenta un evidentissimo accumulo al di sotto della carcassa che inizia fin dal primo mese e che si mantiene fino ai trenta mesi con variazioni imputabili alle condizioni meteorologiche (precipitazioni). Quindi questo parametro può essere di fondamentale utilità nei casi di occultamento dove il cadavere non sia più in loco, ossia qualora il cadavere sia stato spostato successivamente alla prima deposizione (sepoltura primaria). Anche in questo caso è assolutamente imprescindibile avvalorare i dati ottenuti con una nuova sperimentazione che tenga fortemente conto delle condizioni meteorologiche e che affini la bontà della metodologia affinché divenga possibile indicare i tempi di permanenza del cadavere nella fossa.

Infine per quanto riguarda le analisi sullo scambio cationico (capacità di scambio cationico CSC, tasso di saturazione in basi TSB, concentrazione dei singoli ioni:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) la sperimentazione ha ottenuto risultati di scarsa applicabilità in ambito forense in quanto i valori sono bassi e poco significativi; infatti si tratta di parametri complessi che valutano proprietà del suolo che non sono in stretto rapporto con un singolo aspetto ma ne integrano innumerevoli. Sono state condotte queste analisi per completezza dello studio geopedologico e dei protocolli analitici applicati, non vi erano aspettative specifiche se non

ipotesi che riprendessero la falsa riga dell'apporto di nutrienti e dunque dell'implementazione dei parametri ad essi connessi. Quindi, sebbene un'ulteriore sperimentazione non possa che ampliare la conoscenza e la comprensione di tali parametri, attualmente si propende per la loro non considerazione in campo forense.

A riguardo delle analisi effettuate per la ricerca e quantificazione degli acidi grassi volatili (AGV), come già noto in bibliografia, sono stati ritrovati alcuni composti appartenenti a questa categoria nei campioni di suolo relativi alle sepolture di ventiquattro e trenta mesi. Le analisi sono state condotte per verificare i dati bibliografici e per apportare valori propri per la località considerata e l'esperimento condotto. Si evincono però delle differenze tra il comportamento dei singoli composti, in particolare dell'acido acetico, propionico e formico che tuttavia non sembrano mostrare una chiara relazione con il fattore tempo, piuttosto sembrano invece caratterizzare diversamente le due aree oggetto della sperimentazione. In un'ottica forense devono necessariamente essere condotti ulteriori approfondimenti per delineare una possibile stadiazione temporale della sepoltura; in particolare occorre concentrarsi nel tempo immediatamente posteriore alla sepoltura per comprendere il potenziale discriminatorio degli AGV stessi. Infine, non va dimenticata la relativa novità riscontrata in concomitanza del picco misurato a 16.5/16.6 min. che deve essere indagato con maggiore puntualità. Infatti, a differenza di quanto noto in bibliografia (Vass, 2001) non sono stati riscontrati gli acidi grassi volatili butirrico e valerico, che sembrerebbero essere peculiari e perdurare nel suolo anche per anni. La mancanza del riscontro di tali AGV nella presente sperimentazione potrebbe essere dovuta alla composizione granulometrica del suolo in questione, fortemente grossolano e gravato da sedimenti poco alterati, che probabilmente non offrono un substrato idoneo a questa tipologia di AGV per la fissazione/captazione chimica, ma ne promuovono la volatilizzazione entro i vuoti e la loro scomparsa in raggiungimento delle vie verso la superficie.

## **11.2 Ultra/Micropedologia Forense.**

Il protocollo di campionamento e di studio micropedologico è stato applicato per la prima volta alla presente sperimentazione oggetto di questa tesi. Si è ipotizzato il riscontro di anomalie fornite dai liquidi putrefattivi e visibili in microscopia ottica ed elettronica a scansione, tale per cui i campioni sono stati preparati *ad hoc* per le analisi; molto importante è ricordare il divieto assoluto di utilizzare acqua durante le fasi di preparazione, quali la molatura e la lucidatura, che devono essere necessariamente condotte “a olio” o “a secco”, poiché

l'acqua dilava tutte quelle evidenze che presentano una spiccata idrosolubilità, quali molte figure di origine organica.

L'utilizzo del microscopio elettronico a scansione ha permesso di mettere in luce le potenzialità delle tecniche ultramicroscopiche. Per quello che riguarda i risultati forniti dalla sperimentazione è importante in primo luogo evidenziare la celere preparazione dei campioni "dust" e la peculiare preparazione dei campioni "plug", che si è dimostrata affidabile e raccomandabile per successivi protocolli sperimentali. Si precisa che i campioni "dust" forniscono informazioni di massima (presenza/assenza) mentre i campioni "plug" forniscono una stima più precisa della quantità in fosforo delle figure analizzate, quindi i primi sono preferibili per analisi preliminari, mentre i secondi per analisi di maggior dettaglio. I valori ottenuti grazie all'analisi puntiforme di figure discrete visibili al SEM hanno permesso di mettere in luce le precipitazioni di natura fosfatica derivanti dai liquidi putrefattivi. Esse risultano convenientemente utilizzabili in ambito forense soprattutto nei casi di occultamento di cadavere dove lo stesso non si trova più in sede; come visto per il fosforo nei campioni volumetrici, anche in questi campioni ("dust" e "plug") sussiste la possibilità di identificare figure derivanti dal rilascio di fosfati da parte della carcassa che non dipendono esclusivamente dal tasso di produzione da parte della stessa, ma anche dal dilavamento che il fosforo subisce da parte delle acque percolanti nel suolo. Dunque rimane necessario proseguire questa linea di ricerca con una sperimentazione *ad hoc* per ottenere una maggiore quantità di dati e conseguentemente una loro migliore interpretazione e possibilità di utilizzo in campo forense.

Paul Goldberg e Richard Macphail nel loro volume intitolato "Practical and Theoretical Geoarchaeology" (2006) suggerivano e incoraggiavano l'uso dell'approccio micropedologico anche in ambito forense, ove finora è stato applicato solo marginalmente.

La sperimentazione condotta sulle inumazioni/esumazioni di lattonzoli a Santa Maria della Versa (PV), in prima approssimazione, sembrerebbe dimostrare come l'approccio micromorfologico tradizionale non fornisca risposte efficaci da utilizzare in ambito forense.

Infatti, le figure fosfatiche descritte nel Cap. 6 Risultati Micromorfologici e S.E.M. non risultano chiaramente identificabili in microscopia ottica a luce polarizzata, mentre la presenza di generici aggregati organici/organo-minerali come unica evidenza dei processi decompositivi avvenuti nel suolo soprastante a quello campionato è effettivamente ben poca cosa come evidenza probatoria di una sepoltura. Una possibile soluzione potrebbe venire dall'integrazione dell'approccio microscopico ottico classico con quello ultramicroscopico, consentendo quest'ultimo anche l'analisi dei costituenti (e non solo la loro osservazione) ed avendo dato

risultati estremamente interessanti proprio per quanto riguarda la sperimentazione al Parco del Ticino. D'altra parte, osservare una sezione sottile di svariati centimetri quadrati direttamente tramite il microscopio elettronico a scansione (S.E.M.) sarebbe poco praticabile senza sapere dove e cosa guardare/analizzare, dal momento che sussiste un passaggio di scala d'osservazione ultramicroscopica.

In conclusione si può affermare che il significato forense delle impregnazioni fosfatice indotte dai fluidi putrefattivi è ancora in valutazione, ma le loro caratterizzazioni micropedologiche sembrano essere molto promettenti in questo ambito.

La loro natura, il loro diverso tipo di associazione con i costituenti e le figure naturali del suolo, la loro persistenza rispetto alla variabilità stagionale nonché il metodo per raggiungere una loro identificazione corretta e precisa, sono ancora in studio, ma l'idea nata all'interno del presente progetto di dottorato sta assumendo via via un rilievo sempre più importante.

Infine, l'utilizzo di diversi tipi di campioni ("dust" e "plug" da un lato, sezioni sottili dall'altro) e di differenti scale di osservazione (microscopica ed ultramicroscopica) sembrano essere un valore aggiunto anche nell'ottica di mettere a punto protocolli investigativi "preliminari" piuttosto che "conclusivi".

### **11.3 Geoelettrica Forense.**

Nonostante il risultato della presenza di anomalie, dovute all'azione meccanica di scavo ed al seppellimento stesso delle carcasse di lattonzoli, sia chiaramente evidenziato dall'analisi geoelettrica, non risulta di grande importanza per il presente progetto di ricerca. Anche se la delineazione di buche è di fondamentale importanza nei casi di ricerca di siti di occultamento, per gli scopi del presente progetto che verte alla caratterizzazione del suolo contaminato da sepoltura clandestina, maggiore attenzione deve essere rivolta alle variazioni del segnale verificatesi durante l'anno, le quali sono da porre in relazione con le variazioni stagionali dei parametri ambientali che condizionano il comportamento dei liquidi putrefattivi, come visto precedentemente nel Cap. 5 Risultati delle Analisi di Laboratorio. Circa questo aspetto è possibile supporre che nei periodi estivi caratterizzati da un deficit idrico, i composti idrosolubili derivanti dalla decomposizione dei tessuti organici animali precipitino a causa della loro concentrazione dovuta all'evaporazione dell'acqua presente: tale effetto enfatizza la perdita di conduttività del suolo riscontrata nei mesi estivi. Quindi l'indagine geoelettrica testimonia la bontà delle analisi di laboratorio effettuate con dati indipendenti dalle tecniche utilizzate precedentemente.



#### **11.4 Botanica Forense.**

Per quanto riguarda la parte vegetazionale attinente a questa sperimentazione, si può asserire che la scelta della metodologia Point Quadrat Analysis (PQA) ha fornito un'organizzazione positiva della moltitudine dei dati ed una loro facile lettura in sede di analisi. In casi reali risulta ovviamente di scarso interesse, non avendo dati su scala temporale ma solo puntuali sullo stato dell'arte al momento del ritrovamento del cadavere, tuttavia studi di questo tipo possono essere di estremo aiuto se usufruibili come comparativi della zona interessata dall'occultamento di cadavere, tale per cui è necessario implementare la sperimentazione e creare una buona banca dati locale dalla quali attingere informazioni.

Il metodo Point Quadrat Analysis (PQA) realizzato con cadenza mensile e identificazione dei tipi funzionali propri di ciascuna specie, ha consentito di rilevare gli effetti dello scavo sulla vegetazione sottolineandoli sia quantitativamente che qualitativamente. In particolare, l'identificazione delle strategie applicate dalle piante in un contesto di disturbo meccanico e/o presenza di cadavere sepolto apre le porte a considerazioni generali, che andrebbero verificate in modo migliore ed anche in altre differenti situazioni ambientali.

Tuttavia durante il tempo della presente sperimentazione interessata dai rilievi botanici, non sono emersi parametri che consentano di distinguere zone che hanno subito esclusivamente l'alterazione dello scavo da zone che presentano pure una carcassa nel sottosuolo, probabilmente ciò è dovuto sia alle condizioni ambientali del sito sia alle modalità ed alla data di inumazione.

Anche per la parte botanica del progetto è auspicabile un prosieguo della sperimentazione nella stessa direzione, che copra le casistiche ambientali più diverse, così come le diverse condizioni di sepoltura, in modo tale da poter rendere prevedibile la risposta della vegetazione nei contesti geografici ed ambientali più vari.

#### **11.5 Esame Esterno delle Carcasse.**

L'esame esterno delle carcasse ai diversi tempi di esumazione, nonché l'osservazione della quantità dei resti/liquami lasciati sul fondo della fossa hanno fornito indicazioni circa la stadiazione del decadimento dei tessuti molli in caso di sepoltura alle nostre latitudini. È stato possibile identificare tre grandi blocchi temporali entro i quali si manifestano sempre più gli effetti degenerativi sui tessuti e la scheletrizzazione dei diversi distretti corporei. Molto interessante è notare che le carcasse dei maiali delle due zone considerate non sono ugualmente ripartite entro tali gruppi temporali: l'area boscata sembra imprimere un'accelerazione alla

decomposizione, verosimilmente questo fatto sembra dovuto all'interazione della vegetazione presente *in situ*. (cfr. Cap. 5 Risultati delle Analisi di Laboratorio) Resta quindi imprescindibile la prosecuzione di protocolli sperimentali simili al presente, orientati maggiormente allo studio decompositivo, che chiariscano i rapporti con la vegetazione e che implementino i dati ottenuti.

In conclusione lo studio attuale costituisce il primo progetto sperimentale italiano finalizzato ad una valutazione olistica delle modificazioni di natura geopedologica e botanica determinate dalla presenza di carcasse inumate. Il progetto sperimentale alla base di questo lavoro di dottorato ha consentito di trarre un'indicazione complessiva sulle alterazioni causate dalla sepoltura di una carcassa in ambiente naturale, fondata sul contributo della geopedologia, della geoarcheologia, della botanica e della geofisica. Nell'ambito multidisciplinare dei protocolli analitici applicati in caso di ritrovamento di una buca/sepoltura clandestina, i risultati ottenuti implementano la strada alle nuove tecniche che possono essere utilizzate con successo in ambito forense; essenziale è però comprendere l'approccio multidisciplinare che deve essere messo in atto in scenari contorti e complessi come quelli relativi agli occultamenti di cadavere.

Nell'ottica della multidisciplinarietà rientra la conoscenza dell'ambiente naturale che caratterizza la zona oggetto di indagine, finalizzata alla determinazione delle specie botaniche che possono essere in alcuni casi utili per la determinazione delle alterazioni superficiali e come metodica di screening, considerando la presenza di specie che facilmente possano (o non possano) ricolonizzare un ambiente dove sia avvenuto un episodio di stress meccanico (scavo).

L'applicazione delle metodologie archeologiche hanno confermato la loro estrema importanza nel corretto scavo e recupero di resti umani, per impedire la perdita degli elementi ossei più piccoli e per ricavare informazioni circa le modalità di inumazione e quindi, applicato all'occultamento di cadaveri, alla sequenza degli eventi negli attimi appena antecedenti e appena successivi, alla morte di un soggetto.

Lo studio attuale pertanto fornisce un importante contributo al tentativo di standardizzazione delle metodiche di analisi per la determinazione del tempo intercorso dal seppellimento (TSB), per la discriminazione di una sepoltura secondaria da una primaria e per la possibilità di determinare la precedente presenza di un corpo in decomposizione laddove il cadavere non sia più presente; nonché la possibilità di evidenziare comportamenti riconducibili a premeditazione dell'occultamento di cadavere.

Quindi, alla luce dei risultati ottenuti, il presente progetto sperimentale costituisce un primo passo per una più precisa standardizzazione delle procedure di campionamento, analisi e

stesura di protocolli analitici più ampi, volti alla caratterizzazione del suolo circostante ed inglobante resti umani sepolti.

Concludendo, tutte le analisi, i protocolli ed i diversi approcci esposti ed affrontati nella presente tesi richiedono un'estrema cautela nell'applicazione poiché come si è visto sviscerano problematiche ma innalzano altresì ulteriori domande circa gli errori di campionamento, di preparazione del campione e di analisi dello stesso; fatto che non è possibile trascurare alla luce dello scenario giuridico che richiede espressamente la conoscenza della bontà statistica del dato fornito e della metodologia utilizzata. Sono perciò necessari ulteriori studi che infondano più fiducia e conoscenza nella disciplina della geopedologia, perché la comunità scientifica internazionale ne colga le potenzialità e con successivi lavori ed accordi sulle metodologie ne convalidi degli standard internazionalmente riconosciuti ed utilizzabili per scopi forensi.

I protocolli sperimentati in questo lavoro vogliono essere una prima tessera di un grande ed articolato puzzle che raffigura le maggiori casistiche forensi entro le quali la geopedologia può essere di aiuto, che ne mostri un opportuno campionamento, ovvero dove e come campionare l'evidenza suolo, azione che è alla base di una buona riuscita ed applicabilità delle metodologie analitiche, e non per ultimo che estenda lo sguardo a tecniche ed approcci nuovi ed innovativi.



CAPITOLO 12.

# SVILUPPI FUTURI



## SVILUPPI FUTURI.

Alla luce di quanto emerso dalle analisi che sono state effettuate per questo progetto di ricerca e dai risultati delle stesse si possono delineare sviluppi futuri molto interessanti.

Grazie al carattere innovativo e del tutto sperimentale senza precedenti europei del lavoro svolto, è stato possibile sottolineare le potenzialità e le criticità di una branca delle Scienze Naturali, la Geopedologia, applicata al disparato ambito delle indagini giudiziarie, nonché testare la validità delle strumentazioni e dei protocolli analitici utilizzati per lo svolgimento delle differenti indagini scientifico-tecniche.

Le consulenze esterne richieste da Polizia Scientifica, Carabinieri e PM necessitano oggi più che mai di un esperto che si occupi dello scenario ambientale, poiché si è visto che quest'ultimo può conservare tracce significative se opportunamente riconosciute. Il riconoscimento può avvenire grazie alla conoscenza che la figura di tecnico esperto ha acquisito con uno studio molto ampio delle diverse discipline naturalistiche nonché di una specializzazione in tecniche analitiche proprie delle Scienze della Terra, senza dimenticare poi una giusta dose di “*grano salis*”.

Come si è potuto osservare dalla peculiarità che il suolo presenta come evidenza nonché dalla particolarità che lo rende contenitore di evidenze, l'esperto Naturalista-Geopedologo si rivela figura cardine dell'organizzazione di quello che dovrebbe essere un team di collaboratori specializzati ognuno nella propria scienza eletta, come possono essere palinologi, botanici, geofisi, zoologi, antropologi, odontologi, ... ma ciascuno pronto a fornire la propria competenza in casi forensi che la richiedono.

Per usare una metafora il Naturalista-Geopedologo si configura come colui il quale prende in mano le diverse tessere di un puzzle molto colorato, le distribuisce ai vari specialisti in relazione alla pertinenza del colore chiedendone la giusta orientazione e compone

successivamente la figura del puzzle grazie alle proprie analisi, le quali si potrebbero definire il collante tra le tessere.

Quindi, guardando al futuro, vi è la stretta necessità di continuare a svolgere esperimenti che possano rendere sempre più chiaro l'iter analitico da effettuare e verificare la sua bontà; proprio per questo motivo è auspicabile, partendo dai risultati ottenuti con questo lavoro di dottorato, riformulare ed organizzare un nuovo progetto di ricerca del quale sono esplicitati i tratti ed i caratteri salienti qui di seguito.

Per quanto riguarda l'occultamento di cadavere si rende necessario ampliare il numero di carcasse (sperimentalmente carcasse di maiale (*Sus scrofa*)) ad un numero uguale o superiore a trenta, tale per cui le esumazioni possano essere condotte con cadenza mensile, strettamente definita in ventotto giorni, su un lasso di tempo complessivo pari a trenta mesi. Questo per far sì che la risoluzione dei dati diventi molto più accurata sul medesimo per il quale si possiedono oggi solo i dati relativi a cinque esumazioni.

Non è necessario prendere in considerazione aree diverse per quanto riguarda la copertura vegetale, anche se si è notato che insistono delle varianti differenti, si ritiene primariamente più importante la discriminazione temporale dei dati utilizzando una sola area omogenea nella sua caratterizzazione vegetazionale.

E' necessario invece, mostrare particolare attenzione alla profondità delle buche scavate per l'inumazione. Queste dovranno avere, per ricalcare la possibilità di occultamento reale, una profondità massima e costante fra le diverse buche, di 80 cm.

E' molto importante che le variabili conosciute siano ridotte al minimo se non addirittura azzerate, poiché ciò permette una migliore e più veritiera comparazione dei dati a posteriori ed una possibile ipotesi di quelle che sono le variabili incognite le quali non possono essere ovviamente prese in considerazione a priori.

Il campionamento del suolo volumetrico in sede di esumazione (e.g. Post\_ES) concomitante allo scavo archeologico deve essere effettuato tassativamente ogni 10 cm, poiché questo permetterà una migliore lettura delle variazioni delle caratteristiche con la profondità. Il campione "sotto carcassa" dovrà sempre essere accuratamente raccolto, con l'accortezza di non inglobare frammenti di ossa o tessuti, ma esclusivamente suolo e prodotti della decomposizione quali i liquidi putrefattivi.

Relativamente alle analisi, restano basilari tutte quelle trattate in questa tesi, ma il protocollo analitico come già scritto può essere notevolmente ampliato, senza effettuare voli pindarici, ritengo fondamentale ricordare che devono essere preferite analisi non



particolarmente costose, di facile e quanto più veloce attuazione e che richiedono una minima preparazione del campione, quindi un minimo intervento dell'operatore tale per cui l'incidenza dell'errore sistematico viene diminuito, ritengo pure di diffidare di analisi che richiedono particolari strumentazioni in possesso solo di pochi laboratori.

Per quanto attiene alla qualità delle analisi, dal momento che molte richiedono quantità esigue di campione, è bene che ogni analisi sia condotta in doppio, così che si possa utilizzare la media dei due risultati ottenuti. Nel caso i due risultati siano oltremodo differenti, non si renderà necessario null'altro che effettuare nuovamente l'analisi e scartare il risultato discrepante, molto probabilmente risultato e fonte di errore allo stesso tempo.

Inoltre, alla luce di quanto affermato nelle conclusioni circa la micropedologia in ambito forense, è possibile ipotizzare una serie di nuove sperimentazioni per implementarne l'uso. Attenendosi al caso di studio delle impregnazioni fosfatiche indotte dai fluidi putrefattivi, le ulteriori sperimentazioni dovrebbero riguardare, prima di tutto il controllo temporale: occorre determinare l'evoluzione nel tempo e la persistenza nelle diverse stagioni dell'anno delle figure identificate in sezione sottile, analogamente a quanto visto per i campioni "dust" e "plug" dell'area del Ticino.

In quest'ottica occorre creare un protocollo sperimentale con inumazioni/esumazioni a tempi differenti, ma con una cadenza periodica (stagionale) durante l'anno; se per le altre tipologie analitiche si propone una nuova sperimentazione con esumazioni/campionamenti quadri-settimanali (28 giorni), stante la maggiore laboriosità e i maggiori costi dell'approccio micropedologico, si può ragionevolmente allungare il periodo tra un campionamento indisturbato ed il successivo ad otto settimane, che corrisponderebbero a circa sei campionamenti nell'arco dell'anno solare, contro i tredici di una cadenza quadri-settimanale.

Un secondo livello di approfondimento futuro riguarda la caratterizzazione della percolazione in profondità dei liquidi putrefattivi e dunque della presenza delle figure di impregnazione fosfatica a differente profondità nel suolo. Nella presente sperimentazione si è verificata una maggiore densità di tali figure nella sezione sottile campionata a stretto contatto con il fondo buca (VER ES Sotto Alto) rispetto a quanto riscontrato nella sezione sottile sottogiacente (VER ES Sotto Basso): tale discrepanza potrebbe essere ricondotta alla velocità di percolazione dei liquidi, piuttosto bassa in suolo argilloso. D'altro canto una seria sperimentazione non può prescindere da una corretta valutazione di tale parametro, pertanto si propone di campionare il suolo al di sotto della carcassa attraverso un minimo di tre campioni indisturbati, di cui il più superficiale a contatto con il fondo buca; gli altri campioni andranno

campionati a maggiore profondità, ma in continuità con il precedente, in modo da avere una sorta di campionamento continuo per i primi 30 cm al di sotto della carcassa. Tale profondità potrà altresì essere aumentata in corso d'opera, in caso di individuazione di trend di percolazione particolarmente intensi.

Un terzo livello di approfondimento futuro deve necessariamente riguardare anche l'integrazione tra l'approccio microscopico e quello ultramicroscopico nonché la verifica della corretta e precisa identificazione delle figure di impregnazione fosfatica in sezione sottile. Tale approfondimento è sicuramente implicito in una sperimentazione che consenta una raccolta di dati così massiccia come quella suggerita in queste pagine. D'altro canto alcuni accorgimenti tecnici possono migliorare la raccolta stessa dei dati. Ad esempio un maggiore controllo qualitativo delle sezioni sottili per quanto riguarda gli spessori delle sezioni stesse (che devono essere quanto più costanti, sia all'interno di una singola sezione, sia nel confronto tra sezioni differenti): diversi livelli di abrasione indotti dalle operazioni di riduzione dello spessore delle sezioni sottili possono portare a risultati contraddittori a carico di figure così piccole ed effimere. Inoltre occorre pianificare con particolare attenzione (ossia standardizzare quanto più possibile) le differenti fasi di osservazione e documentazione microscopica e ultramicroscopica, tenendo conto che la ricopertura con grafite delle sezioni sottili per l'osservazione al SEM rende difficilmente realizzabile una nuova osservazione al microscopio petrografico.

Infine ciò che nel presente lavoro di dottorato non è stato possibile attuare, stante la cronica mancanza di fondi (e non solo), è una analisi topografica composizionale anche sui costituenti organici presenti nelle sezioni sottili e che risultano non quantificabili al SEM. Tale analisi è la analisi microstratigrafica *in situ* (ovvero la micromorfologia abbinata al micro-FTIR su sezioni sottili di suolo): tale approccio integrato è probabilmente il migliore per quanto riguarda la descrizione e la quantificazione dei costituenti sia organici sia inorganici in sezione sottile, in quanto permette la identificazione di minerali, sia cristallini sia amorfi, così come di associazioni organo minerali, in particolare quelle dei costituenti minerali di origine biologica quali fosfati, nitrati e solfati (Berna & Goldberg, 2007; Goldberg & Berna, 2010).

Al fine di realizzare tale approccio occorrerà pertanto un campionamento "in doppio" di indisturbati al di sotto delle carcasse (come descritto in precedenza) al fine di avere una seconda serie di campioni preparati, con le debite metodologie, per la micropedologia tradizionale abbinata al micro-FTIR.

Il progetto di ricerca oggetto di questa tesi contemplava anche due grossi capitoli riguardanti le carcasse abbandonate in superficie e l'analisi del tessuto osseo, tuttavia i dati ricavati erano insufficienti per la pubblicazione oppure i problemi di livello economico-burocratico per lo svolgimento di taluni protocolli analitici sono stati enormi ed insormontabili da parte delle persone a cui era stato affidato l'incarico di risolverli.

Ciò nonostante, dal personale punto di vista strettamente scientifico, mi sento in dovere di fornire anche in questi casi le informazioni di base e le prime linee guida da me intraprese.

Per quanto riguarda le carcasse abbandonate in superficie, con il presente progetto di inumazione-esumazione vi era in origine un protocollo esclusivamente dedicato, per cui in data di inumazione sono stati lasciati in superficie, nelle medesime aree del Parco del Ticino, otto lattonzoli di maiale (*Sus scrofa*). La decomposizione ha interessato i lattonzoli molto velocemente e dopo il primo mese ossa e cartilagini del corpo erano ben visibili, resistevano maggiori brandelli di tessuto nella regione del capo; sono stati osservati numerosi fenomeni di disarticolazione anatomica dovuti verosimilmente all'entomofauna o all'azione di piccoli predatori spazzini che in un caso hanno portato via dal luogo la carcassa intera.

