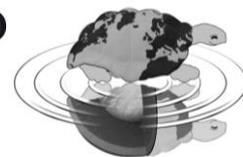




UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
SCUOLA DI DOTTORATO
TERRA, AMBIENTE E BIODIVERSITÀ



Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra
Ciclo XXIV

**L'individuazione e la caratterizzazione dei
siti di occultamento di resti umani in
ambito forense: applicazioni
geopedologiche e geoarcheologiche**

Ph.D. Thesis

Pasquale Poppa
Matricola R08101

Tutori
Dott. Luca Trombino
Prof.ssa Cristina Cattaneo

Anno Accademico
2010-2011

Coordinatore
Prof.ssa Elisabetta Erba

INDICE

1 Introduzione.....	1
1.1 Le scienze forensi: definizione, storia, aspettative.....	1
1.2 Il sopralluogo: norme, scenari e limiti.....	4
1.3 Il cadavere sepolto: un caso particolare di sopralluogo.....	8
1.4 L'archeologia forense nella ricerca e recupero di resti umani sepolti.....	9
1.5 Le moderne tecnologie nella ricerca di cadaveri sepolti: il georadar, la geofisica e la resistività elettrica	12
1.6 L'utilizzo dei cani da cadavere nella ricerca di cadaveri sepolti.....	13
1.7 La termocamera e la rilevazione di cadaveri sepolti.....	16
1.8 La botanica forense.....	17
1.9 Scopo dello studio.....	20
2 Revisione della letteratura.....	23
2.1 Metodi geofisici: il georadar	23
2.2 Metodi archeologici.....	29
2.3 Metodi botanici.....	31
2.4 Metodi geofisici: la geoelettrica	33
3 Inquadramento.....	35
3.1 Ambiente fisico.....	35
3.1.1 Inquadramento geologico.....	35
3.1.2 Morfologia.....	38
3.1.3 Substrati pedologici.....	39
3.1.4 Idrogeologia.....	39
4 Materiali e metodi.....	43
4.1 Selezione del sito.....	43
4.2 Materiali.....	45
4.3 Le sepolture.....	52
4.4 Osservazione ambientale ed esumazioni.....	53
4.1.1 Analisi del sito di deposizione.....	54
4.1.2 Analisi botaniche.....	54
4.5 Geofisica.....	55
4.5.1 Strumentazione.....	55
4.5.2 Rilievi eseguiti tramite georadar.....	60
4.6 Scavo.....	61
4.7 Esame esterno.....	62
4.8 Dati Meteo.....	63
5 Risultati.....	65
5.1 Osservazione ambientali.....	65
5.1.1 Analisi del sito di deposizione.....	65
5.1.2 Analisi botaniche.....	67
5.2 Geofisica.....	76
5.2.1 Rilevazioni Geofisiche – Radargrammi e Colorgrammi.....	76

5.3 Esumazioni.....	125
5.3.1 Prima Esumazione.....	125
5.3.2 Seconda Esumazione.....	126
5.3.3 Terza Esumazione.....	128
5.3.4 Quarta Esumazione.....	130
5.3.5 Quinta Esumazione.....	131
5.4 Esame esterno.....	134
5.4.1 Maiale 1.....	135
5.4.2 Maiale 7.....	135
5.4.3 Maiale 2.....	135
5.4.4 Maiale 11.....	135
5.4.5 Maiale 3.....	136
5.4.6 Maiale 8.....	136
5.4.7 Maiale 6.....	136
5.4.8 Maiale 10.....	136
5.4.9 Maiali 4 e 5.....	137
5.4.10 Maiale 11.....	137
6 Discussione.....	141
6.1 Geoarcheologia.....	141
6.1.1 Osservazione esterna.....	141
6.1.2 Botanica.....	141
6.2 Georadar.....	145
6.3 Temperature e precipitazioni.....	147
6.4 Esumazione.....	151
7 Conclusioni.....	153
8 Appendice - Altri metodi di ricerca e di rilievo.....	157
8.1 Fotografie satellitari.....	157
8.2 La termografia.....	159
8.2.1 Zona della ricerca.....	159
8.2.2 Strategia adottata.....	160
8.2.3 Limite della tecnica impiegata.....	161
8.2.4 Anomalie.....	162
8.2.5 Conclusioni.....	166
8.3 Indagini geoelettriche.....	166
8.3.1 Metodo di lavoro.....	167
8.3.2 Caso di studio.....	167
8.3.3 Inquadramento geologico.....	168
8.3.4 Prospezione geoelettrica.....	169
8.3.5 Dati raccolti.....	171
8.3.6 Conclusioni.....	172
8.4 Metodi di rilievo.....	173
8.4.1 Il laser scanner 3D.....	174
8.4.2 Lo scanner ambientale.....	180
8.4.3 Cani da cadavere.....	182
8.5 Conclusioni.....	183

9 Bibliografia.....185

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Le scienze forensi: definizione, storia, aspettative

Per scienze forensi si intende l'applicazione di un ampio spettro di discipline scientifiche al campo della legge, sia in ambito civile che penale. La storia delle scienze forensi procede di pari passo con l'affinamento dell'investigazione scientifica e lo sviluppo culturale (Picozzi e Intini, 2009): a tal proposito, è da osservare che sebbene negli ultimi anni le tecnologie si siano notevolmente sviluppate, la modalità di utilizzo ed il pensiero scientifico sottesi all'applicazione di tali tecniche sono molto più antiche; a titolo di esempio, si ricorda che nel IV sec. a.C. in Grecia furono redatti i primi documenti riportanti la descrizione degli effetti di alcuni veleni, antesignani della moderna tossicologia forense, mentre in Cina fra il VII ed il X sec. d. C. vengono effettuati i primi studi di dattiloscopia. L'ingresso della scienza nelle aule di tribunale viene riconosciuto in maniera esplicita agli inizi del IX sec. con il Capitularia di Carlo Magno, che impone ai giudici di utilizzare le competenze dei medici nei casi di lesioni, omicidio, infanticidio, suicidio, etc., e di valutare ogni caso alla luce delle prove fisiche e testimoniali.

Nel 1247 secolo in Cina compare il primo testo di scienze forensi finora conosciuto: viene redatto da un avvocato e investigatore di nome Sung Tzuh ed è intitolato Hsi Yuan Chi Lu, traducibile in "lo spazzare via i torti, le ingiustizie". Tale testo presenta notevoli elementi di modernità, in particolar modo nella casistica riportata, in molti casi assimilabile a quella attuale; nel 1302 a Bologna viene eseguita la prima autopsia giudiziaria, espressamente richiesta dal podestà per chiarire un caso di sospetto avvelenamento. Nel 1776 fu effettuato uno dei primi confronti odontologici a fini identificativi: un soldato americano caduto nella guerra d'indipendenza americana, tale Joseph Warren, viene gettato in una fossa comune; viene identificato dal patriota ed amico Paul Revere che aveva costruito personalmente un elemento dentario di Warren, ricavandolo da una zanna di tricheco. Al 1794 risale invece il primo caso noto d'impiego della balistica forense in un'aula di tribunale. Con l'epoca dei Lumi si definisce l'attuale strutturazione delle discipline scientifiche nell'ambito investigativo, come evidenziato dalla comparsa nel 1782 della prima rivista medico legale. Al 1855 risale invece il primo processo in cui si utilizza come prova il risultato dell'indagine entomologica, che

raggiungeranno il perfezionamento con l'opera di Jean Pierre Megnin, fra il 1883 ed il 1898. Nel 1903 si tiene a Roma il primo corso di Polizia Scientifica, fondato da Salvatore Ottolenghi, che segna l'istituzionalizzazione della fusione fra scienza e indagini investigative.

Non è possibile, data la vastità dell'argomento ed il crescente utilizzo di metodologie scientifiche 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 e la genetica, 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.

L'impossibilità di identificare quindi un solo esperto in tutte queste materie è molto spesso un limite per le Forze dell'Ordine che non ritrovano all'interno dei loro ranghi una figura professionale di questo tipo, anzi molto spesso le figure presenti sono quelle classiche, del balistico, del merceologo, del genetista e poco altro.

E' da osservare che alcuni autori evidenziano tuttavia nelle scienze forensi qualcosa di più di una semplice applicazione di metodologie preesistenti ad un problema pratico giuridico: Kirk sosteneva a tal proposito che le scienze forensi si realizzino come "scienze della comparazione", in quanto ogni loro utilizzo in campo investigativo si esplicava attraverso un confronto, ad esempio di una traccia di DNA con un profilo, di un'impronta digitale con un set di riferimento, di una morfologia dentaria con una descrizione odontologica, e così via. La qualifica forense si realizza pertanto attraverso un confronto e l'interpretazione dei risultati ottenuti, e non deriva dalle metodiche scientifiche in sé utilizzate (Kirk, 1963). Tale interpretazione risulta di

particolare interesse, con particolare riferimento all'oggetto della tesi presente, in quanto in molti casi forensi un determinato metodo scientifico, seppur applicabile, non può essere utilizzato a causa della mancanza della possibilità di confrontare i dati ottenuti con adeguati standard di riferimento, necessari per la corretta interpretazione di un risultato. Le scienze forensi in effetti non consistono nella semplice applicazione di un metodo ad un caso forense; è infatti necessario accertare la risposta del medesimo metodo in condizioni standard per assicurare una corretta interpretazione del dato fornito, e ciò può essere raggiunto attraverso l'esecuzione di test sperimentali. In definitiva, non è sufficiente che il metodo sia scientifico, ma è necessario anche accertare che tipo di risposta fornisce nelle diverse condizioni. Tale aspetto delle scienze forensi, tutt'altro che secondario, costituisce la base delle false opinioni su tale argomento sovente diffuse nella popolazione generali e rinforzate in maniera periodica dai mezzi di comunicazione di massa e dal fascino reale esercitato da tali tematiche. Già Kirk nel 1963 definiva che "le scienze forensi si occupano dell'improbabile e dell'insolito", mentre le altre scienze affrontano soprattutto "l'usuale e il comune", nella misura in cui prevedono "il normale comportamento di ogni sistema dell'universo" (Kirk, 1963). Viceversa il crimine e nello specifico l'omicidio non è qualcosa di usuale e comune, e da ciò deriva il fascino che esercitano tali tematiche: non è un caso che Bell nel 2008 definisse le scienze forensi "sexy sciences" (Bell, 2007). Tale fascino è stato ampiamente sfruttato dall'industria della fiction fin dagli albori della società di massa: basti a tal proposito ricordare i primi modelli di investigatori che utilizzano le metodiche scientifiche, quali l'avvocato Perry Mason negli anni '60 e il medico legale Quincy, in onda dal 1976 al 1983, ed ispirato alla figura del coroner Thomas Noguchi. Da quasi 10 anni l'attenzione dei media e del paese si è concentrata sulle cosiddette "scienze forensi" anche grazie al supporto, all'introduzione e alla divulgazione in Italia di tutta una serie di fiction in arrivo dagli Stati Uniti, che sono poi state riproposte in versione "italianizzata".

Questo però ha portato alla creazione di una serie di "falsi miti" e 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 della 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.

Ad esempio, le principali fiction o serial televisivi, raccontano a volte in poco più di 60 minuti una serie di indagini ed analisi che nella realtà vengono condotte con tempistiche notevolmente più lunghe e a volte con strumenti che non sono paragonabili o avvicinabili a quelli visti in TV.

Se tutto questo dovrebbe essere o è logico per chi lavora in ambiente scientifico, molto spesso non lo è per chi in qualche modo viene condizionato dalla visione di questi telefilm, e molto spesso succede che il fenomeno influisca anche sulle richieste di analisi anche degli addetti ai lavori.

Un altro elemento di discordanza fra la fiction e la realtà riguarda la significatività dei risultati ottenuti dall'applicazione del metodo scientifico: generalmente nelle opere di fantasia esiste poca ambiguità sul significato del risultato scientifico, che spesso diviene una prova dirimente per la soluzione dell'enigma. Nella realtà, poiché le scienze forensi si basano su un confronto, è necessario verificare la riproducibilità e l'attendibilità del metodo utilizzato in condizioni standard, per accertare che quel risultato sia effettivamente affidabile.

1.2 Il sopralluogo: norme, scenari e limiti

Nella stessa maniera in cui “erroneamente” viene interpretato il problema DNA, le fiction hanno generato false aspettative anche sul sopralluogo della scena del crimine e su altri aspetti e campi come quello della ricerca dei resti umani sepolti. La scena del crimine costituisce indubbiamente un elemento di notevole fascino nell'immaginario collettivo, come mostrato dalle diverse opere di fantasia che trattano, in maniera più o meno specifico, il concetto di “scena del crimine”. Nella realtà, il sopralluogo costituisce un momento estremamente delicato ed importante dell'intero impianto investigativo.

Il sopralluogo costituisce un importante mezzo di indagine per l'accertamento di reato, per la ricostruzione dell'epoca e della modalità, per l'identificazione del reo. Il codice di procedura penale fa riferimento a tale procedura nell'ambito degli “accertamenti urgenti sui luoghi, sulle cose e sulle persone” (art. 354 c.p.p.) che così recita (Codice Penale, Alibrandi, 2007):

1. gli ufficiali e gli agenti di polizia giudiziaria curano che le tracce e le cose pertinenti al reato siano conservate e che lo stato dei luoghi e delle cose non venga mutato prima dell'intervento del pubblico ministero;

2. se vi è pericolo che le cose, le tracce e i luoghi indicati nel comma 1 si alterino o si disperdano o comunque si modifichino e il pubblico ministero non può intervenire

tempestivamente ovvero non ha ancora assunto la direzione delle indagini, gli ufficiali di polizia giudiziaria compiono i necessari accertamenti e rilievi sullo stato dei luoghi e delle cose. Se del caso, sequestrano il corpo del reato e le cose a questo pertinenti;

3. Se ricorrono i presupposti previsti dal comma 2, gli ufficiali di polizia giudiziaria compiono i necessari accertamenti e rilievi sulle persone diversi dalla ispezione personale. Se gli accertamenti comportano il prelievo di materiale biologico, si osservano le disposizioni del comma 2 bis dell'articolo 349.

E' da osservare che in nessun punto dell'articolo viene chiaramente citato il termine sopralluogo giudiziario, che pure è comunemente utilizzato nella pratica quotidiana, trattandosi di un'espressione di origine antica: la prima prova documentari di tale termine risale al 1626, ove il "sopraloco" viene definito come "ispezione di luoghi disposta ed eseguita di persona dall'autorità giudiziaria".

L'articolo 354 c.p.p. quindi attribuisce ad ufficiali ed agenti di polizia (di cui il medico legale, l'antropologo forense e l'archeologo forense si configurano gli ausiliari) il compito di preservare le tracce e cose pertinenti al reato, e di impedire ogni mutazione dei luoghi e delle cose prima dell'acquisizione dell'incarico da parte del pubblico ministero. Il sopralluogo pertanto si configura come un intervento prettamente conservativo ed immediato che solo in condizioni particolari, ovvero laddove vi sia un reale pericolo di dispersione od alterazione delle prove e il magistrato non possa direttamente intervenire in tempi rapidi, richiede anche l'esecuzione di accertamenti e rilievi. L'attività di sopralluogo rientra pertanto più genericamente nelle attività descritte nell'art. 348 c.p.p. che riguarda l'assicurazione delle fonti di prova; tale articolo ricorda che anche dopo la comunicazione della notizia del reato la polizia giudiziaria continua l'attività prevista nell'articolo 55 c.p.p., ovvero "compiere gli atti necessari per assicurare le fonti di prova e raccogliere quant'altro possa servire per l'applicazione della legge penale".

Un altro articolo che riguarda l'attività di sopralluoghistica è il 244 c.p.p. che recita (Codice Penale, Alibrandi, 2007):

1.l'ispezione delle persone, dei luoghi e delle cose è disposta con decreto motivato quando occorre accertare le tracce e gli altri effetti materiali del reato

2.se il reato non ha lasciato tracce o effetti materiali, o se questi sono scomparsi o sono stati cancellati o dispersi, alterati o rimossi, l'autorità giudiziaria descrive lo stato attuale e, in quanto possibile, verifica quello preesistente, curando anche di individuare modo, tempo e cause delle eventuali modificazioni. L'autorità giudiziaria può disporre rilievi segnaletici, descrittivi e fotografici e ogni altra operazione tecnica

E' subito da sottolineare le aporie insite nella definizione dei compiti del sopralluogo giudiziario, ed in particolar modo la doppia valenza dell'attività della polizia giudiziaria, improntata alla conservazione e contemporaneamente al rilievo ed agli accertamenti delle prove presenti sulla scena in condizioni di urgenza. E' da notare che la giurisprudenza distingue le procedure di rilievo da quelle di accertamento, essendo le prime caratterizzate da un'osservazione neutra da un punto di vista valutativo, ma intrinsecamente irripetibile, della scena del crimine, mentre le seconde si traducono in un'attività valutativa che talvolta può comportare la modificazione del reperto. Si tratta in entrambi i casi di attività che superano la pura e semplice conservazione del reperto, ma che inducono una prima attività di indagine, anche con valenza probatoria, che in alcuni casi possono prendere le forme di vere e proprie perizie. Tale bivalenza dell'attività del sopralluogo, unita alla sostanziale soggettività del giudizio di urgenza necessario per il passaggio alla fase di esecuzione di rilievi ed accertamenti, costituisce uno dei limiti principali della definizione giuridica dell'attività di sopralluoghistica che risulta caratterizzata da una fluidità di comportamenti e di norme. A fianco di tali difficoltà di definizione, sussistono inoltre le complicazioni pratiche dell'attività di sopralluogo che possono, in parte, spiegare l'assenza di norme giuridiche ben determinate e ne costituiscono la specificità. L'attività di sopralluoghistica infatti costituisce un momento fondamentale delle prime fasi investigative, in quanto consente di analizzare in maniera rapida il cadavere nel contesto dell'ambiente ove si è svolto il crimine. Il sopralluogo come procedura di indagine ha ricevuto un decisivo contributo da Salvatore Ottolenghi che codificò tale procedura definendola il "portrait parlè", il "ritratto parlato" del crimine.

Esistono diversi protocolli internazionali riguardanti la corretta esecuzione del sopralluogo, tutti focalizzati sull'importanza dell'approccio multidisciplinare. Gli scopi del sopralluogo consistono nella ricerca e preservazione degli indizi materiali presenti sulla scena, che si realizzano attraverso la fissazione del quadro ambientale nel quale si è svolta l'azione.

E' tuttavia da osservare che, a fianco della variabilità di comportamenti e di situazioni, esiste un'enorme responsabilità per le diverse figure professionali presenti sul posto, che deriva dalla specifica natura dell'attività di sopralluogo. Da un punto di vista giuridico infatti il sopralluogo costituisce un'operazione non ripetibile, in quanto la documentazione ed ancora di più il prelievo di tracce non possono essere più effettuati successivamente o, se pure possono essere ripetuti, non potranno focalizzarsi sulle stesse tracce già precedentemente esaminate. Tale definizione differenzia l'attività di sopralluogo da quelle altre procedure considerate ripetibili, in quanto la loro esecuzione non compromette la possibilità di utilizzare le stesse procedure in futuro.

Le attività irripetibili sono regolamentate dall'art. 360 del codice di procedura penale, che così recita (Codice Penale, Alibrandi, 2007):

- 1. Quando gli accertamenti previsti dall'articolo 359 riguardano persone, cose o luoghi il cui stato è soggetto a modificazione, il pubblico ministero avvisa, senza ritardo, la persona sottoposta alle indagini, la persona offesa dal reato e i difensori del giorno, dell'ora e del luogo fissati per il conferimento dell'incarico e della facoltà di nominare consulenti tecnici.*
- 2. Si applicano le disposizioni dell'articolo 364 comma 2.*
- 3. I difensori nonché i consulenti tecnici eventualmente nominati hanno diritto di assistere al conferimento dell'incarico, di partecipare agli accertamenti e di formulare osservazioni e riserve.*
- 4. Qualora, prima del conferimento dell'incarico, la persona sottoposta alle indagini formuli riserva di promuovere incidente probatorio, il pubblico ministero dispone che non si proceda agli accertamenti salvo che questi, se differiti, non possano più essere utilmente compiuti.*
- 5. Se il pubblico ministero, malgrado l'espressa riserva formulata dalla persona sottoposta alle indagini e pur non sussistendo le condizioni indicate nell'ultima parte del comma 4, ha ugualmente disposto di procedere agli accertamenti, i relativi risultati non possono essere utilizzati nel dibattimento.*

L'articolo 359 c.p.p. riguarda la nomina di consulenti tecnici da parte del pubblico ministero quando procede ad "accertamenti, rilievi segnaletici, descrittivi o fotografici e ad ogni altra operazione tecnica per cui sono necessarie specifiche competenze". L'articolo 364 c.p.p. invece regola la nomina e assistenza del difensore, ed in particolar modo sancisce che la persona sottoposta ad indagini "è assistita da un difensore di ufficio, ma che può nominarne uno di fiducia". In definitiva pertanto dalle norme sopra ricordate emerge la necessità di garanzia dell'imputato che deve essere a conoscenza di eventuali procedure non ripetibili per poter essere adeguatamente rappresentato ed assistito in una fase di indagine in cui inevitabilmente le condizioni dello stato dei luoghi e delle tracce sarà alterato. Le operazioni non ripetibili, proprio perché possono essere eseguite in un'unica occasione, richiedono la più ampia garanzia di informazione ed assistenza dell'imputato, in assenza delle quali, qualora tali operazioni vengano comunque messe in opera, i risultati ottenuti non potranno avere alcun valore dibattimentale. Risulta aggravata la contraddizione insita nella regolamentazione del sopralluogo: oltre ad essere un'operazione che richiede documentazione ma anche il prelievo delle tracce, è anche una procedura di emergenza, ma che richiede le più ampie garanzie dell'imputato. Da tali contrasti

deriva la difficoltà di esecuzione e di standardizzazione delle norme operative del sopralluogo, che sono spesso legate ai contesti specifici in cui viene praticato.

Non esiste infatti un sopralluogo “classico” nel senso proprio del termine, ma esistono diversi scenari in cui il sopralluogo deve essere eseguito adattando le metodiche di documentazione e campionamento. Inoltre l’ambiente dove il sopralluogo si effettua si è molto diversificato, passando da ambienti completamente antropizzati ed urbanizzati fino ad ambienti e aree sub-rurali e rurali, dove l’antropizzazione è minima oppure assente.

1.3 Il cadavere sepolto: un caso particolare di sopralluogo

In molti casi inoltre alle fasi di documentazione e campionamento, si aggiunge preliminarmente l’operazione di ricerca del cadavere, che, seppur presente nella zona di indagine, è sepolto sotto terra. Tale eventualità costituisce una modalità comune di occultamento del cadavere, soprattutto nell’ambito della criminalità organizzata, e spesso l’attività di sopralluogo richiede non solo la ricerca *sul* cadavere, ma anche e soprattutto la ricerca *del* cadavere.

E’ chiaro che quanto più il cadavere si sposta dalla sala anatomica ed entra nella scena del crimine, ove viene rinvenuto, e più diventa importante la collaborazione con altre figure professionali che si occupino del contesto naturale in cui il cadavere è compreso e con cui entra in relazione.

Ecco perché nasce l’esigenza di svolgere molto spesso i sopralluoghi tramite l’ausilio di un team di esperti che possano interagire dando al sopralluogo quel taglio di multidisciplinarietà che molto spesso nel campo delle scienze forensi è alla base di un successo e di una accurata analisi; molto spesso infatti (e non solo in campo scientifico) c’è la tendenza ad improvvisarsi “tuttologi”, ciò oltre ad essere dannoso per il procedimento all’interno del quale si compie l’opera, non porta sicuramente ai massimi risultati neanche dal vista tecnico.

Ecco allora che è nata l’esigenza da parte degli inquirenti e di chi svolge le indagini di potersi avvalere di un pool di esperti esterni ognuno competente nella propria materia e che eccelle nell’uso delle moderne tecnologie e dei metodi di indagine che il suo campo gli mette a disposizione.

Tale approccio multidisciplinare è ancora più necessario se possibile laddove è necessario ritrovare un cadavere sepolto: gli scenari in cui tale eventualità accade sono molto vari. In genere

la ricerca inizia dalle dichiarazioni di un pentito che, a volte a distanza di molti anni, riferisce una sepoltura ed indica in termini generali la zona ove è avvenuta. Generalmente viene indicata un'area in cui eseguire le ricerche in quanto a distanza di tempo dagli eventi e con il mutamento dello scenario ambientale l'esatta posizione è spesso irricognoscibile. L'area da ricercare può essere anche molto vasta, e le difficoltà pratiche relative ai mezzi ed agli uomini da impiegare spesso si scontrano con la necessità di analizzare in maniera dettagliata l'intera zona.

In più è da osservare che molto spesso le Forze dell'Ordine tendono ad applicare in tali casi specifici le procedure di indagine comunemente messe in campo nel caso dei sopralluoghi comuni, spesso finalizzate al recupero tempestivo e spesso purtroppo altamente distruttivo del cadavere, senza l'impiego di personale specializzato nelle scienze forensi (archeologia, botanica, geologia) comunemente implicate nello scenario di ricerca. Il risultato è un recupero affrettato, spesso distruttivo, sovente non adeguatamente documentato che porta alla perdita di importanti informazioni utili per le attività investigative. Vengono in mente a tale proposito immagini scientificamente raccapriccianti di casi mediatici in cui enormi pale meccaniche devastano il terreno in maniera distruttiva e confusa alla ricerca di bambini scomparsi.

Da quanto sopra esposto tuttavia risulta chiaro che nell'ambito della sopralluoghistica non esiste un unico procedimento da mettere in campo in tutti i casi, ma un insieme di procedure da mettere in campo nelle diverse situazioni. Il sopralluogo dovrebbe essere sostanzialmente flessibile ed adattarsi alle diverse condizioni e necessità; allo stesso modo, la sepoltura di un cadavere non deve essere vista come un ostacolo al suo recupero, ma anche come una fonte preziosa di prove ed informazioni che possono essere disponibili a patto che le operazioni di ricerca e recupero vengano eseguite in maniera corretta.

Da qui nasce la necessità dell'approccio archeologico al recupero di resti umani forensi.

1.4 L'archeologia forense nella ricerca e recupero di resti umani sepolti

Sempre più spesso dalle Procure di tutta Italia arrivano richieste di ricerca di resti umani sepolti. Le richieste sono solitamente molto generiche e varie; si ricercano infatti cadaveri scomparsi e/o occultati recenti e fino anche a 30 anni fa e solitamente la richiesta è finalizzata alla conclusione e/o all'accertamento di ipotesi che scaturiscono dalle indagini, ad esempio a seguito di testimonianze, intercettazioni e collaborazioni.

Quando parliamo di Archeologia Forense, parliamo delle fasi e delle tecniche che partendo dalle metodiche di screening per la ricerca di un sito di occultamento, passano attraverso la descrizione delle giuste metodiche per lo scavo e soprattutto per il corretto recupero dei resti.

L'archeologia forense è definibile come l'adattamento allo scenario forense delle scienze archeologiche, intese non solo come studio degli avvenimenti post-deposizionali, ma anche come applicazioni della metodologia e della documentazione di scavo tesa al recupero di resti umani.

Benché, quindi, il termine "archeologia forense" possa sembrare una contraddizione in termini, in termini pratici si può affermare che i dettami dell'archeologia sono fondamentali quando il "materiale del sito", ad esempio, è costituito da resti umani inumati o comunque nascosti, da ossa riaffioranti di datazione incerta, ma anche da cadaveri carbonizzati. Inoltre prima ancora di rinvenire i resti, quando è necessario ricercare cadaveri occultati la pianificazione delle operazioni impiega le metodologie comunemente utilizzate dagli archeologi.

L'antropologia forense è l'applicazione dell'antropologia fisica ai casi giudiziari e a quelli riferibili a violazioni dei diritti umani. Citando la definizione dell'American Board of Forensic Anthropology, tale disciplina si occupa dell'identificazione di resti umani scheletrizzati, gravemente compromessi dalla putrefazione o comunque non identificabili. Tornando alla scena, la presenza di un esperto formato in antropologia forense risulterà indispensabile per reperire correttamente i resti, tanto più se in presenza di elementi di dimensioni ridotte o scarsamente riconoscibili, eseguire i prelievi necessari per la determinazione dell'epoca della morte ed effettuare in situ le prime valutazioni utili a orientare le indagini.

L'archeologia forense "nasce" a metà degli anni '70 negli Stati Uniti D'America, tra i primi articoli pubblicati sul tema vi è quello pubblicato sul Journal of Forensic Science dal titolo "Forensic Archaeology" di D. Morse datato 1976 (Morse et al, 1976), mentre il primo libro di testo che affronta la materia è dello stesso Morse ed è datato 1983 (Morse et al, 1983). Il primo libro di testo pubblicato in Europa è datato 1996, scritto dall'inglese J. Hunter, attualmente uno dei maggiori esperti del settore (Hunter e Cox, 2005). Negli ultimi quindici anni vi è stato un forte sviluppo dell'archeologia forense, testimoniato dal crescente numero di pubblicazione di articoli scientifici (si pensi che nel 2001 un intero volume del Journal of Historical Archaeology è stato dedicato alla materia) e dall'interesse che questa disciplina sta riscuotendo in tema di diritti umani (fosse comuni riferibili a crimini di guerra) (Haglund e Sorg, 2002)(Hunter et al, 2005): tale interesse si manifesta anche attraverso lo sviluppo di progetti di ricerca specifici legati allo studio del comportamento dei cadaveri sepolti ed all'utilizzo delle scienze afferenti

quali la geopedologia, la botanica e l'entomologia, alla stessa archeologia e l'antropologia forense come alla tafonomia (Haglund e Sorg, 2002)(Haglund e Sorg, 2006).

Al 1988 risale uno dei primi casi di utilizzo di tali procedure, applicate al caso del rinvenimento di un minore, Stephen Jennings, e che ha inaugurato l'inizio dell'affiancamento delle tecniche archeologiche alle indagini in casi di occultamento. Attualmente in Gran Bretagna l'archeologia forense è regolamentata da un Consiglio, supportato dal governo centrale, il CRFP (Council for the Registration of Forensic Practitioners), nato nel 2000 con lo scopo di standardizzare le procedure di applicazione e la professionalità degli specialisti coinvolti.