Ragionando su fatti di cronaca passati e recenti, sarebbe interessante riannettere al nuovo progetto sperimentale il protocollo del "cadavere superficiale" seguendo i suggerimenti che seguono.

Le carcasse o le parti anatomiche, sempre preferibilmente di *Sus scrofa*, dovrebbero essere collocate, in numero sufficiente a coprire un arco di tempo di minimo sei mesi con cadenza di raccolta dati e carcassa pari a 7 giorni, in un'area semi naturale o naturale ma protetti da opportuna recinzione che scongiuri la scomparsa della carcassa, poiché questo significherebbe la perdita di dati, è possibile avvalersi anche di telecamere e termocamere o telecamere a raggi infrarossi che monitorino tutta la durata dell'esperimento 24 ore su 24.

Per il campionamento del suolo si rimanda al campionamento "sotto carcassa" del manuale operativo e per le analisi ai protocolli analitici utilizzati in questo progetto; tuttavia dato che le tecniche utilizzate appartengono alle Scienze della Terra, è da prendere in considerazione l'ubicazione di uno o più collettori sedimentari in prossimità di ciascuna carcassa tale da poter dare luogo alla comparazione con il tasso di sedimentazione di polveri/sedimenti sulla carcassa, alla determinazione della natura degli stessi ed alla possibilità di riconoscimento di questi in concomitanza dell'avanzamento dei fenomeni decompositivi attraverso appunto, protocolli analitici squisitamente geologici.

Per quanto riguarda invece l'analisi del tessuto osseo, esso riserba una notevole potenzialità. Le ossa sono ciò che più probabilmente si può ritrovare di un cadavere, per la loro

dimensione, densità, peso e resistenza agli agenti atmosferici ma anche a quelli strettamente meccanici, a distanza di tempo, esse si conservano più a lungo dei tessuti molli per i quali la sorte è maggiormente influenzata dalle condizioni di temperatura, umidità ed esposizione luminosa.

Il motivo che spiega tale comportamento risiede nella composizione e struttura chimica propria delle ossa, che siano di essere umano o di animale, si differenziano dal punto di vista morfologico e micromorfoscopico, ma non dal punto di vista chimico. E' l'idrossiapatite sotto forma di cristalli, la frazione inorganica delle ossa, che dona questa particolare proprietà di resistenza. Tuttavia le ossa possiedono un'altra frazione, denominata frazione organica, ricca soprattutto in collagene, che fa sì che le ossa non siano fragili come un semplice aggregato di cristalli, ma sufficientemente elastiche da permettere l'assorbimento delle forze che insistono su di esse ed il sistema scheletrico in toto.

Questa combinazione si mantiene percentualmente costante durante tutta la vita, salvo il fisiologico invecchiamento osseo che fa sì che il tessuto osseo rallenti il suo metabolismo con l'avanzare dell'età e l'osso diminuisca il suo spessore. Alla morte del soggetto le due frazioni imboccano strade differenti, la frazione organica inizia lentamente la decomposizione che la porterà a scomparire sottoforma di molecole semplici, mentre la frazione inorganica resterà molto più a lungo, preda solo dei fenomeni disgregativi atmosferici di ordine sia chimico sia fisico (meccanico).

A fronte di ciò, con la perdita della componente organica è un po' come se si perdesse il collante per la componente idrossiapatitica ed è in questo modo che l'osso diventa fragile. Macroscopicamente tutto ciò avviene in tempi piuttosto lunghi, nell'ordine di grandezza delle decine di anni, ma microscopicamente si possono notare cambiamenti anche su scala annuale.

E' per questa ragione che il progetto sperimentale di questo dottorato comprendeva pure un protocollo sull'analisi microscopica delle ossa in sezione sottile, le carcasse esumate ai differenti intervalli di tempo avrebbero fornito lo scaglione temporale parallelo al quale si sarebbero analizzate le trasformazioni ossee nella loro perdita di componente collagenica.

Una semplice preparazione dei campioni ossei in sezione sottile dei diversi distretti corporei, per avere una rappresentanza di ossa lunghe, brevi e piatte, tagliate e levigate esclusivamente a secco o ad olio, ma non ad acqua poiché essa interferisce con le probabili impregnazioni che si possono sviluppare a carico delle ossa interrate, possono essere studiate al microscopio petrografico ed analizzate sia con la metodologia della riflettanza sia in diffrattometria a raggi-x (XRD).

# POSTFAZIONE



## POSTFAZIONE.

*Sembra che un'epidemia pestilenziale abbia colpito l'umanità nella facoltà che più la caratterizza, cioè l'uso della parola, una peste del linguaggio che si manifesta come perdita di forza conoscitiva e di immediatezza, come automatismo che tende a livellare l'espressione sulle formule più generiche, anonime, astratte, a diluire i significati, a smussare le punte espressive, a spegnere ogni scintilla che sprizzi dallo scontro delle parole con nuove circostanze.*

(Lezioni americane - Italo Calvino)

Bene, il mio lavoro di Dottorato è terminato; allora molti si chiederanno che cosa sia mai quest'ultimo capitolo. Bene, credo sia sempre necessario porsi delle domande e mettersi in discussione con lo scopo ultimo, ma non unico, di crescere, quindi questa postfazione nasce essenzialmente da una domanda che mi sono posta, ma anche che mi è stata posta più di una volta:

“Cosa hai imparato svolgendo il tuo Dottorato?”

Orbene, molte persone potrebbero rispondere “un sacco di cose!” altre invece “bah, le solite cose...” io invece sento la necessità di scrivere alcune righe.

Ho avuto una grande fortuna, ho potuto fare una ricerca di tre anni su un argomento che mi piaceva, che aveva catturato il mio interesse fin da quando ero una studentessa della laurea magistrale e ho potuto toccare con mano il lavoro che volevo fare.

Ma ho avuto anche una grande sfortuna, quando sono nata mi hanno dotato di intelligenza, logica e capacità di critica e se questo può non risultare una sfortuna, la differenza sostanziale è che io l’ho usata. Crescendo ho appreso pure il significato di educazione e rispetto, ed è stata la fine.

Cosa ho imparato in questi tre anni allora? Ho imparato che per svolgere un lavoro non basta essere intelligenti, non basta studiare e conoscere tutti gli articoli scientifici, non basta avere buone idee e mezzi per attuarle, per svolgere un lavoro bene, bisogna essere saggi. Alla saggezza vi si arriva con il silenzio, con la mente aperta all’ascolto, con gli occhi trasparenti della coerenza; la saggezza non si acquista esistendo, la saggezza si acquista vivendo, facendosi carico di oneri e onori delle azioni che ognuno compie nella propria vita.

Cosa voglio dire con ciò è molto semplice, per un dato lavoro devi esserci portato, umanamente portato. Forzare il tuo essere non condurrà alla saggezza. Un conto è il lato tecnico, ma se ti trovi ad avere a che fare con le persone, devi avere un atteggiamento umano profondamente sviluppato. Non sono molti a possederlo. La maggior parte della gente che ho conosciuto in questi anni, purtroppo, non è portata a rapportarsi con il genere umano se non in un rapporto di sudditanza o di convenienza.

In particolare nel campo in cui mi sono addentrata capitano casi giudiziari che ti mettono in condizioni di lavoro particolari, e che tu sia a campionare in sala autoptica o in casa delle persone, non ti puoi permettere di fare delle leggerezze e dovresti avere colleghi che abbiano il tuo stesso rispetto nei confronti degli altri, vivi o morti che siano, ma purtroppo troppo spesso non è così.

Fortunatamente negli ultimi due anni ho scavato solo più maiali.

Forse mi troverete un po’ pungente o ipercritica, ma tanto, se questa lettura non solleverà altre domande nella vostra mente, sono oltremodo sicura che domani avrete già dimenticato tutto, purtroppo. Posso ipotizzare che sia colpa del sistema, (ma chi l’ha mai visto questo sistema?) e posso credere che ci sia ancora gente che sa fare bene il suo lavoro: credo solo che sia troppo poca.

Mettevi una mano sul cuore ed una sulla coscienza; da domani vi auguro di vivere con più onore e più coraggio.



# BIBLIOGRAFIA



## BIBLIOGRAFIA.

- ADAMS B.J., BYRD J.E. (2006). *Resolution of small-scale commingling: a case report from the Vietnam War*. *Forensic Science International*; 6;156(1):63-9.
- ALLMAN M., LAWRENCE D. F. (1972). *Geological Laboratory Techniques*. London Blandford Press.
- ANDREW L. B., (2006). *Expert Witness Testimony: The Ethics of Being a Medical Expert Witness*. *Emergency Medicine Clinics of North America*, 24, 715–731.
- ARCARA P.G., GAMBA C., BIDINI D., MARCHETTI R. (1999). *The effect of urea and pig slurry fertilization on denitrification, direct nitrous oxide emission, volatile fatty acids, water-soluble carbon and anthrone-reactive carbon in maize-cropped soil from the Po plain*. *Biol. Fertil Soils*, 29, 270-276.
- ATURALIYA S., LUKASEWYCZ A. (1999). *Experimental forensic and bioanthropological aspects of soft tissue taphonomy: 1. Factors influencing postmortem tissue desiccation rate*. *Journal of Forensic Science*, 44(5):893-96.
- AVERY B.W., BASCOMB C.L. (1974). *Soil Survey Laboratory Methods*. Technical Monograph No. 6, HARPENDEN.
- BEHRENSMEYER A. K, KIDWELL S. M., GASTALDO R. A. (2009). *Taphonomy and paleobiology*. *Paleobiology* 26 (4), 103-144.
- BERGER M. A. (2005). *What Has a Decade of Daubert Wrought?* *American Journal of Public Health*, 95:S59-S65.
- BERNA F. & GOLDBERG P. (2007) *Assessing Paleolithic pyrotechnology and associated hominin behavior in Israel*. *Israel Journal of Earth Science* 56: 107-121.
- BINI A. (1997 a). *Problems and methodologies in the study of the quaternary deposits of the southern side of the alps*. *Geologia Insubrica* 2/2, 11-20.
- BINI A. (1997 b). *Stratigraphy, chronology and palaeogeography of quaternary deposits of the area between the Ticino and Olona rivers (Italy-Switzerland)*. *Geologia Insubrica* 2/2, 21-46.

- BLOTT S.J., CROFT D.J., PYE K., SAYE S.E., WILSON H.E. *Particle size analysis by laser diffraction*. in: PYE K., CROFT D.J. (2004). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.
- BOGLIANI G. & FURLANETTO D. (1995). *Il Parco del Ticino. Scigno di vita*. Musumeli Editore.
- BOMMARITO C.R., STURDEVANT A.B., SZYMANSKI D.W. (2007). *Analysis of Forensic Soil Sample Via High-Performance Liquid Chromatography and Ion Chromatography*. Journal of Forensic Sciences 1, 24-30.
- BREWER, R. (1976). *Fabric and mineral analysis of soils*. Huntington, Krieger, New York.
- BROWN A.G. (2006). *The use of forensic botany and geology in war crimes investigations in NE Bosnia*. Forensic Science International 163, 204-210.
- BULL P.A., PARKER A., MORGAN R.M. (2006). *The forensic analysis of soils and sediment taken from the cast of a footprint*. Forensic Science International 162, 6-12.
- BULLOCK, P., FEDOROFF, N., JONGERIUS, A., STOOPS, G. & TURSINA, T. (1985), *Handbook for Soil Thin Section Description*. Waine Research Publications, Wolverhampton.
- BUSACCA A.J. & SINGER M.J. (1989). *Pedogenesis of a Chronosequence in the Sacramento Valley, California, USA, II. Elemental Chemistry of Silt Fractions*. Geoderma 44; 43-75.
- BUURMAN P., VAN LAGEN B., VELTHORST E. J. (1996). *Manual for Soil and Water Analysis*. Backhuys Publishers Leiden, The Netherlands.
- CAMERON N.G. *The use of diatom analysis in forensic geoscience*. in: PYE K., CROFT D.J. (2004). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.
- CANALE A., VALENTE M.E., CIOTTI A. (1984). *Determination of volatile carboxylic acids and lactic acid in aqueous acid extract of silege by HPLC*. J. Sci.Food Agric., 35, 1178-1182.
- CARTER D.O., YELLOWLEES D., TIBBETT M. (2007). *Cadaver Decomposition in Terrestrial Ecosystem*. Naturwissenschaften 94, 12-24.
- CATTANEO C. (2006). *Forensic Anthropology: developments of a classical discipline in the new millennium*. Forensic Science International (in press) 1-19.
- CATTANEO C., GIOVANETTI G., PORTA D., MARINELLI E., D'AGOSTINO N., GRANDI M. (2005). *Il problema del cadavere sconosciuto visto attraverso uno studio retrospettivo di nove anni (345 casi): un problema ancora e sempre da risolvere*. Minerva Medicina Legale 125, 9-18.
- CATTANEO C. (2003). *Appunti di Antropologia*. Librerie CUEM.

- CATTANEO C., GRANDI M. (2004). *Antropologia e Odontologia Forense. Guida allo studio dei resti umani. Testo Atlante*. Monduzzi Editore.
- CENGIZ S., KARACA A.C., ÇAKIR I., UNER H.B., SEVINDIK A. (2004). *SEM-EDS analysis and discrimination of forensic soil*. *Forensic Science International* 141, 33-37.
- CITA M. B., GELATI R., GREGNANIN A. (1991). *Società Geologica Italiana: Guide geologiche regionali: Alpi e prealpi lombarde*. BE-MA editrice.
- CREMASCHI M., RODOLFI G. (1991). *Il Suolo, Pedologia nelle Scienze della Terra e nella valutazione del Territorio*. La Nuova Italia Scientifica.
- E.R.S.A.L. (1999 a). I suoli della pianura milanese settentrionale. Serie SSR “Rapporti dei rilevamenti pedologici”.
- E.R.S.A.L. (1999 b). I suoli della pianura e collina varesina. Serie SSR “Rapporti dei rilevamenti pedologici”.
- DAUBERT V. MERRELL DOW PHARMACEUTICALS, INC. (1993) 509 U.S. 579, 589.
- DAWSON L.A., TOWERS W., MAYES R.W., CRAIG J., VAISANEN R.K., WATERHOUSE E.C. *The use of plant hydrocarbon signatures in characterizing soil organic matter*. in: PYE K., CROFT D.J. (2004). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.
- DIRKMAAT D.C., CABO L.L., OUSLEY S.D., SYMES S.A. (2008). *New perspectives in forensic anthropology*. *Yearbook of Physical Anthropology*. 51:33-52.
- DIXON, L, GILL B. (2002) *Changes in the Standards for Admitting Expert Evidence in Federal Civil Cases Since the Daubert Decision*. RAND Institute for Civil Justice.
- DUHIG C. (2003). *Non-forensic remains: the use of forensic archaeology, anthropology and burial taphonomy*. *Science & Justice*; 43(4):211-4.
- DUMAS J.B.A. (1831). *Procédés de l'analyse organique*. *Ann.Chim.Phys.* 247: 198-213.
- EDWARDS H.G.M. *Forensic applications of Raman spectroscopy to the non-destructive analysis of biomaterials and their degradation*. in: PYE K., CROFT D.J. (2004). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.
- Editorial (2001): *Global forensic anthropology in the 21st century*. *Forensic Science International*. 117;1-6.
- EVANS J.A., TATHAM S. *Defining 'local signature' in term of Sr isotope composition using a tenth- to twelfth-century Anglo-Saxon population living on a Jurassic clay-carbonate terrain, Rutland, UK*. in: PYE K., CROFT D.J. (2004). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.

- FABIG A., HERRMANN B. (2002). *Trace elements in buried human bones: intra-population variability of Sr/Ca and Ba/Ca ratios - diet or diagenesis?* *Naturwissenschaften* 89, 115-119.
- F.A.O., (2006). *Guidelines for Soil Description*, Fourth edition. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FENNING P.J., DONNELLY L.J. *Geophysical techniques for forensic investigation*. in: PYE K., CROFT D.J. (2004). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.
- FIEDLER S., SCHNECKENBERGER K., GRAW M. (2004). *Characterization of soils containing adipocere*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 47, 561-568.
- FORBES S.L., DENT B.B., STUART B.H. (2005 a). *The effect of the burial environment on adipocere formation*. *Forensic Science International* 154, 24-34.
- FORBES S.L., DENT B.B., STUART B.H. (2005 b). *The effect of soil type on adipocere formation*. *Forensic Science International* 154, 35-43.
- FORBES S.L., DENT B.B., STUART B.H. (2005 c). *The effect of the method of burial on adipocere formation*. *Forensic Science International* 154, 44-52.
- GALE S.J. & HOARE P.G. (1991). *Quaternary Sediments*. Belhaven Press, London.
- GASTALDO, SAVRDA, LEWIS (1996). *Deciphering Earth History: A Laboratory Manual with Internet Exercises*. Contemporary Publishing Company of Raleigh.
- GATOWSKI, S. I. ET AL. (2001). *"Asking the gatekeepers: A National Survey of Judges on Judging Expert Evidence in a Post-Daubert world"*. *Law and Human Behavior* 25 (5): 433-458.
- GRIVAS C. R. & KOMAR D. A. (2008). *Kumho, Daubert, and the Nature of Scientific Inquiry: Implications for Forensic Anthropology*. *Journal of Forensic Science*, Vol. 53, No. 4, 771-776
- GOLDBERG P. & BERNA F. (2010). *Micromorphology and context*. *Quaternary International* 214: 56-62.
- HAGLUND W.D., SORG M. H. (1997). *Forensic Taphonomy. The post-mortem Fate of Human Remains*. CRC Press, Inc.
- HANSON I.D. *The importance of stratigraphy in forensic investigation*. in: PYE K., CROFT D.J. (2004). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.
- HENDERSON J. *The archaeologist as a detective: scientific techniques and the investigation of past societies*. in: PYE K., CROFT D.J. (2004). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.

- HRAPOVIC L. & ROWE R.K. (2002). *Intrinsic degradation of volatile fatty acids in laboratory-compacted clayey soils*. J. Contam. Hydrol., 58, 221-242.
- HODGSON J.M. (1976). *Soil Survey Field Handbook*. Technical Monograph No. 5, HARPENDEN.
- HUGHES CE, WHITE CA. (2009). *Crack propagation in teeth: a comparison of perimortem and postmortem behavior of dental materials and cracks*. Journal of Forensic Science. 54(2):263-6.
- HUNTER J., COX M. (2005). *Forensic Archaeology*. Routledge from Taylor & Francis Group.
- ISPHORDING W.C. *The right way and the wrong way of presenting statistical and geological evidence in a court of law (a little knowledge is a dangerous thing!)*. in: PYE K., CROFT D.J. (2004 a). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.
- ISPHORDING W.C. *Using geological information to identify apparent 'misrepresentation' of facts in a litigious situation*. in: Pye K., Croft D.J. (2004 b). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.
- JAMES S.H. & NORDBYE J.J., *Forensic Science; an introduction to scientific and investigative techniques* (2005). CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- JARVIS K.E., WILSON H.E., JAMES S.L. *Assessing element variability in small soil samples taken during forensic investigation*. in: PYE K., CROFT D.J. (2004). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.
- JENNY H. (1941), *Factors of Soil Formation. A System of Quantitative Pedology*. McGraw-Hill publication, New York.
- JASANOFF, S. (2005). *"Law's Knowledge: Science for Justice in Legal Settings"*. American Journal of Public Health 95 (S1): S49-S58.
- LADD J.N., AMATO M., GRACE P.R., VAN VEEN J.A. (1995). *Simulation of  $^{14}\text{C}$  turnover through the microbial biomass in soils incubated with  $^{14}\text{C}$ -labelled plant residues*. Soil Biol Biochem., 27, 777-783.
- LANGHOR R., SCOPPA C.O., VAN WAMBEKE A. (1976). *The use of a comparative particle size distribution index for the numerical classification of soil parent materials: application to Mollisols of the Argentinian pampa*. Geoderma 15, 305-312.
- Letter to the Editor. (2005). *SEM-EDS analysis and discrimination of forensic soil (by Cengiz et al.) - A comment*. Forensic Science International 155, 222-224.

- LEE C.W. *The nature of, and approaches to, teaching forensic geoscience on forensic science and earth science courses.* in: PYE K., CROFT D.J. (2004). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications.* Geological Society Special Publication No. 232.
- LUNA L.G. (1968) *Manual of histologic staining methods of the armed forces institute of pathology*, 3rd edn. New York: McGraw-Hill
- KAHANA T., ALMOG J., LEVY J., SHMELTZER E., SPIER Y., HISS J. (1999). *Marine taphonomy: adipocere formation in a series of bodies recovered from a single shipwreck.* Journal of Forensic Science; 44(5):897-901.
- KASSIM G., MARTIN J.P., HAIDER K. (1981). *Incorporation of a wide variety of organic substrate carbon into soil biomass as estimated by fumigation procedure.* Soil Sci. Soc. Am. J, 45, 1106-1112.
- KILLAM E. (1990). *Detection of Human Remains.* Charles C. Thomas Springfield Illinois, U.S.A.
- KIRCHMANN H. AND LUNDEVALL A. (1993). *Relationship between N immobilization and volatile fatty acids in soil after application of pig and cattle slurry.* Biol. Fert. Soils, 15, 161-164.
- MACCHIONE P., MALNATI G. NERICCIO C. (2004). *Il Parco della Valle del Boia, Natura e Cultura.* Macchione Editore.
- MINISTERO DELLE RISORSE AGRICOLE, ALIMENTARI E FORESTALI. (1994). *Metodi Ufficiali di Analisi Chimica del Suolo.* ROMA.
- MINISTERO DELLE RISORSE AGRICOLE, ALIMENTARI E FORESTALI. (2000) *Metodi di analisi chimica del suolo.* Osservatorio nazionale pedologico e per la qualità del suolo.
- MINISTERO PER LE POLITICHE AGRICOLE (1997). *Metodi ufficiali di analisi fisica del suolo.* D.M. del 1° agosto 1997, Gazzetta Ufficiale n. 204 del 2.09.97.
- MINISTERO PER LE POLITICHE AGRICOLE (1999). *Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo.* D.M. del 13/09/99, Gazzetta Ufficiale n. 248 del 21.10.99.
- MISKELLY G.M., WAGNER J.H. (2005). *Using spectral information in forensic imaging.* Forensic Science International 155, 112-118.
- MORTON R.J., LORD W.D. (2006). *Taphonomy of child-sized remains: a study of scattering and scavenging in Virginia, USA.* Journal of Forensic Science; 51(3):475-9.
- MURPHY, C.P. (1986), *Thin Section Preparation of Soils and Sediments.* AB Academic Publisher, Berkhamsted.
- MEGYESI M.S., NAWROCKI S.P., HASKELL N.H. (2005). *Using accumulated degree-days to estimate the postmortem interval from decomposed human remains.* Journal of Forensic Sciences 50(3), 618-26.



- MURRAY R.C. *Forensic geology: yesterday, today and tomorrow*. in: PYE K., CROFT D.J. (2004 a). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.
- MURRAY R.C. (2004 b). *Evidence from the Earth, Forensic Geology and Criminal Investigation*. Mountain Press Publishing Company Missoula, Montana.
- NEGRETTI G., *Fondamenti di Petrografia*. McGraw-Hill, 2003 674 pp.
- NELSON D. W., SOPMMERS L. E. *Total carbon, organic carbon and organic matter*. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3 - Chemical Methods* (D.L. Sparks, Ed.) SSSA Book Series n. 5. SSSA and ASA Inc. Madison Wi, USA.
- NUNES F.L. & DONES C. (2006). *Parco Groane dove*. Solaro CS&L.
- 13th Interpol Forensic Science Symposium, Lyon, France; 16-19 october 2001. *Forensic examination of soil evidence*. 175-191.
- PAGE M., TAYLOR J., BLENKIN M. (2011 a). *Forensic Identification Science Evidence Since Daubert: Part I—A Quantitative Analysis of the Exclusion of Forensic Identification Science Evidence*. Journal of Forensic Science, Vol. 56, No. 5, 1180-1184.
- PAGE M., TAYLOR J., BLENKIN M. (2011 b). *Forensic Identification Science Evidence Since Daubert: Part II—Judicial Reasoning in Decisions to Exclude Forensic Identification Evidence on Grounds of Reliability*. Journal of Forensic Science, Vol. 56, No. 4, 913-917.
- PALENIK S. (2007). *Heavy minerals in forensic science*. Developments in Sedimentology 58, 937-961.
- PAUL J.W. AND BEAUCHAMP E.G. (1989). *Rapid extraction and analysis of volatile fatty acids in soil*. Comm. In soil Pl. Anal., 20, 85-94.
- PICOZZI M. & INTINI A. (2009). *Scienze forensi – Teoria e prassi dell'investigazione scientifica*, UTET Giuridica,
- PIRRIE D., BUTCHER A.R., POWER M.R., GOTTLIEB P., MILLER G.L. *Rapid quantitative mineral and phase analysis using automated scanning electron microscopy (QemSCAN); potential applications in forensic geoscience*. in: PYE K., CROFT D.J. (2004). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.
- PYE K., CROFT D.J. (2004). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.
- PYE K. *Forensic examination of rocks, sediments, soils and dusts using scanning electron microscopy and X-ray chemical microanalysis*. in: PYE K., CROFT D.J. (2004 a). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.

- PYE K. *Isotope and trace element analysis of human teeth and bones for forensic purposes.* in: PYE K., CROFT D.J. (2004 b). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications.* Geological Society Special Publication No. 232.
- PYE K., BLOTT S.J. (2004 a). *Particle size analysis of sediments, soils and related particulate materials for forensic purposes using laser granulometry.* *Forensic Science International* 144, 19-27.
- PYE K., BLOTT S.J. *Comparison of soils and sediments using major and trace element data.* in: PYE K., CROFT D.J. (2004 b). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications.* Geological Society Special Publication No. 232.
- PYE K., CROFT D.J. *Forensic geoscience: introduction and overview.* in: PYE K., CROFT D.J. (2004 a). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications.* Geological Society Special Publication No. 232.
- PYE K., CROFT D.J. *Color theory and the evaluation of an instrumental method of measurement using geological samples for forensic applications.* in: PYE K., CROFT D.J. (2004 b). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications.* Geological Society Special Publication No. 232.
- PYE K., CROFT D.J. (2007). *Forensic analysis of soil and sediment traces by scanning electron microscopy and energy-dispersive X-Ray analysis: an experimental investigation.* *Forensic Science International* 165, 52-63.
- PYE K., BLOTT S.J., WRAY D.S. (2006). *Elemental analysis of soil samples for forensic purposes by inductively coupled plasma spectrometry - precision consideration.* *Forensic Science International* 160, 178-192.
- PYE K., BLOTT S.J., CROFT J.D., WITTON S.J. (2007). *Discrimination between sediment and soil samples for forensic purposes using elemental data: an investigation of particle size effects.* *Forensic Science International* 167, 30-42.
- RAMAKRISHNAN B., LUEDERS T., CONRAD R., FRIEDRICH M. (2000). *Effect of soil aggregate size on methanogenesis and archeal community structure in anoxic rice field soil.* *FEMS Microb. Ecol.*, 32, 261-270.
- RAWLINS B.G., CAVE M. *Investigating multi element soil geochemical signatures and their potential for use in forensic studies.* in: PYE K., CROFT D.J. (2004). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications.* Geological Society Special Publication No. 232.
- REYNOLDS, J. M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics*, 2nd edition. Wiley.
- REEVES III J.B., FRANCIS B.A., HAMILTON S.K. (2005). *Specular Reflection and Diffuse Reflectance Spectroscopy of Soils.* *Applied Spectroscopy* 59, 39-46.

- REGIONE LOMBARDIA, ENI DIVISIONE AGIP. (2002) *Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia* a cura di Cipriano Carcano e Andrea Piccin. S.EL.CA. (Firenze).
- RENDLE F.D. (2005). *Advances in chemistry applied to forensic science*. The Royal Society of Chemistry 34, 1021-1030.
- RUFFELL A., WILTSHIRE P. (2004). *Conjunctive use of quantitative and qualitative X-ray diffraction analysis of soils and rocks for forensic analysis*. Forensic Science International 145, 13-23.
- SANESI G. (2000). *Elementi di pedologia. I suoli, loro proprietà, gestione e relazioni con l'ambiente*. CALDERINI edagricole.
- SAYE S., PYE K. *Development of a coastal dune sediment database for England and Wales: forensic applications*. in: PYE K., CROFT D.J. (2004). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.
- SCOTT J., HUNTER J.R. *Environmental influences on resistivity mapping for the location of clandestine graves*. in: PYE K., CROFT D.J. (2004). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.
- SCHOENEBERGER, P.J., WYSOCKI, D.A., BENHAM, E.C., AND BRODERSON, W.D. (editors), 2002. *Field book for describing and sampling soils, Version 2.0*. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- SCHOTSMANS E.M.J., DENTON J., DEKEIRSSCHIETER J., IVANEANU T., LEENTJES S., JANAWAY R.C., WILSON A.S. (2012). *Effects of hydrated lime and quicklime on the decay of buried human remains using pig cadavers as human body analogues*. Forensic Science International. 217;50–59
- SCHULTZ M.M., WEHRNER F., WEHRNER H-D. (2007). *The use of a Tunable Light Source (Mini-Crimescope MCS400, SPEX Forensics) in Dissecting Microscopic Detection of Cryptic Epithelial Particles*. Forensic Science International 52, 879-883.
- SOIL SURVEY STAFF (1975), *Soil Taxonomy*. Agriculture Handbook, n. 436, Washington, USDA.
- SOIL SURVEY STAFF (1992), *Keys to Soil Taxonomy*, SMSS Technical Monograph, n.19, 5° ed., Blacksburg, Virginia, Pocahontas Press, Inc., pp. 422.
- SOIL SURVEY DIVISION STAFF (1993), *Soil Survey Manual*. (U.S.D.A. Handbook, n.18), Washington, USDA.
- SOLOMON, SHANA M., HACKETT, EDWARD J., (1996). *"Setting Boundaries between Science and Law: Lessons from Daubert v. Merrell Dow Pharmaceuticals, Inc."*. Science, Technology & Human Values 21 (2): 131–156.
- SOMMER S.G. & HUSTED S., (1995). *The chemical buffer system in raw and digested animal slurry*. J. Agric. Sci., 124, 45-53.

- SØRENSEN P. (1998). *Carbon mineralization, nitrogen immobilization and pH change in soil after adding volatile fatty acids*. *Europ. J. Soil Sci.*, 49, 457-462.
- SMALL I.F., ROWAN J.S., FRANKS S.W., WYATT A., DUCK R.W. *Bayesian sediment fingerprinting provides a robust tool for environmental forensic geoscience applications*. in: PYE K., CROFT D.J. (2004). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.
- SMITH B. C. (1996). *Foundamentals of Fourier Infrared Spectroscopy*. CRC press, Boca Raton.
- STAM M. *Soil as significant evidence in a sexual assault/attempted homicide case*. in: PYE K., CROFT D.J. (2004). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.
- STELLA F. (2003). *Giustizia e modernità. La protezione dell'innocente e la tutela delle vittime*. Giuffrè Editore - Milano
- STELLA F. (2000). *Leggi scientifiche e spiegazione causale nel diritto penale*. Raccolta di studi di diritto penale; Giuffrè Editore - Milano
- STOJANOWSKI C.M., SEIDEMANN R.M., DORAN G.H. (2002). *Differential skeletal preservation at Windover Pond: causes and consequences*. *American Journal of Physical Anthropology*; 119(1):15-26.
- STOOPS, G. (2003). *Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- STOOPS, G., MARCELINO, V. & MEES, F. (2010). *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Elsevier, Oxford.
- SUGITA R., MARMO Y. 'Unique' particles in soil evidence. in: PYE K., CROFT D.J. (2004). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.
- TABORELLI A. (2010). *Alterazioni microscopiche della decomposizione: implicazioni per la medicina legale*. PhD Thesis, Biotecnologie Applicate alle Scienze Mediche, XXIII Ciclo.
- TRUEMAN C.N. *Forensic geology of bone mineral: geochemical tracers for post-mortem movement of bone remains*. in: PYE K., CROFT D.J. (2004). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.
- TUCKER M.E., *Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks*. 3rd Edition, 272 pages, May 2001, Wiley-Blackwell
- USAI M.R., BROTHWELL D., BUCKLEY S., AI-THOUR K., CANTI M. (2010). *Micromorphology of two prehistoric ritual burials from Yemen, and considerations on methodological aspects of sampling the burial matrix - work in progress*. *Geophysical*

- VASS A.A., BASS W.M., WOLT J.D., FOSS J.E., AMMONS J.T. (1992). *Time since death determination of human cadavers using soil solution*. J. Forensic Sciences, 37, 1236-1253.
- VASS A.A. (2001). *Beyond the grave understanding human decomposition*. Microbiology Today, 28, 190-193.
- WATTERS M., HUNTER J.R. *Geophysics and burials: field experience and software development*. in : PYE K., CROFT D.J. (2004). *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publication No. 232.
- WILSON A.S., JANAWAY R.C., HOLLAND A.D., DODSON H.I., BARAN E., POLLARD A.M., TOBIN D.J. (2007). *Modelling the buried human body environment in upland climes using three contrasting field sites*. Forensic Science International 169, 6-18.
- WILTSHIRE P.E.J. (2006 a). *Consideration of some taphonomic variables of relevance to forensic palynological investigation in the United Kingdom*. Forensic Science International 163, 173-182.
- WILTSHIRE P.E.J. (2006 b). *Hair as a source of forensic evidence in murder investigations*. Forensic Science International 163, 241-248.
- ZOCCOLI L., BUSSOLINI C. (1997). *The Pliocene-Pleistocene deposits in Valle Olona (Varese, Northern Italy)*. Geologia Insubrica 2/2, 113-120.



# APPENDICE A





# APPENDICE A.

## ANALISI TOTALE.

In questa appendice sono

esposte le tabelle nelle quali sono riportati tutti i valori dei dati ottenuti, per ciascun campione, attraverso le analisi di laboratorio relative, riportate nell'intestazione delle colonne della tabella stessa o nella didascalia esplicativa riportata sotto alla tabella stessa.

Campione	pH in H2O	pH in KCl	C org. g/kg	N tot. g/kg	P ass. mg/kg	CSC meq/100g	Na <sup>+</sup> meq/100g	K <sup>+</sup> meq/100g	Ca <sup>++</sup> meq/100g	Mg <sup>++</sup> meq/100g	TSB %
09.05.21 IS A B 1 PRI A1	5,3	4,5	46,95	3,65	4,90	16,69	0,05	0,12	6,95	1,11	68,19
09.05.21 IS A B 1 PRI A2	5,2	4,1	10,74	0,90	4,90	4,23	0,11	0,01	1,81	0,52	42,76
09.05.21 IS A B 1 PRI C1	5,5	4,4	2,55	0,15	2,26	1,42	0,14	0,05	1,00	0,41	100,0
09.05.21 IS A B 1 PRI C2	6,1	4,7	1,41	0,15	1,14	1,02	0,06	0,00	0,76	0,28	76,92
09.05.21 IS A B 1 PRI C3	6,7	4,9	1,61	0,15	0,96	1,09	0,06	0,00	0,87	0,30	51,90
09.05.21 IS A B 1 PRI C4	6,6	4,9	2,04	0,15	1,33	1,24	0,07	0,00	1,00	0,33	56,68
09.07.06 ES A B 1 EST 0-25	4,6	4,2	13,35	1,07	8,55	4,51	0,12	0,08	2,34	0,55	68,51
09.07.06 ES A B 1 EST 25-50	5,5	4,6	10,12	0,83	5,10	4,83	0,10	0,02	1,65	0,47	46,38
09.07.06 ES A B 1 EST 50-75	5,4	4,7	8,05	0,78	5,29	3,83	0,10	0,04	1,51	0,42	54,05
09.07.06 ES A B 1 EST 75-100	5,3	4,6	5,95	0,55	5,10	4,85	0,10	0,05	1,34	0,43	39,59
09.07.06 ES A B 1 EST SOTTO	7,6	7	4,82	1,19	102,90	2,65	0,19	0,27	0,87	0,38	64,53

Buca 1, prima esumazione: 1,5 mesi.

Campione	pH in H2O	pH in KCl	C org. g/kg	N tot. g/kg	P ass. mg/kg	CSC meq/100g	Na <sup>+</sup> meq/100g	K <sup>+</sup> meq/100g	Ca <sup>++</sup> meq/100g	Mg <sup>++</sup> meq/100g	TSB %
09.05.21 IS A B 2 PRI A	5	4,2	18,57	1,63	11,87	8,42	0,06	0,01	2,07	0,49	31,24
09.05.21 IS A B 2 PRI C1	5,7	4,4	3,47	0,30	1,33	3,08	0,06	0,00	1,04	0,33	46,43
09.05.21 IS A B 2 PRI C2	6,5	5	2,83	0,20	0,77	3,08	0,04	0,03	1,04	0,33	38,31
09.05.21 IS A B 2 PRI C3	6,7	5,1	2,83	0,20	0,77	3,08	0,04	0,03	0,85	0,26	38,31
09.12.14 ES A B 2 AUT 0-25	4,6	4,2	17,35	1,41	6,05	4,19	0,12	0,07	1,70	0,40	54,65
09.12.14 ES A B 2 AUT 25-50	5	4,3	6,44	0,58	3,58	5,60	0,08	0,01	1,17	0,34	28,57
09.12.14 ES A B 2 AUT 50-75	5	4,3	6,74	0,60	3,01	4,95	0,07	0,01	1,33	0,39	36,36
09.12.14 ES A B 2 AUT 75-100	4,9	4,3	7,47	0,68	2,45	4,60	0,06	0,01	1,31	0,38	38,26
09.12.14 ES A B 2 AUT SOTTO	4,9	4,4	5,64	0,92	39,13	2,91	0,13	0,07	1,36	0,46	69,42

Buca 2, seconda esumazione: 6,9 mesi.

Campione		pH in H2O	pH in KCl	C org. g/kg	N tot. g/kg	P ass. mg/kg	CSC meq/100g	Na <sup>+</sup> meq/100g	K <sup>+</sup> meq/100g	Ca <sup>++</sup> meq/100g	Mg <sup>++</sup> meq/100g	TSB %
09.05.21 IS A B 3 PRI	A	5.1	4.2	20.62	1.60	7.97	8.38	0.06	0.03	2.64	0.50	38.54
09.05.21 IS A B 3 PRI	C1	5.6	4.2	6.23	0.54	2.64	2.65	0.08	0.02	1.36	0.39	69.81
09.05.21 IS A B 3 PRI	C2	6.1	4.3	2.11	0.15	0.96	1.54	0.10	0.02	0.94	0.37	92.86
09.05.21 IS A B 3 PRI	C3	6.7	5.1	1.11	0.15	0.77	1.11	0.21	0.01	0.94	0.33	100.00
10.06.21 ES A B 3 EST	0-25	5.2	4.5	4.21	0.35	1.89	3.87	0.07	0.06	1.23	0.33	43.67
10.06.21 ES A B 3 EST	25-50	5.4	4.6	3.13	0.25	2.08	3.03	0.09	0.09	1.24	0.36	58.75
10.06.21 ES A B 3 EST	50-75	5.2	4.5	3.50	0.30	1.89	4.30	0.04	0.00	1.21	0.33	36.74
10.06.21 ES A B 3 EST	75-100	5.2	4.5	3.36	0.31	1.52	2.71	0.06	0.01	1.09	0.31	54.24
10.06.21 ES A B 3 EST	SOTTO	5.3	4.5	12.00	1.50	115.79	4.02	0.24	0.51	0.76	0.44	49.00

Buca 3, terza esumazione: 13,2 mesi.

Campione		pH in H2O	pH in KCl	C org. g/kg	N tot. g/kg	P ass. mg/kg	CSC meq/100g	Na <sup>+</sup> meq/100g	K <sup>+</sup> meq/100g	Ca <sup>++</sup> meq/100g	Mg <sup>++</sup> meq/100g	TSB %
09.05.21 IS A B 4+5 PRI	A	5.2	4.3	20.94	1.89	2.45	4.90	0.06	0.04	0.81	0.29	24.50
09.05.21 IS A B 4+5 PRI	C1	5.1	4.3	11.03	1.06	1.52	4.09	0.14	0.05	1.16	0.46	44.30
09.05.21 IS A B 4+5 PRI	C2	6	5	4.99	0.41	0.40	4.03	0.11	0.05	1.08	0.41	9.20
09.05.21 IS A B 4+5 PRI	C3	6.7	5.5	3.70	0.33	0.03	3.42	0.09	0.04	0.98	0.35	42.70
09.05.21 IS A B 4+5 PRI	C4	6.8	5.4	2.62	0.22	0.03	3.48	0.08	0.04	1.02	0.39	44.00
11.11.30 ES A B 4+5 AUT	0-25	5.6	4.4	3.83	0.33	1.14	3.41	0.11	0.04	1.23	0.27	48.40
11.11.30 ES A B 4+5 AUT	25-50	6.1	4.7	1.46	0.00	3.96	3.15	0.11	0.09	2.12	0.55	91.10
11.11.30 ES A B 4+5 AUT	50-75	5.9	4.6	1.88	0.00	0.96	2.95	0.06	0.04	1.37	0.34	61.40
11.11.30 ES A B 4+5 AUT	75-100	5.7	4.5	2.52	0.00	0.96	1.75	0.05	0.04	1.08	0.24	80.60
11.11.30 ES A B 4+5 AUT	SOTTO	5.8	4.6	25.13	2.91	126.92	4.74	0.20	0.30	2.64	0.97	86.70

Buca 4+5, quinta esumazione: 30,8 mesi.

Campione		pH in H2O	pH in KCl	C org. g/kg	N tot. g/kg	P ass. mg/kg	CSC meq/100g	Na <sup>+</sup> meq/100g	K <sup>+</sup> meq/100g	Ca <sup>++</sup> meq/100g	Mg <sup>++</sup> meq/100g	TSB %
09.05.21 IS A B 6 PRI	A1	4,6	4,1	30,28	2,08	6,05	11,94	0,05	0,07	2,31	0,53	24,80
09.05.21 IS A B 6 PRI	A2	4,7	4,2	24,47	2,81	3,01	6,51	0,03	0,02	1,66	0,51	34,10
09.05.21 IS A B 6 PRI	C1	5,3	4,4	14,88	1,44	2,08	2,75	0,05	0,04	1,21	0,38	61,10
09.05.21 IS A B 6 PRI	C2	5,8	4,8	5,50	0,50	0,40	2,12	0,04	0,06	1,19	0,37	78,30
09.05.21 IS A B 6 PRI	C3	6,1	5,1	3,55	0,32	0,77	2,26	0,03	0,03	1,12	0,37	68,60
09.05.21 IS A B 6 PRI	C4	6,6	5,3	3,55	0,32	1,52	3,81	0,05	0,06	1,62	0,54	59,60
11.05.02 ES A B 6 PRI	0-25	5,1	4,3	3,14	0,28	1,89	2,27	0,04	0,06	1,43	0,31	81,10
11.05.02 ES A B 6 PRI	25-50	5,3	4,4	2,13	0,00	0,40	2,44	0,04	0,04	1,66	0,36	86,10
11.05.02 ES A B 6 PRI	50-75	5,6	4,5	2,07	0,00	2,67	2,05	0,06	0,05	1,31	0,31	84,40
11.05.02 ES A B 6 PRI	75-100	5,2	4,4	2,34	0,00	1,33	2,38	0,08	0,05	1,41	0,32	78,20
11.05.02 ES A B 6 PRI	SOTTO	4,5	4	8,22	1,43	111,11	3,98	0,19	0,37	1,56	0,77	72,60

Buca 6, quarta esumazione: 23,7 mesi.

Campione		pH in H2O	pH in KCl	C org. g/kg	N tot. g/kg	P ass. mg/kg	CSC meq/100g	Na <sup>+</sup> meq/100g	K <sup>+</sup> meq/100g	Ca <sup>++</sup> meq/100g	Mg <sup>++</sup> meq/100g	TSB %
09.06.04 IS B B 7 PRI	A	4.5	4	28.67	2.30	14.04	12.34	0.06	0.04	2.17	0.47	22.20
09.06.04 IS B B 7 PRI	C1	5.7	4.6	1.91	0.15	0.77	2.90	0.07	0.01	0.96	0.31	46.55
09.06.04 IS B B 7 PRI	C2	5.6	4.6	2.33	0.15	0.77	3.22	0.08	0.01	0.70	0.27	32.92
09.06.04 IS B B 7 PRI	C3	5.9	4.2	8.95	0.65	4.15	5.91	0.07	0.01	1.20	0.38	28.09
09.07.20 ES B B 7 EST	0-25	4.8	4.1	22.67	0.17	13.84	8.29	0.07	0.10	3.21	0.63	48.37
09.07.20 ES B B 7 EST	25-50	4.3	4.1	22.56	0.18	17.03	8.92	0.08	0.10	4.14	0.90	59.30
09.07.20 ES B B 7 EST	SOPRA	4.2	4.1	22.56	0.12	17.03	8.92	0.08	0.17	1.82	0.47	59.30
09.07.20 ES B B 7 EST	SOTTO	6	4.6	11.13	0.77	71.21	6.05	0.07	0.15	1.82	0.47	41.49

Buca 7, prima esumazione: 1,4 mesi.

Campione		pH in H2O	pH in KCl	C org. g/kg	N tot. g/kg	P ass. mg/kg	CSC meq/100g	Na <sup>+</sup> meq/100g	K <sup>+</sup> meq/100g	Ca <sup>++</sup> meq/100g	Mg <sup>++</sup> meq/100g	TSB %
09.06.04 IS B B 8 PRI	A	4,7	3,9	49,25	4,19	28,44	14,28	0,05	0,21	2,54	0,70	24,51
09.06.04 IS B B 8 PRI	C1	5	4	11,05	0,88	4,90	6,69	0,05	0,03	1,16	0,41	24,66
09.06.04 IS B B 8 PRI	C2	5,6	4,5	2,61	0,20	1,14	3,13	0,05	0,01	0,62	0,26	30,03
09.06.04 IS B B 8 PRI	C3	6,2	4,7	1,63	0,15	0,40	1,52	0,05	0,00	0,72	0,29	69,74
09.06.04 IS B B 8 PRI	C4	5,7	4,5	4,61	0,36	1,33	1,92	0,05	0,02	0,80	0,30	60,94
10.06.22 ES B B 8 EST	0-25	4,6	4,1	15,02	1,25	9,33	5,40	0,10	0,12	2,25	0,49	54,81
10.06.22 ES B B 8 EST	25-50	4,5	4,2	13,88	1,25	9,33	5,69	0,11	0,12	1,72	0,44	43,41
10.06.22 ES B B 8 EST	SOPRA	4,5	4,2	13,88	1,25	25,14	5,69	0,11	0,20	1,72	0,44	43,41
10.06.22 ES B B 8 EST	SOTTO	4,6	3,8	10,80	1,20	86,24	3,66	0,21	0,29	1,92	0,67	84,00

Buca 8, terza esumazione: 12,7 mesi.

Campione		pH in H2O	pH in KCl	C org. g/kg	N tot. g/kg	P ass. mg/kg	CSC meq/100g	Na <sup>+</sup> meq/100g	K <sup>+</sup> meq/100g	Ca <sup>++</sup> meq/100g	Mg <sup>++</sup> meq/100g	TSB %
09.06.04 IS B B 9 PRI	AB	4.4	3.7	32.23	2.37	9.72	13.67	0.11	0.10	1.79	0.67	19.50
09.06.04 IS B B 9 PRI	C1	4.8	4.2	19.40	1.44	2.83	4.89	0.10	0.06	1.23	0.56	39.90
09.06.04 IS B B 9 PRI	C2	5.7	4.7	2.11	0.00	0.03	4.10	0.10	0.04	1.00	0.44	38.50
09.06.04 IS B B 9 PRI	C3	5.8	4.8	1.27	0.00	0.03	1.80	0.09	0.04	0.89	0.42	80.00
11.11.30 ES B B 9 AUT	0-20	4.8	3.8	40.34	2.92	7.01	13.42	0.19	0.41	4.40	0.81	43.30
11.11.30 ES B B 9 AUT	20-40	4.9	3.9	24.98	1.78	6.62	9.98	0.05	0.15	2.81	0.50	35.20
11.11.30 ES B B 9 AUT	40-60	4.9	3.9	12.30	0.91	6.62	6.70	0.05	0.11	1.56	0.50	31.20
11.11.30 ES B B 9 AUT	SOPRA	4.9	3.9	12.30	0.91	7.01	6.70	0.05	0.11	1.56	0.37	31.20
11.11.30 ES B B 9 AUT	SOTTO	5.1	4.1	15.13	1.43	85.00	3.49	0.08	0.10	2.08	0.59	81.70

Buca 9, quinta esumazione: 30,8 mesi.

Campione		pH in H2O	pH in KCl	C org. g/kg	N tot. g/kg	P ass. mg/kg	CSC meq/100g	Na <sup>+</sup> meq/100g	K <sup>+</sup> meq/100g	Ca <sup>++</sup> meq/100g	Mg <sup>++</sup> meq/100g	TSB %
09.06.04 IS B B 10 PRI	A	4,5	3,9	29,06	2,06	0,03	11,84	0,53	0,12	2,45	0,58	31,10
09.06.04 IS B B 10 PRI	C1	5,7	4,8	1,32	0,00	0,22	1,63	0,12	0,09	0,87	0,38	89,60
09.06.04 IS B B 10 PRI	C2	5,6	4,7	2,35	0,00	1,89	1,97	0,13	0,06	0,94	0,41	78,20
11.05.31 ES B B 10 PRI	0-20	4,8	4,2	6,98	0,50	3,77	3,63	0,08	0,08	1,14	0,23	42,10
11.05.31 ES B B 10 PRI	20-40	4,4	4	11,74	0,90	8,55	4,32	0,09	0,08	1,43	0,30	44,00
11.05.31 ES B B 10 PRI	40-60	4,4	3,9	11,74	0,90	8,55	4,32	0,09	0,08	2,27	0,44	41,70
11.05.31 ES B B 10 PRI	SOPRA	4,4	3,9	13,59	1,05	11,28	7,08	0,13	0,11	2,27	0,44	41,70
11.05.31 ES B B 10 PRI	SOTTO	4,6	4,2	14,03	1,85	98,03	5,45	0,13	0,14	3,14	0,63	74,10

Buca 10, quarta esumazione: 24,2 mesi.

Campione		pH in H2O	pH in KCl	C org. g/kg	N tot. g/kg	P ass. mg/kg	CSC meq/100g	Na <sup>+</sup> meq/100g	K <sup>+</sup> meq/100g	Ca <sup>++</sup> meq/100g	Mg <sup>++</sup> meq/100g	TSB %
09.06.04 IS B B 11 PRI	A	4,9	4	46,44	0,37	23,09	11,95	0,08	0,31	3,55	0,80	39,67
09.06.04 IS B B 11 PRI	C1	5,2	4,2	8,87	0,07	3,77	3,83	0,06	0,01	0,82	0,32	31,59
09.06.04 IS B B 11 PRI	C2	5,8	4,5	4,19	0,03	0,40	2,47	0,08	0,01	0,83	0,32	50,20
09.06.04 IS B B 11 PRI	C3	6,1	4,8	3,44	0,02	0,01	3,20	0,01	0,00	0,49	0,18	21,25
10.01.25 ES B B 11 INV	0-25	4,4	4,2	15,56	1,07	11,67	6,76	0,05	0,06	2,34	0,54	44,23
10.01.25 ES B B 11 INV	25-50	4,8	4,3	6,66	0,49	5,67	2,33	0,05	0,02	1,57	0,48	90,99
10.01.25 ES B B 11 INV	SOPRA	4,3	4,1	27,60	2,14	25,55	8,35	0,07	0,13	3,56	0,78	54,37
10.01.25 ES B B 11 INV	SOTTO	4,4	4,1	16,84	1,48	59,93	7,39	0,12	0,20	2,45	0,79	48,17

Buca 11, seconda esumazione: 7,8 mesi.

Campione		Ghiaia %	Sabbia %	Limo + Argilla %
09.05.21 IS A B 1 PRI	A1	3,83	62,00	34,17
09.05.21 IS A B 1 PRI	A2	4,71	75,77	19,52
09.05.21 IS A B 1 PRI	C1	23,49	70,07	6,44
09.05.21 IS A B 1 PRI	C2	80,17	19,62	0,21
09.05.21 IS A B 1 PRI	C3	83,15	16,67	0,18
09.05.21 IS A B 1 PRI	C4	78,25	21,36	0,39
09.07.06 ES A B 1 EST	0-25	53,06	41,28	5,66
09.07.06 ES A B 1 EST	25-50	44,81	49,24	5,95
09.07.06 ES A B 1 EST	50-75	55,30	40,98	3,72
09.07.06 ES A B 1 EST	75-100	52,11	43,76	4,13
09.07.06 ES A B 1 EST	SOTTO	69,65	29,31	1,04

Buca 1, ripartizione classi granulometriche.

Campione		Ghiaia %	Sabbia %	Limo + Argilla %
09.06.04 IS B B 7 PRI	A	32,64	29,28	38,08
09.06.04 IS B B 7 PRI	C1	86,68	13,21	0,11
09.06.04 IS B B 7 PRI	C2	95,23	4,68	0,09
09.06.04 IS B B 7 PRI	C3	91,01	7,81	1,18
09.07.20 ES B B 7 EST	0-25	60,96	27,39	11,65
09.07.20 ES B B 7 EST	25-50	77,61	17,85	4,54
09.07.20 ES B B 7 EST	SOPRA	74,85	20,71	4,44
09.07.20 ES B B 7 EST	SOTTO	84,05	14,45	1,50

Buca 7, ripartizione classi granulometriche.

Campione		Ghiaia %	Sabbia %	Limo + Argilla %
Ver_IS	e	1,59	3,24	95,17
Ver_IS	a	3,80	5,25	90,95
Ver_IS	b	3,80	3,76	92,44

Buca n°1-La Versa, ripartizione classi granulometriche.