In Italia le potenzialità dell'archeologia forense e della sua applicazione agli scenari forensi è ancora poco conosciuta dalle autorità giudiziarie che spesso commissionano il recupero di resti umani sepolti a personale privo di ogni conoscenza di natura stratigrafica, con il rischio di compromettere o addirittura perdere preziosi elementi di prova; solo negli ultimi anni, con una paziente opera di informazione abbinata alla dimostrazione in casi pratici delle potenzialità delle metodiche archeologiche forensi ha portato in alcune realtà geografiche ad una maggiore confidenza delle autorità giudiziarie con tale approccio, con evidenti vantaggi. Tale processo si è accompagnato ad un aumento del numero di corsi di perfezionamento e di aggiornamento sull'argomento sia in ambito universitario che fra le Forze dell'Ordine, nonché dalla predisposizione di studi sperimentali specificamente sviluppati per l'analisi del comportamento dei resti inumati da un punto di vista botanico, entomologico e geopedologico, che iniziano ad allineare la produzione scientifica nazionale su tale delicato ambito di studi a quanto pubblicato in ambito internazionale. Esiste pur sempre il problema della formazione, attualmente pressoché inesistente in ambito europeo.

Così come tutte le scienze forensi, anche l'archeologia si sviluppa di pari passo con le tecnologie disponibili verso modalità di ricerca sempre meno invasive: è evidente che, nel contesto di un'attività di ricerca, in ogni caso inclusa nell'attività di sopralluogo, hanno un rilievo particolare tutte le modalità di indagine che comportino il minor sconvolgimento del terreno garantendo la conservazione dell'area analizzata. Esistono diverse modalità non invasive per localizzare una sepoltura: importanti informazioni possono provenire dallo studio delle modificazioni di vegetazione presenti nella zona attraverso gli strumenti della botanica forense. La presenza di cadaveri sepolti può anche essere segnalata dall'utilizzo di cani da cadavere, specificamente addestrati all'identificazione dei corpi in decomposizione. A tali metodiche si aggiunge inoltre il contributo delle moderne tecnologie, con lo sviluppo del georadar e della termografia, di sempre

maggiore utilizzo in ambito forense. Di ognuna di tali discipline verrà fornita nei seguenti paragrafi una descrizione dettagliata.

1.5 Le moderne tecnologie nella ricerca di cadaveri sepolti: il georadar, la geofisica e la resistività elettrica

Il georadar e le strumentazioni di rilevazione in profondità costituiscono un prezioso strumento per la ricerca di resti umani sepolti, come evidenziato da numerosi studi sull'argomento: tali metodiche sono infatti non distruttive, e pertanto in grado di apportare importanti informazioni sulla presenza di eventuali sepolture senza provocare sconvolgimenti dell'ambiente. La sua diffusione è tuttavia ancora limitata dal costo delle attrezzature, ancora proibitive per molte strutture, e per la necessità di personale specializzato che compia le scansioni e legga i tracciati (Schultz, 2007). La sua utilità fu dimostrata nelle operazioni di identificazione di cimiteri, e progressivamente fu il georadar fu applicato anche ai casi forensi, seppur in maniera occasionale. E' da osservare in effetti che in ogni caso l'utilizzo di georadar costituisce un test di screening non invasivo per la ricerca di anomalie, la cui reale esistenza può essere confermata unicamente attraverso l'utilizzo di metodiche invasive; da questo punto di vista, tale tecnologia è utile per identificare le possibili aree di deposizione, ma è in questa fase del processo che acquista importanza l'esperienza dell'operatorie che deve essere in grado di distinguere con precisione le vere anomalie dai falsi positivi. Il vero limite della metodica non è tuttavia determinato dai falsi positivi, che pure possono sussistere ed essere riconosciuti da metodiche più invasive, ma dai falsi negativi, che impediscono di riconoscere il sito di deposizione ove realmente si trova. Tale limite rischia realmente di pregiudicare l'applicabilità della metodica in ambito forense, ed è in questa fase che acquista enorme importanza l'esecuzione di studi sperimentali che chiariscano il ruolo delle variabili intrinseche ed estrinseche nel determinismo della risposta del georadar.

Nella stessa maniera le indagini di resistività elettrica possono essere adoperate per sondare l'avanzamento dello stato di putrefazione di un cadavere sepolto; il processo di decomposizione degli organismi viventi infatti, é complesso e dipende da un grande numero di fattori. Un corpo sepolto va incontro a un processo molto più lento rispetto a un corpo che giace sulla superficie terrestre. Giacché non è facile indagare una vasta estensione di terreno alla ricerca di un cadavere

e determinare poi il tempo trascorso dal momento del decesso al momento del ritrovamento, ci si propone di trovare un metodo che possa semplificare l'iter di indagine.

L'indagine Geoelettrica si avvale del metodo della tomografia elettrica, procedimento che permette di ottenere immagini bidimensionali o tridimensionali di sezioni di terreno. Tali immagini mostrano, attraverso una scala di colori, i valori di resistività di tutti i punti del sottosuolo e tramite opportuni software consente di passare dai dati acquisiti su campo alla rappresentazione grafica prima descritta

Tali software permettono inoltre di effettuare una particolare indagine, denominata di tipo "Time-Lapse" che consente di studiare le variazioni di resistività nel tempo e di confrontare diverse immagini resistive del terreno per evidenziare le differenze

1.6 L'utilizzo dei cani da cadavere nella ricerca di cadaveri sepolti

Sempre per quanto riguarda la ricerca non invasiva di corpi, negli ultimi tempi sta acquisendo sempre maggiore importanza l'utilizzo di cani da cadavere. La figura del cane da cadavere, fino a poco fa inesistente in Italia, è tuttavia da diverso tempo una componente usuale nelle squadre di ricerca dei Paesi anglosassoni e del Nord Europa. Tale specializzazione ha avuto inizio negli anni '70 ad opera di un istituto di ricerca militare statunitense ed ha avuto negli anni successivi un'ampia diffusione presso le Forze di Polizia, andando ad integrare le comuni procedure di ricerca. L'intervento dei cani da cadavere rimane ancora oggi, pur in presenza degli importanti sviluppi tecnologici osservati negli ultimi anni, un prezioso strumento non invasivo per la ricerca di resti umani.

L'utilizzo dei cani da cadavere si basa sul sensibilissimo olfatto di tali animali: in un cane di media taglia la superficie totale della mucosa olfattiva è di 150 cm², contro i soli 5 cm² di un uomo adulto, ed è spesso un decimo di millimetro contro i 5 millesimi di millimetro dell'uomo. Le cellule olfattive canine sono circa 225 milioni, contro i 15 milioni di un essere umano; come conseguenza, il cane ha una capacità 500/700 volte superiore di percepire odori. Il cane può percepire infatti l'odore di 2 mg di siero di sangue od anche di 5 mg di urina, e percepisce l'acido acetico in soluzione acquosa in rapporto di 1 parte su 1 milione. I cadaveri forniscono un substrato ideale per la ricerca da parte dei cani, in quanto si tratta di razze prevalentemente

carnivore, e pertanto meglio disposte agli odori di tipo animale, mentre quelli di tipo chimico o vegetale (nel caso di ricerche di esplosivi o di droga) richiedono uno specifico addestramento.

I cani più utilizzati per la ricerca e recupero sono i Labrador ed i Golden Retriever, seppur non esistano razze più o meno adatte a questo genere di attività, trattandosi di un comportamento di tipo acquisito che dipende pertanto dalle specifiche capacità di apprendimento del cane. Le razze sopra elencate tuttavia presentano una maggiore frequenza in quanto tali esemplari hanno un grado di apprendimento maggiore ed una più ampia comunicatività; inoltre hanno un fisico robusto, che consente loro di resistere alla fatica e di superare le difficoltà dell'ambiente.

Perché tuttavia l'odore possa essere rilevato e pertanto comunicato, è necessario che superi una determinata soglia e che permanga nell'attenzione del cane per un periodo di tempo sufficiente: in altri termini è necessario che l'odore superi la soglia di stimolo ed abbia un elevato tempo di attenzione, ovvero sia sufficientemente intenso da innescare un riconoscimento, e permanga per un periodo di tempo sufficiente perché il cane vi presti attenzione e lo comunichi. Su tali funzioni si basa l'addestramento dei cani, che prevede l'utilizzo di "esche" di materiale odoroso: tale materiale può essere costituito da carne di maiale, pezze imbevute di sangue, denti umani, o sostituti chimici quali la cadaverina e la putrescina. Esistono a tal proposito composti industriali (quali lo Pseudocorpo 1 e 2, soluzioni della SIGMA Chemicals, USA) che sono sicuri per i cani e per l'ambiente circostante. Tali prodotti inoltre hanno vantaggi non trascurabili, quali la mancanza di odore per l'uomo, la facilità di utilizzo e di trasporto. Eventualmente si possono anche utilizzare palline da tennis o garze rimaste per un certo periodo di tempo vicino a corpi in decomposizione. Per prove di qualche giorno si possono utilizzare pezzi di maiale, in vari stadi di decomposizione; per prove più impegnative di ricerca, da effettuarsi a distanza di mesi, si utilizzano invece maiali interi del peso di 3-5 Kg, sepolti a profondità comprese fra 10 e 80 cm, spogli o rivestiti per la simulazione degli indumenti indossati dal cadavere. I denti umani sono un'ottima "esca", in quanto risultano un insieme di tessuti molli e duri, ed inoltre sono di facile trasporto ed utilizzo.

Le "esche" devono sempre essere collocate negli ambienti senza essere toccati a mani nude, per evitare qualunque rischio di contaminare con il proprio odore il materiale da cercare.

L'addestramento successivo si basa su una necessaria ed imprescindibile intesa fra il cane ed il conduttore: il cane deve essere ben socializzato con gli uomini ed ubbidire all'operatore, che a sua volta dovrà sviluppare un saldo rapporto di intesa gregario/capobranco con il suo animale. La ricerca di un cadavere infatti si configura per il cane come una battuta di caccia ove il cane si comporta da gregario e l'operatore è il capobranco; il rinvenimento del cadavere viene pertanto

inteso come la cattura della preda, la cui spartizione viene riprodotta dall'utilizzo di un gioco preferito da parte dell'operatore. E' chiaro che tale attività richiede un rapporto consolidato negli anni fra l'uomo e l'animale; già da cuccioli, l'operatore può iniziare un primo addestramento alla ricerca nascondendo i giocattoli del cane o abituando il cane a cercare cose od oggetti. Il training di base si basa su carne di maiale sepolta, tramite l'esecuzione di piccoli fori nel terreno di circa 3 cm di diametro ad una profondità di una decina di metri, a distanza di circa 30 cm l'uno dall'altro, in linea retta per 10 metri e su più file sfasate fra loro di 15 cm. Il cane deve seguire tale percorso ed abituato a segnalare ove si trova il frammento di maiale sepolto. Il segnalamento avviene in maniera naturale tramite il grattamento del suolo ad opera del cane o abbaiando. Tale attività viene replicata in diversi ambienti (su mattoni, cemento, etc.) e affinando il rapporto fra rinvenimento e gratificazione da parte dell'operatore. Il conduttore deve essere all'oscuro della posizione del reperto, ed in tal modo impara anch'egli a percepire ed interpretare i segnali dati dal cane.

Il tipo di segnalazione richiede anch'esso un tipo speciale di addestramento: la maggior parte dei cani viene addestrata a segnalare fermandosi e sedendosi di fronte alla sorgente di odore aspettando la gratificazione; tale comportamento costituisce l'attesa per il "salto del coniglio", ovvero per l'uscita dalla tana della preda localizzata. Il conduttore, senza farsi vedere dal cane, fa comparire il suo giocattolo nel punto fissato dal cane instaurando la gratificazione. In alternativa il cane può grattare nel terreno, comportamento focalizzato a verificare se l'odore incrementa con l'asportazione del terreno. In altri cani maggiormente comunicativi si instaura un comportamento finalizzato a portare il conduttore sul luogo attraverso dei viaggi fra il luogo di segnalazione e la posizione dell'operatore. In alcuni casi è possibile effettuare dei sondaggi tramite T-bar nel terreno allo scopo di permettere una maggiore fuoriuscita dell'odore ed una sua maggiore identificazione. Le T-bar sono aste a forma di T della lunghezza di circa 100 cm, del diametro di cm 2.5, cave all'interno con apertura di 40 cm sul lato, utilizzate anche in ambito archeologico per verificare la consistenza del terreno in profondità per la ricerca di anomalie.

Gli scenari di ricerca nei quali può intervenire il cane da cadavere sono molteplici: il corpo può essere localizzato in un'area ampia, il che richiede una suddivisione in settori di 20 m x 30 m, o in un'area ristretta, di 10 m x 10 m, con la necessità di una ricerca di precisione. I resti inoltre possono essere dispersi in un'ampia area o, al contrario, possono essere presenti più cadaveri nello stesso ambiente (come nei casi di mass disaster).

La piena potenzialità di tale metodo è ancora da esplorare: tuttavia, è da ricordare che il successo delle operazioni di ricerca dipende anche dall'organizzazione dell'attività, che deve tenere conto

della fatica e delle possibili distrazioni del cane. Di fondamentale importanza risulta pertanto la coordinazione fra diversi cani e la pianificazione dell'attività con le altre figure presenti sul posto, come l'archeologo forense, il medico legale, l'antropologo forense.

1.7 La termocamera e la rilevazione di cadaveri sepolti

La termografia è una tecnica di telerilevamento effettuata tramite l'acquisizione di immagini (informazione) nel campo dell'infrarosso.

Con il termine termografia si intende la visualizzazione bidimensionale della misura di irraggiamento, ottenuta attraverso l'utilizzo di una termocamera, ovvero uno strumento per eseguire controlli di tipo termografico. Si tratta in definitiva di un esame non invasivo e non distruttivo, che rileva le radiazioni nel campo dell'infrarosso dello spettro elettromagnetico e fornisce una quantificazione della loro emissione.

Lo strumento è in grado di rilevare le temperature dei corpi analizzati attraverso la misurazione dell'intensità di radiazione infrarossa emessa dal corpo in esame ove la temperatura sia superiore allo zero. Il metodo termografico trova oggi applicazione in numerosi campi di ricerca, ed in particolar modo in siderurgia, edilizia, veterinaria, industria chimica, beni culturali, aeronautica, protezione dell'ambiente. Di particolare interesse è l'utilizzo della termografia in ambito edile, ove viene utilizzata come test diagnostico non invasivo delle condizioni di conservazione di edifici, ed in ambito clinico ove riveste una particolare importanza per la localizzazione e la diagnosi di patologie tumorali (Umadevi et al., 2011) e nella medicina cardiovascolare (Huang et al., 2011). In medicina legale le metodiche di rilevazione termografiche trovano utilizzo per il rilevamento e lo studio dei fenomeni di raffreddamento del cadavere (algor) ai fini della stima dell'epoca della morte (Cattaneo et al., 2009).

In ambito archeologico, le uniche applicazioni conosciute riguardano la possibilità di eseguire esami su affreschi e dipinti (Pepe et al., 2011) in maniera conservativa, senza l'esecuzione di prelievi o sondaggi distruttivi.

In ambito archeologico forense la termografia può apportare rilevanti informazioni, in quanto è in grado di segnalare difformità di temperatura in profondità che potrebbero derivare da un processo putrefattivo in atto; da questo punto di vista, le indagini termografiche acquisiscono una rilevante importanza in quanto non invasive: nondimeno, al momento attuale non esistono studi validati che descrivano l'utilizzo di tale tecnologia alla ricerca di cadaveri sepolti.

1.8 La botanica forense

Nell'ambito della ricerca di resti sepolti particolare importanza acquisisce l'analisi della vegetazione presente sul sito. La botanica forense include tutte le applicazioni alle scienze forensi delle conoscenze concernenti il mondo vegetale, che convenzionalmente comprende le piante superiori (felci e piante a seme), muschi, licheni, alghe e funghi. La piena affermazione di tale disciplina è recente: il primo utilizzo in ambito forense delle tematiche botaniche risale al 1935, in occasione del rapimento ed uccisione di Charles Lindbergh Jr, figlio dell'aviatore; in tale frangente la botanica forense consentì di concludere che la scala utilizzata per il rapimento del bambino era stata ricavata dal legno del portico del sospettato. Seppur con aspri dibattiti in merito alla possibilità di accettare in tribunale tale strumento di prova, la validità dell'indagine fu confermata dal verdetto che condannò a morte l'imputato.

Il ruolo della botanica, già ampiamente riconosciuto e verificato in altri campi delle scienze forensi (Miller et al., 2006), è tuttavia ancora sottostimato in letteratura, come evidenziato dal ridotto numero di case reports sull'argomento. Nell'analisi di una sepoltura clandestina l'uso congiunto dello studio del suolo e delle piante, considerato un esempio di "environmental profiling" (Brown, 2006) negli ultimi anni si è focalizzato soprattutto sul polline nel tentativo di collegare uno o più sospetti alla scena del crimine (Brown, 2006; Brown et al, 2002). Tuttavia anche la vegetazione nell'area di sepoltura può riportare apprezzabili modificazioni determinate dalla presenza del sito di deposizione (Miller et al., 2006; France et al., 1992; Watson e Forbes, 2008; Tibbet e Carter, 2003); lo scavo di una sepoltura e la presenza di un corpo in decomposizione nel terreno possono essere viste come esempi particolari di condizioni ambientali in grado di influire sul normale ritmo di sviluppo delle piante, innescando risposte specifiche. In tal senso la successione delle piante può avere un ruolo importante nell'identificazione di un sito di deposizione qualora siano identificate tali modificazioni specifiche. Un ostacolo all'utilizzo dell'indagine botanica nel campo forense è costituito dall'ampia variabilità di piante in base al contesto geografico: tali variazioni rendono di fatto ogni area unica e limita la possibilità di generalizzare i risultati raggiunti.

In termini pratici, la botanica forense viene utilizzata in due grandi ambiti: le ricostruzioni ambientali, ovvero la definizione di un determinato luogo geografico sulla base della flora presente, e le ricostruzioni temporali, ovvero la datazione di una sepoltura o dell'epoca di esposizione di un reperto.

Nell'ambito del capitolo delle ricostruzioni ambientali vengono trattati i casi in cui la presenza di materiale vegetale di diverso tipo consente di individuare l'ambiente in cui un reperto è stato esposto, e pertanto di identificare i possibili spostamenti subiti nel tempo. Il concetto di base si fonda sulla specificità delle diverse specie vegetali che possono sopravvivere unicamente in determinati ambienti; da questo punto di vista le diverse specie vegetali si caratterizzano come indicatori ecologici, tanto più precisi ed importanti per l'indagine forense quanto più le specie analizzate hanno esigenze ristrette, e pertanto sono presenti in ambienti peculiari.

In ambiente terrestre le specie più spesso rinvenute adese ai resti umani sono alghe terrestri, licheni, briofite, funghi; le alghe sono organismi unicellulari che si presentano come una patina verde aderente al substrato: sono abbastanza ubiquitarie e la loro presenza è correlata unicamente con la persistenza dei resti in un ambiente umido ed ombroso. Anche le briofite, delle quali i più importanti rappresentanti sono i muschi, vivono in ambienti ombrosi e colonizzano praticamente ogni superficie libera.

I licheni sono invece il risultato di una simbiosi fra un fungo ed un'alga, e sono organismi in grado di crescere su ogni tipo di substrato; sono tuttavia sensibili all'inquinamento, e quindi assenti in aree urbane. I funghi a differenza delle altre specie sono organismi eterotrofi, ovvero traggono dal substrato le sostanze organiche per vivere, e pertanto possono prendere parte ai processi di decomposizione; l'identificazione della specie e della fase del ciclo vitale possono dare preziose informazioni sull'ambiente di decomposizione (Ishii et al., 2007). Taluni funghi possono inoltre sopravvivere a condizioni ambientali proibitive, quali temperature intorno agli 0°C.

In acqua acquisiscono particolare importanza le diatomee, alghe unicellulari in grado di produrre un guscio siliceo esterno resistente e variabile in base alle specie. Lo studio delle diatomee nei tessuti viene ancora oggi utilizzato per la diagnosi di annegamento nei corpi rinvenuti in acqua (Piette e De Letter, 2006), seppure sia stato ampiamente dimostrato il peso delle forme di contaminazione postmortale ed in vita (anche tramite l'alimentazione), che riducono indubbiamente la significatività di tale strumento diagnostico (Taylor, 1994; Yen e Jayaprakash, 2007). Una seconda applicazione, derivante dalla specificità per aree geografiche e tipo di bacino d'acqua, consiste nella ricostruzione del sito di annegamento, seppure tale potenziale strumento necessiti di ulteriori conferme in ambito sperimentale.

Allo studio di tali organismi, si affianca l'indagine di macroresti (legno, foglie, semi) e l'antracologia (analisi del carbone); tali discipline si basano sul confronto dei reperti rinvenuti con quelli esistenti nel contesto geografico allo scopo di confermare la permanenza dei resti

nell'area designata, o di evidenziare possibili spostamenti subiti da altre zone. Se sui resti sono presenti reperti che derivano dalla flora locale, è possibile concludere che l'area di rinvenimento corrisponde a quella di permanenza, mentre se vengono rivenuti reperti afferenti ad altre specie è possibile ipotizzare che i resti abbiano stazionato per un certo periodo di tempo in un'altra zona. Il riconoscimento delle specie a cui appartengono i resti richiede una notevole esperienza e l'utilizzo di adeguati strumenti di confronto, quali atlanti fotografici (Greggus, 1959; Schweingruber, 1990) per il confronto delle diverse parti anatomiche delle piante. Per il legno, gli atlanti riportano anche indagini microscopiche di sezioni sottili, facilmente eseguibili sul legno fresco. I carboni invece vengono osservati in luce riflessa a forte ingrandimento (da 100x a 1000x) oppure al microscopio elettronico a scansione (SEM). Altro strumento di particolare utilità è costituito dalle collezioni di confronto, raccolte di materiale vegetale raccolto in diverse stagioni da specifiche aree geografiche. Il confronto delle specie vegetali trova una speciale applicazione nello studio del materiale gastrico, ove può consentire l'identificazione degli elementi vegetali ingeriti nell'ultimo pasto riferito e pertanto consentire una seppur generale stima dell'epoca della morte.

Nell'ambito delle ricostruzioni ambientali particolare importanza hanno i pollini e le spore ed il loro studio nei diversi contesti ambientali: il polline è la struttura deputata al trasporto dei gameti maschili nelle piante superiori, mentre le spore sono strutture unicellulari di origine sessuata o asessuata deputate alla dispersione delle piante inferiori quali felci e muschi. Le piccole dimensioni di pollini e spore, la loro resistenza alla degradazione e la possibilità, entro certi limiti, di identificazione della specie di appartenenza rendono ragione dell'elevato potenziale per il loro utilizzo in ambito forense. Come per lo studio dei macroresti, la palinologia si è affermata soprattutto in ambito paleoecologico ed archeologico; in ambito forense, la stessa disciplina può fornire preziosi elementi per stabilire una correlazione fra un cadavere ed un certo luogo, identificare il percorso seguito da un sospetto o da un oggetto, definire la stagione ed il periodo di esposizione di reperti e resti umani (Mildenhall, 2006). Il polline inoltre aderisce strettamente ad ogni superficie, il che spiega l'elevato rischio di contaminazione. L'analisi di polline e spore inoltre richiede l'intervento di personale specialistico in grado di identificarne la specie di appartenenza.

L'indagine botanica può consentire, oltre alle ricostruzioni ambientali, anche ricostruzioni temporali, in quanto molti elementi botanici possono essere datati. Una delle tecniche più utili a tal fine è la dendrocronologia che consente di datare la crescita delle piante legnose che formano durante la stagione vegetativa un anello di legno composto da una parte iniziale più chiara

primaverile ed una finale più scura (legno più tardivo). La discontinuità fra il legno tardivo di un anno ed il legno primaverile di quello successivo consente di distinguere i singoli anelli, e pertanto di conteggiare l'età della pianta. In tal modo è possibile stimare l'età di una pianta presente in un sito di deposizione, e pertanto ottenere una stima ante quem collocare il seppellimento. Allo stesso modo la stima dell'età di una specie presente nel contesto dei resti scheletrici consente di identificare un termine entro cui il cadavere si è scheletrizzato. Informazioni più precise si possono ottenere quando le piante sono strettamente aderenti ai resti, a volte con un errore di pochi mesi. Inoltre lo stadio di sviluppo dell'ultimo anello di un ramo tagliato o strappato può consentire di ricostruire l'epoca dell'anno del taglio stesso, con l'apporto di informazioni utili per la ricostruzione degli eventi (Maspero et al., 2001). Per la ricostruzione dell'epoca di scheletrizzazione e deposizione, ulteriori indicazioni possono provenire dai muschi e licheni che tendono ad accrescersi con l'età. La lichenometria, attraverso la costruzione di idonee curve di riferimento, consente di trarre indicazioni sul tempo trascorso dall'iniziale colonizzazione. Tale metodo è tuttavia applicabile su reperti molto vecchi, in quanto il tempo richiesto dai licheni per crescere è molto lungo; inoltre per i muschi l'accrescimento è molto più variabile e rende tale metodo è promettente ma va testato con più casi possibile.

Un altro limite per l'utilizzo di licheni per la stima del periodo di tempo trascorso deriva dalla sensibilità all'inquinamento, il che rende tale metodo inapplicabile nelle aree urbane.

1.9 Scopo dello studio

Come sopra esposto, esistono diverse metodiche di ricerca non invasiva del cadavere sepolto, alcune basate su moderne tecnologie. Tali metodiche invece non sempre vengono applicate, molto spesso proprio a causa della mancanza di conoscenza dei relativi limiti e campi di applicazione. Solo un corretto recupero di natura archeologica forense può confermare e confutare la modalità degli eventi, senza la perdita di una serie di dati in relazione alla sequenza di deposizione che altrimenti andrebbe smarrita. Molto spesso i limiti sono di natura pratica e sono legati per esempio, nel caso del georadar, al reperimento dello strumento e di un operatore con sufficiente esperienza.

In realtà in molti casi il limitato utilizzo di alcune metodiche è determinato dalla mancanza di adeguate informazioni in merito alla significatività dei risultati ottenuti: come sopra descritto, le scienze forensi consistono nell'applicazione di tecniche scientifiche a casi inusuali; il risultato di

ogni tecnica di analisi deve la sua interpretazione ad una procedura di confronto del dato fornito con un sistema di riferimento che per le sue caratteristiche deve contemplare condizioni standard, in modo da poter discernere il peso delle diverse variabili ambientali ed individuali nel modificare la risposta ottenuta dallo strumento. Lo sviluppo di nuove tecnologie spesso porta al loro utilizzo in campo forense, ove, se pure esse sono applicabili al caso specifico, forniscono risultati il cui significato non è interpretabile in assenza di dati sperimentali. Perché infatti si sappia con certezza che una determinata anomalia rilevata in un terreno è correlata con la presenza di una sepoltura, è necessario infatti sapere quante volte in presenza di sepolture con caratteristiche note tale anomalia si riproduce. In altri termini, l'applicazione in ambito forense di ogni nuova tecnologia richiede l'esecuzione di test sperimentali per testare le risposte fornite in condizioni ideali, allo scopo di ottenere un "dizionario" utile a comprendere il "linguaggio" delle risposte fornite dallo strumento nelle diverse condizioni.

Gli studi sperimentali in ambito archeologico forense sono tuttavia molto limitati (vedi Capitolo 2, Review della letteratura): sono infatti disponibili al momento solo le descrizioni presenti in una serie di case report, molto spesso non europei, e pertanto sviluppati in contesti geografici e botanici differenti, dove vengono descritte le metodiche ed i siti di ritrovamento più disparati; questo crea ovviamente una difficoltà nell'interpretazione dei risultati dovuti ad una disomogeneità nelle metodiche di ricerca e recupero e delle tecniche utilizzate: a tutte queste problematiche aggiungiamo l'assenza di studi sperimentali su elementi umani, dato che in Italia la legislazione vigente vieta l'utilizzo di parti anatomiche per esperimenti di natura scientifica. Risulta altresì chiaro che la costruzione di un sistema di riferimento per la lettura delle risposte fornite dai diversi metodi di ricerca non può basarsi sul contributo dei singoli casi riportati in letteratura a causa del ridotto numero di campioni e della difformità di condizioni geografiche analizzate: un tentativo in tal senso può essere condotto unicamente attraverso l'esecuzione di progetti sperimentali che garantiscano omogeneità di condizioni di sepoltura.

Ecco allora che il presente studio vuole proporsi come un progetto unico nel suo genere per il test di nuove tecnologie sul campo, che rientrano nei campi dell'ingegneria, della geopedologia, della geoelettrica e del geomagnetismo per tentare di sviluppare un metodo rivolto alla ricerca e al recupero dei resti umani nella speranza di poter standardizzare il loro utilizzo o almeno riuscire a rendere leggibili in maniera oggettiva le risposte che in questo campo si ottengono, producendo una omogeneità nei risultati e cercando di fornire un quadro sperimentale applicabile nella ricerca dei resti umani sepolti, tramite l'utilizzo di metodi e attrezzature tecniche da

utilizzare nell'ambito delle indagini in ausilio dell'archeologia forense con applicazioni in ambito geofisico, geomagnetico, geopedologico ed ingegneristico.

Il raggiungimento di questo traguardo passa quindi dal presente studio, basato su modello animale ed in particolare su analisi che hanno implicato l'utilizzo di carcasse di Sus scrofa (maiale domestico) sepolte all'interno di un'area riservata, grazie alla collaborazione del parco del Ticino della Regione Lombardia.

Capitolo 2

Revisione della Letteratura

Qui sotto verrà presentata una revisione della letteratura relativa alle applicazioni forensi dei metodi utilizzati nella ricerca oggetto di questa tesi di dottorato.

2.1 Metodi geofisici: il georadar

La tecnologia del georadar nella ricerca di cadaveri sepolti sta diventando sempre più frequente, sebbene non sia sistematicamente effettuata dalle Forze dell'Ordine che non sono in genere equipaggiate con tali strumenti e non possiedono operatori specificamente addestrati nel suo utilizzo. La ridotta disponibilità dello strumento e la necessità di personale preparato costituiscono un limite per lo sviluppo di studi sperimentali specifici sull'argomento.

Qui di seguito verranno brevemente illustrati gli studi già effettuati in letteratura sull'argomento. Le prime indicazioni in merito all'utilità del GPR (ground-penetrating radar) per la ricerca di cadaveri sepolti deriva dalle prime applicazioni su cimiteri, ove lo strumento era in grado di definire con precisione la localizzazione delle tombe (Bevan, 1991; King et al., 1993; Mellet, 1992; Reynolds, 1997). Dai primi promettenti studi su materiale cimiteriale si è passati all'applicazione della metodica a casi forensi, sebbene non sia noto con precisione il numero di casi di ricerca di cadaveri sepolti in cui tale tecnologia è stata utilizzata.

E' importante entrare nel merito di quali strutture della sepoltura clandestina vengano rilevate dal georadar: diversi autori riportano che diverse variabili concorrono nella formazione dell'anomalia evidenziabile dal georadar, ed in particolar modo la presenza del cadavere, le alterazioni del terreno indotte dallo scavo, eventuali elementi non biologici utilizzati per avvolgere il cadavere (Schultz, 2007). L'anomalia descritta può consistere in una differenza di proprietà fra il terreno smosso e quello circostante, così come dalla presenza di un'interruzione locale del suolo. L'eventuale presenza di materiale non biologico intorno o in vicinanza del cadavere favorisce la localizzazione della sepoltura. Nell'ambito dell'analisi tramite GPR acquista particolare importanza la tipologia di terreno analizzato; tale fattore di variabilità è stato analizzato tramite l'esecuzione di studi sperimentali su grandi mammiferi, in particolar modo

maiali (France et al., 1992), che consentirono di iniziare le prime standardizzazioni della risposta dello strumento in diverse condizioni.

E' stato in tal modo osservato che esistono terreni favorevoli e sfavorevoli all'indagine GPR: il georadar funziona al meglio delle possibilità nel caso di terreni sabbiosi, secchi, privi di grandi rocce o ciottoli, piani e privi di cespugli ed alberi. I terreni ricchi di ciottoli e sassi provocano frequenti alterazioni di segnale con un aumento dei falsi positivi. Terreni argillosi, o ricchi di sostanze organiche, o molto umidi sono allo stesso modo sfavorevoli, in quanto possono dissipare od attenuare il segnale riducendone la profondità di analisi, e non permettono un adeguato contrasto della sepoltura rispetto al terreno circostante (Schultz, 2007).

Una generale classificazione dei diversi tipi di terreno favorevoli e sfavorevoli all'indagine GPR è di seguito esposta in Tabella 2.1.

Terreni favorevoli	Terreni sfavorevoli
Terreni secchi e sabbiosi	Terreni umidi
Terreni relativamente liberi da grandi detriti e ciottoli	Terreni argillosi o con elevata concentrazione organica
Cemento	Terreni rilevati e colline
Aree aperte con sparse cespugli ed alberi	Cespugli e alberi fitti
Terreni relativamente piatti e al livello del suolo	Terreni contenenti grandi detriti e ciottoli

Tabella 2.1: classificazione dei terreni favorevoli e sfavorevoli all'utilizzo di georadar (Schultz, 2007)

Il tipo di terreno è indubbiamente una variabile importante del tipo di segnale che può essere percepito dal georadar, ma non è l'unica. I primi studi sperimentali eseguiti con tale tecnologia hanno in effetti evidenziato che esistono diverse variabili in grado di alterare il segnale, non tutte perfettamente conosciute, ma in grado complessivamente di rendere estremamente variabile la risposta fornita dallo strumento. Tali rilievi hanno contribuito negli ultimi anni ad una perdita di credibilità del georadar applicato ai casi forensi. E' in effetti da osservare che negli anni '90 i primi esperimenti eseguiti con GPR avevano diffuso un certo ottimismo nei confronti della metodica, tanto che alcuni autori definivano il georadar "lo strumento più utile per delineare possibili sepolture" (France et al., 1992). Con l'aumento del numero di sperimentazioni, diversi autori hanno messo in dubbio l'utilità di tale metodo nel riconoscimento di sepolture clandestine o tombe non marcate (Davenport, 2001). King et al. riportarono una ridotta capacità da parte

dello strumento di identificare tombe non marcate (King et al., 1993), con l'osservazione non solo di falsi positivi, ma anche di falsi negativi: in altre parole, lo strumento evidenziava un numero di anomalie maggiore rispetto al numero di sepolture (come entro certi limiti atteso), mentre non sempre forniva un segnale rilevabile in prossimità di un sito di deposizione. E' chiaro che, mentre i falsi positivi sono attesi ed in certa misura non completamente eliminabili, i casi di falsi negativi sono in grado di compromettere la credibilità dello strumento, laddove non sia in grado di "vedere" la sepoltura ove questa effettivamente è presente. Tali ridotte performances spiegano il crescente pessimismo evidenziato dalla letteratura nei confronti della metodica.

Tuttavia come diversi autori notano tale pessimismo è in gran parte causato dalla mancanza di un'adeguata conoscenza delle variabili in grado di influenzare la lettura dello strumento e sulle loro reciproche relazioni (Doolittle, 2010). Gli studi sperimentali eseguiti in condizioni standard hanno in genere evidenziato un'elevata affidabilità dello strumento nel riconoscimento di sepolture predisposte allo scopo, qualora siano conosciute le caratteristiche specifiche della zona sottoposta ad analisi.

Doolittle et al. sulla base della loro esperienza nell'utilizzo del georadar per la ricerca di tombe clandestine nel Connecticut hanno evidenziato che non solo il terreno, ma anche lo stato di conservazione del cadavere ha un'enorme rilevanza nella determinazione del tipo di segnale GPR (Doolittle, 2010). Tale fattore di variabilità era stato già notato da Koppenjan et al. che evidenziò una riduzione progressiva del segnale percepito con il tempo trascorso a causa della scheletrizzazione del cadavere che così diviene meno distinguibile elettricamente dal resto del terreno, e della stabilizzazione del terreno smosso (Koppenjan et al., 2003). La stessa esperienza viene riportata da Bevan et al. (Bevan et al., 1991) che evidenziava una ridotta capacità dello strumento di rilevare i cadaveri scheletrizzati sepolti in casse di legno sfondate a causa della pressione del terreno. Il tipo di sepoltura influisce anch'esso sul segnale rilevato: se infatti il cadavere è all'interno di uno spazio quale una bara integra, lo spazio descritto può essere evidenziato dal georadar. Qualora poi il cadavere sia contenuto all'interno di una bara di metallo, il segnale prodotto è ampio e duraturo, e facilmente identificabile dal georadar (Doolittle, 2010). Anche in tal caso tuttavia il risultato finale dipende dall'interazione di tutte le variabili coinvolte, ed anche una situazione ideale come quella sopra descritta può non dare luogo ad alcuna segnalazione in presenza di fattori sfavorevoli; ad esempio, Buck riporta la mancata localizzazione di casse di metallo contenenti cadaveri di soldati morti nella Guerra di Corea presso il National Memorial Cemetery of the Pacific alle Hawaii (in terreno composto da sabbia

molto fine, e pertanto favorevole all'indagine GPR) (Buck, 2003). Inoltre alcune variabili sono in grado di modificare in maniera rilevante il segnale: ad esempio, l'utilizzo di calce per il trattamento dei cadaveri è in grado di aumentare il contrasto fra la sepoltura ed il terreno circostante con un conseguente aumento della definizione (Schostmans et al., 2011).

Il processo di decomposizione diviene anch'esso un elemento di variabilità importante del tipo di segnale ottenuto dallo strumento: nel 2006 Schultz et al. pubblicarono uno studio che evidenziava la modificazione del segnale GPR nel caso di sepolture di maiali del peso compreso fra i 51.71 ed i 69.85 Kg ad Alachua County, in Florida (Schultz et al., 2006). Il suolo in esame era composto da uno strato superficiale sabbioso ed uno più profondo argilloso: 6 campioni furono seppelliti nello strato superficiale mentre altri 6 furono collocati nel limite superiore dello strato argilloso. Sei campioni (tre dalla sepoltura superficiale e tre dalla profonda) furono esumati dopo 12-13 mesi, altri sei campioni dopo 21-21.5 mesi. Le analisi GPR furono eseguite ogni mese per tutta la durata dell'esperimento. I risultati evidenziarono che la tecnologia GPR era in grado di identificare chiaramente le anomalie derivanti dalle sepolture in superficie per tutto il periodo dell'esperimento, anche quando i campioni erano completamente scheletrizzati; in tali casi l'area descritta dal georadar comprendeva le ossa i tessuti molli in decomposizione, i prodotti della decomposizione. Per quanto riguarda i campioni sepolti alla superficie dello strato profondo, la macchina mostrava una crescente difficoltà di identificazione del campione con il passare del tempo: nei primi sei mesi la sepoltura era ancora evidente, mentre nell'arco dell'anno l'intensità del segnale evidenziava una riduzione progressiva, sebbene i campioni fossero ancora discretamente conservati; tale effetto è spiegabile attraverso un aumento di compattezza del terreno utilizzato per il riempimento, con sostanziale omogeneità elettromagnetica rispetto al suolo circostante (Schultz et al., 2006). L'anomalia più frequentemente associata alla sepoltura nei casi delle sepolture superficiali era a forma iperbolica; è da notare che tale risposta deriva unicamente dalla presenza del cadavere, in quanto l'esame del georadar di fosse aperte e riempite senza l'inserimento della carcassa non evidenziavano tale tracciato. Lo stesso autore condusse uno studio analogo, pubblicato nel 2008, che si focalizzava sulle capacità di identificazione di cadaveri di ridotte dimensioni (Schultz, 2008): furono utilizzati in particolar modo 12 maiali del peso compreso fra 25.9 e 33.6 Kg, sei sepolti in superficie, al confine superiore dello strato profondo; tre maiali per strato furono esumati a distanza di 13-13.25 mesi e 21 mesi. Lo scopo dello studio era verificare la variabilità della risposta del georadar nelle identiche condizioni sperimentali descritte nello studio del 2006 nel caso in cui i cadaveri fossero di ridotte dimensioni assimilabili ad un bambino. I risultati evidenziarono per i campioni sepolti in

superficie la presenza di un'anomalia identificabile anche a distanza di un anno, sempre sotto forma di iperbole, nonostante alcuni campioni mostrassero una diffusa scheletrizzazione. Il segnale evidenziò una netta diminuzione negli ultimi due mesi dell'esperimento; è da osservare che all'ultima esumazione tutti e tre i campioni erano completamente scheletrizzati. Nel caso dei campioni sepolti al confine dello strato profondo fu evidenziato un segnale iperbolico nel caso dei campioni esumati nel breve periodo (13-13.5); tale segnale sul lungo periodo (fino a 21 mesi) presentava una progressiva riduzione: nelle ultime scansioni, i segnali più evidenti provenivano dal campione che in migliori condizioni di conservazione. In definitiva pertanto la decomposizione sembra assumere un ruolo maggiore nel caso di campioni di piccole dimensioni rispetto ai corrispettivi risultati per le carcasse più grandi; tale differenza viene spiegata dalla maggiore permanenza nei cadaveri più grandi dell'area di contrasto elettrico derivante dai fluidi di decomposizione, mentre nel caso delle carcasse di peso ridotto tale differenza tende presto ad equilibrarsi con perdita dell'informazione.

Un discorso particolare merita la ricerca di corpi sott'acqua, che pone particolari problemi di ordine pratico: i pochi casi in cui tale tecnologia è stata applicata hanno evidenziato l'utilizzo del georadar può essere vantaggioso anche nel caso di ricerca in acqua, sebbene sia poco applicabile oltre i 20 m di profondità (Parker et al., 2010). I dati su cui si fonda tale revisione deriva tuttavia da case report, mentre mancano ancora dati sperimentali.

In definitiva pertanto la capacità di rilievo di una sepoltura da parte delle metodiche geofisiche dipende da differenti variabili intrinseche ed estrinseche al campione, ognuno dei quali potenzialmente in grado di ridurre la visibilità del segnale. Se pure il ruolo delle singole variabili inizia ad essere approfondito dai primi studi sperimentali sull'argomento, l'influenza reciproca fra i diversi fattori è ancora poco conosciuta.

Negli ultimi anni gli studi sperimentali eseguiti hanno portato ad un tentativo di valutazione del tipo di sonda utilizzata per l'indagine: in un certo senso, si sta tentando di verificare se anche la modalità di indagine può avere un peso nel tipo di segnale, in modo da migliorare la resa dell'indagine. A tal proposito, Schultz et al. in un articolo recente condussero una revisione dei casi di utilizzo di GPR in letteratura segnalando la frequenza dell'antenna utilizzata: la scelta dell'antenna e della sua frequenza costituisce un compromesso fra il livello di risoluzione verticale e la profondità di investigazione, in quanto frequenze elevate (fra 800 e 900 MHz) consentono un'indagine superficiale del terreno (intorno ad 1 m), ma garantiscono un'elevata risoluzione delle caratteristiche del suolo, con un aumento del dettaglio delle anomalie legate alla presenza di radici, ciottoli, etc., un aumento conseguente dei falsi positivi e maggiore difficoltà a

riconoscere i bersagli di piccole dimensioni. D'altro lato, frequenze più basse (intorno ai 250 MHz) permettono un'indagine più profonda del terreno, ma meno caratterizzata da un punto di vista morfologico; in tal caso, i bersagli più rilevanti sono maggiormente identificabili perché il loro segnale non è apprezzabilmente disturbato dalle false anomalie, ma aumentano i casi di falsi negativi qualora il contrasto fra la deposizione ed il terreno non sia marcata (Schultz e Martin, 2011). La scelta più comune e popolare in letteratura è la frequenza di 400-500 MHz che garantisce una accettabile profondità di campo e risoluzione; tale risoluzione tuttavia non può essere utilizzata in ogni caso, in quanto la decisione in merito alla frequenza dell'antenna dipende anche dal tipo di terreno (Ruffel et al., 2009): terreni argillosi dissipano od attenuano il segnale, e pertanto possono trarre vantaggio da frequenza più basse.

Schultz et al. misero a punto un progetto sperimentale che prevedeva l'utilizzo di due sonde (a 250 e 500 MHz) su una carcassa di maiale del peso di 45.5. Kg sepolto per sei mesi in un terreno ricco di sostanze organiche e ossido di alluminio in Florida ad una profondità di circa un metro dalla superficie (Schultz e Martin, 2011). L'esame GPR evidenziò la presenza della sepoltura in entrambe le modalità di indagine, anche in questo caso determinato dalla presenza della carcassa e non dal terreno smosso; la frequenza di 500 MHz consentì tuttavia un dettaglio più rifinito dell'anomalia. In particolar modo, mentre l'antenna a 250 MHz vedeva la sepoltura come una singola prominente curva iperbolica, l'antenna a 500MHz all'interno del medesimo segnale distingueva le pareti ed il fondo della sepoltura sotto forma di minuti spettri parabolici compresi sotto ed entro lo spettro maggiore (Schultz e Martin, 2011). Gli autori concludono che la frequenza di 500 MHz costituisce un compromesso ottimale fra profondità e dettaglio di sepoltura, sebbene venga consigliato che la scelta della frequenza sia eseguita sulla base del tipo di terreno su cui viene eseguito l'esame, in quanto l'antenna a 500 MHz può fornire in terreni caratterizzati dalla presenza di ciottoli un numero elevato di falsi positivi che possono nascondere l'obiettivo.

2.2 Metodi archeologici

L'approccio archeologico al cadavere sepolto si fonda su tecniche di ricerca e di recupero, utilizzate in maniera sequenziale dal meno al più invasivo allo scopo di ottenere il maggior numero di informazioni preservando il più possibile il contesto originario della deposizione (Picozzi e Intini, 2009).

La prima fase richiede un'ispezione di superficie dell'intera zona da analizzare per la ricerca di resti umani affioranti, effetti personali, etc. L'esplorazione di superficie avviene attraverso la metodica denominata "field walking" che richiede la presenza di numerosi operatori posti in linea retta alla distanza di circa due metri l'uno dall'altro che procedono in maniera congiunta a velocità uniforme.

Esistono diversi metodi di perlustrazione della superficie: le procedure di ricerca, basate su modalità geometriche di movimento, consentono una razionalizzazione delle procedure con una precisa assegnazione di zone, compiti e funzioni. Il cosiddetto "zone method" o metodo a zone prevede la suddivisione del terreno in quadranti o settori numerati, e risulta particolarmente indicato per esplorazione di spazi chiusi, quali garage, interni, palazzi, etc., od anche nel caso di analisi di vaste aree.

Il "wheel method" o metodo a ruota o a raggi prevede che il gruppo parta da un punto centrale dell'area di ricerca e poi ogni individuo se ne allontani dall'interno verso l'esterno. E' indicato per piccole aree o zone circolari.

Lo "spiral method" o metodo a spirale viene utilizzato in aree prive di ostacoli o barriere fisiche. Gli "strip ed i grid method", metodo a bande o griglie, sono invece ideali per ricerche in grandi spazi od in zone esterne.

Il campo visivo di ogni operatore deve sovrapporsi per un 30% a quello degli operatori a lato. Tale procedura garantisce un'analisi completa e sistematica del territorio e impedisce di perdere eventuali reperti a causa dell'irregolarità di osservazione. Ogni operatore è inoltre dotato di bandierine od altri elementi di segnalazione per la localizzazione di eventuali anomalie. L'operazione di "field walking" va eseguita nella stessa direzione in due passaggi (procedendo in avanti e poi tornando indietro) e ripetuta sulla stessa zona con direzione perpendicolare ai primi passaggi. Le fasi di ricerca non invasive possono essere supportate dall'utilizzo di cani da cadavere, specificamente addestrati per la ricerca di materiale in decomposizione. E' possibile inoltre effettuare studi più ampi della zona di ricerca tramite l'utilizzo della fotografia aerea, eventualmente con l'implementazione della termografia (Skinner, 1987).

Una volta esauriti i metodi non invasivi, la ricerca può essere condotta tramite l'utilizzo di tecniche che producono un disturbo della superficie. Anche in tal caso si privilegiano in via preliminare le metodiche meno distruttive, ad iniziare dall'uso delle "T-bar", aste in metallo appuntite a forma di T che vengono inserite nel sottosuolo. Tale operazione deve essere eseguita in maniera sistematica, con sondaggi a circa 30 cm di distanza, ed ha come scopo la valutazione della compattezza del terreno che, in maniera diversa, può segnalare la presenza di un'anomalia. A tale fase segue lo scorticamento della superficie, ed in particolar modo la rimozione dello strato più superficiale di terreno. Dopo un primo rozzo scorticamento, si eseguirà una pulizia più fine del terreno tramite cazzuole allo scopo di eliminare gli ultimi lembi di terreno superficiale e delineare in maniera più precisa l'eventuale anomalia.

Una volta evidenziata una deposizione, è necessario passare al corretto scavo e recupero dei resti. Le operazioni di scavo dovranno iniziare dall'asportazione orizzontale del terreno evitando il più possibile un diretto contatto con i resti e rispettando la stratigrafia del terreno. Procedere con lo scavo in maniera orizzontale, in base alla stratigrafia del terreno, consentirà di effettuare una precisa collocazione dei reperti descritti in base alla profondità, assegnando un numero di unità stratigrafica, seguendo esattamente la metodologia dello scavo archeologico classico.

Dopo aver asportato gli strati di terreno orizzontalmente, quando inizia ad affiorare il cadavere, si procederà ad una ripulitura guidata dalla sua posizione ed anatomia, procedendo per regioni corporee.

Una volta completata l'esposizione del cadavere e la sua liberazione dal terreno circostante, si procederà al suo recupero che dovrà essere effettuato tramite metodiche specifiche in base allo stato di conservazione: un cadavere in decomposizione, ma integro potrà essere traslato in una "bodybag", e i frammenti ossei (come le falangi di mani e piedi) eventualmente distaccati verranno raccolti in sacchetti di plastica; se il cadavere è completamente scheletrizzato si procederà ad un suo recupero osso per osso, con una descrizione e documentazione precisa del sito di rinvenimento e della sua posizione reciproca rispetto agli altri segmenti allo scopo di ricostruire la posizione in cui è stato sotterrato. Tale procedura è stata utilizzata comunemente in diversi casi forensi; Spenneman et al. descrivono le procedure di scavo applicate in una campagna di esumazione condotta sull'Isole Marshall nel 1993 eseguite allo scopo di verificare la contaminazione da parte di isotopi radioattivi in seguito agli esperimenti nucleari statunitensi nel Pacifico. La procedura di esumazione consigliata si basava sulla rimozione e documentazione dei diversi piani stratigrafici (Spenneman e Franke, 1995).

E' da osservare che le procedure sopra esposte sono da considerarsi come strumenti da utilizzarsi in un approccio flessibile, che deve essere modificato in base alle caratteristiche geografiche specifiche, nonché al tipo di recupero da effettuarsi: non sempre infatti il recupero è limitato ad un solo corpo, ma può riguardare un numero maggiore di cadaveri, spesso in condizioni ambientali difficili. Hoshower descrisse l'esperienza delle missioni militari del CILHI (US Army Central Identification Laboratory, Hawaii) nel caso di recupero di resti umani nel caso di incidenti aerei (Hoshower, 1998); l'autrice fa notare che in tali occasioni i paradigmi del recupero stratigrafico e della rimozione dei diversi strati di terreno non sono applicabili, in quanto le dinamiche dello schianto degli aerei a terra provoca una disseminazione irregolare di reperti. Le necessità di ordine economico, politico e culturale derivanti dall'esecuzione di missioni all'estero impone in maniera più marcata che nei classici casi forensi una preparazione preliminare alle operazioni di scavo che valuti in maniera pragmatica le necessità logistiche. La necessità di un approccio flessibile è evidenziato da diversi case report: Congram nel 2008 riporta il caso di recupero di uno scheletro forense in un'area caratterizzata dalla presenza di piante con spesse radici, con conseguente impossibilità per esempio di utilizzare altre tecniche di indagine: l'area era inoltre coltivata, con conseguente aumento del numero di false anomalie presenti. La presenza inoltre di un'acqua sul fondo della fossa ha richiesto un'operazione di prosciugamento tramite lo scavo di un pozzo artificiale (Congram, 2008).

Diversi autori inoltre focalizzano l'attenzione sulla necessità di un'adeguata preparazione preliminare alla ricerca; negli ultimi anni lo sviluppo di nuove metodiche di ricerca quali il georadar e la naturale standardizzazione delle procedure di ricerca archeologiche hanno condotto anche a clamorosi errori di indagine. Ruffell et al. pubblicarono nel 2009 il caso della ricerca di una donna scomparsa in un'area boscosa: i cani da cadavere ed il georadar segnalavano un'anomalia che si rivelò un'area di trivellazione di prova messe in opera da un'azienda di ingegneria civile (Ruffell et al., 2009). La mancata documentazione della zona prima delle operazioni di ricerca e la fiducia cieca nelle nuove tecnologie ha condotto ad un falso positivo sottoposto a scavo, con notevole perdita di tempo e risorse.

2.3 Metodi botanici

La presenza di una sepoltura è in grado di modificare il profilo della vegetazione soprastante (France et al., 1992; Watson et al., 2008; Myller Coyler et al., 2005; Tibbet e Carter, 2003). La decomposizione inoltre libera sostanze nutrienti che tendono ad attrarre le radici ed a rendere le

piante preesistenti più rigogliose (Towne, 2000); se invece il cadavere è chiuso all'interno di uno spazio isolato dall'esterno (ad esempio, in una bara, od anche il semplice avvolgimento in un involucro) il ridotto spazio al di sotto delle piante può frenarne la crescita (Ruffell et al., 2009). E' inoltre da segnalare che la movimentazione del terreno rende la terra usata per il riempimento più porosa, e pertanto più permeabile all'acqua, il che tende a favorire la crescita vegetale anche se in alcuni ambienti aridi diventa limitante.

La vegetazione può pertanto costituire un elemento visibile, utile per la caratterizzazione del sito di sepoltura; tuttavia, l'estrema variabilità geografica e il numero limitato di studi standardizzati impedisce di definire con precisioni quali anomalie vegetali siano correlate con la presenza di un corpo sepolto. Uno dei pochissimi studi sull'argomento ha analizzato le variazioni di vegetazioni riscontrate in cinque sepolture di maiali del peso di circa 80 Kg ad una profondità di 80-90 cm, eseguite nel mese di maggio 2009 (Caccianiga et al., 2011); dopo aver collocato una griglia su ogni superficie è stata effettuata un'indagine del numero e del tipo di specie vegetali presenti, seguita da un campionamento effettuato subito prima e dopo la sepoltura, ed ogni mese per un totale di 14 prelievi. La stessa procedura è stata applicata anche ad una zona del terreno smossa ma non riempita da carcasse (sepoltura di controllo) e su una zona di terreno non scavata (controllo negativo).

La sepoltura chiaramente portava ad una distruzione delle specie presenti nel terreno, seguita da una lenta ricostituzione; alla fine dell'esperimento il numero di specie presenti in ogni territorio ritornò ai valori precedenti il seppellimento, mentre la densità di colonizzazione fu in ogni sepoltura inferiore ai valori originari. Per quanto riguarda le specie, l'analisi botanica evidenziò la presenza di numerose specie esclusive o preferenziali colonizzatrici del controllo negativo; solo due specie tendevano a colonizzare la sepoltura di controllo ed una sola i siti di deposizione. I risultati generali evidenziano che il movimento del terreno durante lo scavo costituisce un fattore di variabilità del numero e tipo di specie presenti, in ogni caso subordinato alla successione stagionale ed alle caratteristiche del terreno; la presenza o meno di una carcassa sepolta sembra avere un peso minore nel determinismo delle variazioni osservate.

Tali risultati tuttavia hanno una ridotta significatività per il limitato numero di campioni analizzati; più specifiche indicazioni potranno provenire dall'ampliamento di tali studi sperimentali in altri contesti geografici.

2.4 Metodi geofisici: la geoelettrica

Lo scopo della prospezione elettrica è quello di effettuare una stima dei valori di resistività elettrica del sottosuolo mediante misure indirette effettuate dalla superficie. La resistività elettrica è fortemente influenzata da vari parametri quali la porosità del sottosuolo, la presenza di minerali metallici e fluidi, la quantità di acqua presente negli interstizi. Il metodo si fonda sul fatto che il terreno smosso nel corso della sepoltura tende ad essere più poroso e pertanto più permeabile all'acqua, con una modificazione pertanto delle caratteristiche elettriche nell'area interessata dallo scavo. Lo stesso effetto può essere spiegato inoltre dalla liberazione di fluidi di decomposizione dal cadavere nel corso dei processi trasformativi (Jervis et al., 2009). Pochi studi sperimentali sono disponibili in letteratura sulle anomalie rilevate dagli strumenti di prospezione elettrica nei casi di sepolture, ed in genere riguardano pochi campioni; Jervis et al. nel 2009 effettuarono un test di prospezione elettrica su tre aree: nella prima fu scavata una fossa della profondità di 0.6 m, ove fu deposta una carcassa di maiale di circa 80 Kg, nella seconda fu posto un maiale dello stesso peso, ma avvolto in un'incerata, mentre nella terza l'area scavata fu riempita con il terreno smosso, senza il posizionamento di alcun campione. Le analisi della resistività elettrica furono eseguite 11 giorni prima dell'esperimento nelle zone prescelte ed ogni 28 giorni dopo la sepoltura dei campioni. L'esame geoelettrico evidenziò una riduzione di resistività in corrispondenza della prima sepoltura, mentre nessuna anomalia fu evidenziata nell'area di terreno smosso. Il maiale avvolto nell'incerata presentava un aumento della resistività, seguito da una progressiva riduzione fino ad un assestamento ad un livello di bassa resistività. Tale variazione viene interpretata come un'iniziale azione di barriera esercitata dal telo nei confronti della fuoriuscita dei liquami di decomposizione che, diffondendo lentamente nell'area circostante, avrebbero prodotto la graduale riduzione di resistività. Lo studio descritto pertanto evidenzia l'importanza della presenza del cadavere nella zona di sepoltura come principale fonte di anomalia, mentre il terreno smosso privo del cadavere non è in grado di fornire alterazioni paragonabili. Manca tuttavia ancora una precisa standardizzazione del metodo, come evidenziato dai limitati case report finora disponibili, riportanti l'applicazione della metodica all'ambito forense; è da notare inoltre che in alcuni di essi i risultati ottenuti dall'indagine geoelettrica vengono confrontati con un campione di sepolture sperimentali, allo scopo di verificare la reale significatività del segnale ottenuto con una scala di riferimento predisposta allo scopo (France et al., 1992). Rimane tuttavia di notevole importanza la specificità dell'esame per la presenza di una massa in decomposizione, elemento che avvicina tale

tecnologia alla metodica georadar.

Capitolo 3

Inquadramento

3.1 Ambiente fisico

3.1.1 Inquadramento geologico

Il contesto geografico-fisico dell'area di studio può essere definito di media bassa pianura, l'intera area si colloca tra la fascia attiva e i fontanili e l'asse della pianura costituito dal corso del fiume Po. Verso nord si attraversa la zona delle risorgive e il settore più ghiaioso della pianura. I più vicini terrazzi pleistocenici sono, ad est del Ticino, quello di Lonate Pozzolo a circa 30 km di distanza, mentre ad ovest vi sono quelli più prossimi di Novara e Oleggio. In particolare il lembo frangiato di terrazzo che si sviluppa a sud di Novara, lascia intendere uno smembramento incompleto delle antiche superfici fluvioglaciali e non esclude la presenza di altri terreni ad esso correlati o da esso fortemente influenzati.