Campione		Ghiaia %	Sabbia %	Limo + Argilla %
Ver_IS	f	2,58	1,94	95,48
Ver_IS	c	2,80	3,75	93,45
Ver_IS	d	1,89	4,63	93,48

Buca n°2-La Versa, ripartizione classi granulometriche.

	<b>Campione</b> (prof. cm)	<b>SS</b> (% tq)
Area prato	0-25	95,33
30 mesi	25-50	96,65
	50-75	95,79
	75-100	94,98
	>100	86,73
	Area bosco	0-25
30 mesi	25-50	90,31
	50-75	94,57
	>75	94,82
	Area prato	∅
24 mesi	0-25	93,30
	25-50	94,90
	50-75	95,80
	75-100	96,69
	>100	95,32
Area bosco	∅	98,01
24 mesi	0-20	96,74
	20-40	93,29
	40-60	95,26
	>60	92,66

AGV - Valori di sostanza secca (SS)

Campione		Ac.Formico (mg/kg)	Ac.Acetico (mg/kg)	Ac.Propionico (mg/kg)
bianco		4.62	112.80	58.55
11.05.02 ES A B 6 PRI	0-25	4.29	114.89	53.88
11.05.02 ES A B 6 PRI	25-50	6.66	169.26	66.55
11.05.02 ES A B 6 PRI	50-75	6.42	157.99	44.87
11.05.02 ES A B 6 PRI	75-100	5.70	141.18	62.64
11.05.02 ES A B 6 PRI	SOTTO	1.97	147.31	218.77

Concentrazione di AGV nel profilo “area prato”, campioni 24 mesi

Campione		Ac.Formico (mg/kg)	Ac.Acetico (mg/kg)	Ac.Propionico (mg/kg)
bianco		4.62	112.80	58.55
11.11.30 ES A B 4+5 AUT	0-25	5.47	138.59	42.42
11.11.30 ES A B 4+5 AUT	25-50	6.67	141.44	47.70
11.11.30 ES A B 4+5 AUT	50-75	7.46	157.79	36.90
11.11.30 ES A B 4+5 AUT	75-100	6.44	138.34	39.62
11.11.30 ES A B 4+5 AUT	SOTTO	8.38	166.81	61.52

Concentrazione di AGV nel profilo “area prato”, campioni 30 mesi

Campione		Ac.Formico (mg/kg)	Ac.Acetico (mg/kg)	Ac.Propionico (mg/kg)
bianco		7.09	195.34	66.71
11.05.31 ES B B 10 PRI	0-25	11.21	138.70	56.67
11.05.31 ES B B 10 PRI	25-50	10.31	128.76	41.09
11.05.31 ES B B 10 PRI	50-75	4.01	128.86	42.96
11.05.31 ES B B 10 PRI	SOTTO	3.43	131.17	44.86

Concentrazione di AGV nel profilo “area bosco”, campioni 24 mesi

Campione		Ac.Formico (mg/kg)	Ac.Acetico (mg/kg)	Ac.Propionico (mg/kg)
bianco		7.09	195.34	66.71
11.11.30 ES B B 9 AUT	0-25	10.48	168.30	53.43
11.11.30 ES B B 9 AUT	25-50	5.53	152.52	57.70
11.11.30 ES B B 9 AUT	50-75	5.99	184.90	48.15
11.11.30 ES B B 9 AUT	SOTTO	2.72	146.86	60.00

Concentrazione di AGV nel profilo “area bosco”, campioni 30 mesi

# APPENDICE B





# APPENDICE B.

## MICRO & S.E.M.

In questa appendice sono esposte le tabelle riportanti i dati relativi alle analisi effettuate tramite SEM su “plug” e “dust”.

<b>09.07.06 ES A B 1 EST SOTTO</b>			
<b>N° Analisi SEM</b>	<b>Tipo</b>	<b>Figura</b>	<b>P205 (%)</b>
101215-01	plug	rivestimento	0.82
101215-02	plug	rivestimento	3.86
101215-03	plug	aggregato	2.32
101215-04	plug	aggregato	2.81
101215-05	plug	rivestimento	1.00
101215-06	plug	rivestimento	2.33
101215-07	plug	aggregato	7.44
100615-01	dust	n.d.	1.78
100615-02	dust	n.d.	1.47
100615-03	dust	n.d.	5.15
100615-04	dust	n.d.	4.43
110914-21	dust	aggregato	3.81
110914-22	dust	aggregato	2.61
110914-23	dust	aggregato	1.95
110914-24	dust	aggregato	2.48
110914-25	dust	rivestimento	1.72
110914-26	dust	rivestimento	5.22
110914-27	dust	aggregato	3.77
110914-28	dust	aggregato	16.66
110914-29	dust	aggregato	0.81
110914-30	dust	rivestimento	0.99
110914-31	dust	rivestimento	3.09
110914-33	dust	rivestimento	2.44

Analisi SEM della componente fosfatica Area Ticino 1 mese

<b>09.07.20 ES B B 7 EST SOTTO</b>			
<b>N° Analisi SEM</b>	<b>Tipo</b>	<b>Figura</b>	<b>P205 (%)</b>
110209-15	plug	riempimento	11.98
110209-16	plug	aggregato	8.90
110209-17	plug	aggregato	2.70
110209-18	plug	aggregato	4.82
110209-19	plug	aggregato	10.23
110209-20	plug	rivestimento	4.37
110209-21	plug	riempimento	2.24
100615-13	dust	n.d.	1.27
100615-14	dust	n.d.	3.11
100615-15	dust	n.d.	1.46
110921-48	dust	rivestimento	1.96
110921-49	dust	aggregato	1.42
110921-51	dust	aggregato	3.24
110921-52	dust	aggregato	0.49
110921-53	dust	rivestimento	2.68
110921-54	dust	aggregato	3.17
110921-55	dust	aggregato	0.99

Analisi SEM della componente fosfatica Area Ticino 1 mese

<b>09.12.14 ES A B 2 AUT SOTTO</b>			
<b>N° Analisi SEM</b>	<b>Tipo</b>	<b>Figura</b>	<b>P205 (%)</b>
110209-01	plug	aggregato	1.87
110209-02	plug	aggregato	1.52
110209-03	plug	aggregato	1.35
110209-04	plug	rivestimento	2.16
110209-05	plug	aggregato	0.79
110209-06	plug	aggregato	0.21
110209-07	plug	aggregato	3.56
100615-07	dust	n.d.	2.28
100615-08	dust	n.d.	2.69
110914-34	dust	aggregato	0.20
110914-35	dust	aggregato	0.55
110914-36	dust	rivestimento	0.93
110914-37	dust	aggregato	0.09
110914-39	dust	rivestimento	0.27

Analisi SEM della componente fosfatica Area Ticino 7 mesi

<b>10.01.25 ES B B 11 INV SOTTO</b>			
<b>N° Analisi SEM</b>	<b>Tipo</b>	<b>Figura</b>	<b>P205 (%)</b>
110209-29	plug	aggregato	0.26
110209-30	plug	aggregato	1.76
110209-31	plug	aggregato	1.16
110209-32	plug	aggregato	1.12
110209-33	plug	aggregato	0.28
110209-34	plug	aggregato	1.61
110209-35	plug	aggregato	0.71
100615-18	dust	n.d.	0.72
100615-19	dust	n.d.	1.62
100615-20	dust	n.d.	0.27
110921-65	dust	aggregato	1.71
110921-66	dust	aggregato	1.59
110921-67	dust	aggregato	1.18
110921-68	dust	rivestimento	1.29
110921-69	dust	aggregato	0.97

Analisi SEM della componente fosfatica Area Ticino 7 mesi

<b>10.06.21 ES A B 3 EST SOTTO</b>			
<b>N° Analisi SEM</b>	<b>Tipo</b>	<b>Figura</b>	<b>P205 (%)</b>
110209-08	plug	aggregato	1.99
110209-09	plug	aggregato	2.00
110209-10	plug	riempimento	1.54
110209-11	plug	riempimento	2.67
110209-12	plug	aggregato	1.70
110209-13	plug	rivestimento	2.05
110209-14	plug	aggregato	8.69
110209-36	dust	rivestimento	3.25
110209-37	dust	rivestimento	15.19
110209-38	dust	rivestimento	22.39
110209-39	dust	rivestimento	3.35
110209-40	dust	rivestimento	3.26
110209-41	dust	aggregato	1.94
110209-42	dust	aggregato	15.21

Analisi SEM della componente fosfatica Area Ticino 13 mesi

<b>10.06.22 ES B B 8 EST SOTTO</b>			
<b>N° Analisi SEM</b>	<b>Tipo</b>	<b>Figura</b>	<b>P2O5 (%)</b>
110209-22	plug	aggregato	0.83
110209-28	plug	aggregato	1.56
110209-26	plug	aggregato	1.60
110209-25	plug	aggregato	1.87
110209-24	plug	aggregato	3.73
110209-27	plug	aggregato	6.09
110209-23	plug	rivestimento	9.71
110209-43	dust	aggregato	4.45
110209-44	dust	aggregato	4.57
110209-45	dust	aggregato	5.78
110209-46	dust	rivestimento	1.97
110209-47	dust	rivestimento	4.32
110209-48	dust	aggregato	4.99
110209-49	dust	aggregato	3.62

Analisi SEM della componente fosfatica Area Ticino 13 mesi

<b>11.05.02 ES A B 6 PRI SOTTO</b>			
<b>N° Analisi SEM</b>	<b>Tipo</b>	<b>Figura</b>	<b>P2O5 (%)</b>
110914-11	plug	aggregato	1.41
110914-12	plug	aggregato	5.03
110914-13	plug	rivestimento	5.59
110914-14	plug	rivestimento	1.09
110914-15	plug	rivestimento	6.43
110914-17	plug	aggregato	2.82
110914-20	plug	aggregato	4.03
110921-40	dust	aggregato	0.43
110921-41	dust	rivestimento	9.58
110921-42	dust	rivestimento	0.94
110921-43	dust	rivestimento	2.90
110921-44	dust	aggregato	24.20
110921-45	dust	aggregato	31.64
110921-46	dust	rivestimento	2.70
110921-47	dust	n.d.	2.33

Analisi SEM della componente fosfatica Area Ticino 24 mesi

<b>11.05.31 ES B B 10 PRI SOTTO</b>			
<b>N° Analisi SEM</b>	<b>Tipo</b>	<b>Figura</b>	<b>P205 (%)</b>
110914-02	plug	aggregato	1.39
110914-04	plug	aggregato	2.72
110914-06	plug	rivestimento	2.25
110914-07	plug	rivestimento	1.56
110914-08	plug	rivestimento	2.69
110914-09	plug	rivestimento	4.98
110914-10	plug	rivestimento	2.18
110921-56	dust	aggregato	4.45
110921-57	dust	aggregato	1.90
110921-58	dust	rivestimento	10.17
110921-59	dust	rivestimento	4.60
110921-60	dust	rivestimento	2.39
110921-62	dust	aggregato	3.59
110921-63	dust	aggregato	1.68
110921-64	dust	aggregato	2.88

Analisi SEM della componente fosfatica Area Ticino 24 mesi

<b>11.11.30 ES A B 4+5 AUT SOTTO</b>			
<b>N° Analisi SEM</b>	<b>Tipo</b>	<b>Figura</b>	<b>P205 (%)</b>
120202-01	plug	rivestimento	0.63
120202-02	plug	aggregato	0.68
120202-03	plug	rivestimento	0.90
120202-04	plug	aggregato	4.87
120202-05	plug	aggregato	1.60
120202-08	plug	aggregato	0.72
120202-09	plug	aggregato	1.10
120116-01	dust	aggregato	12.44
120116-02	dust	aggregato	16.38
120116-03	dust	aggregato	15.94
120116-04	dust	aggregato	11.37
120116-05	dust	aggregato	3.60
120116-06	dust	aggregato	4.81
120116-07	dust	aggregato	14.85
120116-08	dust	aggregato	1.44
120202-32	dust	aggregato	1.15
120202-33	dust	aggregato	17.08
120202-34	dust	rivestimento	7.25
120202-35	dust	rivestimento	0.86
120202-36	dust	aggregato	4.76
120202-37	dust	aggregato	5.75
120202-38	dust	riempimento	11.81
120202-39	dust	rivestimento	2.33
120202-40	dust	aggregato	3.11
120202-41	dust	n.d.	5.02

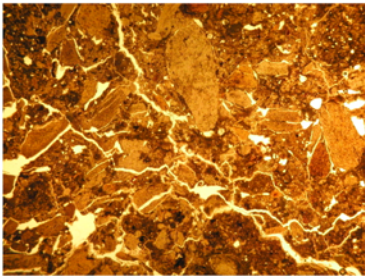
Analisi SEM della componente fosfatica Area Ticino 30 mesi

<b>11.11.30 ES B B 9 AUT SOTTO</b>			
<b>N° Analisi SEM</b>	<b>Tipo</b>	<b>Figura</b>	<b>P2O5 (%)</b>
120202-12	plug	aggregato	1.57
120202-13	plug	aggregato	1.85
120202-14	plug	aggregato	3.56
120202-15	plug	aggregato	3.49
120202-17	plug	aggregato	1.87
120202-18	plug	aggregato	1.12
120202-21	plug	aggregato	1.51
120116-09	dust	n.d.	4.17
120116-12	dust	n.d.	1.35
120116-13	dust	aggregato	1.79
120116-14	dust	n.d.	2.05
120116-15	dust	aggregato	3.32
120202-42	dust	rivestimento	0.59
120202-43	dust	rivestimento	0.54
120202-44	dust	aggregato	2.03
120202-46	dust	aggregato	1.25
120202-47	dust	aggregato	1.03
120202-48	dust	aggregato	11.39
120202-49	dust	aggregato	4.08
120202-50	dust	aggregato	1.31
120202-51	dust	aggregato	0.54

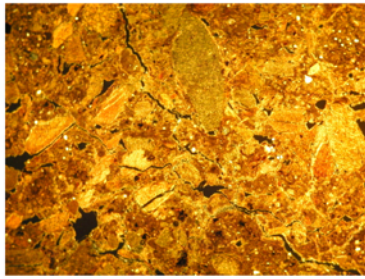
Analisi SEM della componente fosfatica Area Ticino 30 mesi

N° Analisi SEM Punto Morfologia Ossido	120327-01		120327-02		120327-03		120327-04		120327-05		120327-06		120327-07		120327-08		120327-09		120327-10			
	ALTO-01 aggregato	Comp. %	ALTO-01 aggregato	Comp. %	ALTO-01 aggregato	Comp. %	ALTO-01 aggregato	Comp. %	ALTO-01 aggregato	Comp. %	ALTO-02 aggregato	Comp. %	ALTO-06 impregnazione	Comp. %	ALTO-09 impregnazione	Comp. %	ALTO-09 impregnazione	Comp. %	ALTO-09 impregnazione	Comp. %	ALTO-10 rivestimento	Comp. %
	0.77	1.26	0.82	0.54	0.73	0.58	0.75	0.92	0.76	1.11												
Na2O	2.31	1.58	1.53	0.20	2.49	0.22	0.78	0.26	0.78	1.66												
MgO	8.35	6.95	4.57	0.68	13.72	1.18	0.63	3.88	11.36	3.15												
Al2O3	47.70	23.57	14.96	1.88	43.54	2.47	2.33	8.99	28.49	9.38												
SiO2	4.25	22.53	27.73	34.46	6.07	38.65	37.51	32.70	21.47	32.21												
P2O5	6.55	3.01	3.83	0.74	1.10	1.66	3.38	1.66	2.07	2.07												
K2O	1.74	0.41	0.14	0.45	0.95	0.14	0.14	0.21	1.40	0.58												
CaO	22.72	37.17	43.27	56.38	26.24	54.20	54.17	48.85	28.69	48.81												
TiO2	0.44	0.13	0.61	0.00	0.48	0.00	0.12	0.39	1.13	0.16												
MnO	0.00	0.00	0.23	0.25	0.13	0.04	0.39	0.02	0.00	0.19												
FeO	5.15	3.39	3.06	1.33	4.92	1.42	0.29	1.61	4.44	1.42												
N° Analisi SEM Punto Morfologia Ossido	120327-11		120327-12		120327-13		120327-14		120327-15		120327-16		120327-17		120327-18		120327-19		120327-20			
	ALTO-10 rivestimento	Comp. %	ALTO-12 residuo vegetale	Comp. %	ALTO-12 residuo vegetale	Comp. %	ALTO-12 residuo vegetale	Comp. %	ALTO-13 impregnazione	Comp. %	ALTO-13 impregnazione	Comp. %	ALTO-15 residuo vegetale	Comp. %	ALTO-17 impregnazione	Comp. %	ALTO-19 rivestimento	Comp. %	ALTO-19 rivestimento	Comp. %	ALTO-20 impregnazione	Comp. %
	1.09	0.40	1.08	1.00	1.43	0.82	1.13	0.92	1.18	1.16												
Na2O	0.58	2.30	1.24	0.35	1.49	0.03	0.67	0.93	0.42	0.42												
MgO	1.74	15.71	6.30	1.82	4.99	1.82	2.51	2.63	2.63	0.44												
Al2O3	5.29	49.52	18.90	62.00	18.51	5.26	1.03	8.28	7.01	2.59												
SiO2	33.73	8.99	26.91	12.49	2.21	32.48	39.49	34.14	34.83	36.64												
P2O5	2.22	0.42	1.36	1.23	0.35	0.68	1.43	1.44	1.44	1.44												
SO3	0.36	1.94	0.84	0.86	0.63	0.35	0.11	0.13	0.14	0.05												
K2O	54.00	12.38	40.92	18.82	9.40	49.71	56.19	50.38	50.45	56.35												
CaO	0.11	1.43	0.22	0.00	0.12	0.00	0.00	0.07	0.20	0.00												
TiO2	0.11	0.01	0.00	0.00	2.57	0.10	0.23	0.07	0.07	0.26												
MnO	0.75	6.90	2.24	1.42	58.30	5.24	1.05	1.11	1.11	0.65												
FeO																						
N° Analisi SEM Punto Morfologia Ossido	120327-21		120327-22		120327-23		120327-24		120327-25		120327-26		120327-27									
	ALTO-21 rivestimento	Comp. %	ALTO-22 aggregato	Comp. %	ALTO-23 residuo vegetale	Comp. %	BASSO-03 rivestimento	Comp. %	BASSO-09 impregnazione	Comp. %	BASSO-09 impregnazione	Comp. %	BASSO-12 impregnazione	Comp. %								
	0.83	1.37	0.81	0.81	3.06	2.57	1.04	1.41	1.41	1.35												
Na2O	0.25	0.56	3.06	3.06	1.99	0.82	1.25	0.73	0.73	0.73												
MgO	0.62	0.75	20.62	20.62	11.21	2.70	6.02	2.06	2.06	2.06												
Al2O3	1.73	2.13	60.00	60.00	33.35	10.61	17.33	11.16	11.16	11.16												
SiO2	35.68	36.90	1.20	1.20	6.72	33.18	24.35	33.34	33.34	33.34												
P2O5	1.21	1.12	0.66	0.66	1.78	2.39	2.01	2.01	2.01	2.01												
SO3	0.04	0.08	1.40	1.40	3.26	0.20	0.60	0.14	0.14	0.14												
K2O	57.79	54.84	4.95	4.95	33.70	47.29	44.62	47.82	47.82	47.82												
CaO	0.11	0.30	0.76	0.76	0.83	0.01	0.16	0.24	0.24	0.24												
TiO2	0.27	0.56	0.00	0.00	0.16	0.00	0.03	0.04	0.04	0.04												
MnO	1.47	1.39	6.53	6.53	4.43	1.76	2.94	1.10	1.10	1.10												
FeO																						

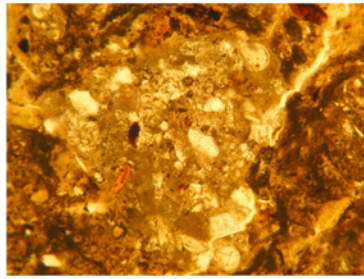
Analisi SEM-EDS sulle sezioni sottili VER IS\_Sotto ALTO e VER IS\_Sotto Basso



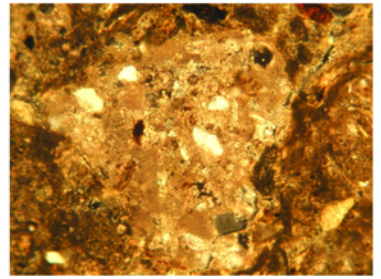
VER IS I C - Blocky Peds 16x ppl



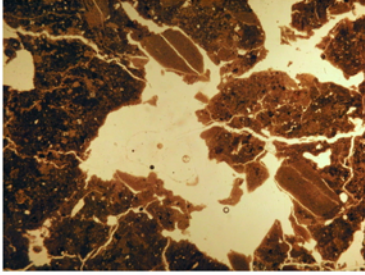
VER IS I C - Blocky Peds 16x xpl



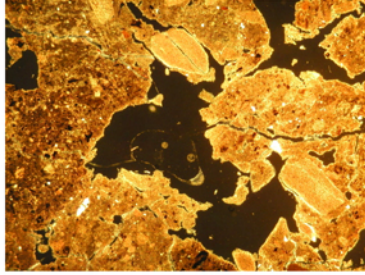
VER IS I C - Calcite 100x ppl



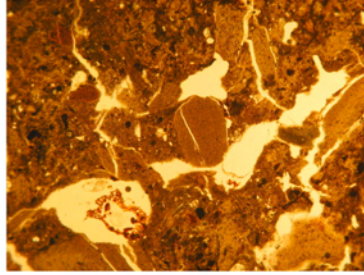
VER IS I C - Calcite 100x xpl



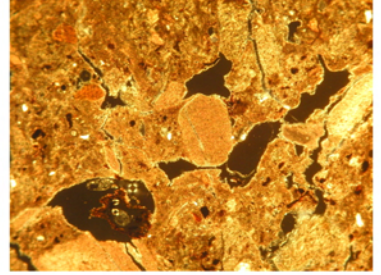
VER IS I C - Chamber 16x ppl



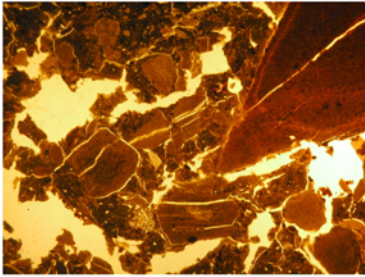
VER IS I C - Chamber 16x xpl



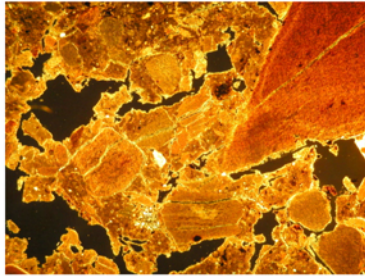
VER IS I C - Channel 40x ppl



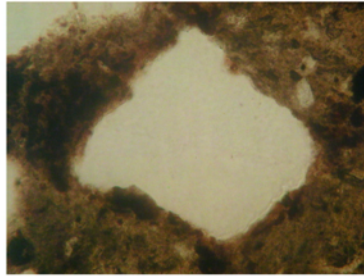
VER IS I C - Channel 40x xpl



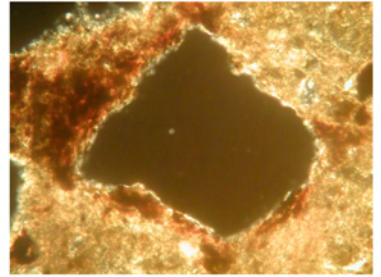
VER IS I C - Claystones 16x ppl



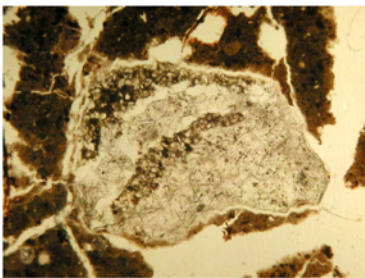
VER IS I C - Claystones 16x xpl



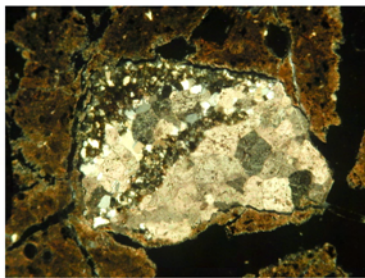
VER IS I C - Hypo 250x ppl



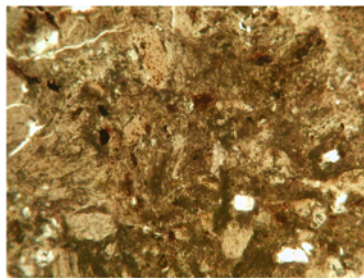
VER IS I C - Hypo 250x xpl



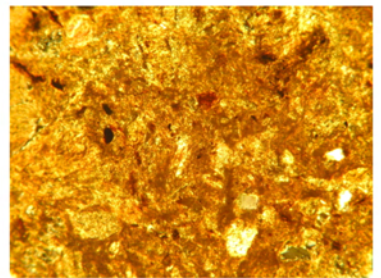
VER IS I C - Limestone 40x ppl



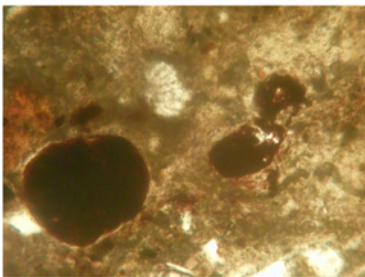
VER IS I C - Limestone 40x xpl



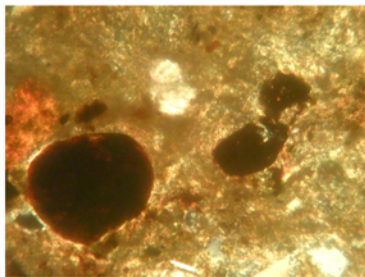
VER IS I C - Micromass 100x ppl



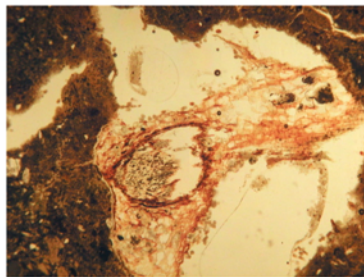
VER IS I C - Micromass 100x xpl



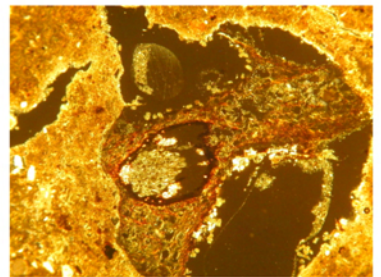
VER IS I C - Nodule 250x ppl



VER IS I C - Nodule 250x xpl

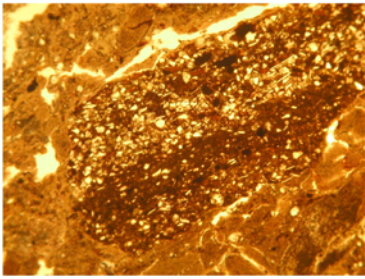


VER IS I C - Organ 40x ppl

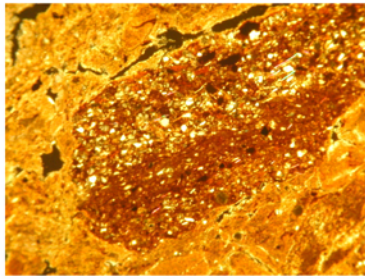


VER IS I C - Organ 40x xpl

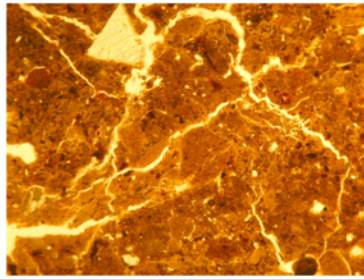




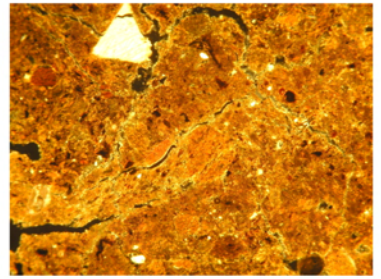
VER IS I C - Pedorelict 40x ppl



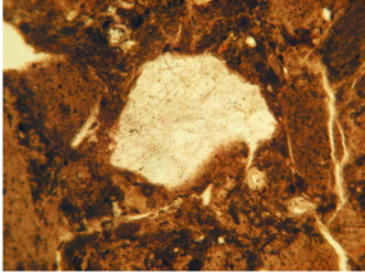
VER IS I C - Pedorelict 40x xpl



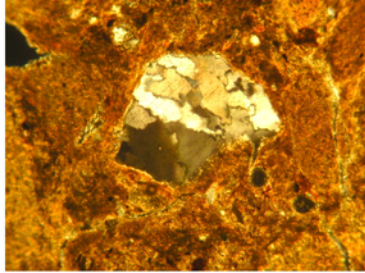
VER IS I C - Planes 40x ppl



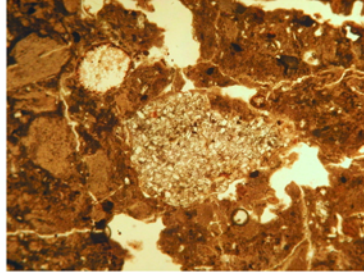
VER IS I C - Planes 40x xpl



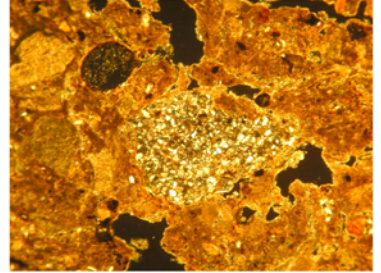
VER IS I C - Quartz 100x ppl



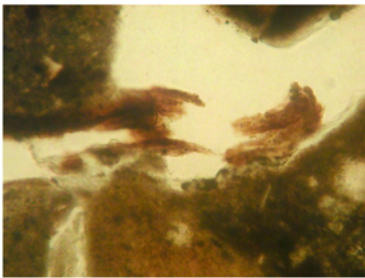
VER IS I C - Quartz 100x xpl



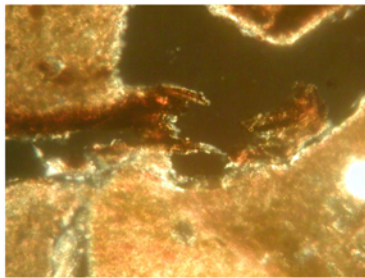
VER IS I C - Sandstone 40x ppl



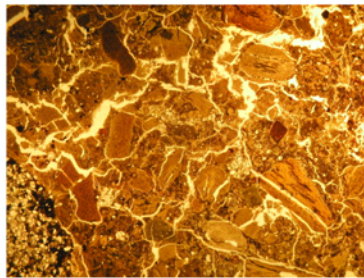
VER IS I C - Sandstone 40x xpl



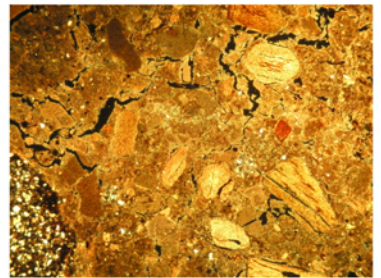
VER IS I C - Tissues 250x ppl



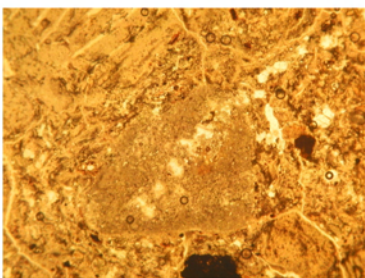
VER IS I C - Tissues 250x xpl



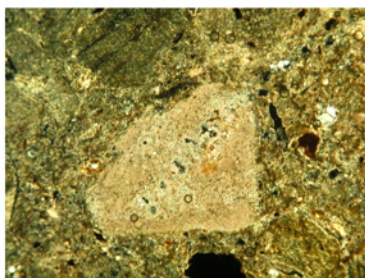
VER IS I D - Blocky Peds 16x ppl



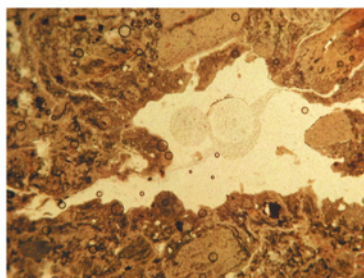
VER IS I D - Blocky Peds 16x xpl



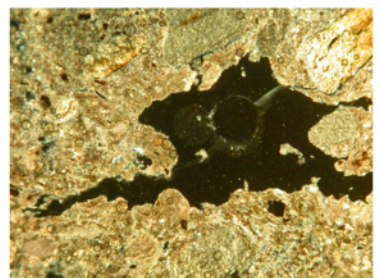
VER IS I D - Calcite 40x ppl



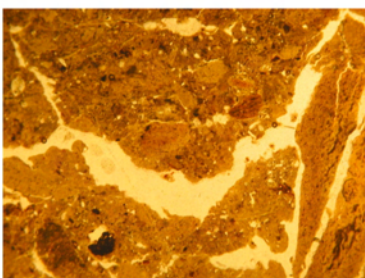
VER IS I D - Calcite 40x xpl



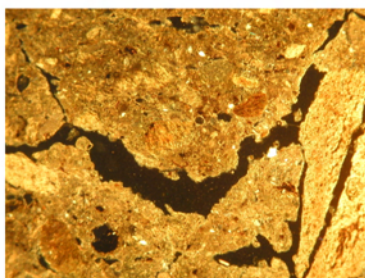
VER IS I D - Chamber 40x ppl



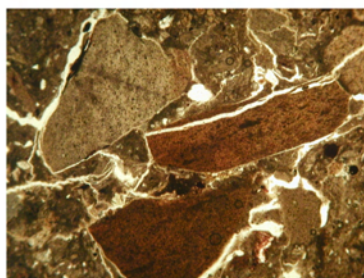
VER IS I D - Chamber 40x xpl



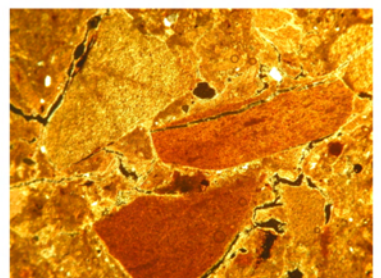
VER IS I D - Channel 40x ppl



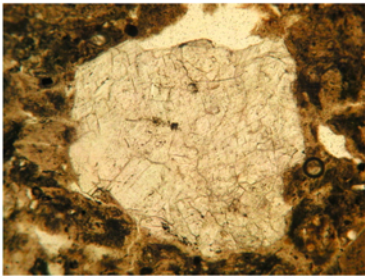
VER IS I D - Channel 40x xpl



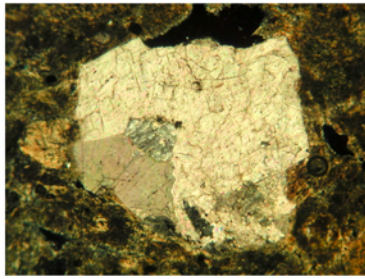
VER IS I D - Claystones 40x ppl



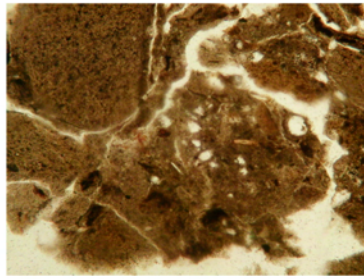
VER IS I D - Claystones 40x xpl



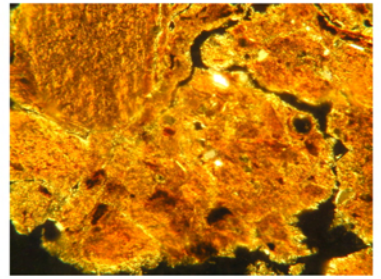
VER IS I D - Limestone 100x ppl



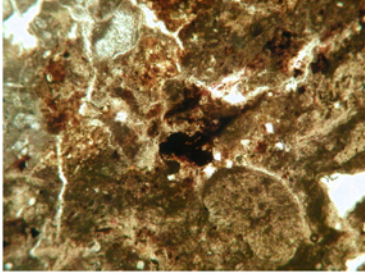
VER IS I D - Limestone 100x xpl



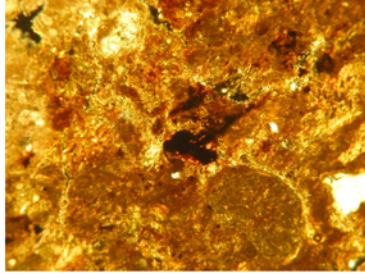
VER IS I D - Micromass 100x ppl



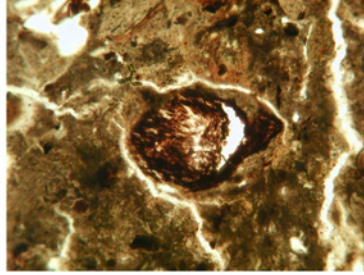
VER IS I D - Micromass 100x xpl



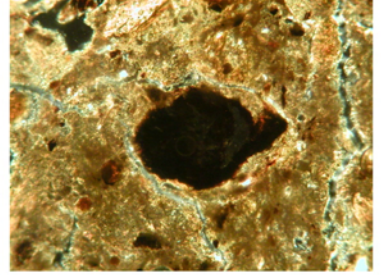
VER IS I D - Nodule 100x ppl



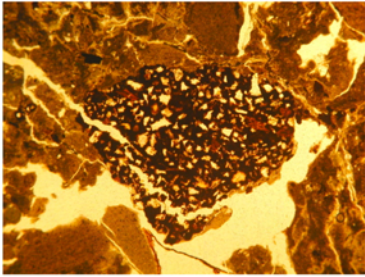
VER IS I D - Nodule 100x xpl



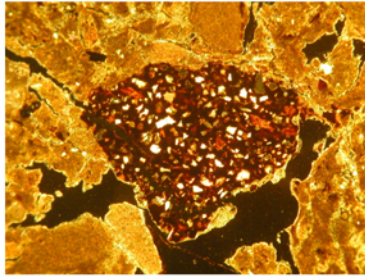
VER IS I D - Organ 100x ppl



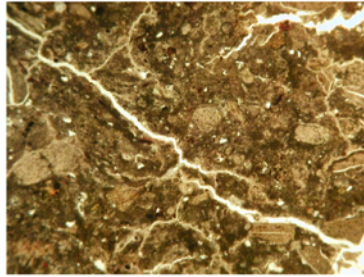
VER IS I D - Organ 100x xpl



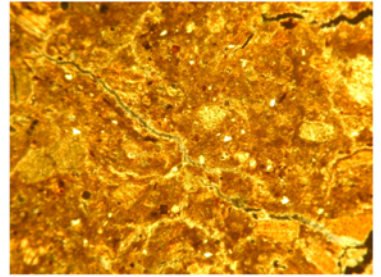
VER IS I D - Pedorelict 40x ppl



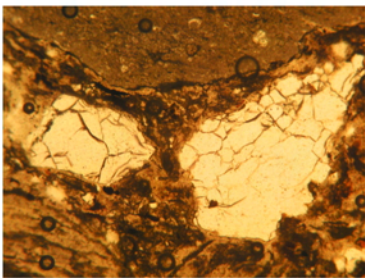
VER IS I D - Pedorelict 40x xpl



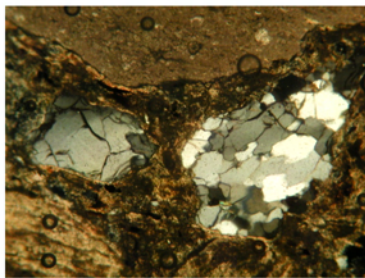
VER IS I D - Planes 40x ppl



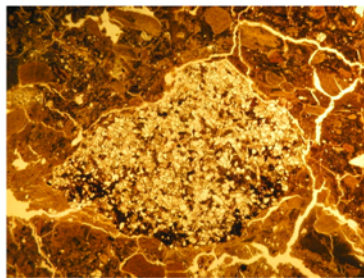
VER IS I D - Planes 40x xpl



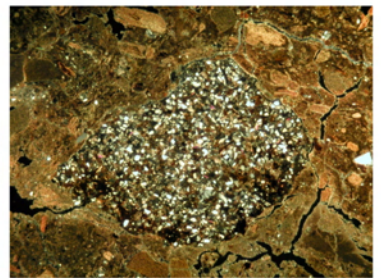
VER IS I D - Quartz 100x ppl



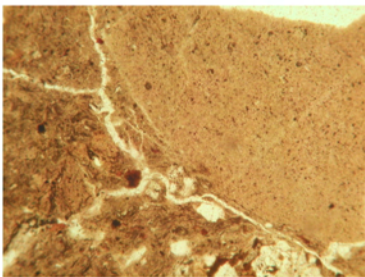
VER IS I D - Quartz 100x xpl



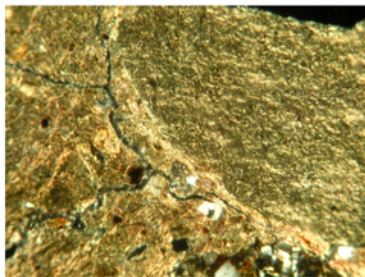
VER IS I D - Sandstone 16x ppl



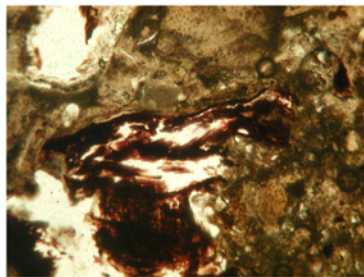
VER IS I D - Sandstone 16x xpl



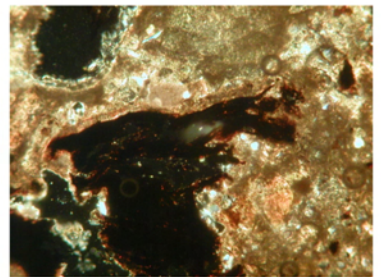
VER IS I D - Slickenside 100x ppl



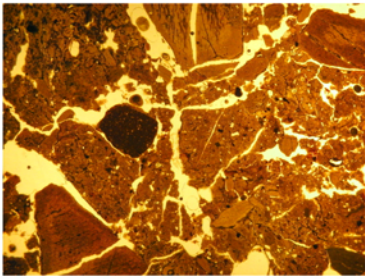
VER IS I D - Slickenside 100x xpl



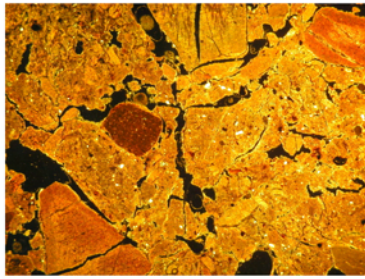
VER IS I D - Tissues 100x ppl



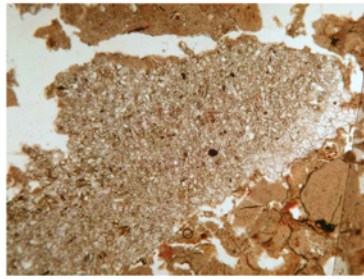
VER IS I D - Tissues 100x xpl



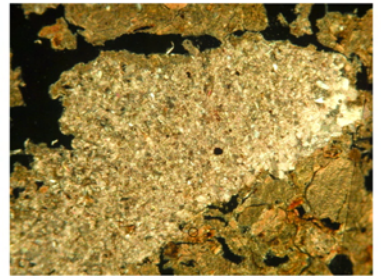
VER IS II C - Blocky Peds 16x ppl



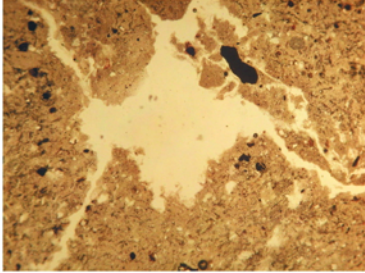
VER IS II C - Blocky Peds 16x xpl



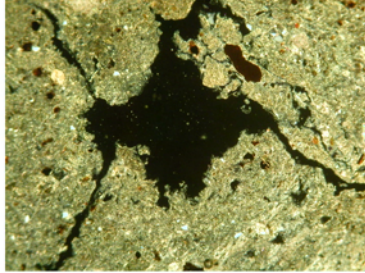
VER IS II C - Calcite 40x ppl



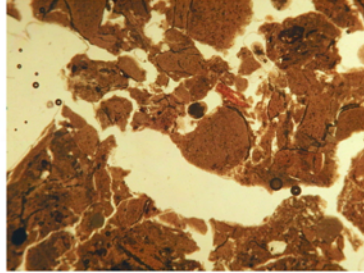
VER IS II C - Calcite 40x xpl



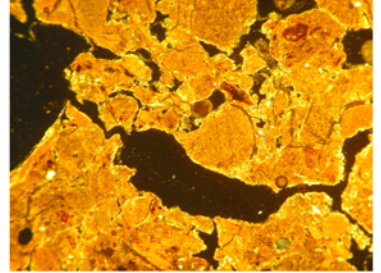
VER IS II C - Chamber 40x ppl



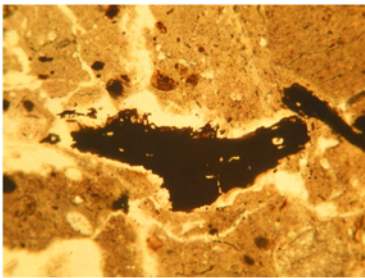
VER IS II C - Chamber 40x xpl



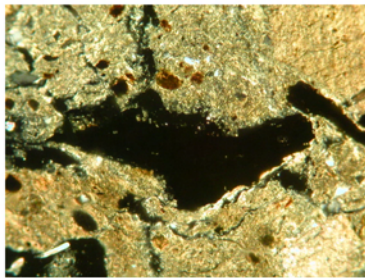
VER IS II C - Channel 40x ppl



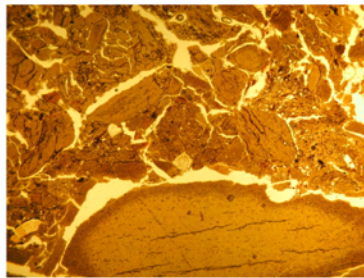
VER IS II C - Channel 40x xpl



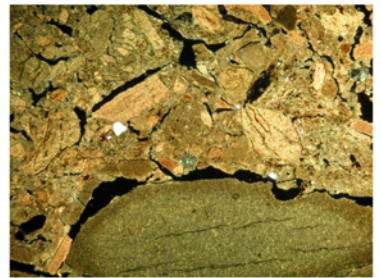
VER IS II C - Charcoal 100x ppl



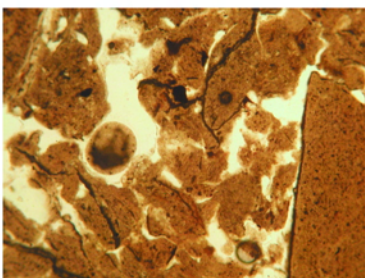
VER IS II C - Charcoal 100x xpl



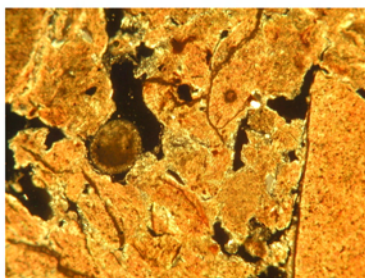
VER IS II C - Claystones 16x ppl



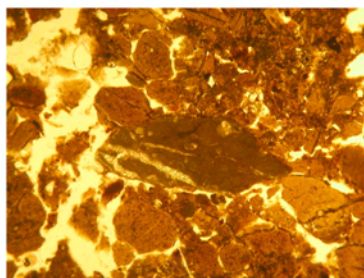
VER IS II C - Claystones 16x xpl



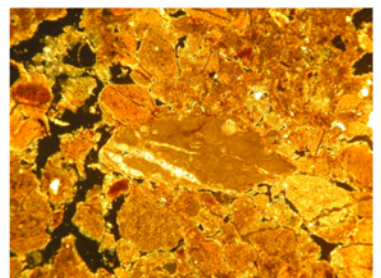
VER IS II C - Granules 100x ppl



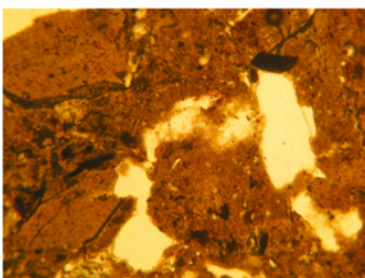
VER IS II C - Granules 100x xpl



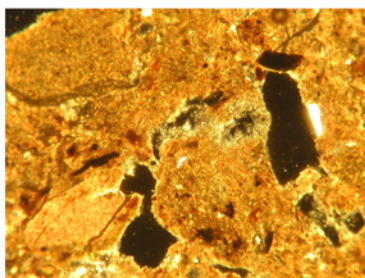
VER IS II C - Limestone 40x ppl



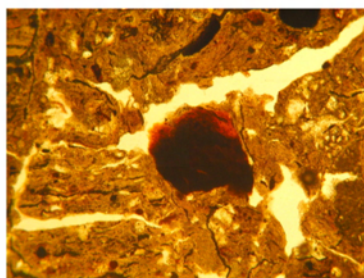
VER IS II C - Limestone 40x xpl



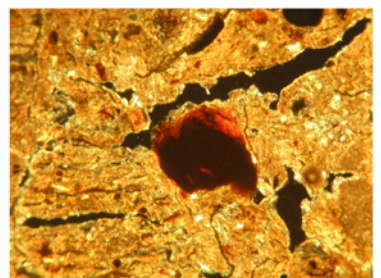
VER IS II C - Micromass 100x ppl



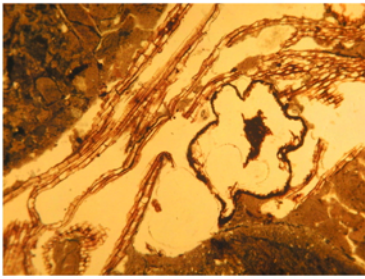
VER IS II C - Micromass 100x xpl



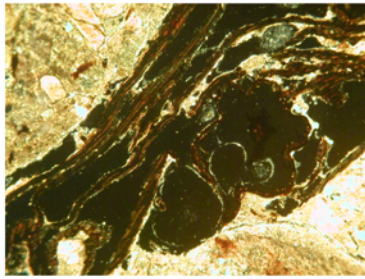
VER IS II C - Nodule 100x ppl



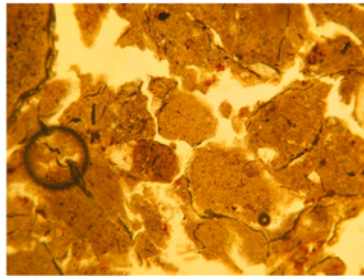
VER IS II C - Nodule 100x xpl



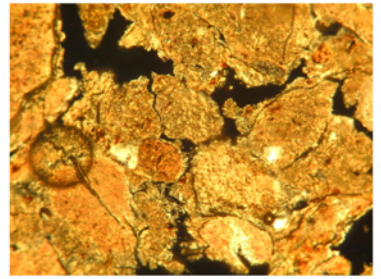
VER IS II C - Organ 40x ppl



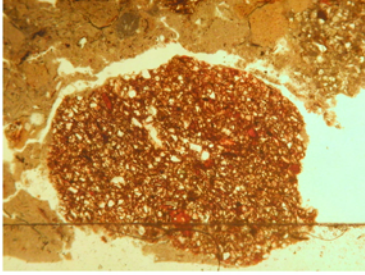
VER IS II C - Organ 40x xpl



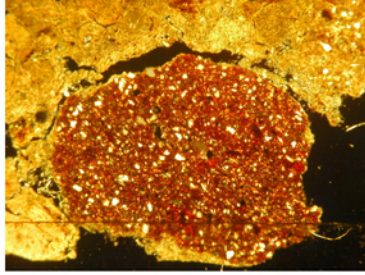
VER IS II C - Packing Voids  
100x ppl



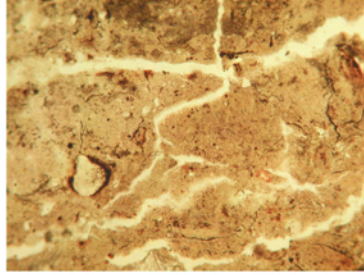
VER IS II C - Packing Voids  
100x xpl



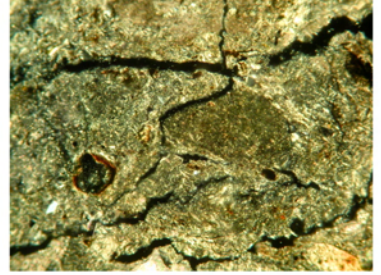
VER IS II C - Pedorelict 40x  
ppl



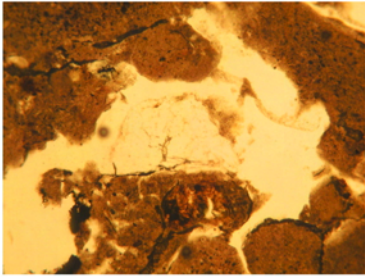
VER IS II C - Pedorelict 40x  
xpl



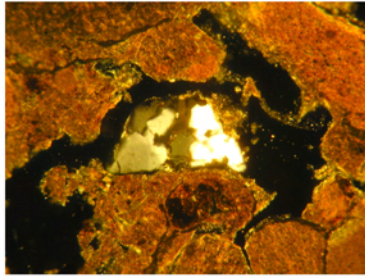
VER IS II C - Planes 100x ppl



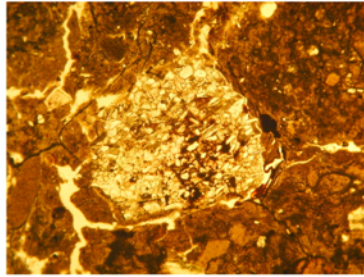
VER IS II C - Planes 100x xpl



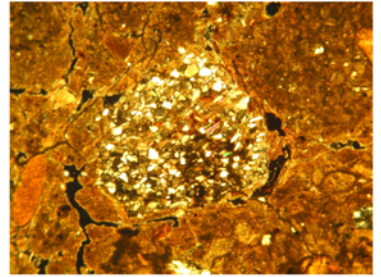
VER IS II C - Quartz 100x ppl



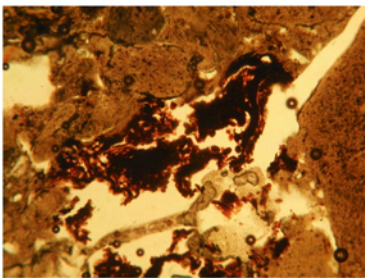
VER IS II C - Quartz 100x xpl



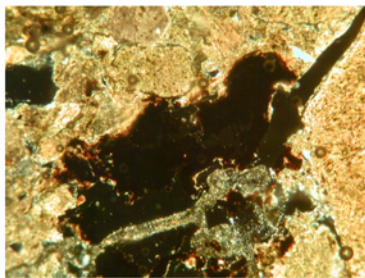
VER IS II C - Sandstone 40x  
ppl



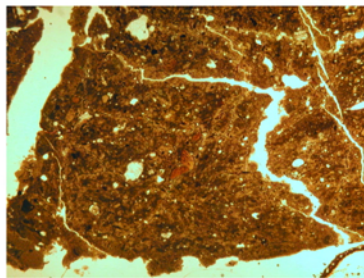
VER IS II C - Sandstone 40x  
xpl



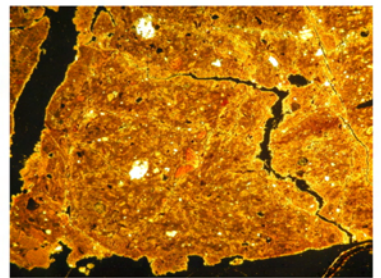
VER IS II C - Tissues 100x ppl



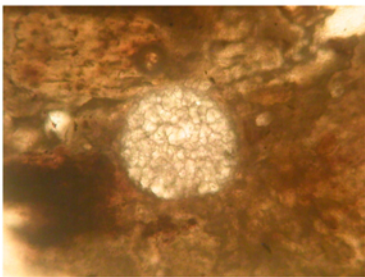
VER IS II C - Tissues 100x xpl