Secondo la carta geologica d'Italia, tutte le superfici superiori della pianura (livello fondamentale della pianura: LfP) sono attribuite al fluvioglaciale e fluviale wurmiano (Pleistocene superiore) mentre solo all'altezza di Magenta-Trecate viene indicata la presenza di fluvioglaciale Wurm-Riss (Fig. 3.1), l'area di studio è compresa interamente nel foglio Novara, numero 44, della Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000.

Come riportate nelle nostre illustrative (Braga G et al., 1969) le unità che contraddistinguono, l'area oggetto dello studio sono le seguenti:

15) $fg^{WR} - fg^W - fl^W$ — Alluvioni fluvioglaciali, fluviali e pluviali del Würm, suddivise, sulla base di considerazioni litologico-geomorfologiche, in tre fasi stadiali würmiane. Esse danno luogo alla più diffusa e potente formazione in quanto costituisce da sola i 3/4 dei fogli NOVARA e MORTARA.

17) a^1 — Alluvioni terrazzate dell'OLOCENE ANTICO.

18) a^2 e a^3 — Alluvioni terrazzate dell'OLOCENE MEDIO e RECENTE/ATTUALE.

$fg^{wr}-fg^w-fl^w$: Alluvioni fluvioglaciali ghiaiose, localmente molto grossolane, con paleosuolo argilloso giallo rossiccio di ridotto spesso, talora ricoperte da limi più recenti, WURM e RISS p.p., $fg^e - fl^w$: Alluvioni fluvioglaciali ghiaiose- ciottolose (terrazzi superiori del Ticino) e fluvioglaciali prevalentemente sabbioso-limose; Alluvioni ghiaiose, sabbiose e limose limitate al fondo da solchi vallivi e non ricollegabili agli apparati morenici. Pluviale – WURM. I terreni in questione, indicati da vecchi autori con la generica accezione di diluvium recente, sono distinti nel Foglio Novara, con colore e sigle differente a seconda della loro disposizione a monte o a valle della linea dei fontanili.

a^1 : Alluvioni terrazzate ciottolose e ghiaiosi sabbiose, sensibilmente sospese sui corsi d'acqua (Alluvium antico s.l.) OLOCENE ANTICO. I depositi alluvionali olocenici si ritrovano lungo i principali corsi d'acqua della regione di cui contrassegnano gli antichi alvei abbandonati. Il limite con il fluviale-WURM è di solito evidenziato da terrazzo morfologico specie per quanto riguarda la zona del Ticino; al contrario nell'abito padano si costata molto spesso un sovralluvionamento dei terreni pleistocenici da parte di alluvioni antiche. La stratificazione è in generale nettamente incrociata e l'andamento delle alternanze molto disordinato e discontinuo.

a^2 e a^3 : Alluvioni terrazzate ghiaioso-sabbiose o limose, fissate e non, dai maggiori corsi d'acqua (Alluvium medio e Alluvium recente ed attuale) OLOCENA MEDIO E RECENTE; esse si presentano lungo i principali corsi d'acqua, di cui costituiscono gli alvei sia in piena sia di magra.

I dati E.R.S.A.L (Ente Regionale di sviluppo Agricolo della Lombardia) indicano l'esistenza di forme a dosso sabbioso sul LfP ad ovest del Ticino, attribuite ad antichi resti di terrazzi fluviali rissiano erosi. Quanto alle valli del Ticino, essi sono interamente attribuite all'olocene, in particolare all'alluvium recente e attuale. I lembi di terrazzi minori ben sopraelevati rispetto alle aree vallive, rinvenibili tra Abbiategrasso e Pavia in sponda sinistra del Ticino sono attribuiti, ad Diluvium tardivo (pleistocene finale) o all'Alluvium antico (olocene) seconda delle interpretazioni. Sono privi di attribuzioni cronologiche, gli evidenti terrazzi di Cassolnovo e Vigevano

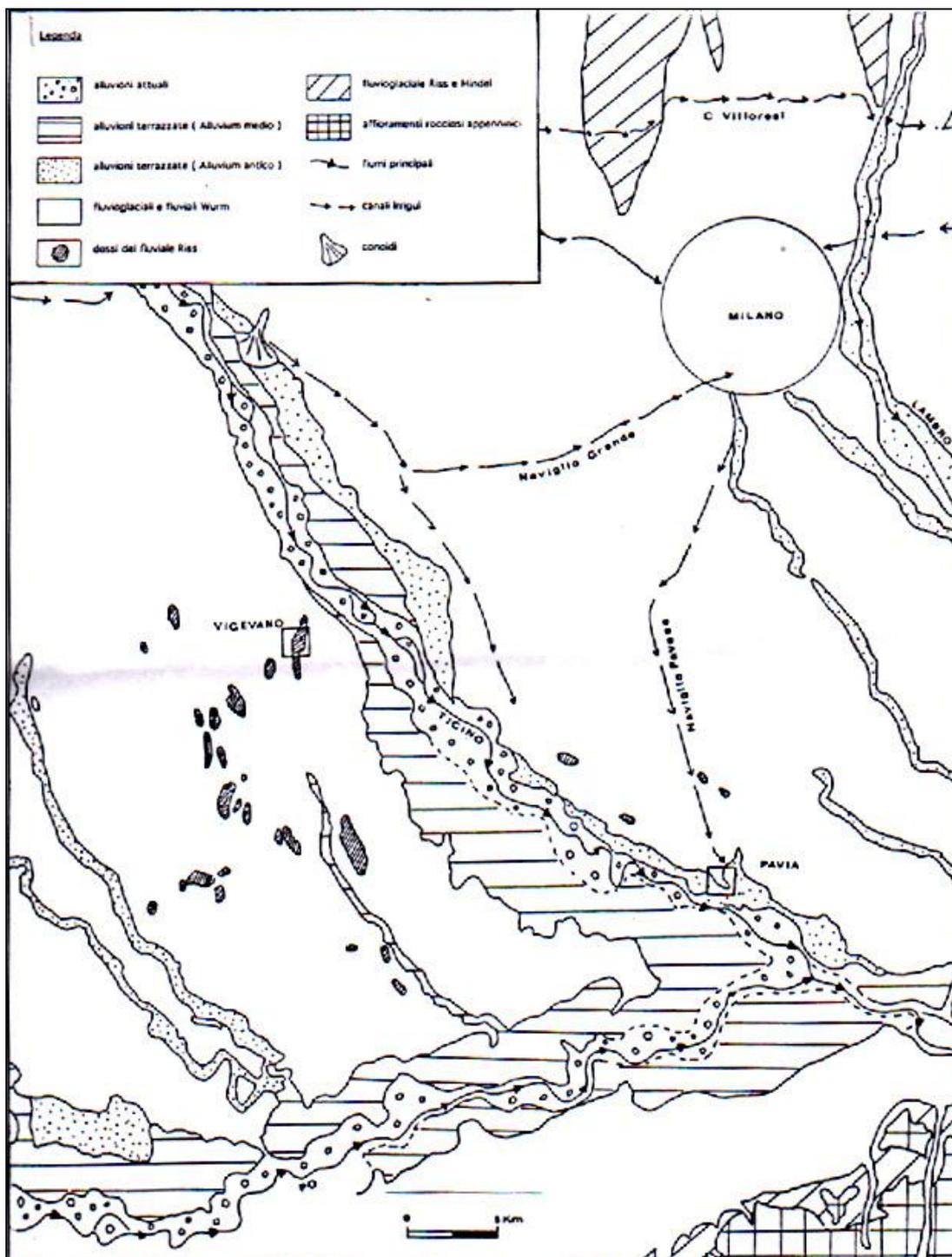


Fig. 3.1: Inquadramento geologico

3.1.2 Morfologia

La presenza dell'ampia valle del Ticino produce la frammentazione di questo territorio in 3 o 4 ambiti geografici – morfologici. Il settore ad ovest del fiume, per un tratto compreso tra 2 e 7 km, presenta quote massime di 125 e minime attorno ai 70, con una pendenza media dello 0,15%. La valle è ampia (5-6 km in media) e ben delimitata morfologicamente e presenta un dislivello complessivo di 55 m tra il limite settentrionale e la confluenza col Po, con una pendenza dello 0,1%.

Le scarpate che delimitano il solco vallivo possiedono dislivelli consistenti: sul lato ovest da 20 a 15 m (da nord a sud, a partire peraltro da superfici già terrazzate già più basse della LfP); sul lato est da 25-30 m fino a 15 m nella valle di Pavia.

Ad ovest del Ticino le pendenze delle superfici variano dallo 0,13% allo 0,17% nella zona Gambolò-borgo S. Siro per diminuire verso sud a meno dello 0,1%. È ben marcata dalle evidenze topografiche, la valle del Terdoppio, inizialmente molto ampia e poi assai ristretta a sud Gambolò. Evidenze simili mostrano le superfici terrazzate ad est di Cassolnovo e Vigevano, ribassate rispetto alla LfP di 5-9 da nord a sud, con scarpate nette, spesso rimodellate o intaccate da cave.

Sull'altro lato della valle un lieve aumento delle pendenze si verifica intorno a Motta Visconti, zona in cui è riconoscibile anche forma a canale e dosso dall'altezza di Bereguardo le isoipse tendono a orientarsi gradualmente in senso E-O, anticipando dunque la direzione N-S del drenaggio perpendicolare al fiume Po. Sul fondovalle del Ticino le isoipse segnalano con evidenza la presenza di superfici dotate di terrazza di valle, separata dal fondovalle di almeno 5 metri nella zona di Ozzero e non più di 2 o 3 m, ad ovest del fiume, all'altezza di Zerbolò.

Il fondovalle del Ticino si presenta ampio in sponda sinistra, fino all'altezza di Besate; successivamente, su questo lato il fiume tende a ridurre l'estensione dei terrazzi intermedi e ad intaccare direttamente alcuni con un'azione erosiva ad oggi ancora in atto.

In questa situazione (come torre d'isola) è visibile una potente successione sabbiosa su un banco argilloso impermeabile che funge dal livello idrogeologico di base e riconduce al fiume gran parte delle acque irrigue ad esso in precedenza sottratte. Sull'altro lato, a partire da Vigevano, la valle si amplia notevolmente, sono presenti risorgive, aree umide e torbose e, in genere molte

tracce di meandri abbandonati e paleoalvei dalla morfometria simile a quella del corso attuale. Sono anche presenti barre ghiaiose e rari piccoli dossi sabbiosi-ghiaiosi, il più evidente a Carbonara Ticino. In generale, tutta via le ampie tracce di meandri abbandonati rinvenibili nella pianura a est dell'attuale corso del fiume, ne testimonierebbero un'antica fase di migrazione verso sud-ovest.

3.1.3 Substrati pedologici

L'analisi di questo carattere deriva dallo studio passato di numerosi profili scavati nell'area, fino alla profondità del substrato: 1 metro nelle zone prossime al fiume o con falda idrica, 2-4 m nelle altre situazioni (Fig. 3.2).

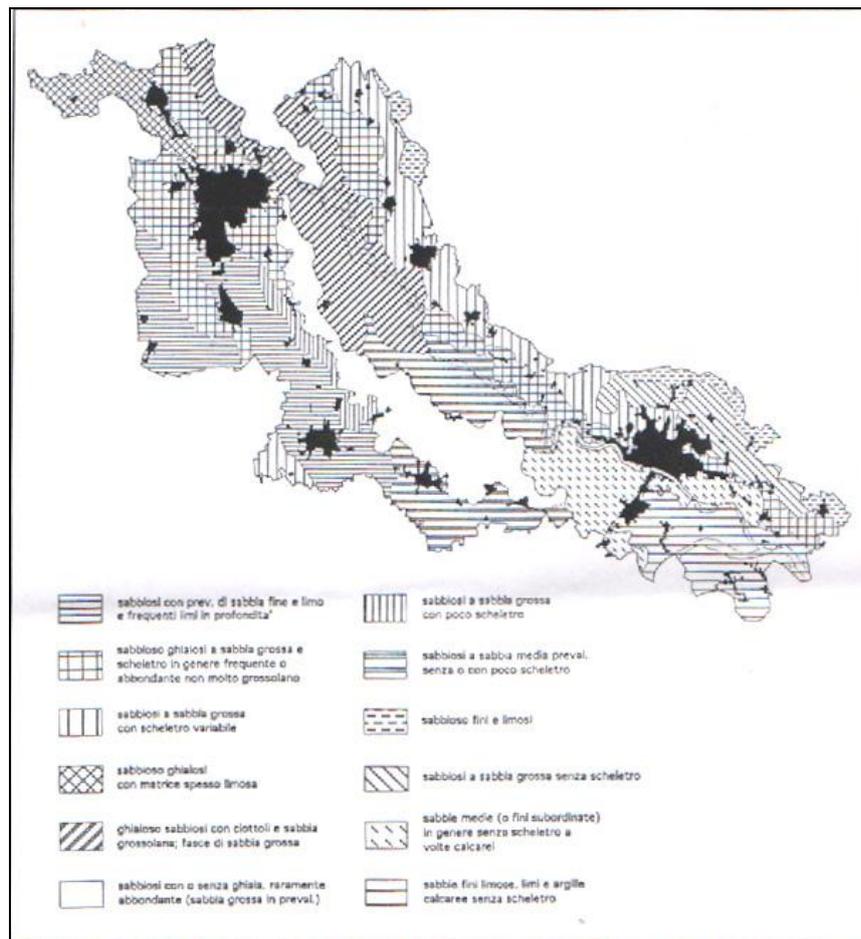


Fig. 3.2: Substrati Pedologici

Dalla loro distribuzione legata ad ambienti diversi di sedimentazione, si sono stricavate utili indicazioni per la delimitazione dei principali paesaggi della carta pedologica, senza che ciò comporti, una stretta correlazione cartografica con le unità della stessa carta dei suoli.

La bibliografia mostra come questa area sia stata suddivisa in ambienti tenendo conto della maggiore o minore presenza di scheletro, della granulometria prevalente delle sabbie, della presenza della componente limosa, nonché della presenza di calcare nei sedimenti.

Le aree a substrati più scheletri si trovano soprattutto sulle superfici dei terrazzi intermedi, alcuni dei quali sono definibili terrazzi di erosione e in parte nella valle del Terdoppio, nell'area più settentrionale con una matrice limoso-sabbiosa. Sedimenti sabbioso-argillosi, localmente molto ghiaiosi, sono tipiche della fascia del LfP a est del Ticino, tra Ozzero e Pavia e, con quantità di scheletro più ridotte, di mote aree collocate a fianco di limiti della valle.

Infine, meriali grossolani con sabbia grossa, ghiaia e ciottoli sono caratteristiche della metà settentrionale della fascia dei fondovalle del Ticino. Nella parte più interna dello stesso lato destro del fondovalle e nella sua metà inferiore fino all'altezza di torre D'isola, i substrati sono sabbiosi con contenuti di ghiaie variabili, raramente elevati. Depositi sabbiosi fungono da substrato pedologico in molte parti dell'area considerata: prima di tutto nella porzione centro occidentale della pianura tra Vigevano e Garlasco, ed est e ovest del Terdoppio. Si tratta delle aree sabbiose con dossi in cui è più facile rinvenire substrati sabbioso-fini, limosi o intercalazioni di limo. Più a sud, da Gropello a Carbonara Ticino, le sabbie sono un po' più grossolane, comprese in prevalenza nella frazione tra 0,1 e 0,2 mm.

Sabbie più fini, più o meno limose, si rinvenivano ad est e nord-est di Pavia, spesso il confine con il territorio rilevato e nei settori di margine est di Morimondo. Sedimenti dello stozzo tipo, a volte leggermente calcarei in profondità costituiscono i substrati a ovest di S. Martino Siccomario e a sud-est di Pavia, in aree che risentono evidentemente, almeno in parte, della sedimentazione tipica del Po.

Infine nell'area più sud orientale del territorio, materiali del substrato divengono decisamente fini, prima limoso-sabbiosi, poi limoso-argillosi, marcatamente calcarei.

3.1.4 Idrogeologia

Il sottosuolo dell'area, esaminato attraverso il confronto delle stratigrafie dei pozzi per acqua, è costituito essenzialmente da sabbie e ghiaie assai permeabili e assai simili, con una fazione ghiaiosa che da nord verso sud, tende a diminuire a favore di quella sabbiosa, e da lenti e livelli argillosi di varie dimensioni e spessori, più frequentanti verso sud, che non presentano comunque continuità laterale.

L'acquifero contenuto in questi depositi si comporta quindi come un unico sistema idraulico contenente più falde, e i diversi livelli produttivi che lo costituiscono possono comunicare tra di loro, permettendo lo scambio d'acqua. Schematicamente si possono comunque individuare due tipi di falda: una superiore libera, alimentata direttamente dalle acque meteoriche grazie alla buona permeabilità dei depositi superficiali ed una falda profonda in pressione.

L'inquadramento della falda è avvenuto tramite l'utilizzo dei dati della "carta idrogeologica", tratta dal piano cave della Provincia di Pavia, alla scala 1:50.000, riferita al dicembre 1985.

Capitolo 4

Materiali e metodi

Da quanto esposto nei capitoli precedenti, emerge l'importanza dello sviluppo di metodiche di ricerca di cadaveri occultati sotto terra; è da osservare che nel solo territorio di Milano sono 5/6 mediamente i casi ogni anno di cadaveri sepolti per i quali l'autorità giudiziaria richiede l'intervento di personale specializzato che sia esperto delle metodiche di ricerca e recupero. L'utilizzo di tali metodi e delle tecnologie correlate è limitato anche dalla scarsità di studi sperimentali, soprattutto nello specifico campo geologico italiano su cui il GPR non è mai stato utilizzato in precedenza in ambito sperimentale.

Di seguito verranno esposte le procedure sperimentali utilizzate nello studio attuale.

4.1 Selezione del sito

Grazie alla disponibilità del parco del Ticino, che ha autorizzato l'utilizzo di alcuni suoi terreni per l'esecuzione dell'attuale studio sperimentale, è stata individuata un'area nel comune di Cassolnovo (PV)

Il luogo prescelto risulta lontano dai percorsi turistici del Parco ed è sito in prossimità di alcune vasche di allevamento ittico.

Geograficamente l'area è localizzabile nell'area indicata dalle coordinate $45^{\circ} 23' 23,45''$ N e $8^{\circ}50'08,29''$ E, con un'altitudine sul livello del mare di circa 98m (Fig. 4.1).



Fig. 4.1: foto satellitare della zona del Parco del Ticino utilizzata per lo studio sperimentale

I primi sondaggi effettuati mostravano un orizzonte organico tra 0 e 5 cm, a cui fa seguito un orizzonte sabbioso con uno spessore tra i 5 e 15 cm, e oltre i 15 cm un orizzonte di ghiaia e ciottoli di dimensioni medio-grandi. Dal punto di vista pedologico i substrati pedogenetici sono depositi sciolti, che variano da ghiaioso-sabbiosi a sabbie grossolane, di origine alluvionale; dal punto di vista litologico i materiali presentano una netta prevalenza di rocce acide cristalline, mentre gli elementi carbonatici sono estremamente rari.

La forte dinamica fluviale e la giovane età dei sedimenti che caratterizza quest'area sono all'origine della scarsa evoluzione dei suoli qui presenti. Prevalgono quindi suoli a profilo AC con caratteri fisico-chimici fortemente correlati con la natura dei materiali parentali, risultando così suoli acidi e molto ricchi scheletro.

In particolare si è deciso di utilizzare per lo studio due aree adiacenti, aventi la stessa geologia ma con assetto botanico leggermente diverso, e nel dettaglio una zona che da ora in poi verrà definita area A, che si trova in una radura consistente in un prato arido a *Bromus sterilis* L., *Aira caryophyllea* L., *Koeleria pyramidata* (Lam.) Domin., *Carex caryophyllea* La Tourr., *Vulpia myuros* (L.) Gmelin, ai margini della quale si assiste all'ingresso di specie del mantello forestale, ed un'area B che si trova all'interno di un bosco, un querceto acidofilo, molto povero di specie

nel sottobosco. Tali siti si trovano entro una distanza di 20 m da una strada sterrata, percorribile in auto solo dal personale autorizzato, in modo da facilitare il trasporto delle carcasse di maiale.

4.2 Materiali

In molti ambiti sperimentali, tra cui sperimentazioni mediche, vengono utilizzati maiali, in sostituzione di materiale umano. Questo avviene poiché i maiali hanno molte caratteristiche che li rendono comparabili all'uomo sia dal punto vista anatomico che fisiologico che genetico (Bendixen *et al.*, 2010). Per quanto riguarda la presente sperimentazione, i fattori più significativi sono: una distribuzione dei tessuti nei vari distretti corporei del maiale simile a quella umana, l'assenza di pelliccia, una massa corporea (se di dimensioni adeguate) comparabile con quella di una persona del peso di 50-85 Kg, nonché una simile modalità di decomposizione.

I maiali utilizzati in questo piano sperimentale sono stati forniti dall'Istituto di Veterinaria dell'Università, in quanto precedentemente hanno fatto parte di un progetto di studio su valvole cardiache artificiali. Questi non vengono mantenuti in vita a lungo dopo l'operazione; sono perciò morti per cause indipendenti dal presente lavoro.

Sono state utilizzate carcasse di adulti di Sus Scrofa, del peso oscillante tra i 50 e i 90 kg circa (Fig. 4.2-4.12)(Tab.4.1). Il peso di questi animali è stato scelto per meglio simulare il peso di un individuo umano adulto e per questo sono stati selezionati ed utilizzati individui adulti, ma di giovane età.

La raccolta del materiale è stata intrapresa e conclusa nei mesi di autunno ed inverno del 2009

Ogni maiale è stato pesato al suo arrivo presso il LABANOF e ad ognuno sono state documentate le lesioni, ove presenti.

Di seguito sono fornite le immagini dei campioni utilizzati; in tabella sono inoltre riportati i dati generali dei diversi maiali.



Fig. 4.2: maiale 1



Fig. 4.3: maiale 2



Fig. 4.4: maiale 3



Fig. 4.5: maiale 4



Fig. 4.6: maiale 5



Fig. 4.7: maiale 6



Fig. 4.8: maiale 7



Fig. 4.9: maiale 8



Fig. 4.10: maiale 9



Fig. 4.11: maiale 10



Fig. 4.12: maiale 11

Campione	Genere	Peso (Kg)	Note
1	F	80	Al torace, sul lato sinistro, soluzione di continuo a tutto spessore del tegumento suturata (toracotomia)
2	M	80	Al torace, sul lato sinistro, soluzione di continuo a tutto spessore del tegumento suturata (toracotomia)
3	F	80	Al torace, sul lato sinistro, soluzione di continuo a tutto spessore del tegumento suturata (toracotomia)
4	F	48	Deceduto per morte naturale in allevamento
5	F	52	Deceduto per morte naturale in allevamento
6	M	90	Al torace ed all'addome, alla superficie ventrale, soluzione di continuo a tutto spessore del tegumento suturata (toracotomia)
7	M	80	Al torace ed all'addome, alla superficie ventrale, soluzione di continuo a tutto spessore del tegumento suturata (toracotomia)
8	M	80	Al torace, sul lato sinistro, soluzione di continuo a tutto spessore del tegumento suturata (toracotomia)
9	M	90	Al torace, sul lato sinistro, soluzione di continuo a tutto spessore del tegumento suturata (toracotomia)
10	M	90	Al torace, sul lato sinistro, soluzione di continuo a tutto spessore del tegumento suturata (toracotomia)
11	F	80	Al torace, sul lato sinistro, soluzione di continuo a tutto spessore del tegumento suturata (toracotomia)

Tab: 4.1 Tabella riassuntiva riportante i dati relativi a sesso, peso e caratteristiche generali dei campioni analizzati

4.3 Le sepolture

Dopo i primi sondaggi nel mese di aprile del 2009, il progetto ha avuto inizio nel mese di maggio del 2009. Le operazioni di inumazione sono state prodotte in due momenti distinti il 21-05-2009 (per l'area A) e il 04-06-09 (per l'area B) a 15 giorni di distanza, per esigenze di tipo logistico.

Le operazioni di inumazioni hanno visto il coinvolgimento di studenti, dottorandi, naturalisti, oltre che alla presenza di un botanico, un archeologo forense, e un geopedologo. Per ciascuna area sono state scavate 5 buche nelle quali sono state deposte altrettante carcasse di maiale (ad eccezione di una buca nel sito A, dove sono stati inumati due maiali nella stessa fossa per simulare un caso di doppia sepoltura).

Inoltre, per ciascuna sito è stata scavata una sesta buca, che è poi stata richiusa senza la sepoltura della carcassa ma con all'interno una lastra di ferro di circa 30 x 20, da usare come target per le analisi. Tale fossa fungerà da falso positivo e permetterà, perciò, di distinguere gli effetti dovuti alla presenza del maiale dagli effetti dovuti al mero disturbo legato allo scavo e all'alterazione meccanica del suolo.

Per ciascun sito è stata localizzata anche un'area rappresentante il campione di controllo. Tale area, delimitata da 4 picchetti e la cui superficie è di 1 x 2 m, non è stata perturbata da nessuno scavo, bensì è stata lasciata inalterata durante tutta la durata dell'esperimento. Tale area permette, così, di monitorare l'andamento naturale della vegetazione nel corso del tempo.

Ad intervalli di tempo regolari è stata prevista l'esumazione di una carcassa sepolta per ciascuno dei due siti, ad intervalli tali che l'ultima carcassa è stata recuperata allo scadere di trenta mesi (due anni e mezzo) dalla data di inizio dell'esperimento. Da tali operazioni si è anche potuto monitorare come si modifica il suolo intorno al cadavere deposto e come si decompongono le carcasse.

Le operazioni di scavo sono state compiute tramite l'utilizzo di un mezzo meccanico, un ragno, che ha prodotto le 12 buche o fosse, ognuna della profondità compresa tra gli 80 cm e i 110 cm e di larghezza e lunghezza, rispettivamente di circa 2,50 m e 3,50 m.

All'interno della Zona A, le fosse prodotte sono tutte della profondità di circa 110 cm, mentre all'interno della zona B, di circa 80 cm; la differenza di profondità si spiega primariamente come dovuta alla presenza di radici di alberi ad alto fusto nella Zona B.

All'interno di ogni buca è stato inumato un maiale tra quelli scelti per l'esperimento; ogni buca contiene un singolo maiale eccetto una buca nella Zona A (a prato) dove a scopo di studio sono

stati disposti i due esemplari più piccoli, incrociati (vedi foto) a simulare una sepoltura doppia per capire come potrà presentarsi la distribuzione degli elementi scheletrici in un caso come questo.

Le buche prodotte, una volta riempite, sono state “delimitate” da picchetti in legno per poterle meglio ritrovare, con l'accortezza però di non posizionare i picchetti sul limite esatto delle stesse ma ampliando i limiti reali, per capire se i margini delle fosse potessero essere facilmente riconoscibili durante lo scavo per la ricerca e l'esumazione delle carcasse.

Nell'area A e nella B, sono state prodotte le buche e successive inumazioni secondo il seguente schema:

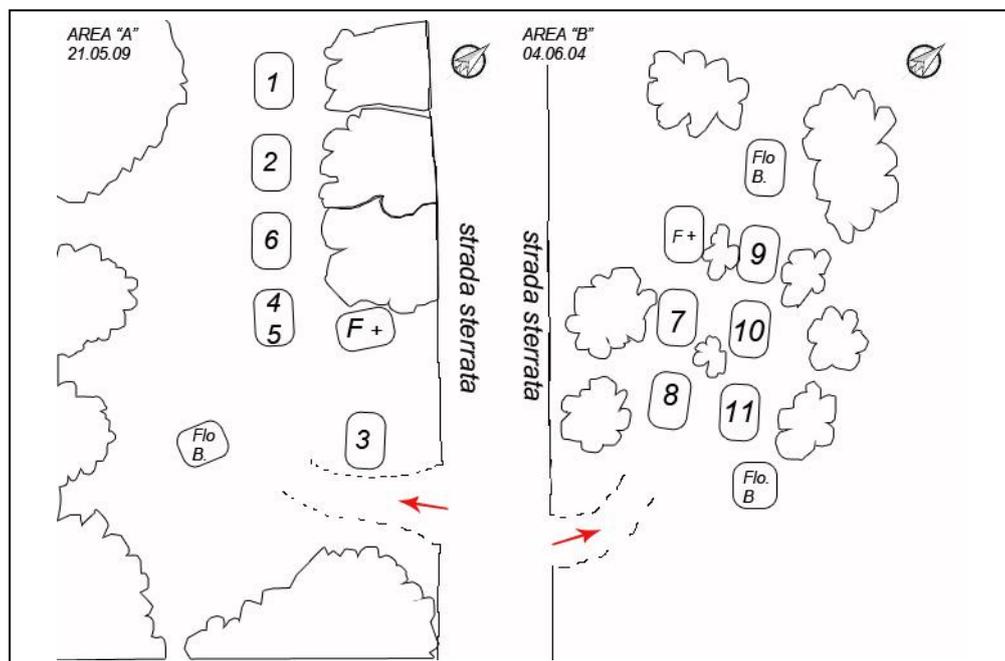


Fig. 4.13: schema complessivo delle due aree utilizzate per la sperimentazione

4.4 Osservazione ambientale ed Esumazioni

Le osservazioni ambientali includono un'analisi macroscopica del sito di deposizione ed un'indagine botanica delle specie presenti nelle diverse aree: i dettagli di entrambe le operazioni sono di seguito riportate.

4.4.1 Analisi del sito di deposizione

Le operazioni di analisi ambientale si sono focalizzate sullo studio del grado di visibilità della fossa (all'esame esterno e dopo asportazione del materiale superficiale).

Tali metodi hanno previsto la localizzazione della buca, la determinazione dell'ingombro della stessa e lo scavo di metà di essa, con lo scopo primario di aumentare le possibilità di procedere con l'esumazione, stabilire con un buona grado precisione la localizzazione e la posizione del maiale sul fondo.

Le fosse non erano delimitate in modo preciso, in quanto il loro ingombro è stato indicato solo in maniera grossolana, per capire quale fosse al difficoltà nel ritrovare i margini delle buche stesse durante le operazioni di scavo ed esumazione e se gli stessi margini fossero visibili anche nelle rilevazioni di tipo geofisico.