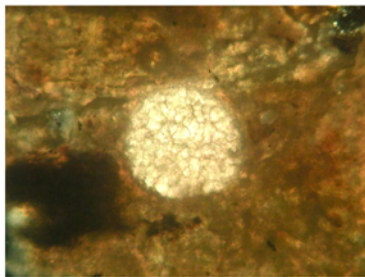
VER IS II D - Blocky Peds 16x  
ppl



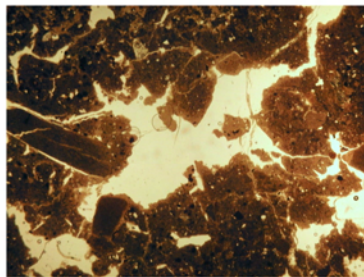
VER IS II D - Blocky Peds 16x  
xpl



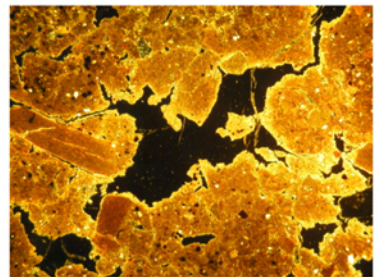
VER IS II D - Calcite 250x ppl



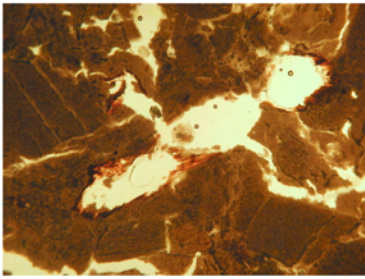
VER IS II D - Calcite 250x xpl



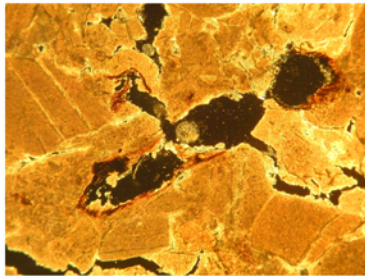
VER IS II D - Chamber 16x ppl



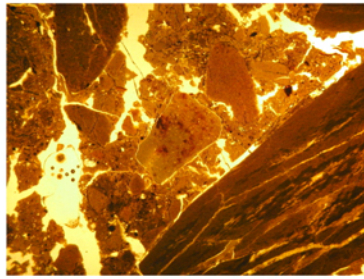
VER IS II D - Chamber 16x xpl



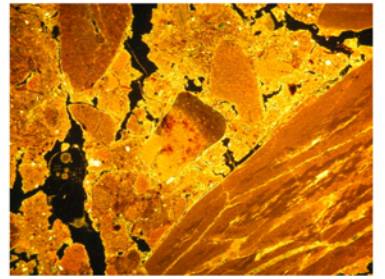
VER IS II D - Channel 40x ppl



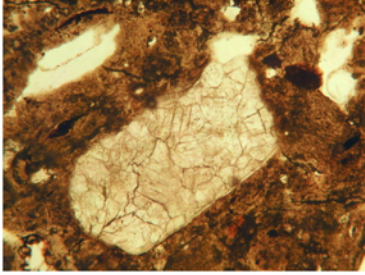
VER IS II D - Channel 40x xpl



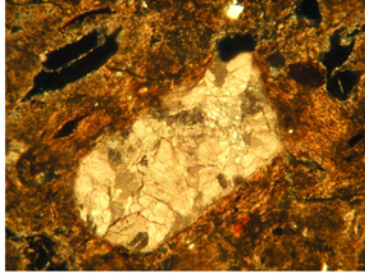
VER IS II D - Claystones 16x ppl



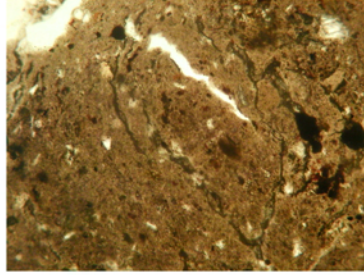
VER IS II D - Claystones 16x xpl



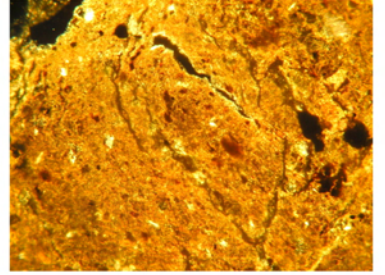
VER IS II D - Limestone 100x ppl



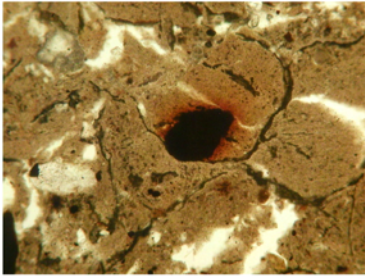
VER IS II D - Limestone 100x xpl



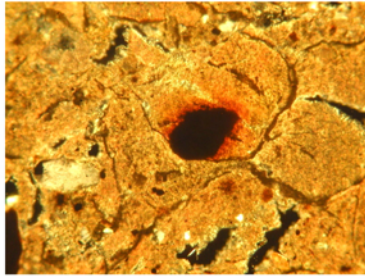
VER IS II D - Micromass 100x ppl



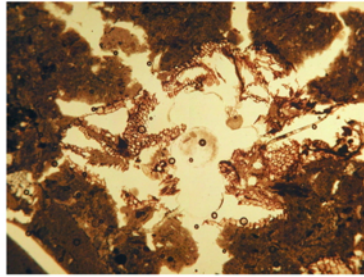
VER IS II D - Micromass 100x xpl



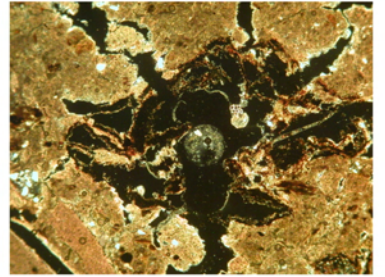
VER IS II D - Nodule 100x ppl



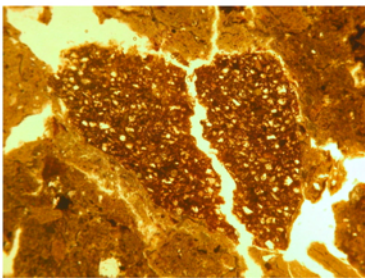
VER IS II D - Nodule 100x xpl



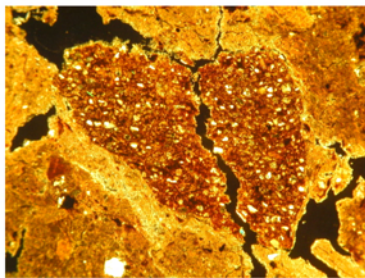
VER IS II D - Organ 40x ppl



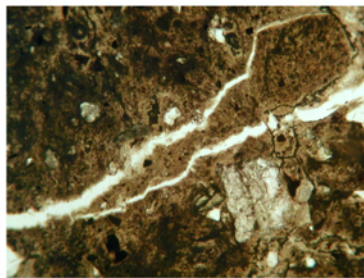
VER IS II D - Organ 40x xpl



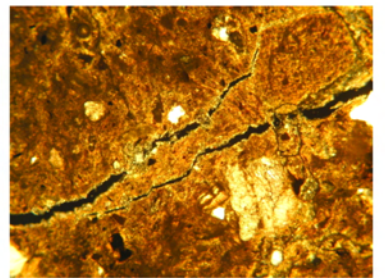
VER IS II D - Pedorelict 40x ppl



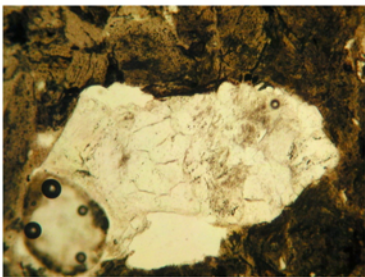
VER IS II D - Pedorelict 40x xpl



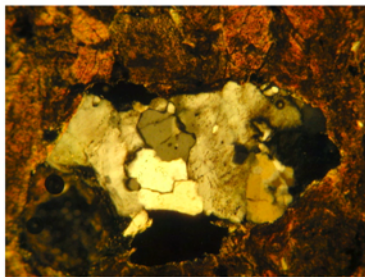
VER IS II D - Planes 100x ppl



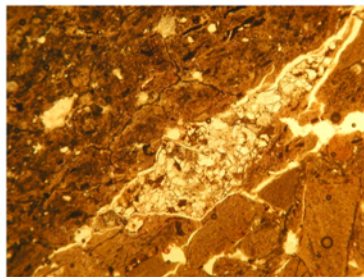
VER IS II D - Planes 100x xpl



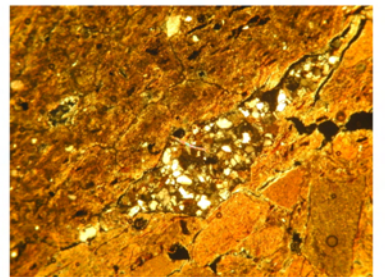
VER IS II D - Quartz 100x ppl



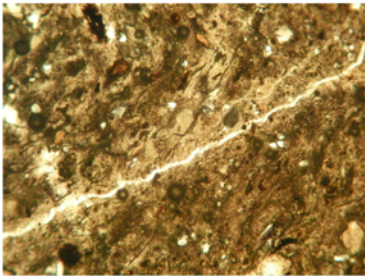
VER IS II D - Quartz 100x xpl



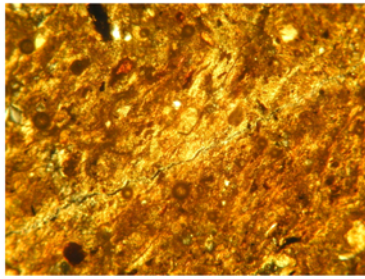
VER IS II D - Sandstone 40x ppl



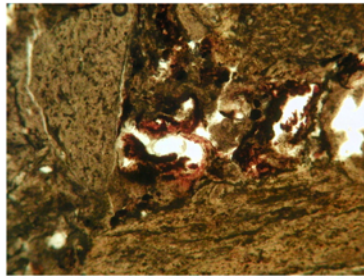
VER IS II D - Sandstone 40x xpl



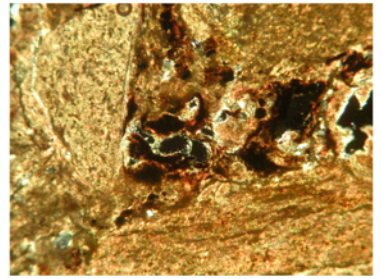
VER IS II D - Slickenside 100x ppl



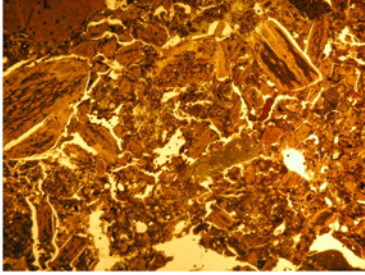
VER IS II D - Slickenside 100x xpl



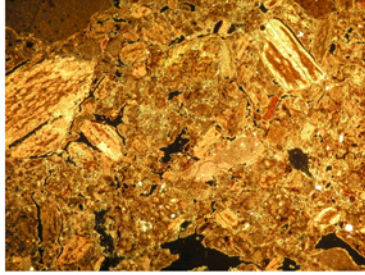
VER IS II D - Tissues 100x ppl



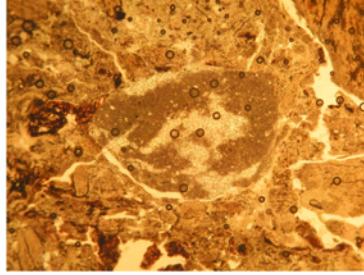
VER IS II D - Tissues 100x xpl



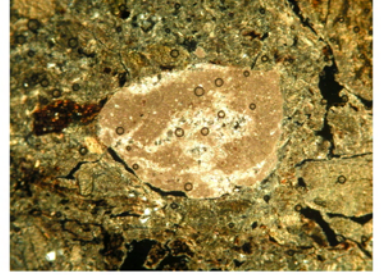
VERSA ES SA - Blocky Peds 16x ppl



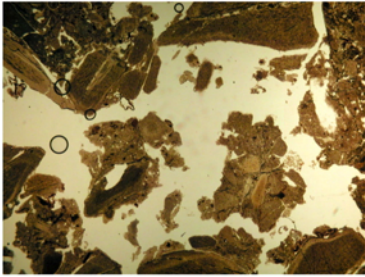
VERSA ES SA - Blocky Peds 16x xpl



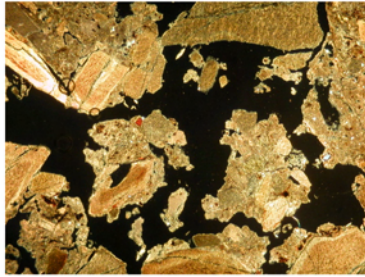
VERSA ES SA - Calcite 40x ppl



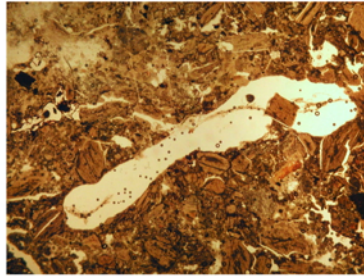
VERSA ES SA - Calcite 40x xpl



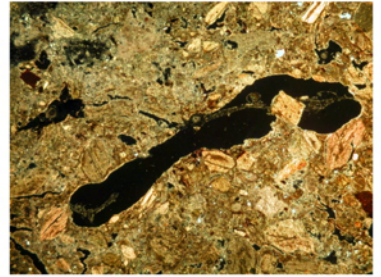
VERSA ES SA - Chamber 16x ppl



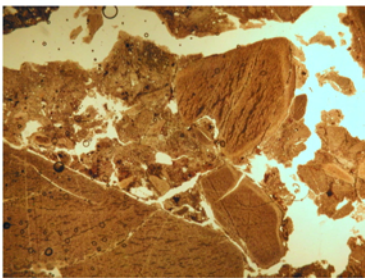
VERSA ES SA - Chamber 16x xpl



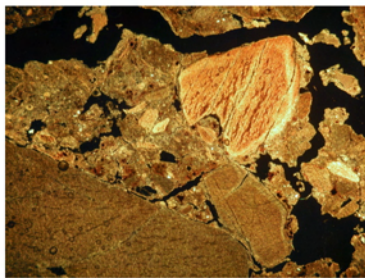
VERSA ES SA - Channel 16x ppl



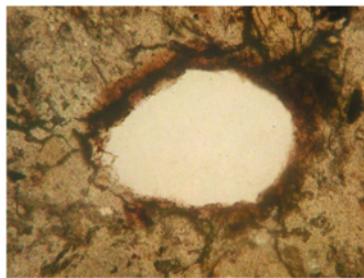
VERSA ES SA - Channel 16x xpl



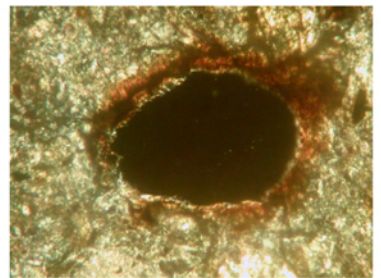
VERSA ES SA - Claystones 16x ppl



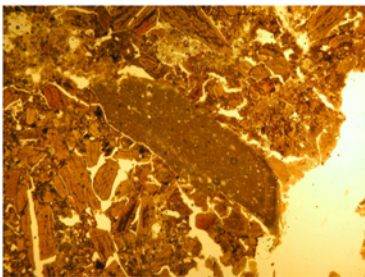
VERSA ES SA - Claystones 16x xpl



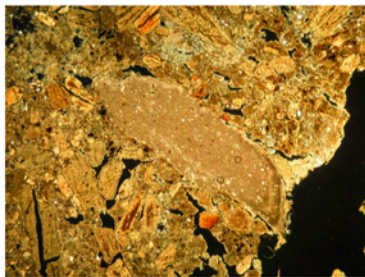
VERSA ES SA - Hypo 250x ppl



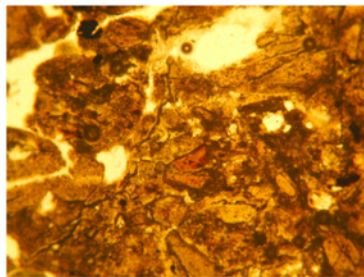
VERSA ES SA - Hypo 250x xpl



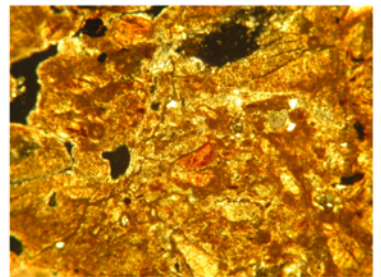
VERSA ES SA - Limestone 16x ppl



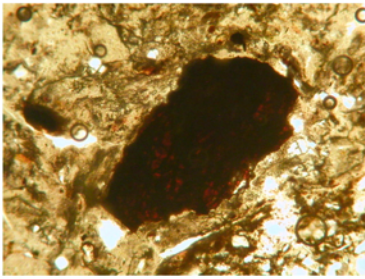
VERSA ES SA - Limestone 16x xpl



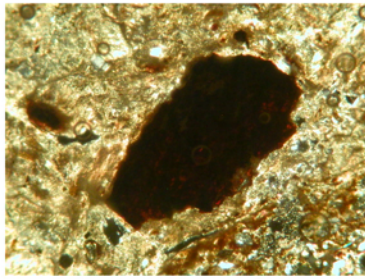
VERSA ES SA - Micromass 100x ppl



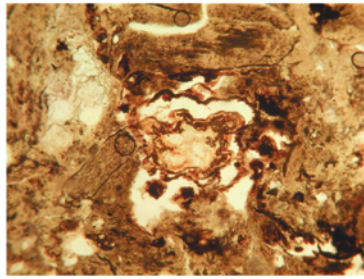
VERSA ES SA - Micromass 100x xpl



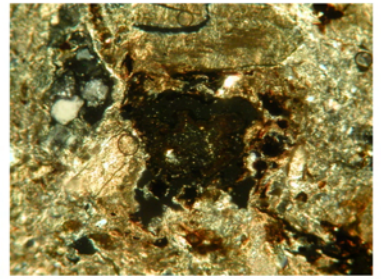
VERSA ES SA - Nodule 100x ppl



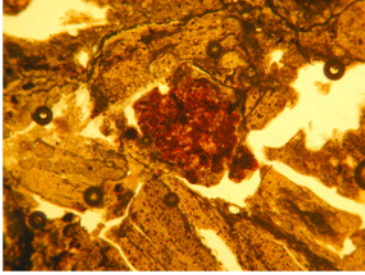
VERSA ES SA - Nodule 100x xpl



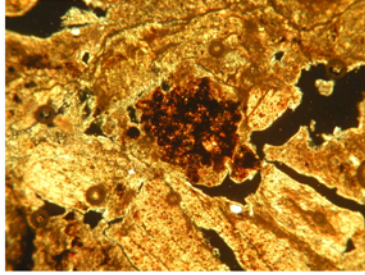
VERSA ES SA - Organ 100x ppl



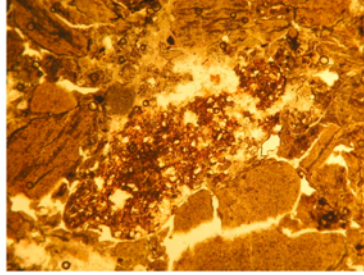
VERSA ES SA - Organ 100x xpl



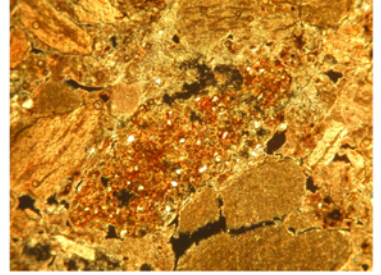
VERSA ES SA - OrganoMineral 100x ppl



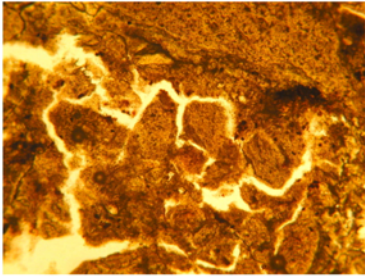
VERSA ES SA - OrganoMineral 100x xpl



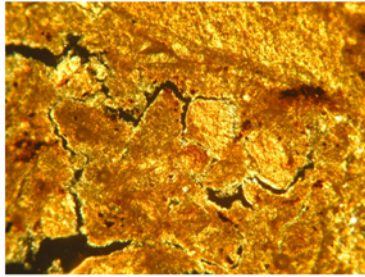
VERSA ES SA - Pedorelict 40x ppl



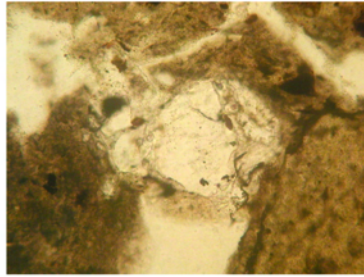
VERSA ES SA - Pedorelict 40x xpl



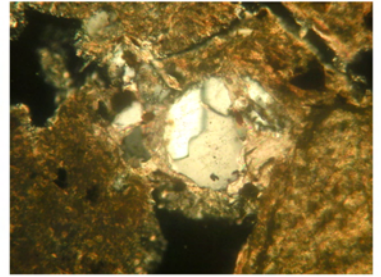
VERSA ES SA - Planes 100x ppl



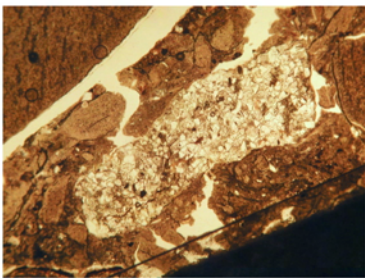
VERSA ES SA - Planes 100x xpl



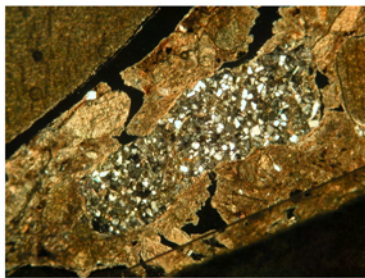
VERSA ES SA - Quartz 250x ppl



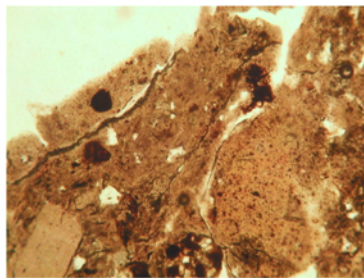
VERSA ES SA - Quartz 250x xpl



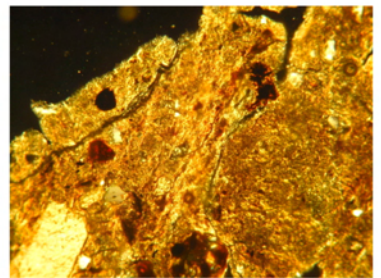
VERSA ES SA - Sandstone 40x ppl



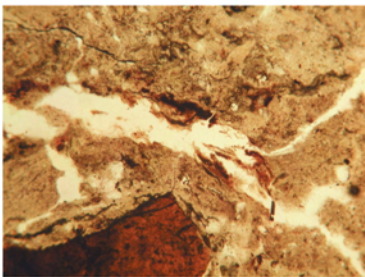
VERSA ES SA - Sandstone 40x xpl



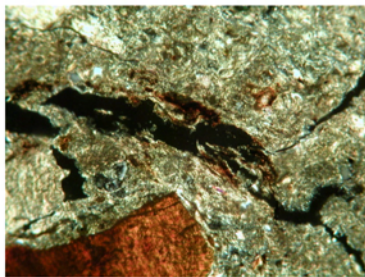
VERSA ES SA - Slickenside 100x ppl



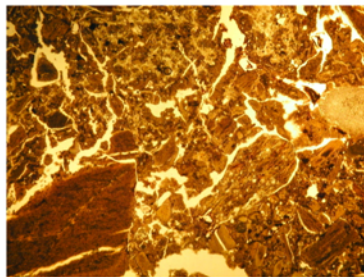
VERSA ES SA - Slickenside 100x xpl



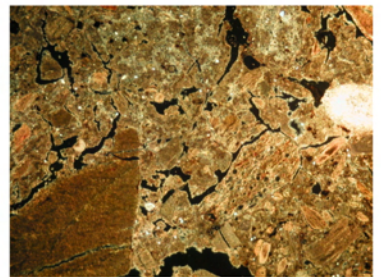
VERSA ES SA - Tissues 100x ppl



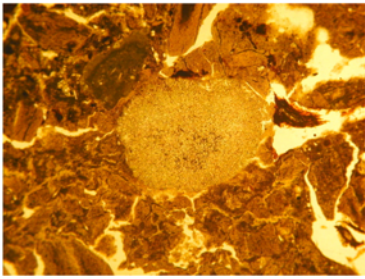
VERSA ES SA - Tissues 100x xpl



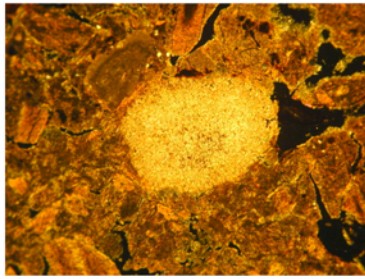
VERSA ES SB - Blocky Peds 16x ppl



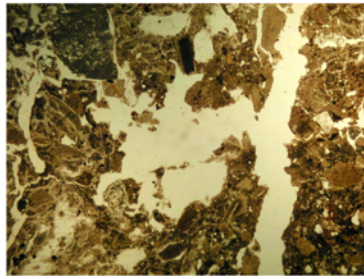
VERSA ES SB - Blocky Peds 16x xpl



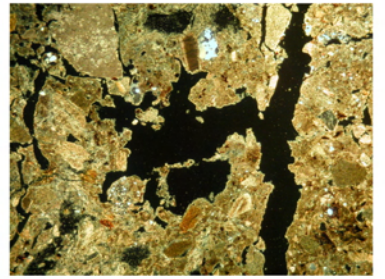
VERSA ES SB - Calcite 40x ppl



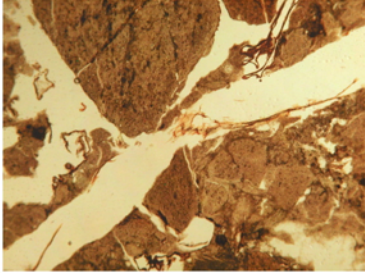
VERSA ES SB - Calcite 40x xpl



VERSA ES SB - Chamber 16x ppl



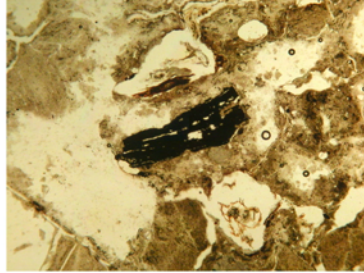
VERSA ES SB - Chamber 16x xpl



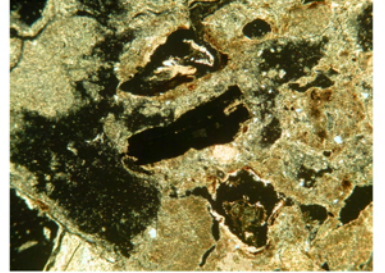
VERSA ES SB - Channel 40x ppl



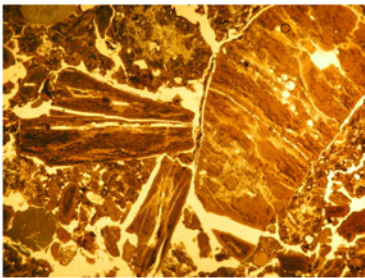
VERSA ES SB - Channel 40x xpl



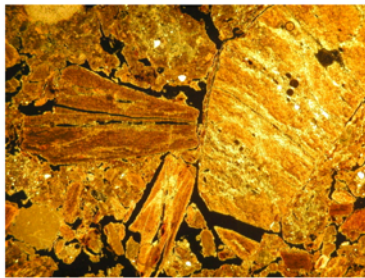
VERSA ES SB - Charcoal 40x ppl



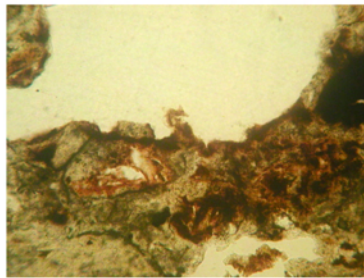
VERSA ES SB - Charcoal 40x xpl



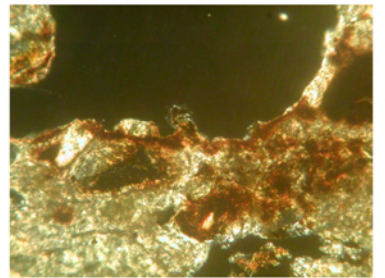
VERSA ES SB - Claystones 16x ppl



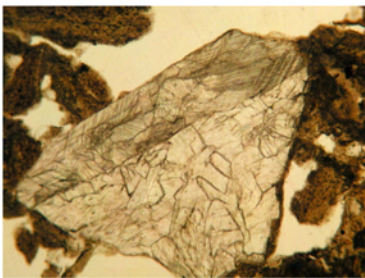
VERSA ES SB - Claystones 16x xpl



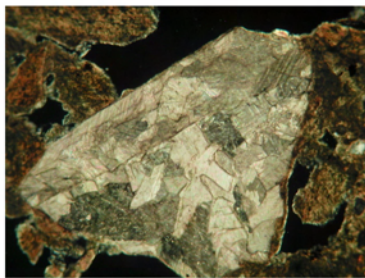
VERSA ES SB - Hypo 250x ppl



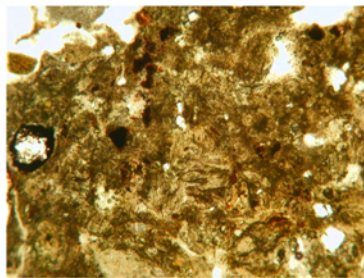
VERSA ES SB - Hypo 250x xpl



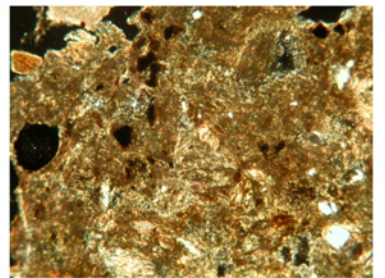
VERSA ES SB - Limestone 100x ppl



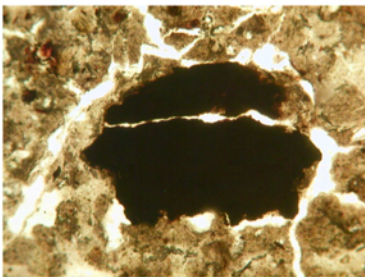
VERSA ES SB - Limestone 100x xpl



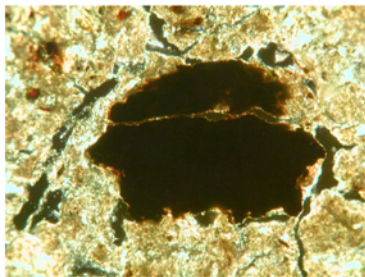
VERSA ES SB - Micromass 100x ppl



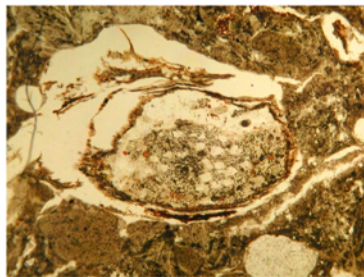
VERSA ES SB - Micromass 100x xpl



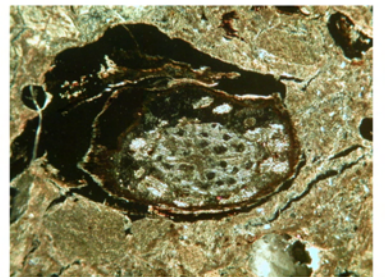
VERSA ES SB - Nodule 100x ppl



VERSA ES SB - Nodule 100x xpl

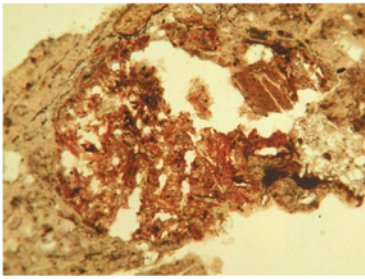


VERSA ES SB - Organ 40x ppl

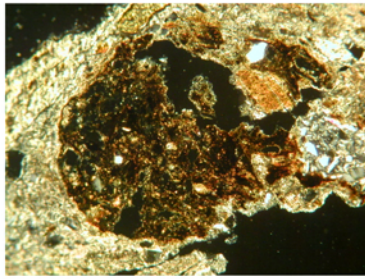


VERSA ES SB - Organ 40x xpl

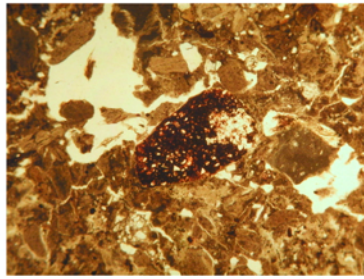




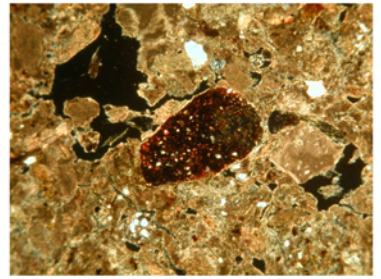
VERSA ES SB -  
OrganoMineral 100x ppl



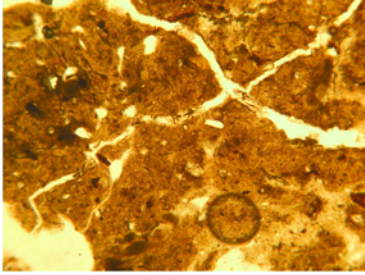
VERSA ES SB - OrganoMineral  
100x xpl



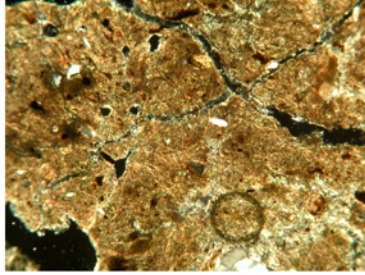
VERSA ES SB - Pedorelict  
40x ppl



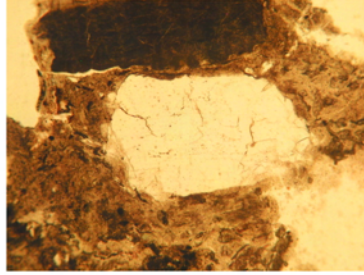
VERSA ES SB - Pedorelict  
40x xpl



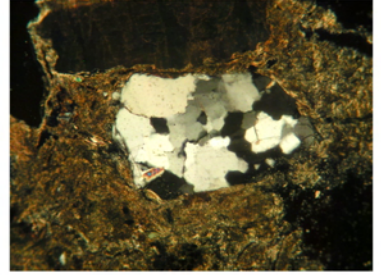
VERSA ES SB - Planes 100x  
ppl



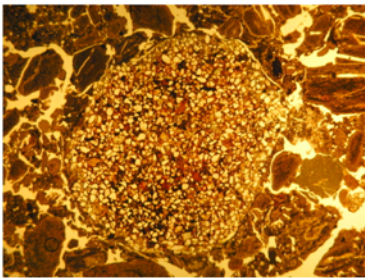
VERSA ES SB - Planes 100x  
xpl



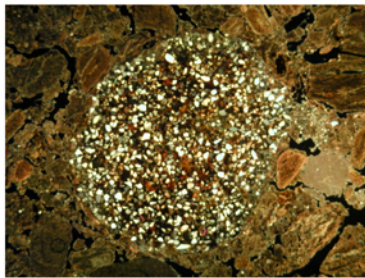
VERSA ES SB - Quartz 100x  
ppl



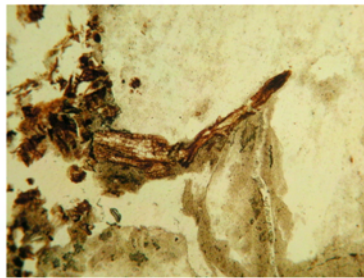