Lo scavo di ogni maiale, ha seguito le regole dell'archeologia forense classica, individuando quindi la buca aiutati anche dai picchetti di segnalazione e procedendo con il successivo svuotamento.

Lo scavo ha interessato dapprima una semibuca in modo da poter valutare la profondità di sepoltura ed effettuare dei campionamenti di terreno, durante la discesa, a determinate profondità; inoltre, il non preciso posizionamenti dei picchetti ci ha obbligati a svuotare solo mezza buca, in modo da essere certi di centrare il target ed evitare quindi di "mancarlo"

Lo scavo è stato effettuato dal piano di campagna, verso la quota stabilita, asportando materiale ogni 10/15 cm in modo da scendere gradualmente fino al ritrovamento del "target".

Ogni scavo ha previsto fotografie dettagliate della buca pre-scavo, della buca in fase di scavo e del target

4.4.2 Analisi botaniche

Per ciascuna area interessata dallo scavo è stato eseguito, prima dell'apertura della buca, un rilievo della vegetazione, in modo da avere il "campione bianco" relativo a quella stessa area, cioè conoscere la situazione prima dell'alterazione.

Dopo l'inumazione, il campionamento botanico è avvenuto a 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.

Su ciascuna fossa, compreso il falso positivo, e sul controllo sono stati eseguiti rilievi di due tipi:

- campionamento secondo la “Point Quadrat Analysis”;
- redazione della lista floristica.

Sono stati rilevati dati quali-quantitativi delle specie vegetali presenti secondo la Point Quadrat Analysis PQA. Si è costruita una griglia regolare a maglie di 10 cm, posta su un telaio di 110 cm x 110 cm, in modo da poter raccogliere dati relativamente a 100 punti, corrispondenti ai 100 incroci della griglia. Tale griglia viene posta al centro della fossa e sul controllo; la vegetazione viene poi “pettinata” (le piante che sono state schiacciate dalla griglia vengono fatte uscire dalle maglie in modo da avere una posizione più naturale) e fotografata dall’alto.

Per ciascuno dei 100 punti della griglia sono state registrate in una tabella cartacea:

- le specie presenti;
- il numero di volte che ogni specie incrocia un’immaginaria linea perpendicolare al suolo.

Infine, le specie osservate all’interno del quadrato ma non rilevate dalla griglia sono state riportate in una nota dell’elenco. La PQA, rispetto ad un tradizionale rilievo fitosociologico, garantisce una maggiore oggettività e standardizzazione del rilievo in quanto le specie presenti vengono rilevate in maniera regolare. Inoltre, attraverso tale metodo, è possibile seguire i cambiamenti dei singoli individui nel tempo, in quanto la griglia viene posta sempre nello stesso punto, come un quadrato permanente. Infine, questo tipo di approccio permette una maggiore precisione nella successiva fase di analisi statistica dei dati.

I dati così raccolti sono stati utilizzati anche nella redazione della lista floristica. La lista floristica è l’elenco di tutte le specie presenti all’interno dell’area rilevata. Tale area viene fotografata con fotocamera digitale ogni volta che si esegue il rilievo.

4.5 Geofisica

Di seguito sono esposte le varie fasi di indagine effettuate tramite le metodiche geofisiche.

4.5.1 Strumentazione

Lo strumento utilizzato per questo tipo di Analisi è stato il Pulse Ekko Pro con antenna bistatica da 500MHz della casa produttrice Sensor & Software; la sua applicazione è stata possibile

grazie alla collaborazione dello studio GG Service s.a.s prospezioni geofisiche di Torbole sul Garda (TN)



Fig. 4.14: Immagine della strumentazione utilizzata per la ricerca con georadar

Di comune accordo con i tecnici, abbiamo ritenuto opportuno fissare le rilevazioni geofisiche secondo lo schema riportato nella tabella 4.2.

L'area A al momento del primo passaggio, misurava 23 metri per 4 metri e la Zona B misurava circa 7,5 per 3 metri circa, ma con un andamento a ferro di cavallo ma le dimensioni delle singole zone, sono ovviamente diminuite col susseguirsi delle esumazioni, che hanno ridotto la superficie da analizzare a successivi passaggi col georadar.

Inoltre nei Punti indicati con A e B è stato posizionato il target che è stato attraversato da alcuni profili sia trasversali che longitudinali (N-S) mentre su entrambe le aree è stata utilizzata una interspaziatura tra i profili di 0.5 m.

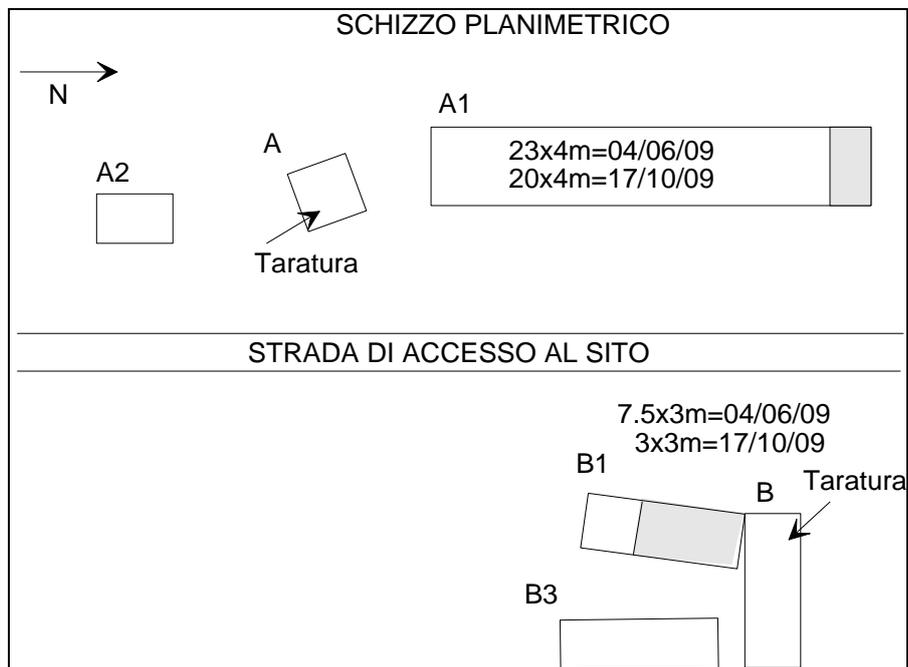


Fig 4.15: Schema delle rilevazione geofisiche eseguite nell'area analizzata

Il tipo di dati che viene restituito è osservabile da una duplice schermata del software Ekko Mapper 3, che è rappresentato dai grafici nella figura 4.16.

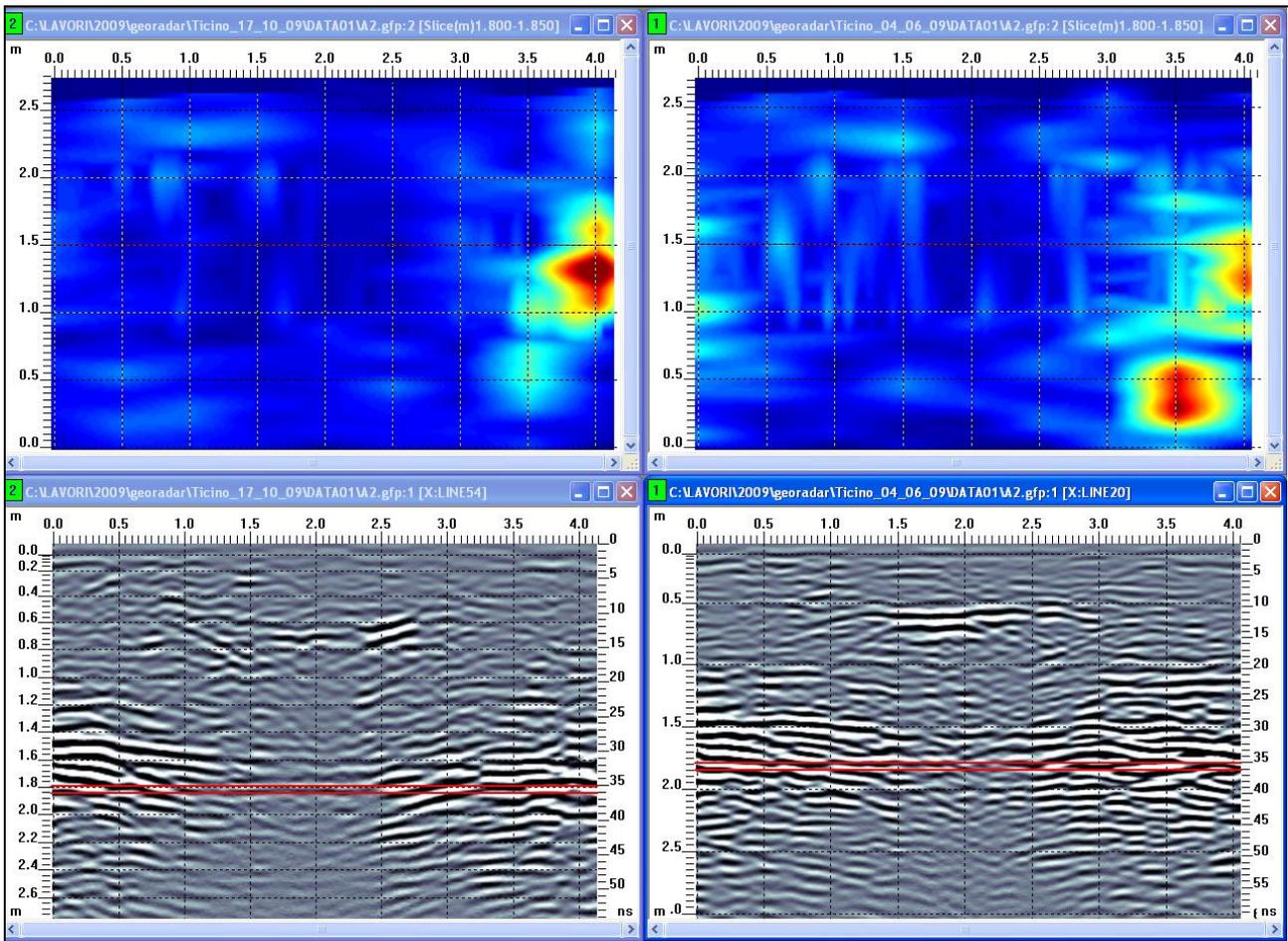


Fig. 4.16: Esempi di colorgramma (sopra) e radargramma (sotto) ottenuto alla strumentazione

Tali grafici sono rispettivamente in alto i colorgrammi e in basso i radargrammi, i colorgrammi sono una rappresentazione del passaggio in superficie del GPR ovvero una restituzione planimetrica a diverse quote (Fig. 4.17), della zona oggetto dell'indagine; il colorgramma inoltre ci fornisce informazioni, come dice il suo nome, cromatiche sulla tipologia e qualità degli oggetti che il segnale attraversa e individua lungo il suo cammino, con una variazione di colore che è espressione della capacità di materiali diversi, di riflettere in maniera diversa il segnale, da qui il nome riflettanza.

Il radargramma invece offre una rappresentazione di ciò che è presente lungo la sezione che il segnale attraversa al passaggio dello strumento, l'informazione viene restituita senza l'ausilio di analisi cromatiche.

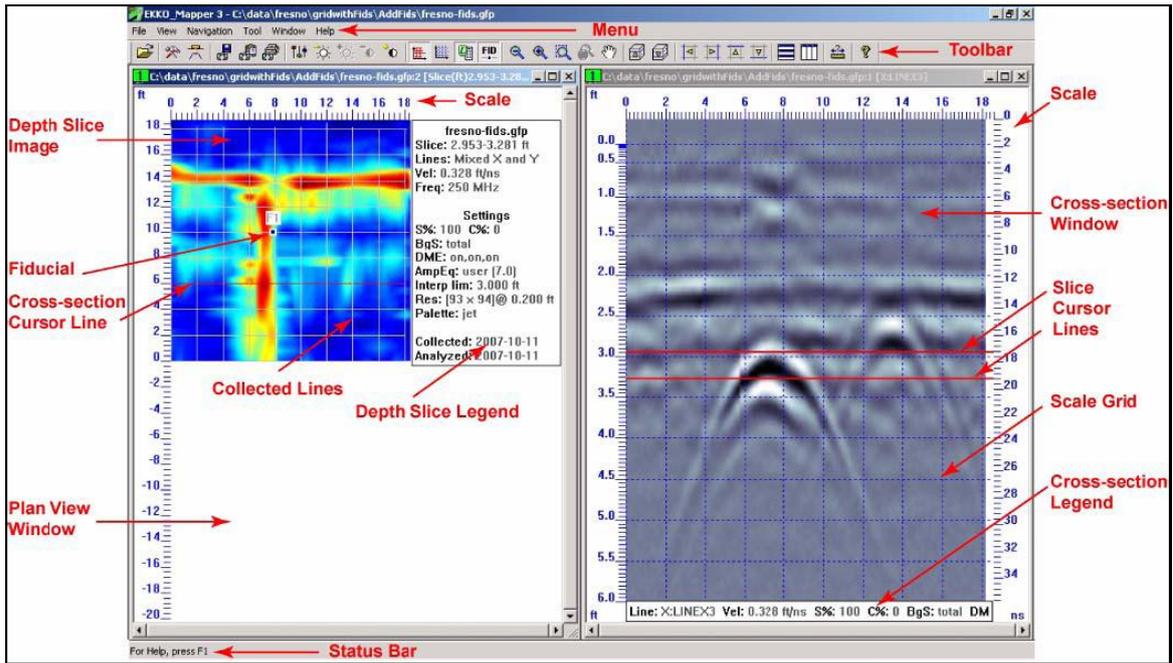


Fig. 4.17: Legenda dei tracciati ottenuti

Fondamentalmente l'unione dei diversi colorgrammi e radargrammi di un'area ci permette di ottenere una ricostruzione 3D dell'area stessa

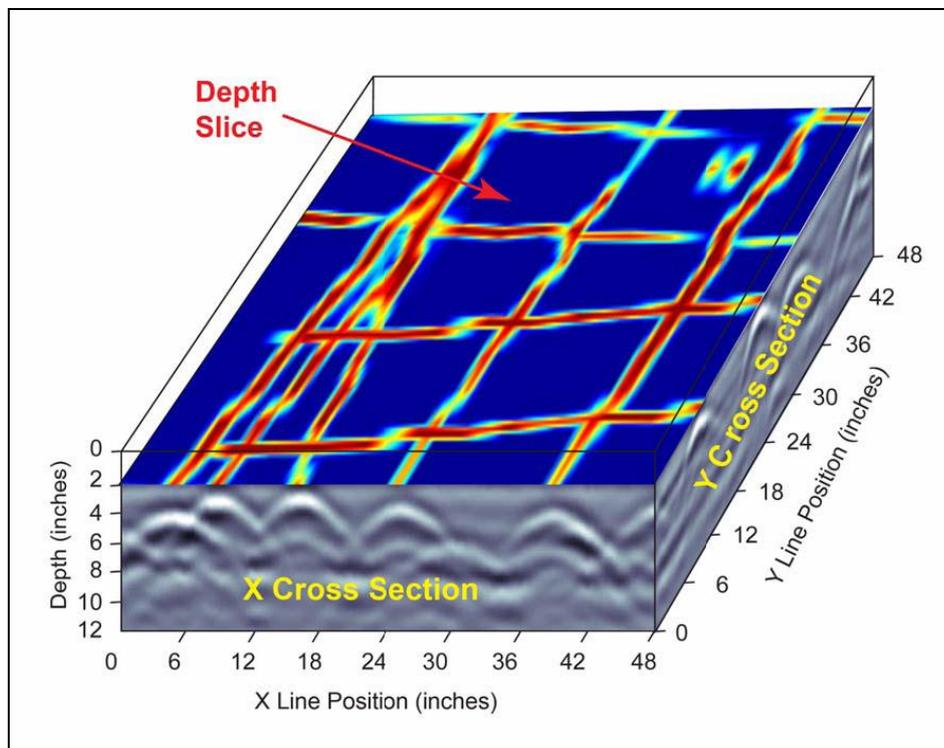


Fig. 4.18: Ricostruzione 3D del terreno su rilevazioni geofisiche

4.5.2 Rilievi eseguiti tramite georadar

I diversi campioni sono stati analizzati tramite metodiche geofisiche con le tempistiche di seguito riportate in tabella.

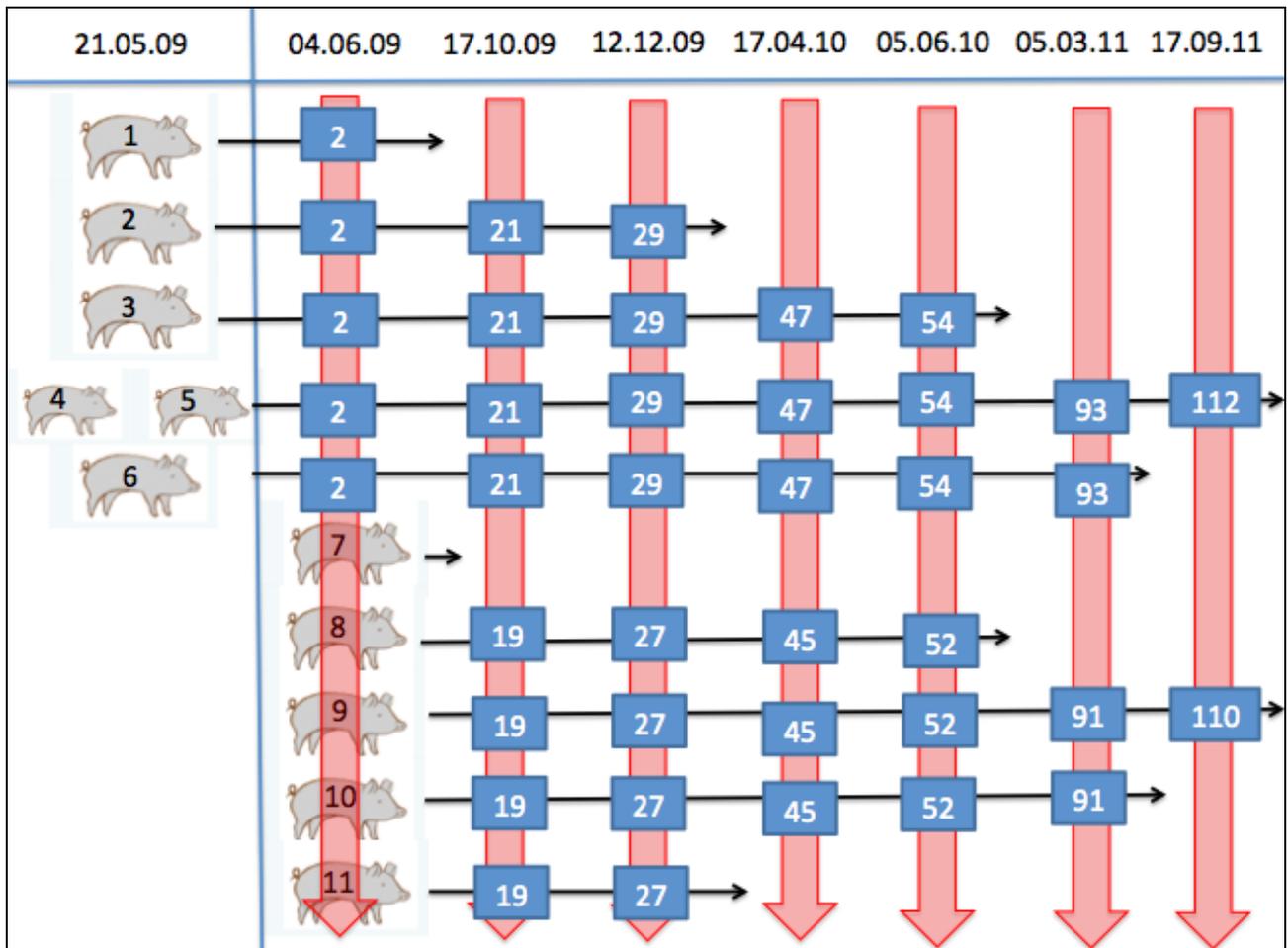


Fig. 4.19: Tempistica delle diverse scansioni georadar: i momenti delle scansioni sono segnalati da frecce rosse e nelle caselle blu sono specificate le settimane intercorse fra la scansione e il seppellimento; le figure dei maiali indicano l'epoca di seppellimento dei diversi campioni

4.6 Scavo

Le esumazioni sono state stabilite ed effettuate nei tempi e nei modi riportati nella tabella 4.2 e sono state effettuate con le metodiche archeologiche/archeologico forensi.

Esumazione	Area A				Area B			
	Campione	Sepoltura	Esumazione	Differenza	Campione	Sepoltura	Esumazione	Differenza
I	1	21.05.09	06.07.09	7 settimane	7	04.06.09	20.07.09	7 settimane
II	2	21.05.09	14.12.09	29 settimane	11	04.06.09	25.01.10	35 settimane
III	3	21.05.09	21.06.10	56 settimane	8	04.06.09	22.06.10	54 settimane
IV	6	21.05.09	02.05.11	102 settimane	10	04.06.09	31.05.11	103 settimane
V	4 e 5	21.05.09	30.11.11	130 settimane	9	04.06.09	01.12.11	128 settimane

Tab 4.2: Tabella relativa alle epoche di esumazione dei diversi campioni

I principi geologici della stratigrafia, applicati alle rocce sedimentarie, sono quelli dell'originaria sovrapposizione dei sedimenti, della loro originaria orizzontalità e dell'originaria continuità laterale degli stessi (Fig 4.20).

Queste teorie sono state espone, per la prima volta, nel 1669 da Steno (E.C.Harris, 1995) ed affermano che la successione di strati sedimentari è originariamente organizzata con gli strati sottostanti più antichi rispetto a quelli posizionati sopra di essi. Questo riflette la meccanica della deposizione sedimentaria dall'alto verso il basso, per cui ogni strato nuovo copre quello precedente. La sovrapposizione degli strati può fornire una datazione relativa, cioè una datazione cronologica: A è più antico di B, B è più recente di A, ma più antico di C, C è più recente di A e di B. La stratigrafia archeologica è costituita da strati naturali che subiscono le leggi naturali della fisica (erosione, movimento e deposito) e da depositi che subiscono influenze antropiche (asportazione, trasporto e accumulo). La stratigrafia naturale può essere interrotta grazie all'erosione, determinando un'asportazione naturale che lascia un'interfaccia negativa, colmata in un secondo tempo dal deposito dello strato successivo. Nella stratigrafia antropica l'asportazione di strati orizzontali in profondità, cioè lo scavo di una buca, definito "taglio", è il corrispettivo del fenomeno di erosione, ma a seguito di intervento antropico (Fig. 4.21). Il deposito che colma il taglio è definito "riempimento".

Le operazioni di scavo archeologico ripercorrono la sequenza stratigrafica in senso inverso a come essa è stata depositata. Ogni contesto di deposizione (strati e riempimenti) viene scavato singolarmente differenziandosi dagli altri in base alla matrice, al colore, alla compattezza, alla consistenza ed alle inclusioni. Analogamente i contesti di asportazione (tagli) si differenziano per forma, dimensione e profondità.

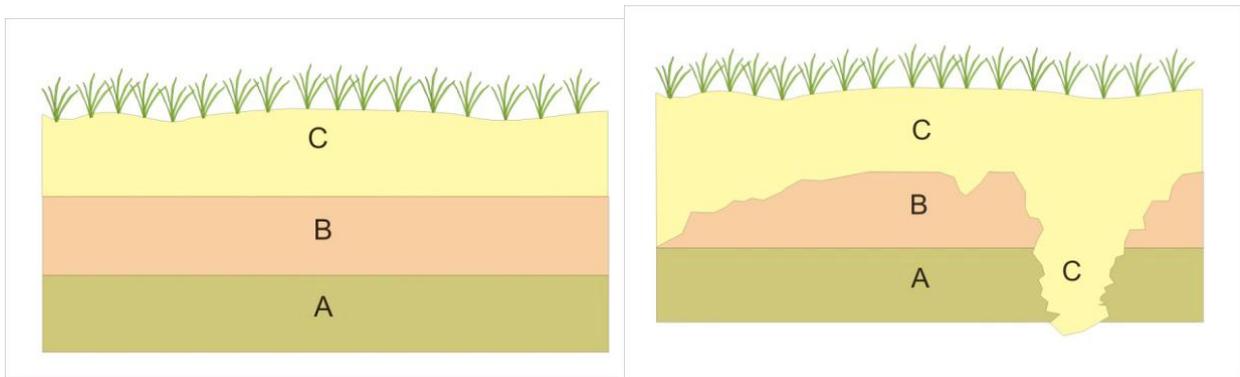


Fig.4.20 : A sinistra: Niccolò Stenone: l'originaria orizzontalità, l'originaria continuità laterale e l'originaria sovrapposizione; a destra: erosione in strati sedimentari dovuta a fenomeni naturali

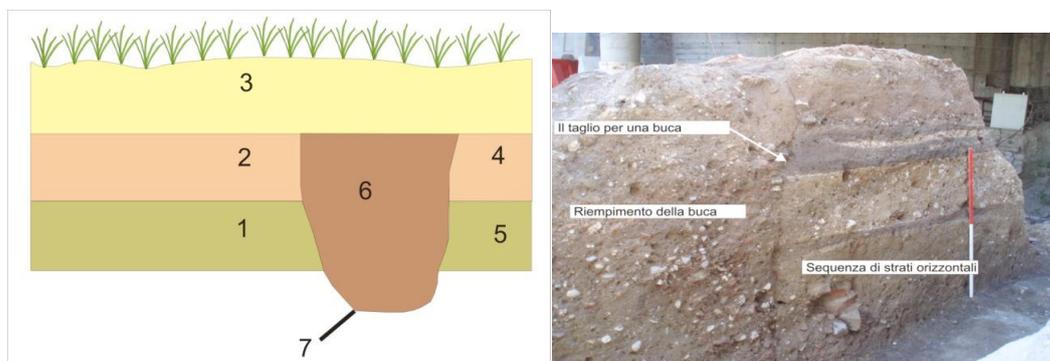


Fig. 4.21: La stratigrafia archeologica: a sinistra, una sezione tipo; a destra, foto di una sezione che mostra la stratigrafia archeologica con i suoi inclusi. La stratigrafia archeologica subisce sia le leggi della fisica naturale che l'intervento antropico. Le buche scavate dall'uomo imitano il fenomeno di erosione.

4.7 Esame esterno

Sui campioni esumati è stato eseguito un esame esterno allo scopo di valutare lo stato di decomposizione dei campioni; è stata inoltre eseguita una quantificazione del grado di decomposizione in base al metodo ADD (accumulated degree-days): tale metodo si basa sull'assegnazione di un punteggio in base alle condizioni di putrefazione di capo e collo, tronco ed arti, che viene poi convertito in un numero corrispondente alla somma di gradi Fahrenheit ambientali sopra lo zero assunti dal campione dal giorno di esposizione (Megyesi, 2006). Tale numero consente di quantificare l'avanzamento dei fenomeni trasformativi e consente di ottenere un'informazione complementare alla valutazione morfologica.

4.8 Dati meteo

Contestualmente alla sperimentazione, sono state acquisite informazioni meteorologiche relative all'area utilizzata per lo studio nel periodo specifico. Il monitoraggio meteo è stato effettuato dalla stazione di Vigevano, al ponte del Ticino sulla SS494, dati forniti dall'ARPA Lombardia e sono state registrate temperatura e precipitazioni giornaliere, medie, in formato CSV.

Capitolo 5

Risultati

Di seguito vengono esposti i risultati delle diverse metodiche di indagine, suddivise nei seguenti paragrafi.

5.1 Osservazioni ambientali

5.1.1 Analisi del sito di inumazione

In concomitanza con ogni singola esumazione è stata eseguita un'indagine mirata a rilevare la capacità di identificare i siti di deposizione alle diverse epoche di esumazione. Il grado di visibilità è stato valutato in maniera semiquantitativa, da 0 a +++; + indica la presenza di una disomogeneità di terreno, in assenza di una chiara definizione del sito, ++ la presenza di una chiara area di deposizione, ove però i margini non sono più riconoscibili: con +++ si indica il caso in cui la fossa sia pienamente visibile.

Di seguito sono riportate le immagini ed i giudizi di visibilità su ogni deposizione alle diverse esumazioni.

Nel dettaglio, per quanto riguarda l'area A, il sito è sempre stato chiaramente visibile durante tutto il periodo della sperimentazione; la morfologia del terreno ed il perimetro dello scavo erano riconoscibili fino all'ultima esumazione.

Nell'area B invece si è assistito ad una variazione del grado di visibilità della fossa con il passare del tempo; in particolare, nei primi mesi dopo il seppellimento, il sito di deposizione era ancora ben riconoscibile: successivamente, dal mese di settembre in poi, la caduta delle foglie ha coperto l'area di scavo ed ha impedito di identificare con certezza il sito, se non dopo rimozione dello strato superficiale di copertura vegetale. La presenza di una generale anomalia nel terreno era riconoscibile, seppur con difficoltà, nelle esumazioni effettuate nei periodi estivi (Tab. 5.1), in cui la scomparsa dello strato di copertura permetteva di nuovo la visibilità della superficie.

Data esumazione	Area A	Area B
Giugno 2009		
Dicembre 2009 Gennaio 2010		
Giugno 2010		
Maggio 2011		



Tabella 5.1: dettaglio delle aree di deposizione nei diversi periodi di esumazione

Di seguito (Tab. 5.2) vengono riportati i giudizi di visibilità dei siti di deposizione, classificati da 0 a +++.

	Giugno 2009	Dicembre 2009 Gennaio 2010	Giugno 2010	Maggio 2011	Novembre 2011 Dicembre 2011
Area A	+++	+++	+++	+++	+++
Area B	+++	0	+	+	0

Tabella 5.2 : giudizi in merito al grado di visibilità del sito di deposizione nei diversi periodi di esumazione

5.1.2 Analisi botaniche

La sepoltura ha portato, come previsto, alla completa distruzione della copertura vegetale. La ripresa è stata molto lenta per ogni zona per tutta l'estate e fino l'inizio dell'autunno. Durante questo periodo, anche il plot di controllo indisturbato ha mostrato una regressione importante della copertura vegetale riguardante sia il numero delle specie che il numero complessivo di contatti nel plot, in diminuzione di 3 specie e di 13 contatti. Ciò è dovuto alla scomparsa di specie annuali durante i mesi più secchi.

Un recupero quantitativo è iniziato a novembre ed è accelerato da marzo. Alla fine del processo, il numero di specie ha raggiunto di nuovo ad ogni plot valori pre-disturbo, d'altra parte, il numero di contatti, rappresentativi della copertura vegetale in generale, non si è ripreso dall'azione del disturbo.

Il numero di specie della plot indisturbato di controllo è stato significativamente superiore a quella delle tombe piene. Considerando solo le visite effettuate dopo il ripristino della vegetazione, il numero di specie non ha mostrato alcuna differenza significativa tra controllo, fossa di controllo e fosse riempite, mentre il numero di contatti è stato più elevato per l'indisturbato.

La tendenza stagionale dell'indisturbato, mostra la forte diminuzione di copertura vegetale durante la stagione estiva a causa della scomparsa della specie annuali, molte delle quali (*Air Caryophylla*, *Vulpia myuros*) costituivano una parte importante della comunità. L'originale composizione di specie e la copertura vegetale vengono ricostruite a partire dall'autunno, con una pausa durante i mesi più freddi (gennaio) ed sono completi a partire da marzo.

Dopo la sepoltura, *Bromus sterilis*, *Carex caryophylla*, *Euphorbia cyparissias*, *Tecurium chamaedrys* *Vulpia myuros* e il muschio *Schistidium apocarpum* erano significativamente più abbondanti sull'indisturbato che sulle fosse. Solo il muschio *Hypnum jutlandicum* era significativamente più frequente sulla fossa di controllo. Nessuna specie però è significativamente legata alle fosse. Considerando solo le visite dopo il recupero della vegetazione, il risultato non cambia, fatta eccezione per una leggera preferenza di *Allium carinatum* per la fossa di controllo.

Il quadro generale di abbondanza delle specie ha mostrato molte specie esclusive o preferenziali, due (*Hypnum jutlandicum* e *Cerastium ligusticum*) della tomba di controllo e solo uno (*Myosotis ramosissima*) delle tombe piene, anche se non in modo significativo data la sua bassa frequenza. Questa tendenza non è cambiata considerando solo i campionamenti dopo la ripresa della vegetazione. *Teesdalia nudicaulis*, *Rumex acetosella*, *Tuberaria guttata* formato un gruppo di specie legate a tutti i siti disturbati che è diventato più evidente dopo il ripristino della vegetazione.

Per quanto riguarda la richiesta dei nutrienti, la frequenza più alta è stata raggiunta da specie appartenenti alla classe 2 dell'indice N di Landolt, seguiti da quelli di classe 1 che indica una presenza complessiva di specie oligotrofiche. Specie che richiedono nutrienti (classe 4) non sono presenti sulla fossa di controllo e la loro frequenza è sempre stata inferiore al 10%; specie appartenenti alla classe 5 non appaiono per nulla.

L'indice R di Landolt (pH del suolo) ha mostrato il dominio globale di specie acidofile; l'alto presenza di specie appartenenti alla classe 4 indica un pH leggermente superiore sul controllo indisturbato, almeno a livello di rizosfera.

La comunità indisturbata (controllo) ha mostrato la presenza di una vasta gamma di strategie di sopravvivenza, ma il dominio globale è stata di specie che mostrano una strategia stress-tollerante (S) (*Carex caryophylla*, *Aira caryophylla*, *Koeleria pyramidata*, *Teucrium chamaedrys*), tra le specie dominante, solo *Vulpia myuros* ha mostrato una sostanziale strategia ruderale (R). Le fosse di controllo hanno mostrato un peso crescente di specie prevalentemente ruderali in prossimità o in un angolo R, ad eccezione di *Aira caryophylla*; le tombe esposte una trama molto simile, con il ruolo crescente di specie ruderali. Nessun cambiamento è stato osservato tra le posizioni diverse per quanto riguarda la competitività (C) componente competitiva della comunità (Caccianiga et al., 2009).

Nella seguente tabella (Tab. 5.3) sono riportati i profili di colonizzazione botanica nei diversi siti di deposizione.

Data di analisi	Area A	Area B
--------------------------------	---------------	---------------

Giugno – Luglio 2009



Luglio 2009



Dicembre 2009 - Gennaio 2010



Giugno 2010



Maggio 2011



Novembre 2011 - Dicembre 2011



Tabella 5.3: dettagli delle aree di deposizione nelle due aree

5.2 Geofisica

Di seguito sono esposti i colorgrammi e radargrammi relativi alle diverse buche, acquisiti nei periodi di analisi; viene inoltre riportato uno schema riassuntivo sul grado di identificazione delle anomalie rilevate.

Per ogni maiale sono stati prodotti 3 radargrammi e colorgrammi, che vogliono rappresentare l'individuazione del disturbo dato dal maiale, in tre posizioni:

- una iniziale, relativa al disturbo alla quota più alta all'interno della buca, chiamata start,
- una centrale, relativa al disturbo alla quota intermedia all'interno della buca, chiamata middle,
- una finale, relativa al disturbo alla quota più bassa all'interno della buca, chiamata end.

Per ognuna di queste posizioni è stata effettuata una valutazione semiquantitativa del colorgramma espressa con una scala da +++ a 0, a seconda che il segnale del maiale (o del disturbo indotto o dal maiale o dalla buca) risultasse visibile.

I radargrammi associati inoltre hanno permesso di dare una collocazione, in sezione, della profondità in cui si trova il disturbo.

Ovviamente le letture vengono restituite in funzione della velocità di propagazione delle onde, applicata di volta in volta per l'analisi di ogni radargramma nei diversi passaggi, durante i 30 mesi del lavoro.

5.2.1 Rilevazioni Geofisiche – Radargrammi e Colorgrammi

Per ogni passaggio del georadar, effettuato nei giorni indicati dalla tabella 5.5, si riportano le tre letture (start, middle ed end) di ogni maiale in ogni zona, la sequenza è in ordine cronologico e ovviamente il numero di maiali e dei relativi colorgrammi e radargrammi, diminuisce all'aumentare del tempo, perché alcune letture sono successive alle esumazioni. In ogni immagine è possibile apprezzare a sinistra il colorgramma e a destra il corrispondente radargramma, con indicato la quota di rilevamento del segnale.

Zona A: maiale 1 (04.06.09)

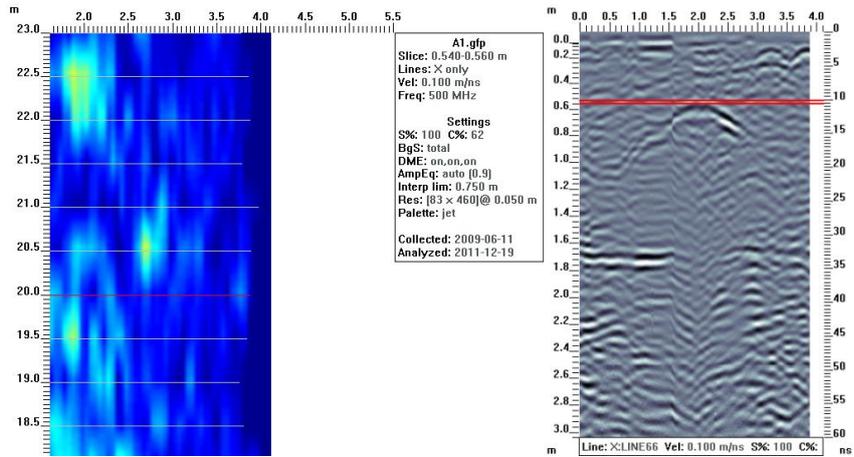


Fig. 5.1: Maiale uno start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,54 cm

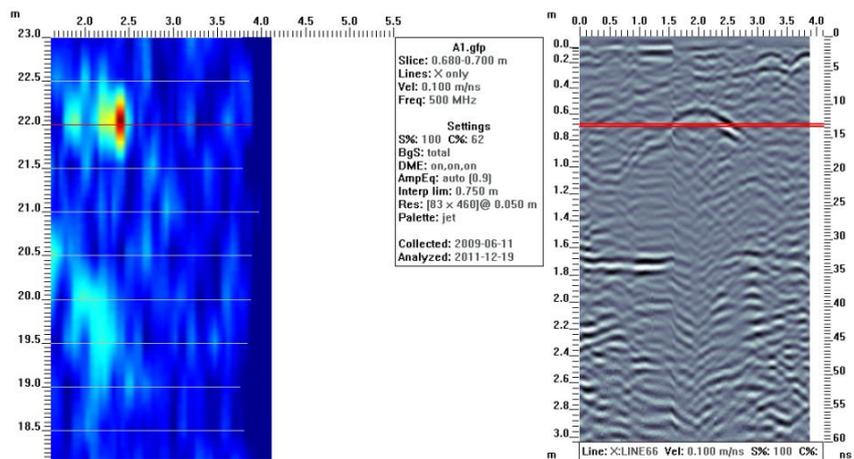


Fig. 5.2: Maiale 1 middle - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,68 cm

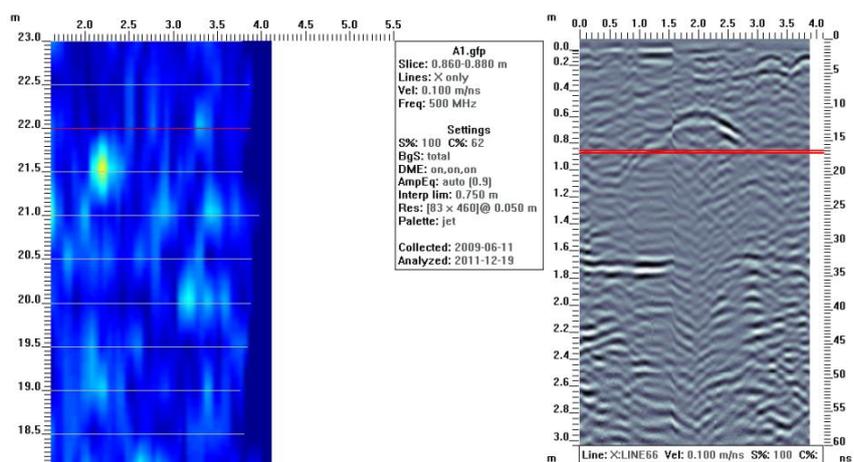


Fig. 5.3: Maiale 1 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,88 cm

Zona A: maiale 2 (04.06.09)

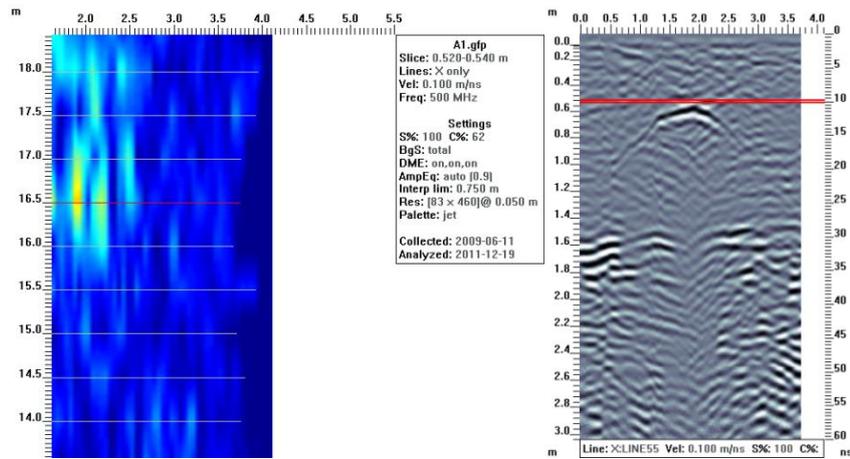


Fig. 5.4: Maiale 2 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,52 cm

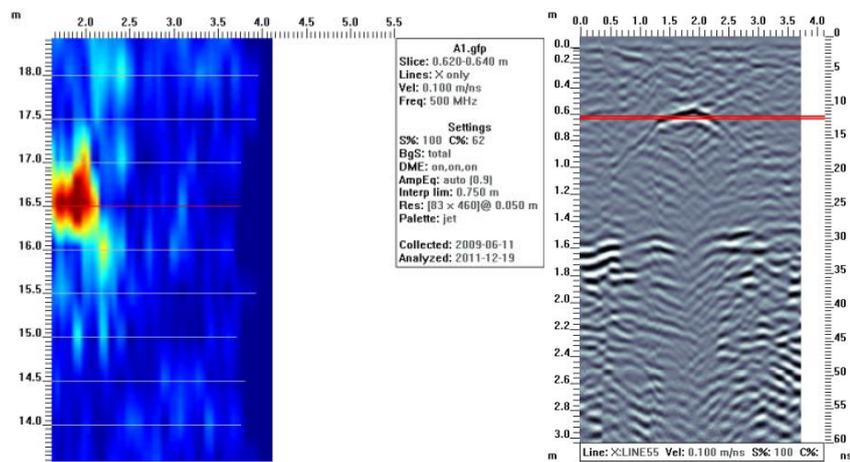


Fig. 5.5: Maiale 2 middle - colorgramma (valutazione +++) e radargramma, - 0,62 cm

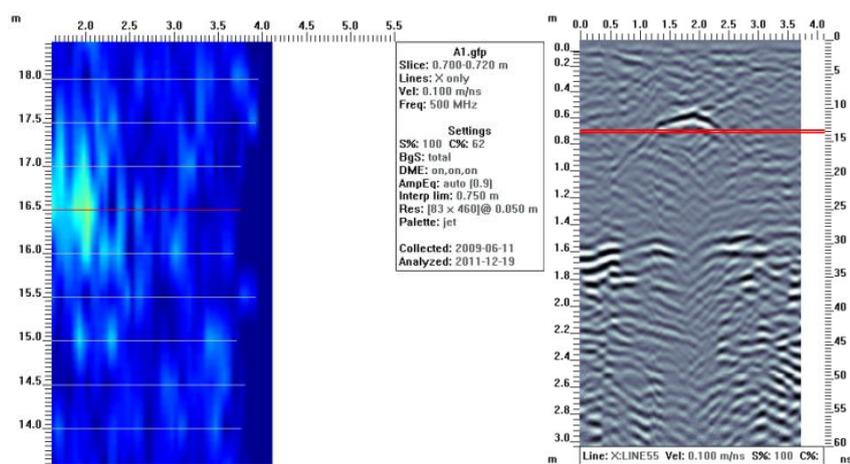


Fig. 5.6: Maiale 2 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,72 cm

Zona A: maiale 3 (04.06.09)

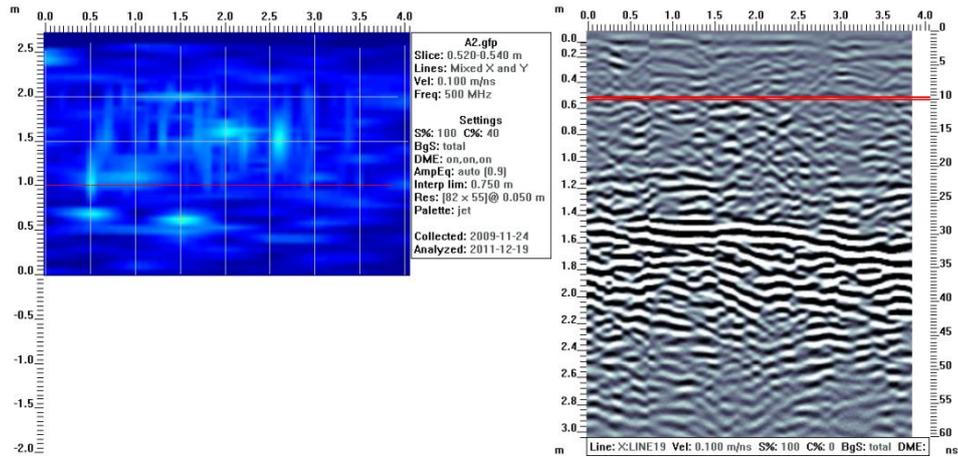


Fig. 5.7: Maiale 3 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,52 cm

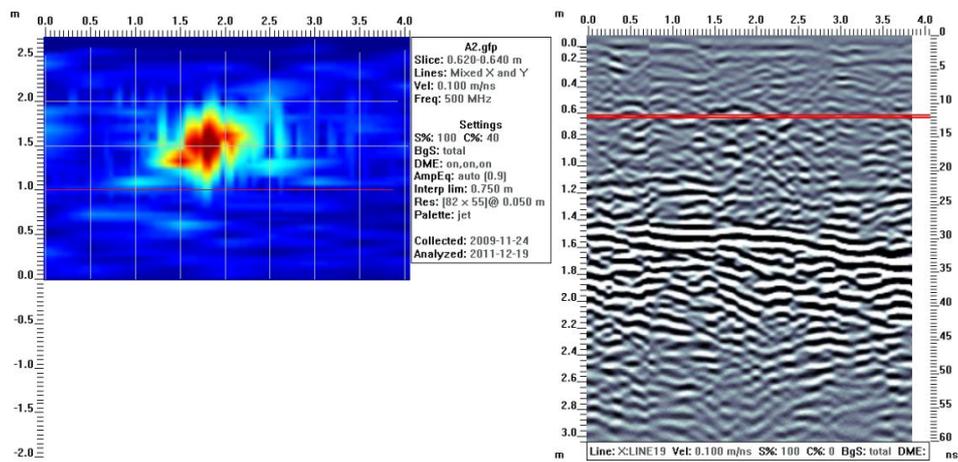


Fig. 5.8: Maiale 3 middle - colorgramma (valutazione +++) e radargramma, - 0,62 cm

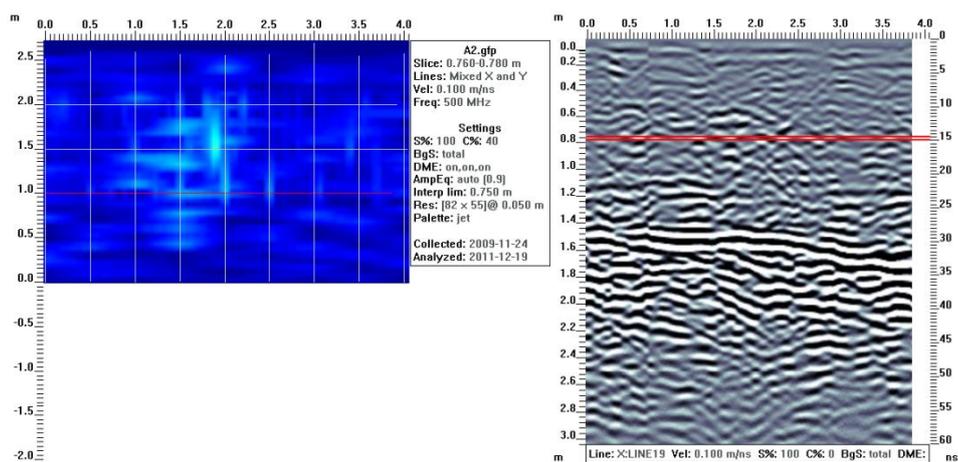


Fig. 5.9: Maiale 3 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,78 cm

Zona A: Maiali 4&5 (04.06.09)

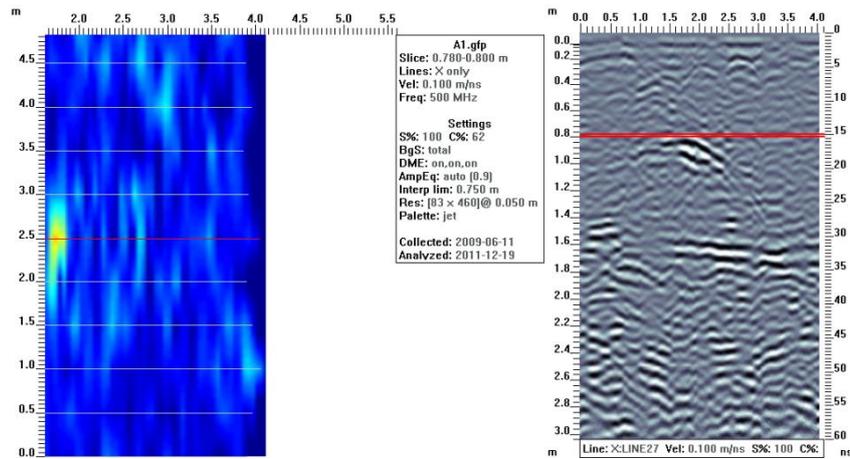


Fig. 5.10: Maiali 4&5 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,78 cm

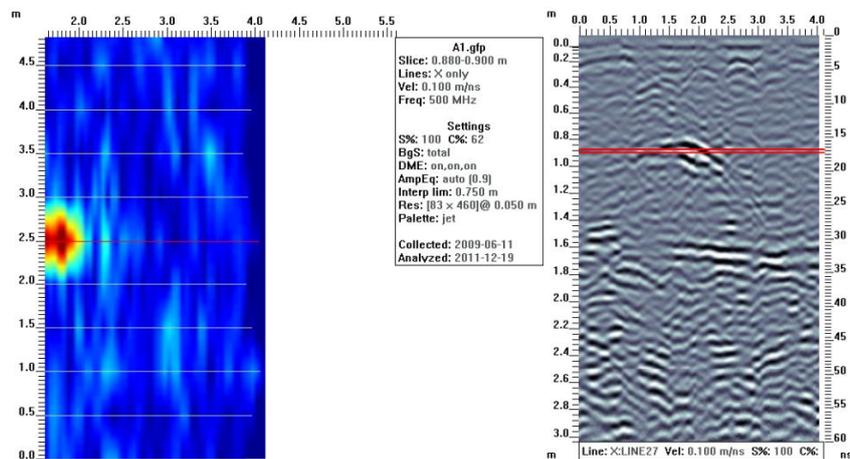


Fig. 5.11: Maiali 4&5 middle - colorgramma (valutazione +++) e radargramma, - 0,88 cm

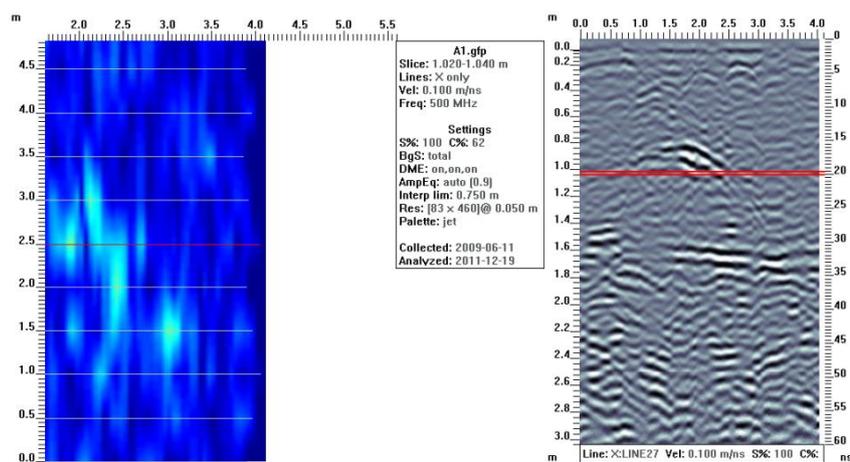


Fig. 5.12: Maiali 4&5 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 1,04 cm

Zona A: maiale 6 (04.06.09)

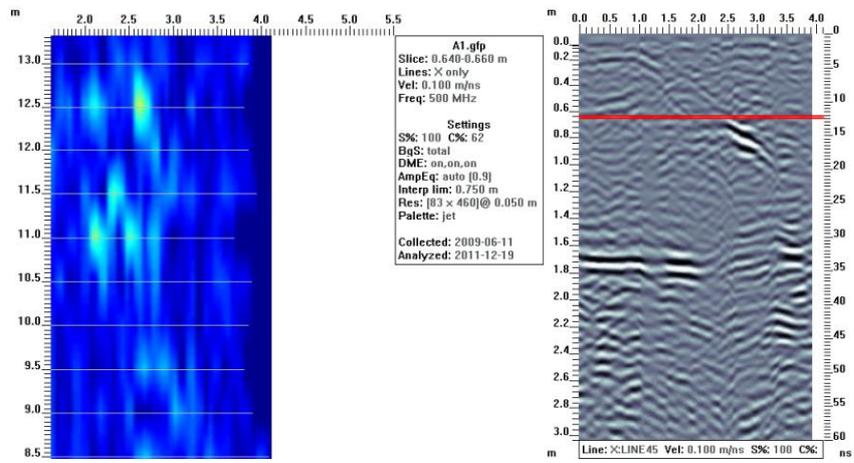


Fig. 5.13: Maiale 6 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,78 cm

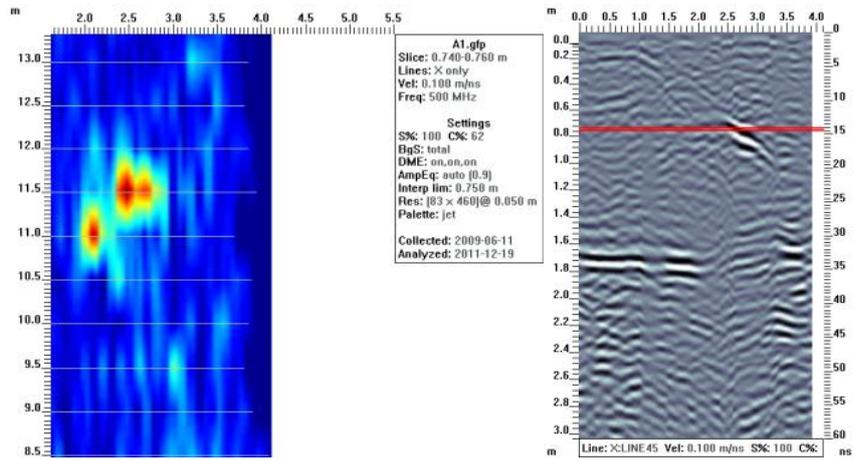


Fig. 5.14: Maiale 6 middle - colorgramma (valutazione +++), e radargramma, - 0,76 cm

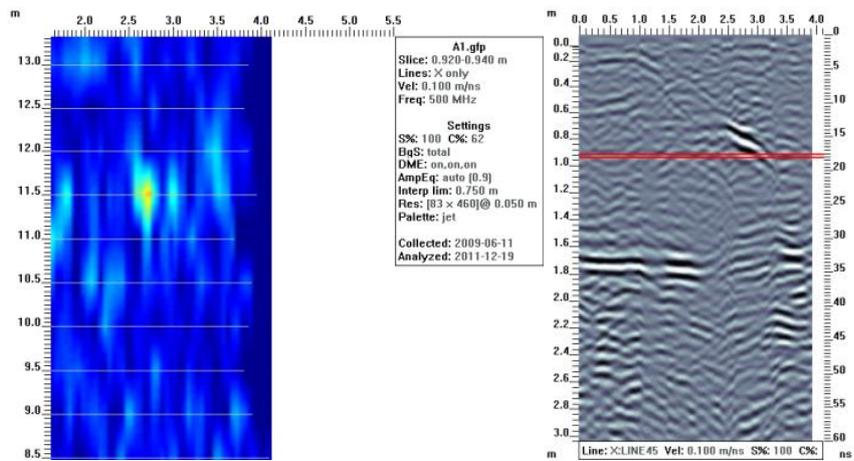


Fig. 5.15: Maiale 6 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,94 cm

Zona B: maiale 7 (04.06.09)

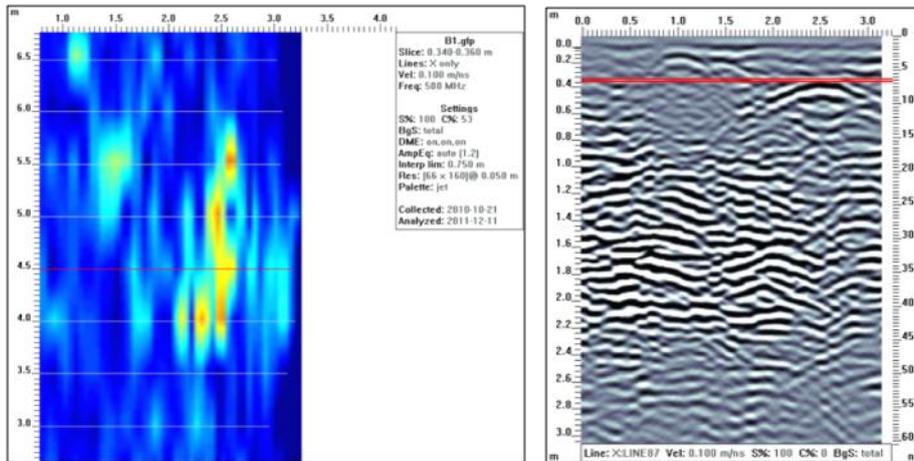


Fig. 5.16: Maiale 7 start - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,34 cm

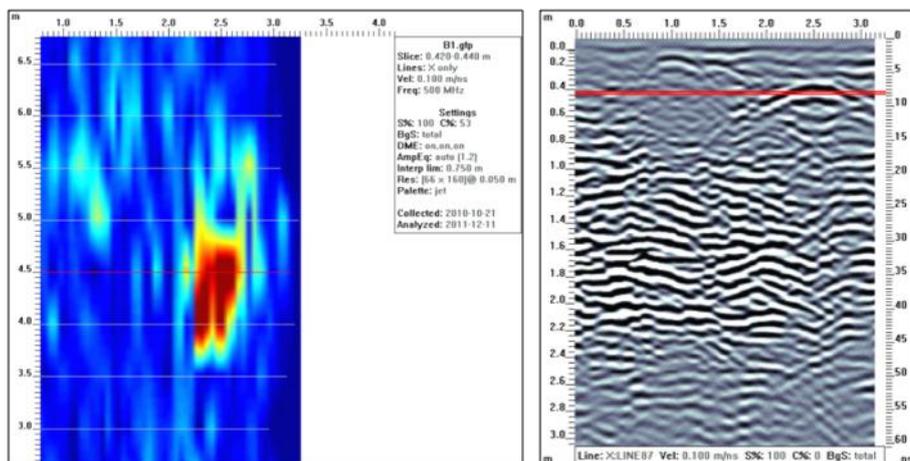


Fig. 5.17: Maiale 7 middle - colorgramma (valutazione +++) e radargramma, - 0,44 cm