VERSA ES SB - Quartz 100x  
xpl



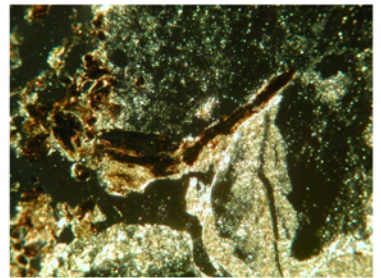
VERSA ES SB - Sandstone  
16x ppl



VERSA ES SB - Sandstone  
16x xpl



VERSA ES SB - Tissues 100x  
ppl



VERSA ES SB - Tissues 100x  
xpl



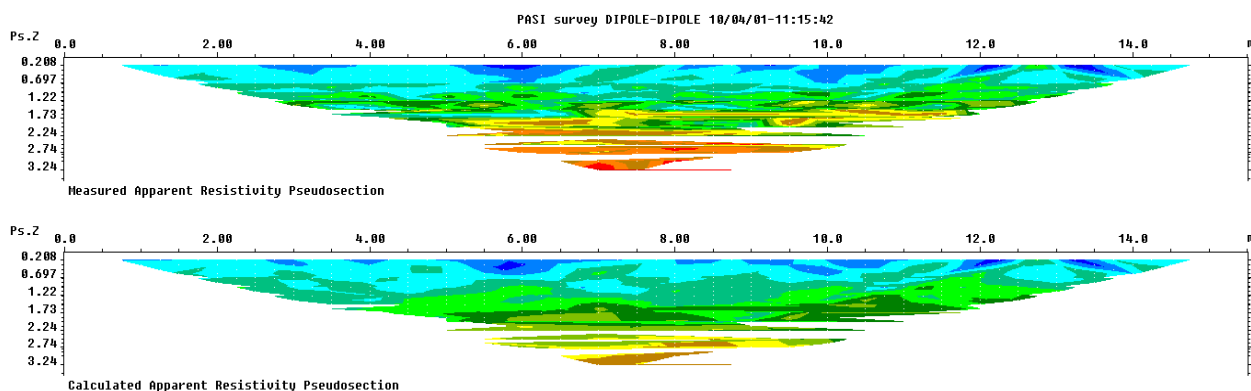
# APPENDICE C



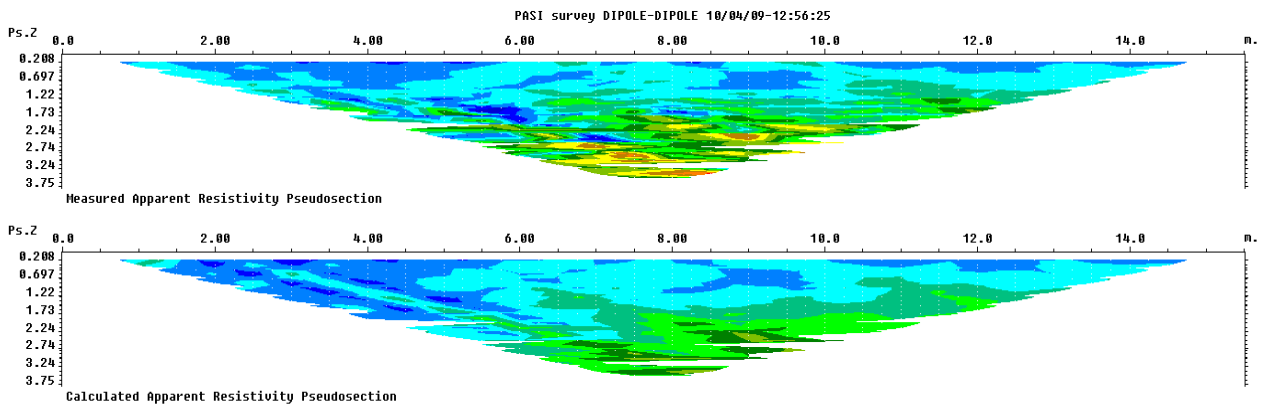
# APPENDICE C.

## ANALISI GEOELETRICA.

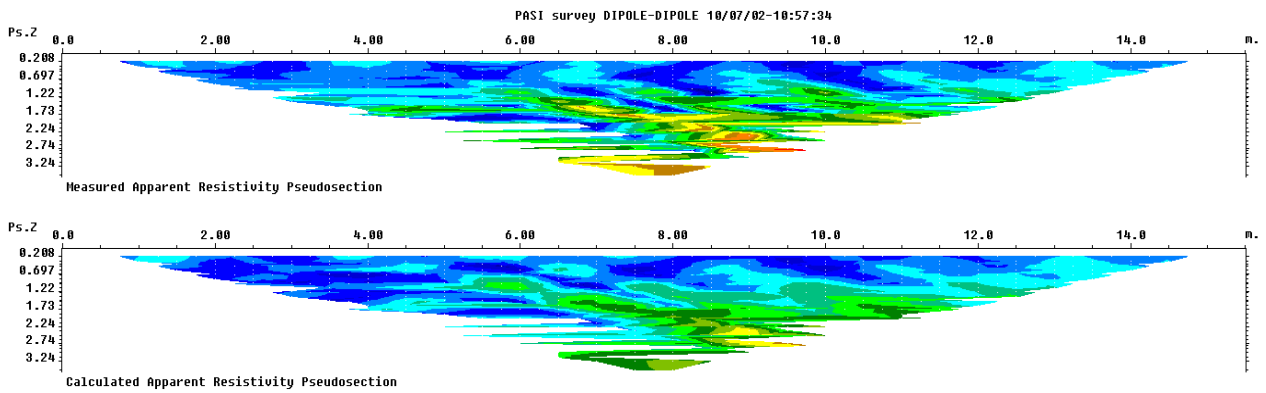
In questa appendice vengono riportate le immagini elaborate dalle misurazioni geoelettriche per quanto riguarda la resistività apparente misurata e la resistività apparente calcolata. Da queste si è costruito il relativo modello della resistività elettrica riportato nel Capitolo Risultati Geofisica per le medesime date di misurazione.



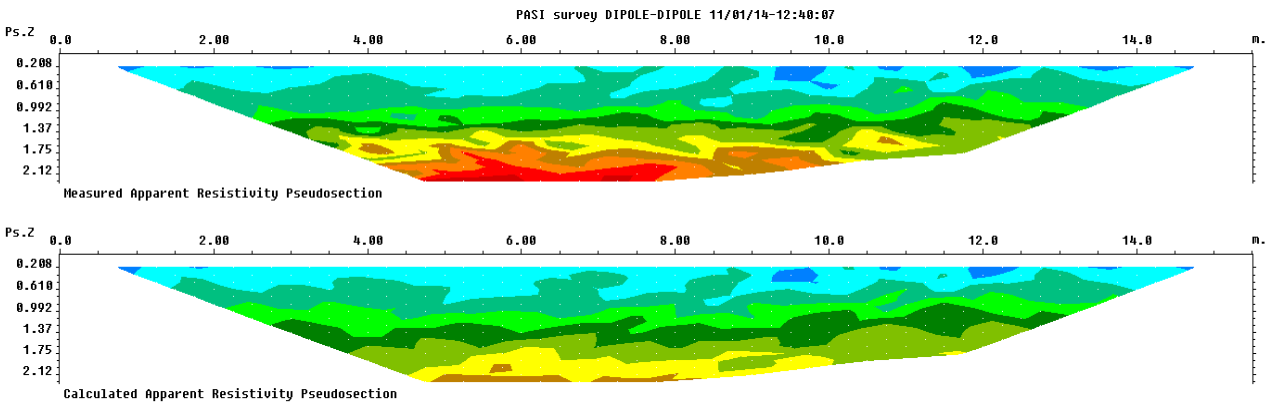
Sezione 2D di resistività diretta misurata (sopra) e calcolata (sotto) elaborate con i dati acquisiti il 01/04/2010 prima dell'inumazione dei maiali



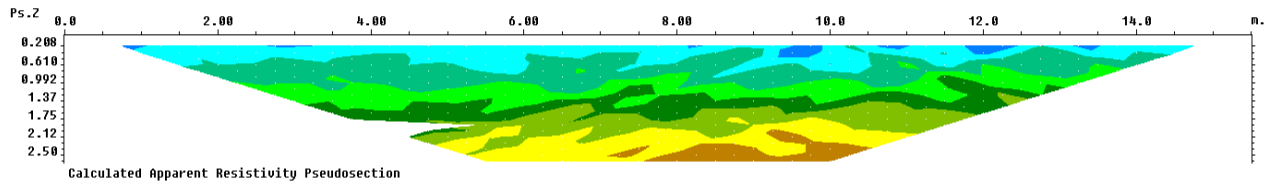
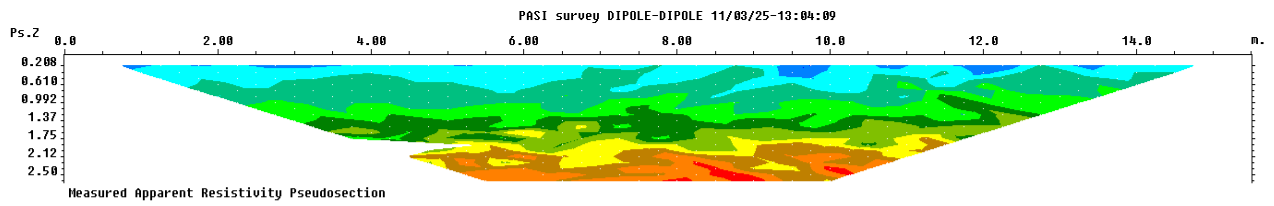
Sezione 2D di resistività diretta misurata (sopra) e calcolata (sotto) elaborate con i dati acquisiti il 09/04/2010



Sezione 2D di resistività diretta misurata (sopra) e calcolata (sotto) elaborate con i dati acquisiti il 02/07/2010



Sezione 2D di resistività diretta misurata (sopra) e calcolata (sotto) elaborate con i dati acquisiti il 14/01/2011



Sezione 2D di resistività diretta misurata (sopra) e calcolata (sotto) elaborate con i dati acquisiti il 25/03/2011





# APPENDICE D



# APPENDICE D.

## ELENCO FLORISTICO.

### **HYPNACEAE**

- *Hypnum jutlandicum* Holmen & E. Warncke.  
Sito A

### **GRIMMACEAE**

- *Schistidium apocarpum* (Hedw.) Bruch & Schimp.  
Sito A

### **FAGACEAE**

- 200. *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.  
Boschi, su suolo acido P SCAP EUROP. (SUBATL.) 0-1000 m Sito B

### **POLYGONACEAE**

- 291. *Rumex acetosella* L.  
Incolti aridi e sabbiosi (acidof.) H SCAP SUBCOSMOP . 0-2200 m 2-1-2-3-3-5 Sito A

### **CARYOPHYLLACEAE**

- 497. *Cerastium ligusticum* Viv.  
Incolti, pascoli aridi, cedui, anche ruderale ed infestante T SCAP W-MEDIT. 0-1400 m 1-4-2-3-3-4 Sito A

### **GUTTIFERAE**

- 872. *Hypericum perforatum* L.  
Prati aridi, boscaglie, bordi di boschi, lungo le vie, incolti H SCAP PALEOTEMP. divenuto SUBCOSMOP. 0-1600 m 2-3-3-3-5-3 Sito A

### **CRUCIFERAE**

- 1104. *Teesdalia nudicaulis* (L.)  
R. Br. Campi (acidof.) T SCAP EUROP. (SUBATL.) 1-2-2-2-3-4 Sito A

### **ROSACEAE**

- *Rubus* sp.  
Sito B
- 1452. *Potentilla tabernaemontani* Asch.  
Prati aridi (calc.) H SCAP EUROP . 0-1500, raram. 2500 m 1-3-2-3-3-5 Sito A
- 1554. *Craetagus monogyna* Jacq.  
Cespuglieti, siepi, boschi xerofili degradati (pref. calc.) P CAESP PALEO-TEMP. 0-1500 m Sito B
- 1571. *Prunus padus* L.  
Boschi rivieraschi, forre umide, golene (pref. silice) P CAESP/P SCAP EUROSIB. 0-1900 m Sito B

## LEGUMINOSAE

- 1623. *Robinia pseudoacacia* L.  
Scarpate, incolti, siepi P CAESP/P SCAP NORDAMER. 0-1000 m Sito B

## EUPHORBIACEAE

- 2107. *Euphorbia cyparissias* L.  
Prati aridi, incolti H SCAP CENTRO-EUROP . 0-1500, max. 2500 m 2-3-2-3-4-4 Sito A

## SIMAROUBACEAE

- 2124. *Ailanthus altissima* (Miller) Swingle  
Colt. e naturalizz. P SCAP CINA 0-800 m Sito B

## CISTACEAE

- 2293. *Tuberaria guttata* (L.) Fourr.  
Incolti aridi, pascoli, su sabbie silicee e suoli acidi T SCAP EURI-MEDIT. (SUBATL.) 0-800 m 1-2-2-3-3-4 Sito A
- *Helianthemum* sp.  
1-\_-2-3-2-4 Sito A
- 2301. *Helianthemum nummularium* (L.) Miller  
Prati aridi, sabbie, rupi (calc.) CH SUFFR EUROPEO-CAUCAS. 0-2500 m 1-4-2-3-3-5 Sito A

## ARALIACEAE

- 2400. *Hedera helix* L.  
Boschi medit. (leccete) e submedit. (querceti, castagneti); anche comunem. coltivata P LIAN SUBMEDIT.-SUBATL. 0-800, max. 1450 m Sito B

## OLEACEAE

- 2779. *Ligustrum vulgare* L.  
Boschi caducifogli termofili, soprattutto ai margini e nei cespuglieti di degradazione, siepi NP EUROPEO-W-ASIAT. 0-1300 m Sito B

## ASCLEPIADACEAE

- 2853. *Vincetoxicum hirundinaria* Medicus  
Dirupi cespugliosi soleggiati, bordi dei boschi, siepi H SCAP EURASIAT. 0-1000, raram. 1700 m Sito B

## BORAGINACEAE

- 3041. *Myosotis ramosissima* Rochel  
Suoli acidi sabbiosi T SCAP EUROPEO-W-ASIAT. 0-1500 m 1-3-2-2-3-4 Sito A

## LABIATAE

- 3099. *Teucrium chamaedrys* L.  
Prati aridi, margini dei boschi, leccete e quercete xerofile CH SUFFR EURI-MEDIT . 0-1700 m 1-4-2-3-3-3 Sito A

## COMPOSITAE

- 3825. *Erigeron annuus* (L.) Pers.  
Incolti umidi, sponde dei fossi e fanghiglie T SCAP NORDAMER. 0-1200 m 2-3-4-3-4-4 Sito A
- 4332. *Hypochoeris glabra* L.  
Incolti aridi, pascoli, colture a riposo (acidof.) T SCAP EURI-MEDIT . 0-1200 m 2-2-2-2-3-4 Sito A e sito B

## LILIACEAE

- 4669. *Allium carinatum* L.  
Incolti aridi, pascoli, greti G BULB SUBMEDIT.-SUBATL. 0-1500 m 2-4-2-3-5-4 Sito A e sito B

## DIOSCOREACEAE

- 4735. *Tamus communis* L.  
Boschi densi, cedui, radure, siepi G RAD EURI-MEDIT . 0-800 m 3-4-3-3-4-3 Sito A

## JUNCACEAE

- 4840. *Luzula campestris* (L.) DC.  
Pascoli aridi, prati H CAESP EUROPEO-CAUCAS. 0-2100 m 3-3-2-3-4-4 Sito A

## GRAMINACEAE

- 4876. *Poa bulbosa* L.  
Prati aridi, incolti H CAESP P ALEOTEMP . 0-1500, max. 2400 m 1-3-3-2-3-5 Sito A
- 4896. *Vulpia myuros* (L.) Gmelin  
Incolti aridi, bordi di vie, pascoli, gariche T CAESP SUBCOSMOP . 0-1300 m 1-2-3-2-3-4  
Sito A
- 4918. *Festuca rubra* L.  
Prati e pascoli, sia naturali che in condizioni colturali, generalm. in stazioni umide o abbastanza fresche H CAESP CIRCUMBOR. in via di divenire SUCOSM. 0-1800, max. 2340 m 3-3-3-3-4-4  
Sito A
- 4935. *Festuca ticinensis* Mgf.-Dbg.  
Pendii erbosi, pascoli H CAESP ENDEM. 300-1600 m Sito A
- 5010. *Bromus sterilis* L.  
Incolti, terrene abbandonati T SCAP EURI-MEDIT.-TURAN. 0-1350 m 2-3-4-3-4-3 Sito A
- 5031. *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv.  
Prati aridi, boscaglie, scarpate H CAESP EURASIAT. 0-2000 m 2-4-3-3-4-3 Sito A
- 5032. *Brachypodium rupestre* (Host) R. et S.  
Pascoli substeppici (mesobrometi), bordi boschivi H CAESP SUBA TL. 0-2000 m Sito B
- 5098. *Koeleria pyramidata* (Lam.) Domin.  
Pascoli aridi, pendii sassosi (pref. silice) H CAESP NORD- e CENTRO-EUROP. 500-2600 m 2-3-2-3-3-4 Sito A
- 5149. *Aira caryophyllea* L.  
Sabbie silicee, pascoli aridi e pratelli nelle macchie, generalm. su terreno acido T SCAP 0-1400, max 1800 m 1-2-1-2-3-5 Sito A

#### **CYPERACEAE**

- 5384. *Carex caryophyllea* La Tourr.  
Prati aridi (calc. e silice) H SCAP EURASIAT. 0-2000, max. 2500 m 2-4-2-2-3-4 Sito A e sito B



# APPENDICE E







**Manuale Operativo**  
Le scienze Naturali in Ambito Forense

Stephania Ern

**2009**

## 1. INTRODUZIONE

Il progetto di dottorato *“Le Scienze Naturali in Ambito Forense”* si pone nell’interesse di far luce su questioni giudiziarie in materia di corpi occultati e casi che necessitano di un profilo ambientale per la conoscenza del contesto. Il progetto verte su due fronti di indagine facenti parte del mondo Naturale: uno ***Geopedologico*** ed un altro ***Botanico***.