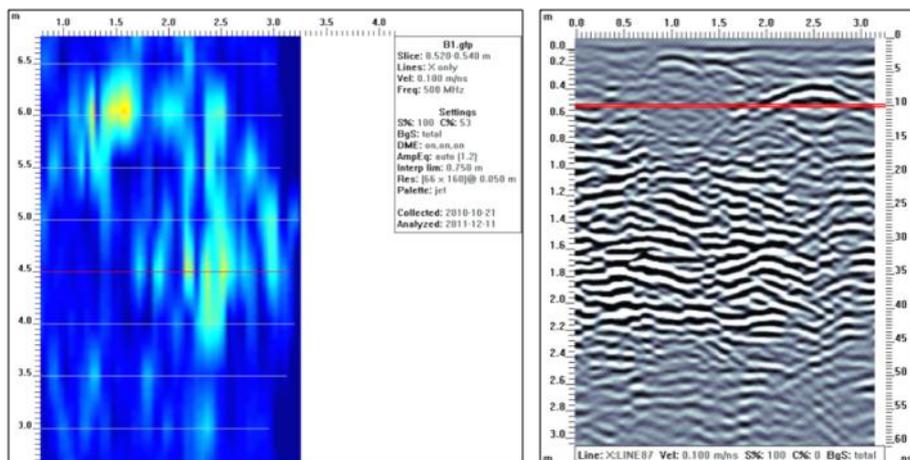


Fig. 5.18: Maiale 7 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,54 cm

Zona B: maiale 8 (04.06.09)

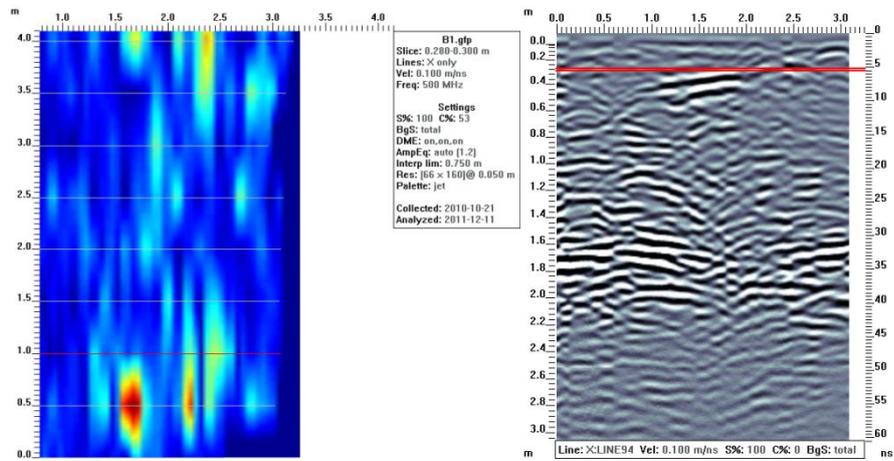


Fig. 5.19: Maiale 8 start -colorgramma (valutazione +++) e radargramma, - 0,30 cm

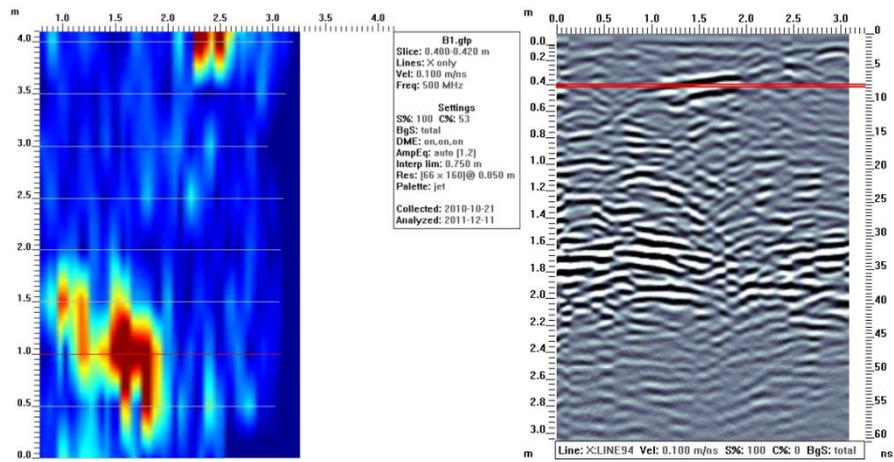


Fig. 5.20: Maiale 8 middle - colorgramma (valutazione +++) e radargramma, - 0,42 cm

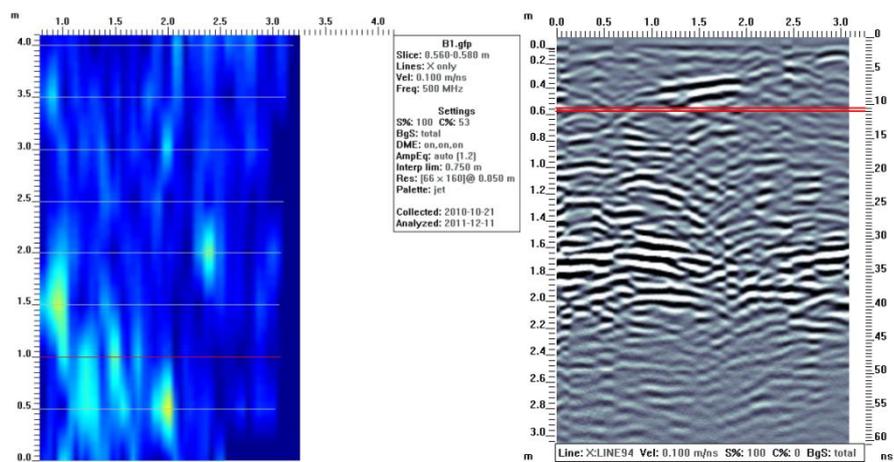


Fig. 5.21: Maiale 8 end: colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,58 cm

Zona A: maiale 9 (04.06.09)

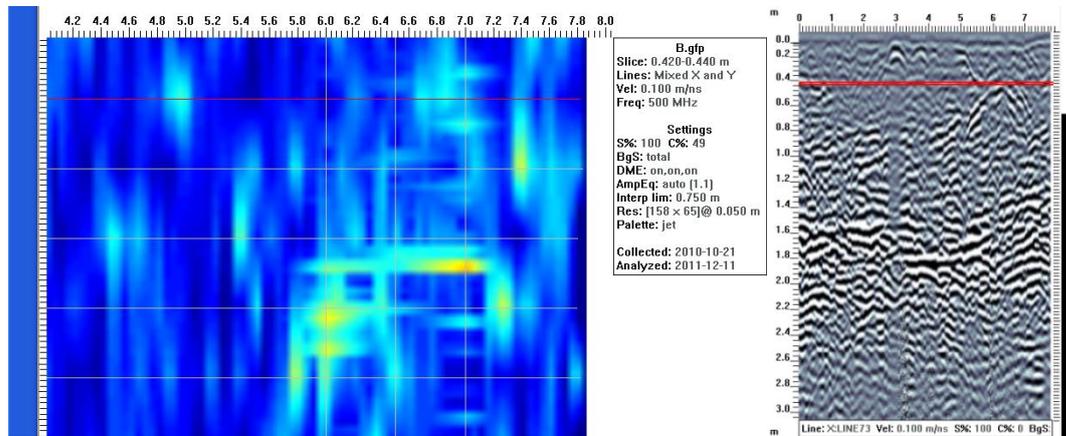


Fig. 5.22: Maiale 9 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,42 cm

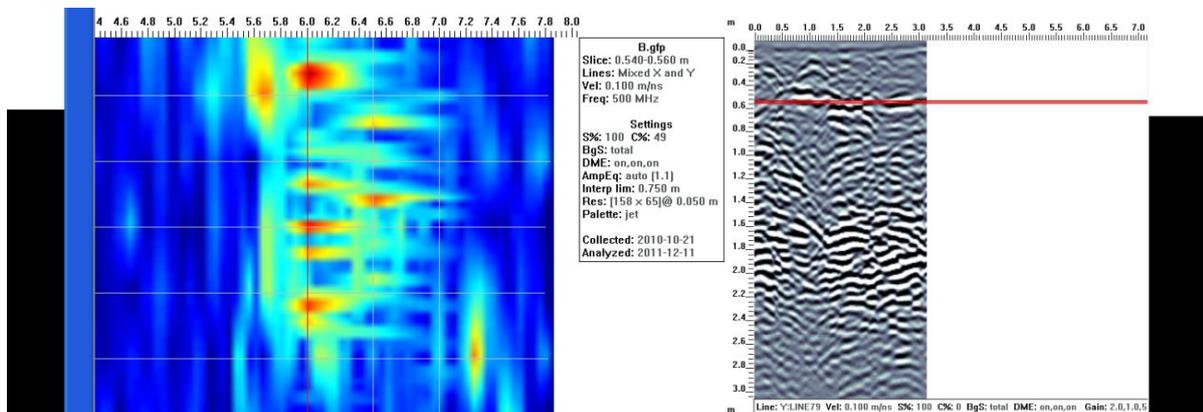


Fig. 5.23: Maiale 9 middle - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,54 cm

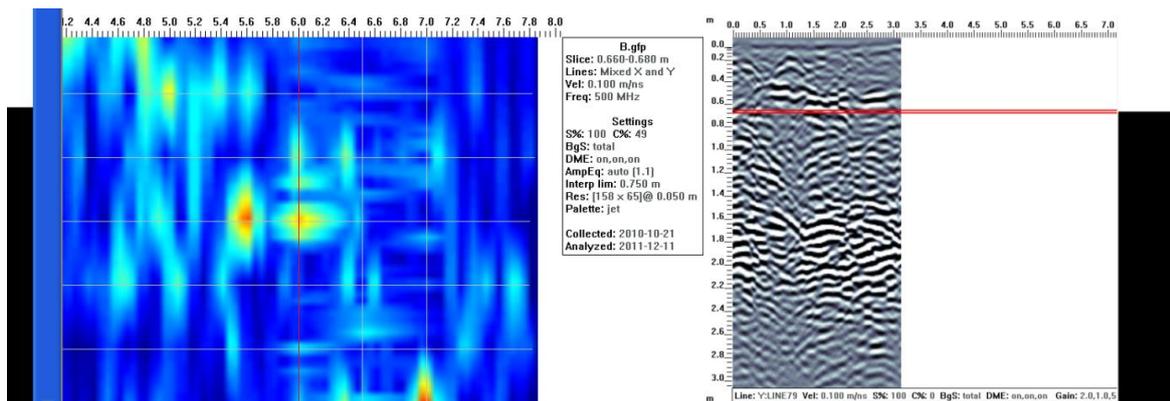


Fig. 5.24: Maiale 9 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,68 cm

Zona B: maiale 10 (04.06.09)

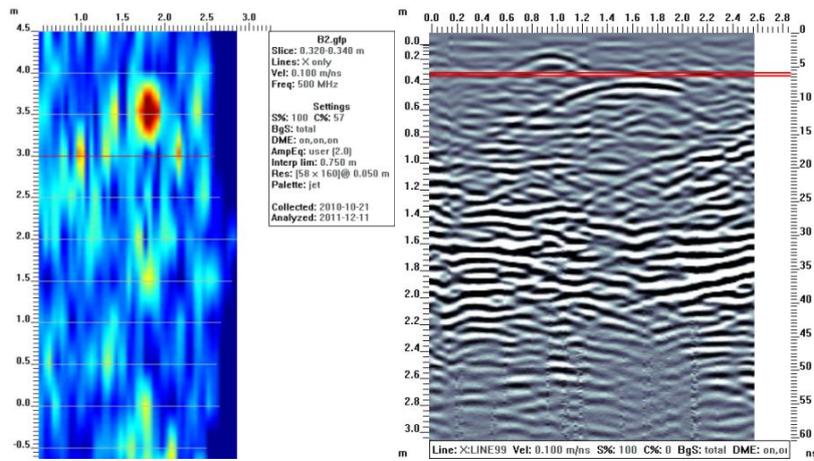


Fig. 5.25: Maiale 10 start - colorgramma (valutazione +++) e radargramma, - 0,32 cm

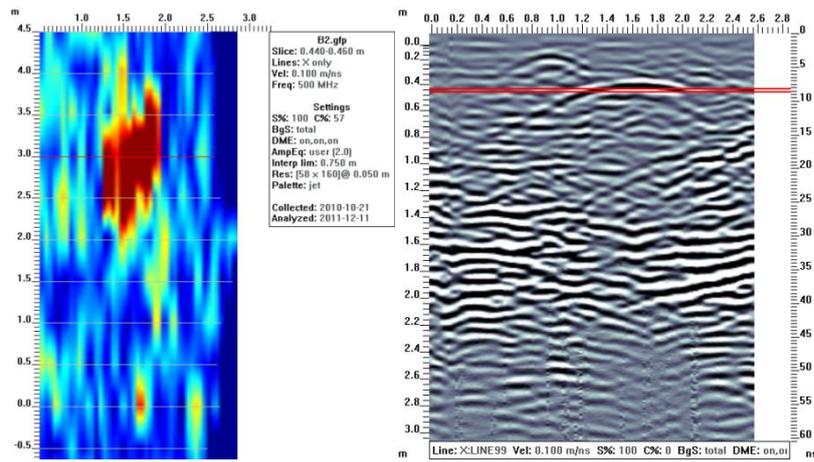


Fig. 5.26: Maiale 10 middle - colorgramma (valutazione +++) e radargramma, - 0,44 cm

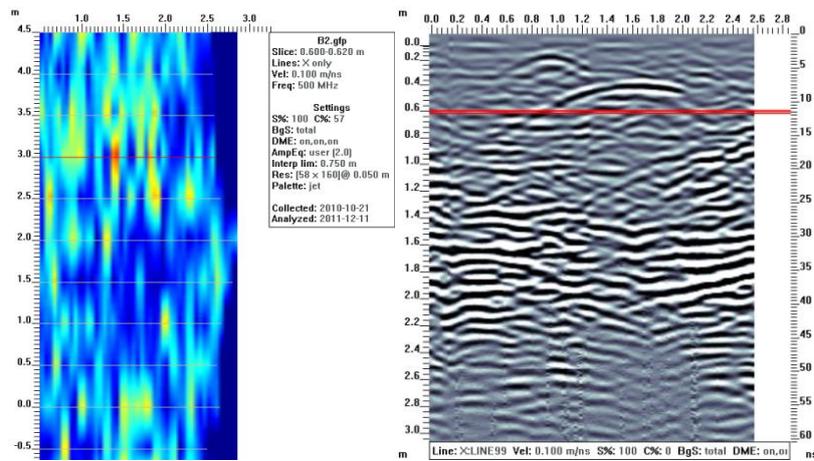


Fig. 5.27: Maiale 10 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,62 cm

Zona B: maiale 11 (04.06.09)

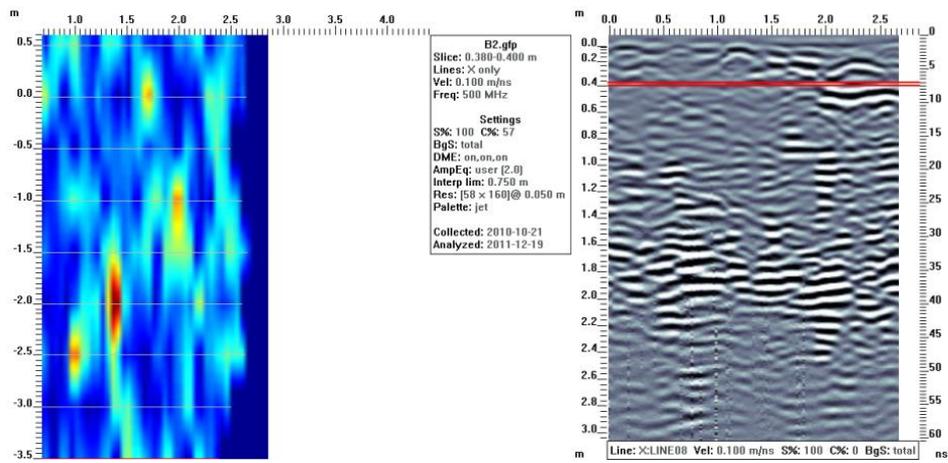


Fig. 5.28: Maiale 11 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,38 cm

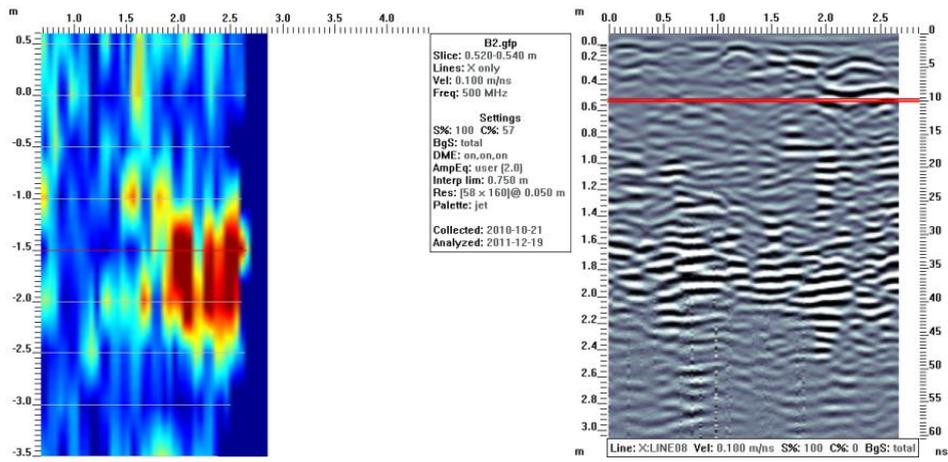


Fig. 5.29: Maiale 11 middle - colorgramma (valutazione +++) e radargramma, - 0,54 cm

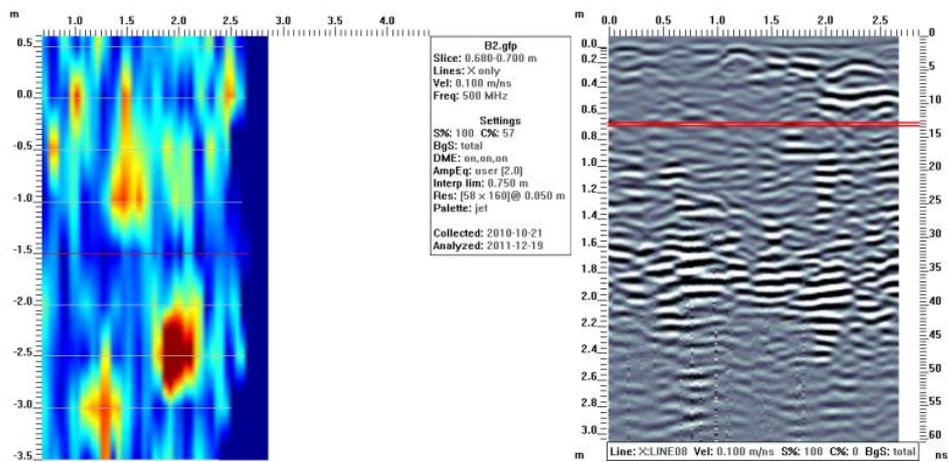


Fig. 5.30: Maiale 11 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,70 cm

Target metallico (04.06.09)

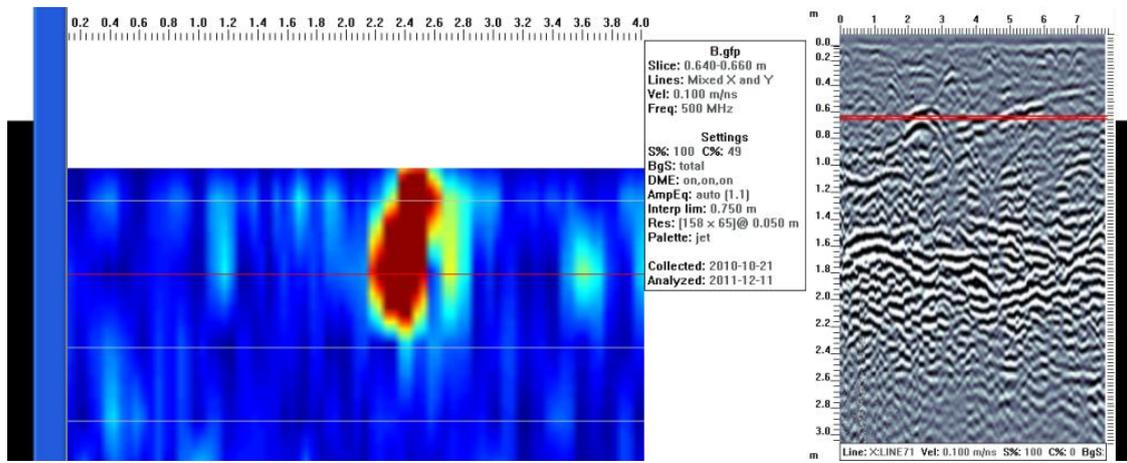


Fig. 5.31: Target metallo - colorgramma (valutazione +++) e radargramma, - 0,64 cm

Zona A: maiale 2 (17.10.09)

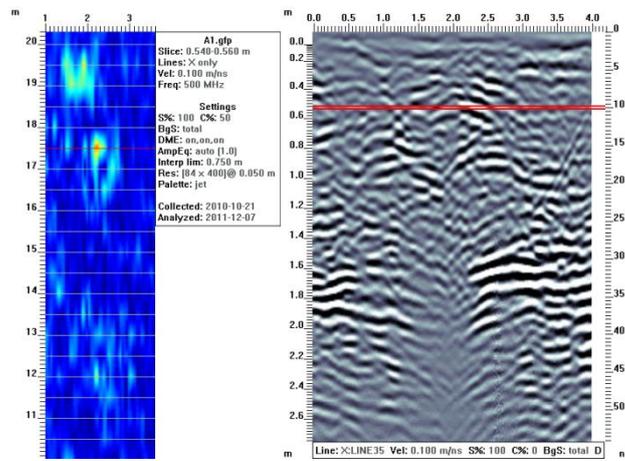


Fig. 5.32: Maiale 2 start - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,54 cm

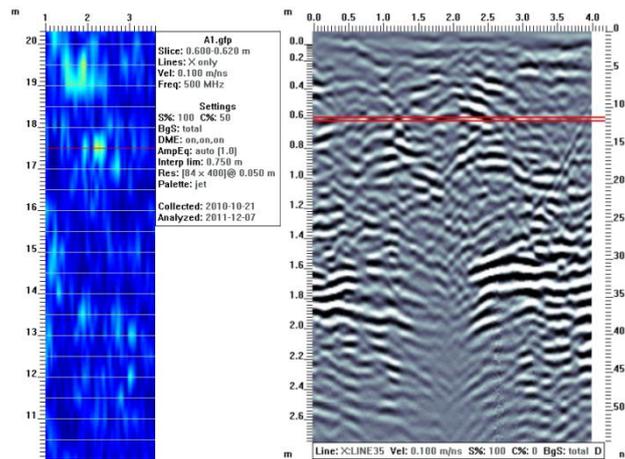


Fig. 5.33: Maiale 2 middle - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,62 cm

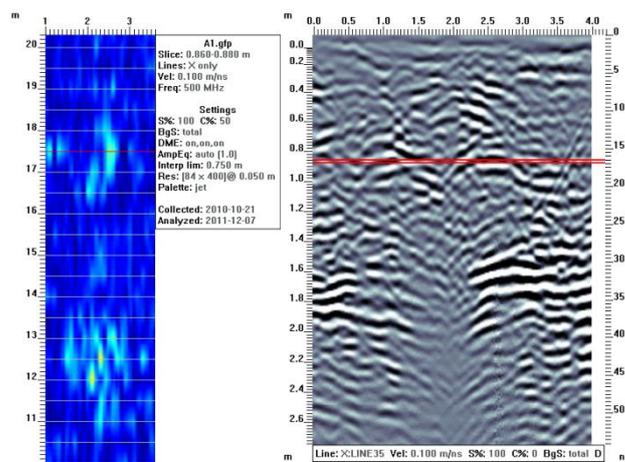


Fig. 5.34: Maiale 2 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,88 cm

Zona A: maiale 3 (17.10.09)

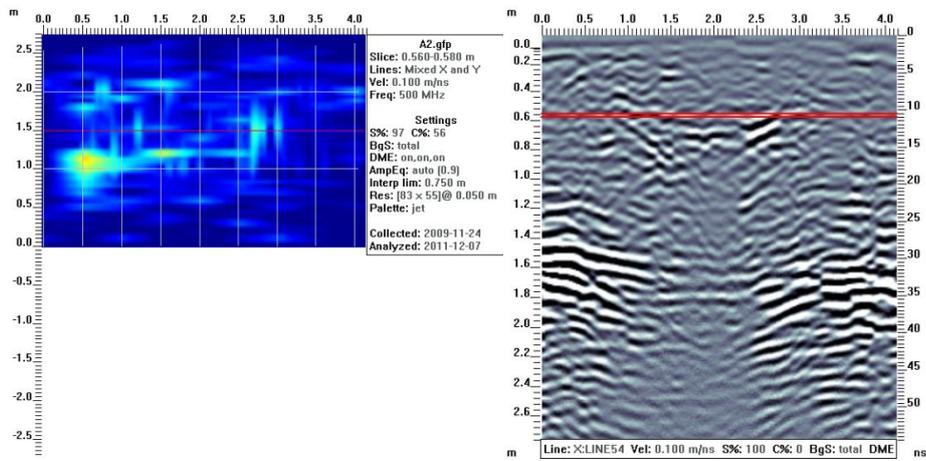


Fig. 5.35: Maiale 3 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,56 cm

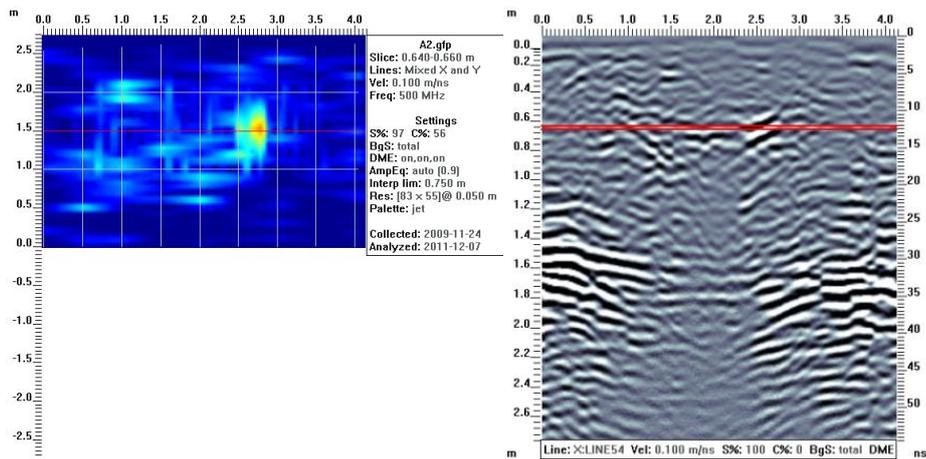


Fig. 5.36: Maiale 3 middle - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,66 cm

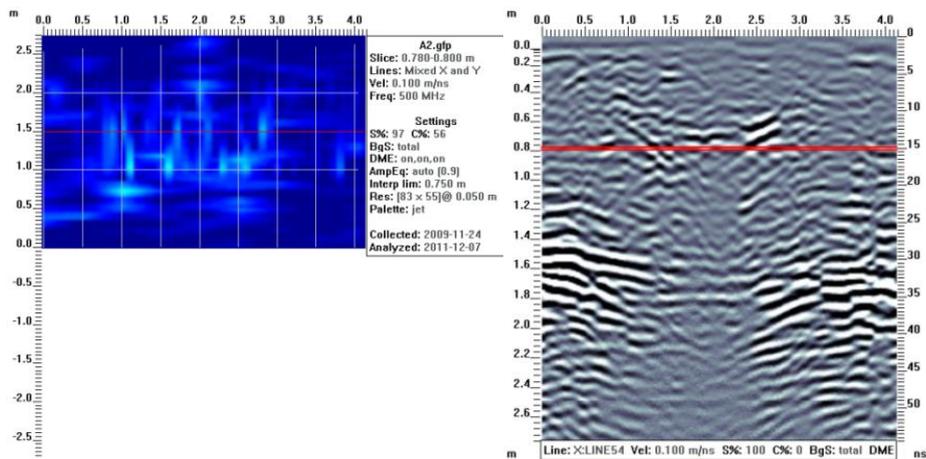


Fig. 5.37: Maiale 3 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,80 cm

Zona A: maiale 4 & 5 (17.10.09)

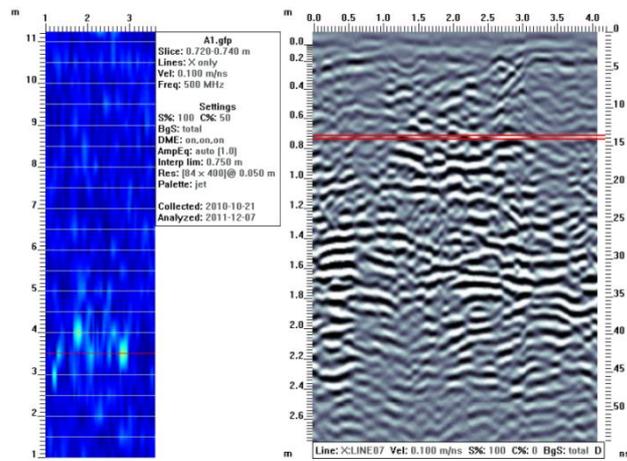


Fig. 5.38: Maiali 4&5 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,72 cm