Visto il carattere completamente sperimentale del progetto, il quale prevede l’inumazione e l’abbandono in superficie di carcasse di maiale seguito dalla loro esumazione e recupero, si rende necessaria la stesura di un manuale operativo che chiarisca le **modalità che andranno seguite durante le varie fasi** dello stesso.

In questo manuale vengono riportati i protocolli e le schede nell’ordine che segue:

- ✓ Il ***PROTOCOLLO OPERATIVO PER LE EVIDENZE GEOPEDOLOGICHE***
- ✓ Il ***PROTOCOLLO OPERATIVO PER LE EVIDENZE BOTANICHE***
- ✓ Le ***SCHEDE DI CAMPIONAMENTO GEOPEDOLOGICO***
- ✓ Le ***SCHEDE DI CAMPIONAMENTO BOTANICO***

Si ricorda che il progetto prevede **due distinte aree di studio** entro le quali verrà svolto l’esperimento di “inumazione, abbandono” ed “esumazione, recupero” in contemporanea, ossia su entrambe le aree verranno sepolti ed abbandonati i maiali con la medesima tempistica e successivamente saranno esumati e recuperati con i medesimi intervalli.

In ciascun protocollo vengono spiegati passo dopo passo le azioni da compiere per effettuare il corretto campionamento delle soprascritte evidenze, mentre le schede fungono da supporto per collezionare i dati sul campo in maniera ordinata e completa, in modo da poter fornire una linea ‘standard’ per l’organizzazione del lavoro e di poter ottenere un elevato grado di riproducibilità.

### 1.1. GLI “STATI” ATTRAVERSATI DALL’ESPERIMENTO

Il progetto sperimentale contempla **due “stati”** dell’iter di occultamento e sepoltura di un cadavere, discrete e successive nel tempo, ossia una situazione antecedente all’inumazione ed una situazione successiva all’esumazione. Vengono qui di seguito definite le due situazioni:

- **“PRE-INHUMATION-STATE” (PreIS)** il luogo di occultamento non è contaminato dal cadavere e dalla sua decomposizione, pertanto questo stato è assimilabile ad uno stato “naturale” del luogo in esame.
- **“POST-EXHUMATION-STATE” (PostES)** il luogo è stato perturbato dall’evolversi del processo decompositivo del cadavere, sepolto o lasciato in superficie, reca perciò necessariamente evidenze legate al processo.

## 1.2. LO STUDIO PRELIMINARE DELLE AREE

Le aree prescelte devono essere caratterizzate dal punto di vista naturalistico completo, si intende dunque che vengano raccolte carte geomorfologiche, geologiche e pedologiche nonché carte della vegetazione, inerenti alla zona entro la quale ricade l’area, per comprenderne la realtà presente ma pure il passato geologico attraversato durante il periodo Quaternario.

Inoltre sarà necessario un breve riassunto storico sul precedente utilizzo delle aree in esame.

Contemporaneamente alla ricerca cartacea delle informazioni si rende necessario recarsi sui luoghi per annotare eventuali informazioni non presenti sulle carte.

Durante le uscite sul campo a scopo informativo, entro l’area disposta per l’esperimento di inumazione-esumazione, ma anche al di fuori di questa per una maggiore caratterizzazione della zona in generale, verrà eseguito lo studio di profili pedologici secondo le norme della geopedologia, per questi stessi profili verranno eseguiti campionamenti di suolo sciolto e di suolo indisturbato (scatole di Kubiena) che verranno esaminati con le metodologie elencate nell’introduzione del relativo protocollo.

### 1.3. SCHEMA RIASSUNTIVO

Nella tabella sottostante viene rappresentato il lavoro sperimentale articolato nel tempo. In testa alle colonne sono rappresentati i campioni di controllo, di falso positivo e relativi ai siti di sepoltura abbandono delle carcasse, i quali devono essere pensati per due aree distinte, quindi essere raddoppiati. Le colonne rappresentano il tempo. Azioni discrete quali scavo, esumazione (ES) e monitoraggio sono riportate nelle caselle riferite al mese ed al sito. Il tempo, evidenziato con diversi colori per i diversi siti, che intercorre tra dopo lo scavo e l'esumazione è chiamato *Bridge Time*, mentre quello che inizia da dopo l'esumazione e si conclude con la fine dell'intero progetto sperimentale è chiamato *Back-to-normality Time*.

	Osservaz.	controllo	falso positivo	sito1	sito2	sito3	sito4
2009	Marzo						
	Aprile		scavo	scavo	scavo	scavo	scavo
	Maggio						
	Giugno						
	Luglio						
	Agosto						
	Settembre			ES			
	Ottobre			mon.			
	Novembre						
2010	Febbraio						
	Marzo				ES		
	Aprile				mon.		
	Maggio						
	Giugno						
	Agosto						
	Settembre					ES	
	Ottobre					mon.	
Novembre							
2011	Febbraio						
	Marzo						ES
	Aprile						mon.
	Maggio						
	Giugno						
	Luglio						

## 2. PROTOCOLLO OPERATIVO

### PER LE EVIDENZE GEOPEDOLOGICHE

Stephania Ern

#### 2.1. INTRODUZIONE

Per quanto riguarda la parte geopedologica del progetto “*Le Scienze Naturali in Ambito Forense*” è stato deciso di utilizzare le seguenti metodologie analitiche sui campioni di suolo:

- Determinazione del pH
- Contenuto in Carbonio organico (Walkley-Black)
- Spettroscopia all’Infra Rosso (FTIR)
- Gas Cromatografia in Spettrometria di Massa (GC-MS)
- Analisi Micromorfologica di sezioni sottili di suolo
- Eventualmente Spettroscopia Indotta al Plasma (ICP-AES)

Ulteriori analisi saranno effettuate sulle ossa e verteranno ad indagare:

- Presenza di elementi estranei all’osso (condotta al microscopio elettronico a scansione - SEM)
- Perdita di cristallinità ed alterazione della struttura dell’osso (condotta in diffrazione ai rx - XRD)
- Eventualmente Riflettanza del Collagene

#### 2.2. CAMPIONAMENTO PreIS

Quando ci si recherà sull’area per l’inumazione e l’abbandono in superficie delle carcasse di maiale il lavoro di campionamento geopedologico dovrà essere condotto nel modo qui di seguito descritto.

**N.B.:** L’area deve essere opportunatamente *documentata con fotografie precedentemente* all’inizio del lavoro di abbandono ed inumazione.

##### a. CARCASSE destinate all’INUMAZIONE

Per ciascun maiale deve essere scavata una **buca** di una superficie sufficiente ad accogliere la carcassa, indicativamente compresa tra 1,5 e 2 m<sup>2</sup>, e di una profondità oscillante tra i 50 e gli 80 cm, tale da consentire alla carcassa di essere completamente sepolta da minimo 10 cm di terreno.

Si faccia attenzione alla metodologia di scavo: è conveniente scavare metà della buca prevista, poiché sul lato centrale della stessa viene effettuato lo “studio del profilo pedologico” e vengono prelevati i seguenti campioni di suolo (Campioni Sciolti BS; Campioni Indisturbati TS):

- BS caratteristici del profilo, denominati con i *nomi degli orizzonti pedologici identificati*.
- BS “MIX”, ossia derivante dal materiale di risulta dello scavo della buca; per questo campione si deve eseguire una omogeneizzazione meccanica di tutto il materiale scavato attraverso mescolamento e successivamente campionare casualmente la quantità di interesse.
- TS “Up”, ossia prelevato ad una profondità di 10-15 cm.
- TS “Down”, ossia prelevato oltre la profondità massima della buca, grazie all’approfondimento di questa in un angolo segnalandolo sulle note al campionamento.

#### **b. CARCASSE destinate all’ABBANDONO IN SUPERFICIE**

Per ciascun maiale lasciato in superficie deve essere delimitata l’area geometrica che lo contiene servendosi di 4 picchetti di ferro.

Nell’immediato perimetro esterno al di fuori dell’area delimitata deve essere effettuato un piccolo scavo necessario alla raccolta dei seguenti campioni:

- BS “Surface”, derivante dal materiale dello scavo di 20-30 cm di profondità; per questo campione si deve eseguire una omogeneizzazione meccanica di tutto il materiale scavato attraverso mescolamento e successivamente campionare casualmente la quantità di interesse.
- TS “Upper”, campionato prossimo alla superficie (10-15 cm di profondità).

#### **ATTENZIONE:**

Una volta completata la sepoltura e l’abbandono in superficie è opportuno **segnalare le aree interessate dalla sepoltura** con picchetti di ferro e realizzare uno **schizzo planimetrico e/o un rilievo topografico con ‘stazione totale’**, con riferimento del Nord e dell’esatta disposizione delle carcasse, nonché riportare lo scenario di fine inumazione con una adeguata **documentazione fotografica**.

## 2.3. CAMPIONAMENTO PostES

Quando, ai tempi prestabiliti, ci si recherà sulle aree dell'esperimento per l'esumazione ed il recupero delle carcasse di maiale, il lavoro di campionamento geopedologico dovrà essere condotto nel modo qui di seguito descritto.

**N.B.:** L'area deve essere opportunatamente *documentata con fotografie precedentemente* all'inizio del lavoro di esumazione e se disponibile effettuato pure un rilievo topografico con 'stazione totale'.

### a. CARCASSE INUMATE

Per quanto riguarda l'esumazione delle carcasse, questa avverrà secondo le regole e la metodologia dello **scavo archeologico**. L'area nota di inumazione verrà dunque divisa a metà ed approfondita scavando solo una metà a partire dalla superficie (questo consentirà il campionamento di TS anche al di sopra della carcassa). Al raggiungimento della carcassa, nella metà scavata, verrà effettuata la *raccolta della prima parte di campioni*:

- BS "**Sopra**", derivante dal materiale misto scavato entro la metà buca; per questo campione si deve eseguire una omogeneizzazione meccanica di tutto il materiale scavato attraverso mescolamento e successivamente campionare casualmente la quantità di interesse.
- TS "**Up**", campionato grazie ad una scatola di Kubiena estratta entro la metà lasciata integra dallo scavo, a una profondità di 10-15 cm circa.

Successivamente a questo campionamento si procederà al **recupero della carcassa**.

Una volta riesumata la carcassa, lo scavo archeologico deve proseguire per altri 20-30 cm circa, sempre su metà buca, al fine di produrre le condizioni per la *raccolta della seconda parte di campioni* da effettuarsi in sede di riesumazione:

- BS "**Sotto**", derivante dal materiale misto scavato oltre la superficie di giacenza della carcassa; per questo campione si deve eseguire una omogeneizzazione meccanica di tutto il materiale scavato attraverso mescolamento e successivamente campionare casualmente la quantità di interesse.
- TS "**Down**", campionato grazie ad una scatola di Kubiena estratta entro la metà lasciata integra dallo scavo proseguito oltre la superficie di giacenza della carcassa, ad una profondità di 10-15 cm circa da quest'ultima. In caso di evidenze visibili macroscopicamente che si approfondiscono più in profondità, saranno effettuati ulteriori

campionamenti ritenuti necessari, questi vengono contrassegnati con una lettera minuscola (a partire da “a” per il meno profondo) e la profondità di effettivo campionamento ( es.: b 25 cm).

## b. CARCASSE IN SUPERFICIE

Sempre con metodo archeologico verrà recuperata la carcassa lasciata in superficie, una volta effettuato ciò, verranno raccolti i seguenti campioni:

- BS “**Surface**”, ossia materiale scavato nell’area al di sotto della carcassa, entro una profondità di 30 cm; per questo campione si deve eseguire una omogeneizzazione meccanica di tutto il materiale scavato attraverso mescolamento e successivamente campionare casualmente la quantità di interesse.
- 
- TS “**Under**”, ossia campionato al di sotto della carcassa, nella metà di suolo lasciata intatta, ad una profondità di 10-15 cm.

### ATTENZIONE:

Una volta terminata la riesumazione, la **buca deve essere richiusa** con il proprio materiale di risulta derivante dallo scavo e **gli angoli permanere marcati con i 4 picchetti** in ferro, poiché le osservazioni botaniche proseguiranno anche sull’area interessata dall’esumazione per l’intero tempo degli esperimenti.

## 2.4. SCHEMA RIASSUNTIVO

(dei campioni da raccogliere per ciascuna carcassa)

	Carcasse inumate		Carcasse in superficie	
<b>PreIS</b>	BS propri BS MIX	TS UP TS DOWN	BS SURFACE	TS UPPER
<b>PostES</b>	BS SOPRA BS SOTTO	TS UP TS DOWN	BS SURFACE	TS UNDER

Escludendo i campioni relativi alla caratterizzazione del profilo pedologico, ciascuna carcassa *inumata ed esumata* avrà ad essa associata:



- 3 campioni sciolti e 4 campioni indisturbati.

Mentre per quanto riguarda le carcasse lasciate in superficie e recuperate, esse avranno:

- 2 campioni sciolti e 2 campioni indisturbati.

**Ciascuna uscita sul campo** con lo scopo di riesumare e recuperare le carcasse sul campo (sepolta e lasciata in superficie, per le due aree sperimentali), ai tempi prestabiliti, fornirà:

- 3 campioni sciolti e 3 campioni indisturbati.

## 2.5. NOMENCLATURA DEI CAMPIONI

Per tutti i campioni che verranno raccolti, sarà prodotta una **sigla di campionamento**, la quale darà il nome al campione e dalla quale si potrà risalire alle caratteristiche di campionamento. Nella sigla di campionamento risiedono infatti informazioni relative al giorno, all'area, al maiale ed alla tipologia di campione, ecc.

La sigla di campionamento è così composta:

- ☞ **Anno di campionamento:** campo a due cifre es.: 09 = 2009
- ☞ **Mese di campionamento:** campo a due cifre es.: 02 = febbraio
- ☞ **Giorno di Campionamento:** campo a due cifre es.: 19
- ☞ **Appartenenza allo 'stato':** campo a due lettere maiuscole es.: Prels = IS PostES = ES
- ☞ **Area:** campo ad una lettera maiuscola es.: X = area pizza brasa Y = parco del Ticino
- ☞ **Relazione ai maiali sepolti o superficiali:** campo ad una lettera maiuscola es.: B = carcasse inumate S = carcasse abbandonate in superficie
- ☞ **Numero del maiale:** campo a due cifre, ogni maiale possiede un numero proprio, si assegnino numeri crescenti da 01 al numero massimo di maiali utilizzati.
- ☞ **Stagione della riesumazione:** campo a tre lettere minuscole es.: pri = primavera aut = autunno
- ☞ **Numero dell'intervallo dell'esumazione/recupero:** campo a due numeri romani crescenti es IV
- ☞ **Nome del campione relativo alla sua collocazione di campionamento:** campo da tre a sette lettere (vedi tab. al punto 2.4.) es. MIX

Si compone in questo modo la sigla di campionamento che può essere suddivisa in una parte relativa alla data, una relativa alle caratteristiche più generali ed infine ad una propriamente relativa al campione:

anno	mese	giorno	'stato'	area	sep/sup	n°maiale	stagione	n°intervento	tab.2.4.
10	03	15	ES	X	S	12	pri	III	sotto

### 3. PROTOCOLLO OPERATIVO PER LE EVIDENZE BOTANICHE

Stephania Ern

#### 3.1. INTRODUZIONE

Per quanto riguarda la parte botanica del progetto “*Le Scienze Naturali in Ambito Forense*” è stato deciso di attuare un approccio basato sull’ecologia vegetale delle diverse specie e tipologie di vegetazione. Questo approccio si articolerà con:

- La redazione di **liste floristiche**
- Il campionamento secondo la “**Point Quadrat Analysis**”

Si è deciso di utilizzare la *Point Quadrat Analysis* su un quadrato di 1mx1m (telaio 1,10x1,10m) recante una griglia a maglie di 10 cm, tale per cui si vanno a campionare solo ed esclusivamente gli individui vegetali che cadono al di sotto dell’incrocio della maglia. Questo fa sì che vengano raccolti 100 “punti” e che quindi gli individui possano essere espressi tramite un numero percentuale ed avere una maggiore precisione nella successiva fase di analisi dei dati.

Durante il campionamento verranno presi in considerazione eventuali macromiceti cresciuti sulla superficie dell’area interessata dalla sepoltura, mentre per quanto riguarda micromiceti e muffe questi verranno esaminati, se presenti sulla carcassa, al momento dell’autopsia della stessa dopo l’esumazione.

E’ necessario perciò comprendere come si articolerà l’esperimento nel tempo e come avverranno i campionamenti ed il monitoraggio sulla componente vegetale, si ricorda che questi ultimi interesseranno il periodo di tempo tra il PreIS ed il PostES (“**BRIDGE TIME**”), le osservazioni botaniche tuttavia continueranno durante l’intervallo di tempo che si estende a partire dal PostES fino a fine esperimento (“**BACK-TO-NORMALITY TIME**”).

## 3.2. STUDIO PRELIMINARE DELLE AREE

Dopo avere consultato le carte vegetazionali delle aree interessate dall'esperimento, sarà necessario visitare le zone ed annotare particolarità della vegetazione locale. Sarà pure necessario effettuare dei rilievi floristici su transetto, di entità e in numero consono a caratterizzare l'intorno dell'area stabilita per l'esperimento.

## 3.3. CAMPIONAMENTO PreIS

Quando ci si recherà sull'area per l'inumazione e l'abbandono in superficie delle carcasse di maiale il lavoro di campionamento botanico dovrà essere condotto nel modo qui di seguito descritto.

**N.B.:** L'area deve essere opportunatamente documentata con fotografie precedentemente all'inizio del lavoro di inumazione.

### a. CARCASSE destinate all'INUMAZIONE

Per ciascuna area che sarà interessata dallo scavo a scopo di inumare una carcassa dovrà essere eseguito uno studio preliminare che fornisca il "campione bianco" relativo a quella stessa area.

Perciò il telaio quadrato verrà posto **su tutte le aree destinate allo scavo** ed entro questo verrà stesa una lista qualitativa di tutte le specie presenti ed una lista dei "100 punti" per tutte le aree.

Verrà poi designata pure un'area rappresentante il "campione di controllo", la quale sarà un'area monitorata durante tutta la durata dell'esperimento e la quale non verrà mai perturbata dallo scavo.

**N.B.:** Si provvederà ad allestire pure un'altra area che fungerà da "campione di falso positivo", questo poiché l'area verrà scavata ed alterata meccanicamente, ma entro questa non verrà sepolta alcuna carcassa.

In definitiva, al numero di aree di inumazione se ne aggiungono due di controllo, tutte queste aree devono avere al momento zero, ossia prima dell'inumazione:

- Lista floristica
- Lista dei 100 punti

### 3.4. “BRIDGE TIME”

**Definizione:** Intervallo di tempo compreso tra il Pre Inhumation State (PreIS) ed il Post Exhumation State (PostES), variabile a seconda dell'esumazione che viene presa in considerazione, aumenta quindi per le esumazioni più future. Il *Bridge Time* è uguale al tempo di permanenza della carcassa nel sottosuolo.

Durante il *Bridge Time* le osservazioni botaniche vengono condotte sapendo che nel sottosuolo è sepolta la carcassa.

**N.B.:** Il monitoraggio/campionamento botanico avverrà con cadenza mensile o bimestrale a dipendenza delle diverse stagioni dell'anno.

### 3.5. CAMPIONAMENTO PostES

Quando, ai tempi prestabiliti, ci si recherà sulle aree dell'esperimento per l'esumazione ed il recupero delle carcasse di maiale, il lavoro di campionamento botanico dovrà essere condotto nel modo qui di seguito descritto.

**N.B.:** L'area deve essere opportunatamente *documentata con fotografie precedentemente* all'inizio del lavoro di esumazione.

#### a. CARCASSE INUMATE

Prima dell'inizio dello scavo verrà effettuato l'ultimo campionamento botanico per quell'area, verranno pure campionate tutte le altre aree che recano nel sottosuolo la carcassa, queste andranno a costituire le **repliche** per il campione relativo all'area riesumata in quel frangente di tempo.

#### ATTENZIONE:

Le repliche per ciascun campione andranno dunque sempre diminuendo di uno. Purtroppo non è possibile ovviare a questo problema nelle condizioni offerte dall'esperimento.

### 3.6. “BACK-TO-NORMALITY TIME”

**Definizione:** Intervallo di tempo compreso tra il Post Exhumation State (PostES) e la fine dell'esperimento totale, variabile a seconda dell'esumazione che viene presa in considerazione, diminuisce quindi per le esumazioni più

future. Il *Back-to-normality Time* è uguale al tempo di monitoraggio dell'area dopo che la carcassa è stata esumata.

Durante il *Back-to-normality Time* le osservazioni botaniche vengono condotte sapendo che nel sottosuolo non è più sepolta alcuna carcassa.

### **IMPORTANTE:**

Una volta esumata la carcassa è molto importante che la **buca venga nuovamente riempita con il suo materiale** ed i paletti di ferro delimitanti l'area lasciati in posto.

**N.B.:** Il tempo che intercorre tra lo scavo (cioè immediatamente dopo al PreIS) e l'esumazione (ES, cioè immediatamente prima del PostES) è il cosiddetto *Bridge Time*. Il tempo che intercorre tra l'esumazione (cioè il PostES) e la fine di tutto l'esperimento comprendente tutte le esumazioni è il cosiddetto *Back-to-normality Time*.

**DESCRIZIONE PROFILO**      **AREA:**

Luogo:

Comune:

Provincia:

Regione:

Data:

**Caratteristiche stazionali:**

Altitudine:                      m.s.l.m.

Esposizione:

Pendenza:                      °

Litologia:

Pietrosità:

Rocciosità:

Uso del suolo:

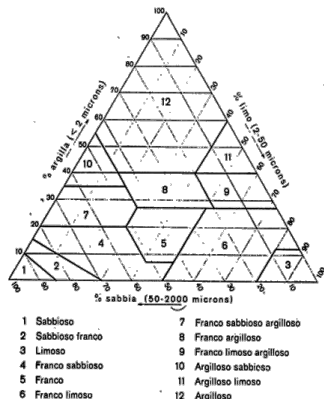
Vegetazione:

**Disegno del profilo:**

**ORIZZONTE:**

**COLORE:** - - /

**GRANULOMETRIA:**



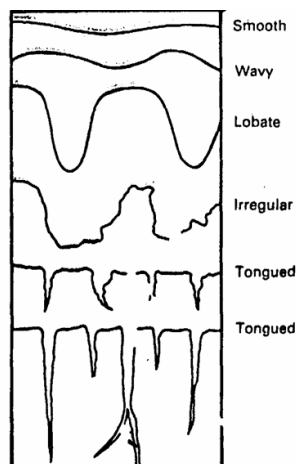
**AGGREGAZIONE:**

**POROSITA':**

**ACIDITA':**

**FIGURE PEDOLOGICHE:**

**LIMITE INFERIORE:**



**ALTRO:**

**NOTE:**





**RILIEVO FITOSOCIOLOGICO**

N° rilievo:                      Codice RL:                      Data:  
 Superficie RL:                      m<sup>2</sup>                      Carta C.T.R.:  
 Località:                                      Comune:                                      Prov.:  
 Regione:                                      Nazione:  
 Descrizione fisionomica:

Rilevatori:

**DATI STAZIONALI**

Altitudine:                      m.s.l.m.  
 Inclinazione:                      °                                      Esposizione:  
 Rocciosità:                      %                      Pietrosità:                      %  
 Geologia:  
 Uso del suolo:

**STIMA DELLE COPERTURE**

	Hmax	%cop
STRATO MUSCINALE (m)		
STRATO ERBACEO (e)		
STRATO BASSO ARBUSTIVO (ba)		
STRATO ALTO ARBUSTIVO (aa)		
STRATO ARBOREO (A)		

Note:

## ELENCO FLORISTICO

A aa ba j

A aa  
ba j

1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									
7.									
8.									
9.									
10.									
11.									
12.									
13.									
14.									
15.									

## ELENCO FLORISTICO

e

e

1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									
7.									
8.									
9.									
10.									
11.									
12.									
13.									
14.									
15.									
16.									
17.									
18.									
19.									
20.									







*Questo messaggio lo dedichiamo ai folli.  
A tutti coloro che vedono le cose in modo diverso.*

*Potete citarli.*

*Essere in disaccordo con loro.*

*Potete glorificarli o denigrarli,  
ma l'unica cosa che non potete fare è ignorarli.*

*Perché riescono a cambiare le cose.*

*E mentre qualcuno potrebbe definirli folli,  
noi ne vediamo il genio.*

*Perché solo coloro che sono abbastanza folli  
da pensare di poter cambiare il mondo,  
lo cambiano davvero.*

*Gandhi*

*Grazie a tutti coloro che  
per quello che faccio o per quello che sono,  
mi hanno appellato almeno una volta nella vita  
come folle.*







Sa una cosa Professoressa Cattaneo?

La gente muore,  
e questa è l'unica cosa certa.  
Ma sembra che lei di questo,  
non se ne renda conto.