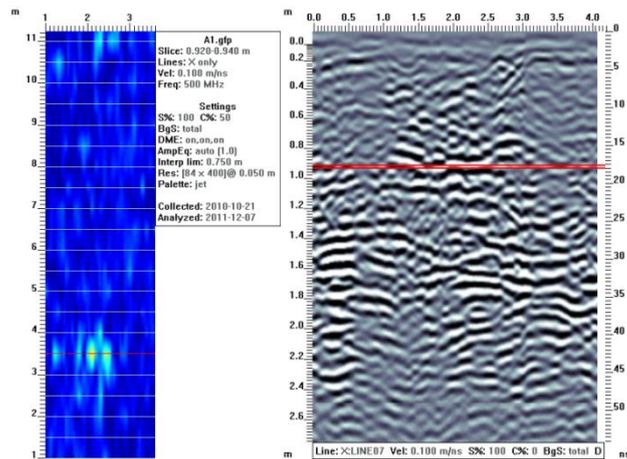


Fig. 5.39: Maiali 4&5 middle - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,94 cm

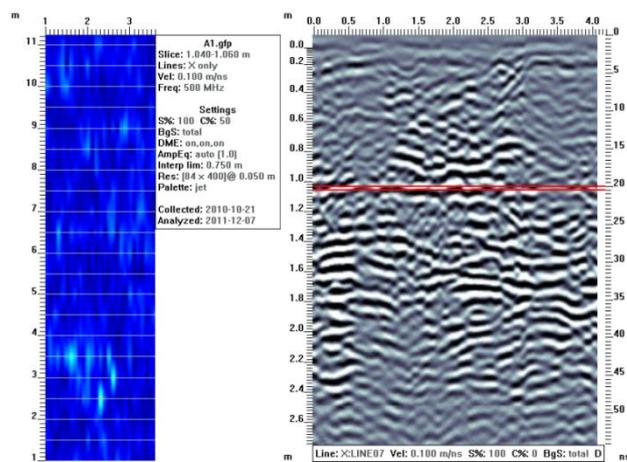


Fig. 5.40: Maiali 4 e 5 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 1,06 cm

Zona A: maiale 6 (17.10.09)

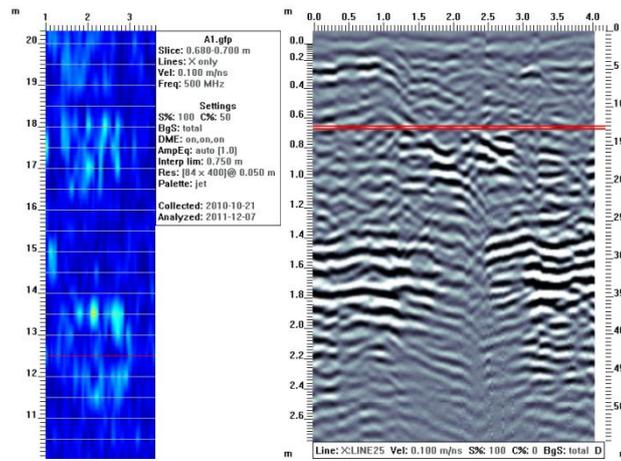


Fig. 5.41: Maiale 6 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,68 cm

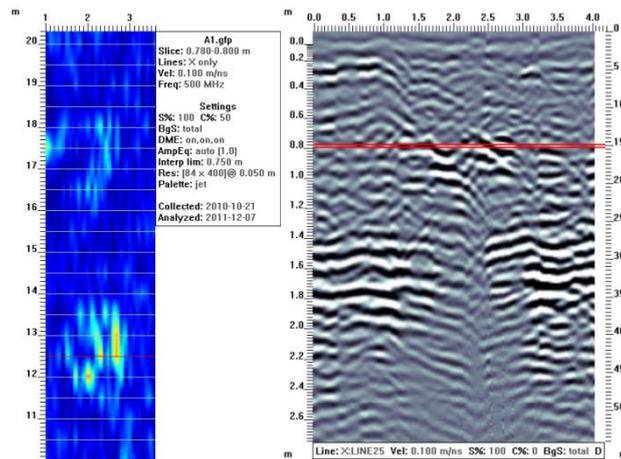


Fig. 5.42: Maiale 6 middle - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,78 cm

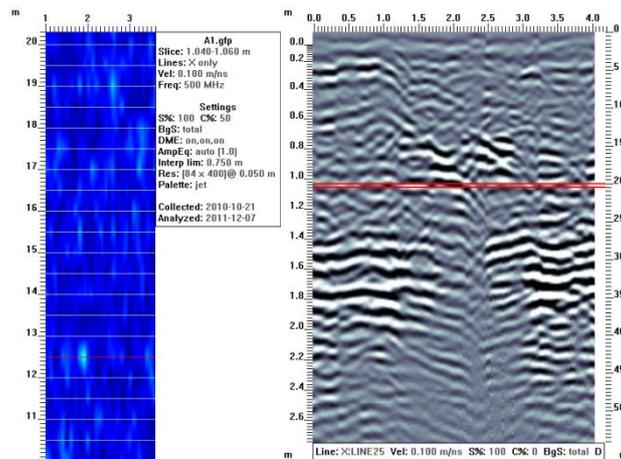


Fig. 5.43: Maiale 6 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 1,06 m

Zona B: maiale 8 (17.10.09)

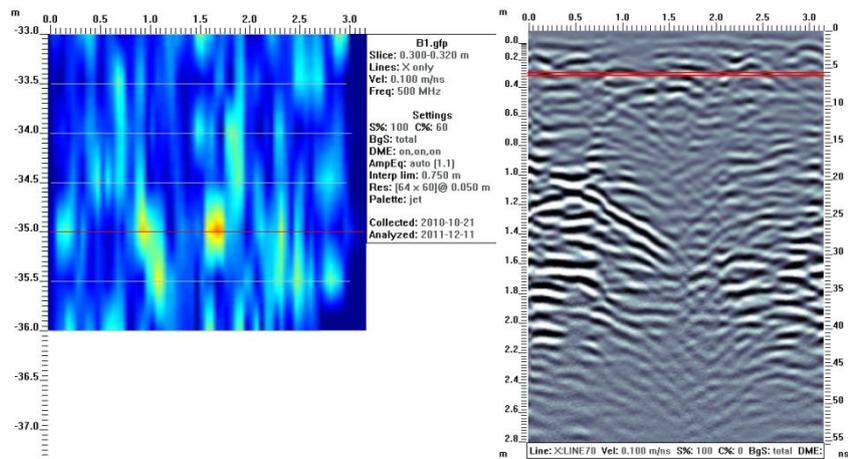


Fig. 5.44: Maiale 8 start - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,32 cm

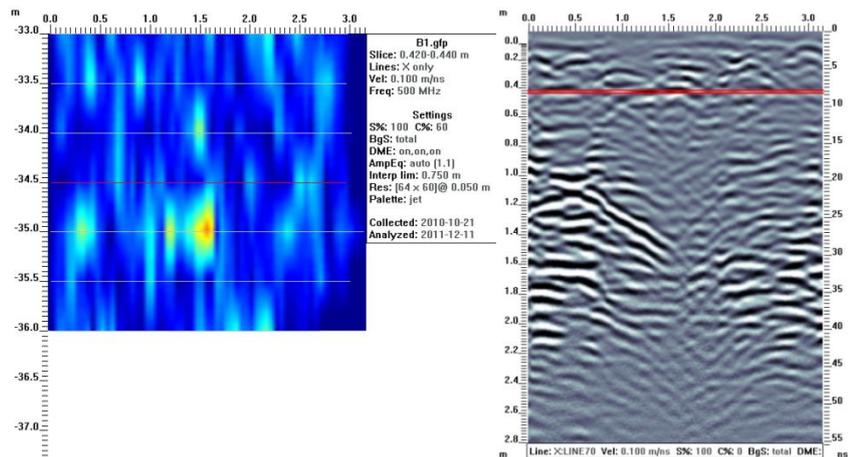


Fig. 5.45: Maiale 8 middle - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,42 cm

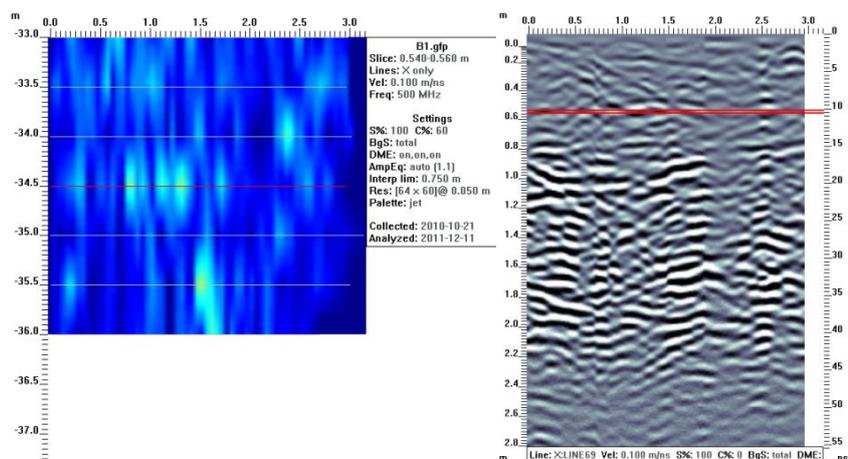


Fig. 5.46: Maiale 8 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,56 cm

Zona B: maiale 9 (17.10.09)

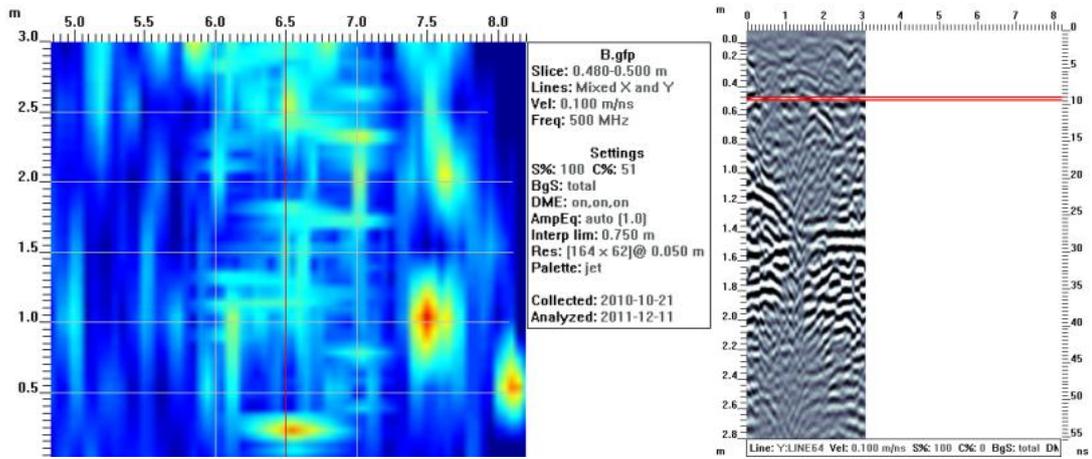


Fig. 5.47: Maiale 9 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,48 cm

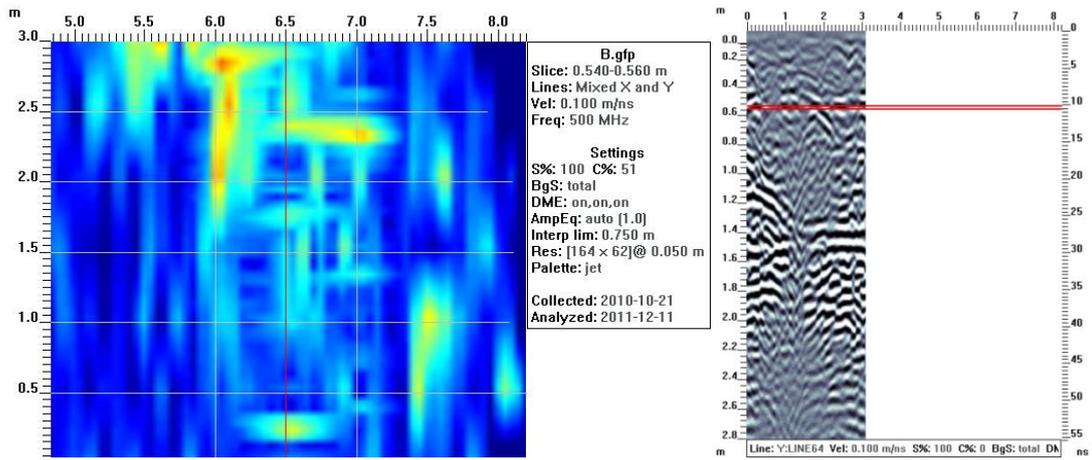


Fig. 5.48: Maiale 9 start - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,56 cm

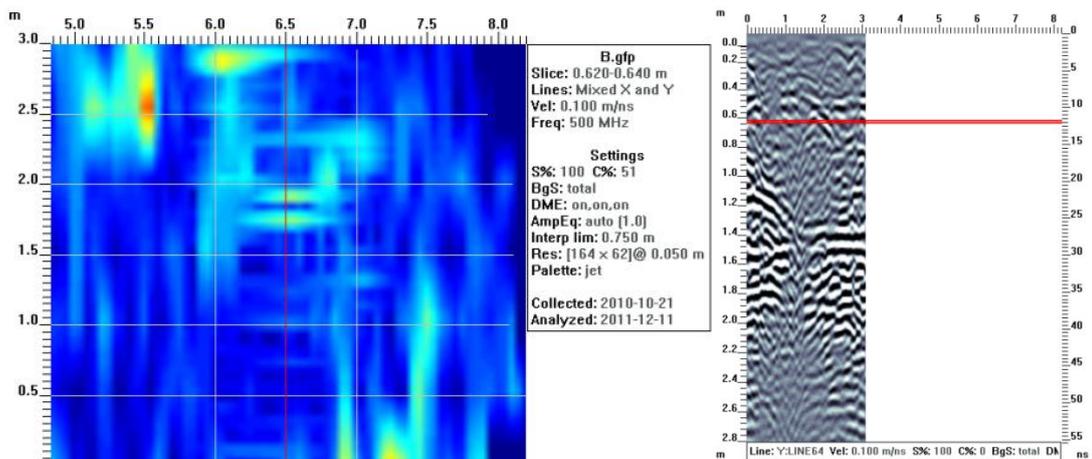


Fig. 5.49: Maiale 9 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,64 cm

Zona B: maiale 10 (17.10.09)

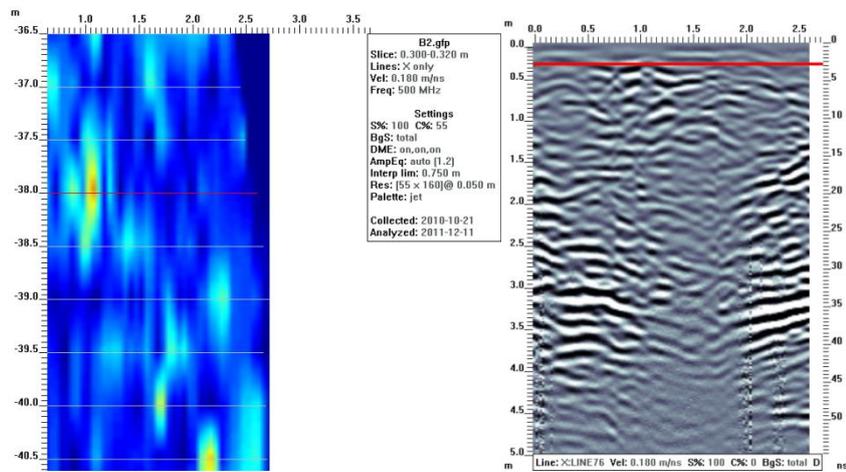


Fig. 5.50: Maiale 10 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,30 cm

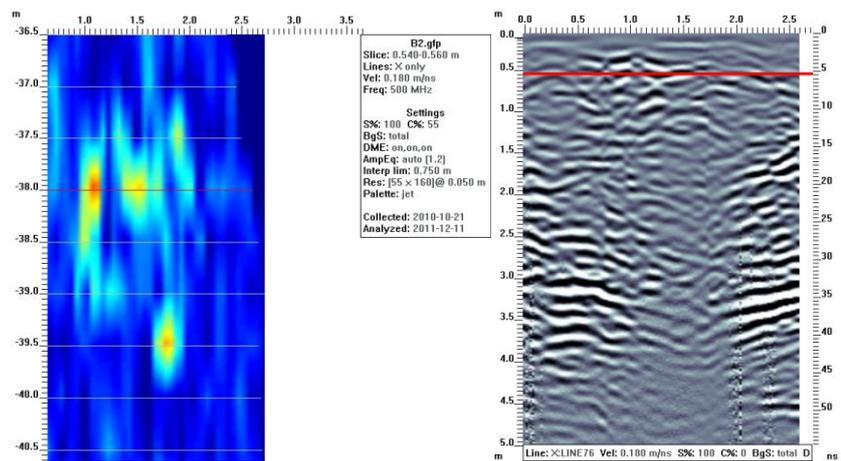


Fig. 5.51: Maiale 10 middle - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,56 cm

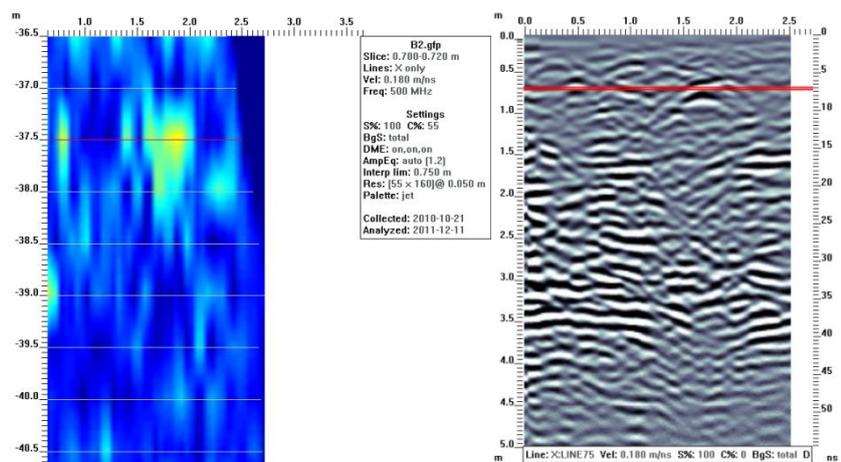


Fig. 5.52: Maiale 10 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,72 cm

Zona B: maiale 11 (17.10.09)

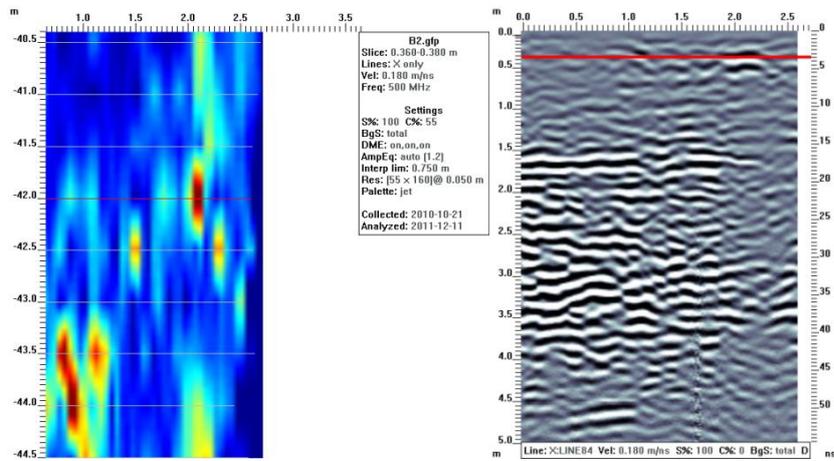


Fig. 5.53: Maiale 11 start - colorgramma (valutazione +++) e radargramma, - 0,36 cm

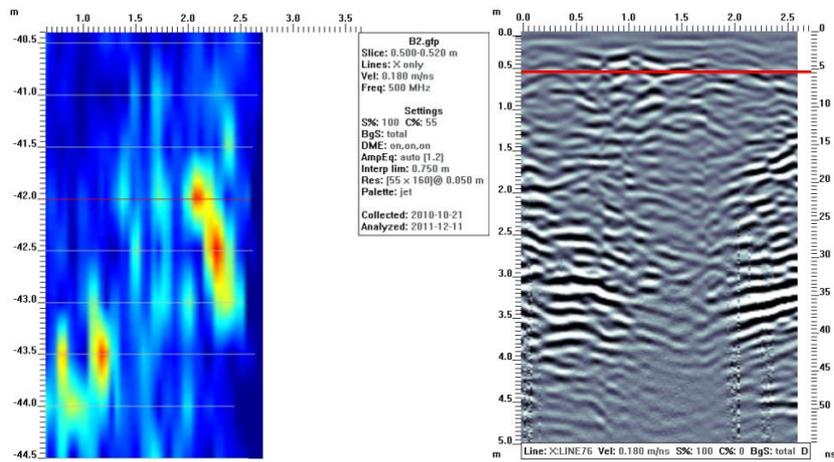


Fig. 5.54: Maiale 11 middle - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,52 cm

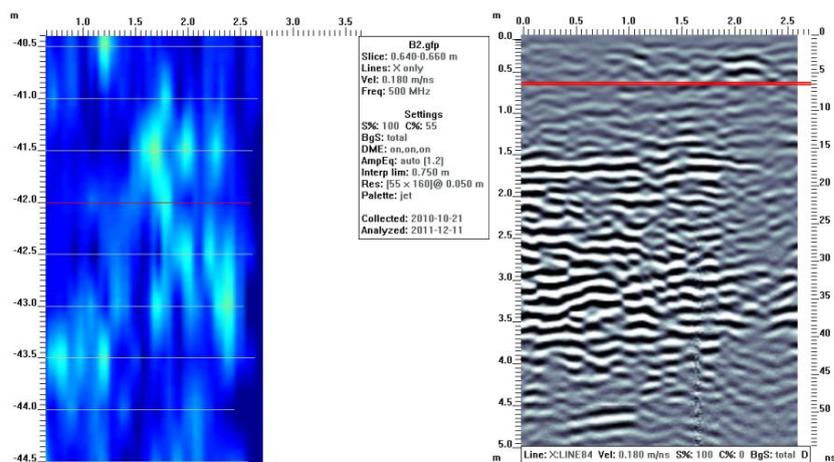


Fig. 5.55: Maiale 11 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,66 cm

Zona A: maiale 2 (12.12.09)

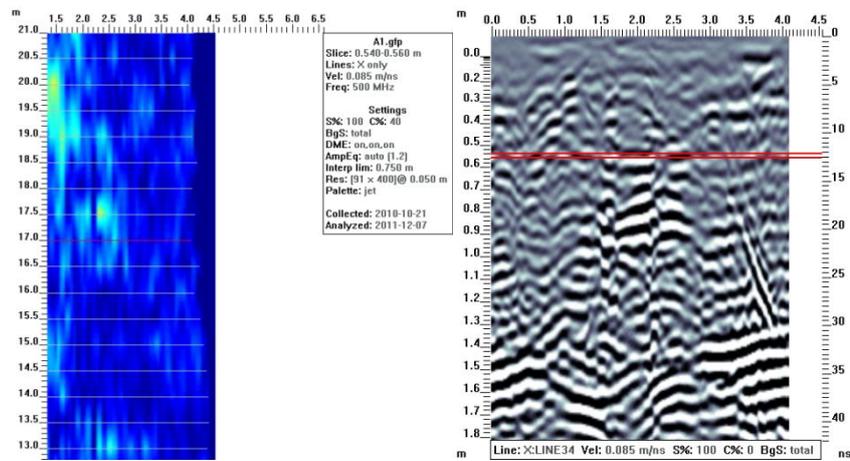


Fig. 5.56: Maiale 2 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,54 cm

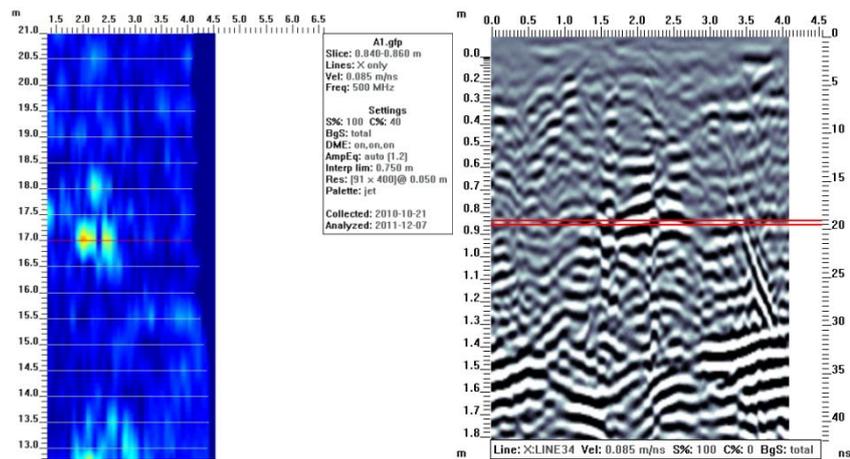


Fig. 5.57: Maiale 2 middle - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,84 cm

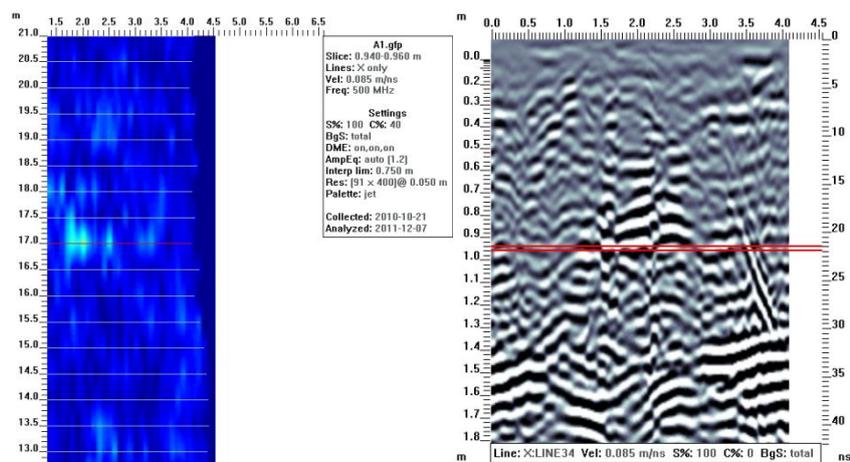


Fig. 5.58: Maiale 2 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,96 cm

Zona A: maiale 3 (12.12.09)

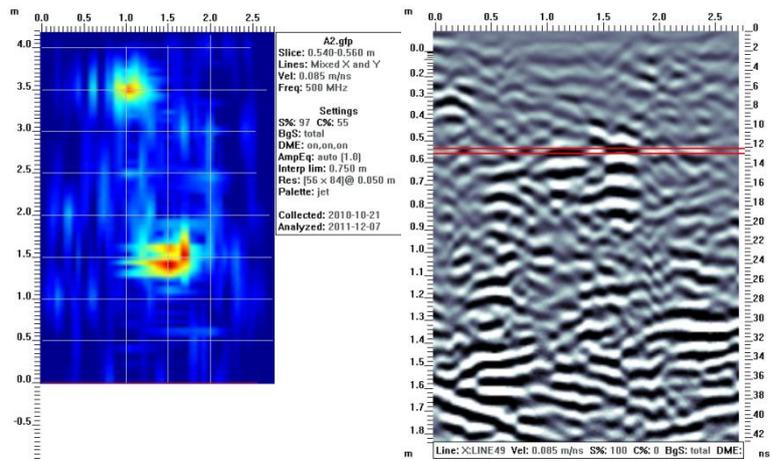


Fig. 5.59: Maiale 3 start -colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,54 cm

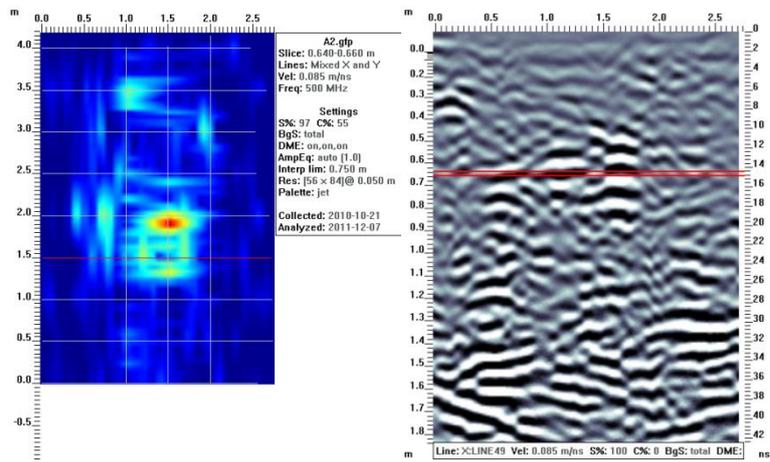


Fig. 5.60: Maiale 3 middle - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,64 cm

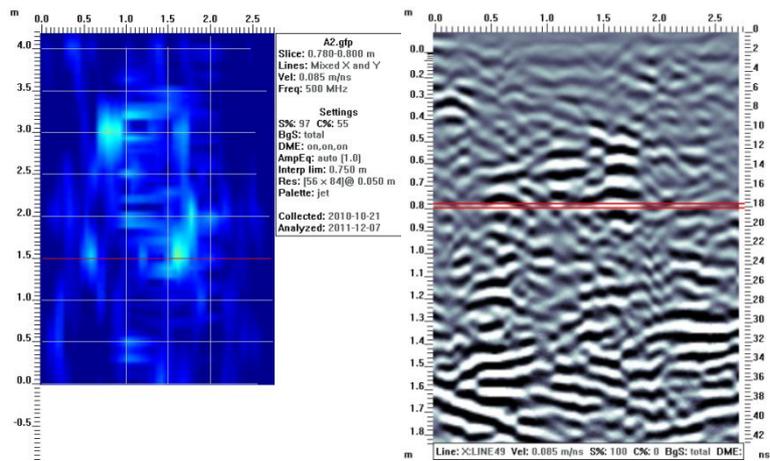


Fig. 5.61: Maiale 3 end: colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,78 cm

Zona A: maiale 4 e 5 (12.12.09)

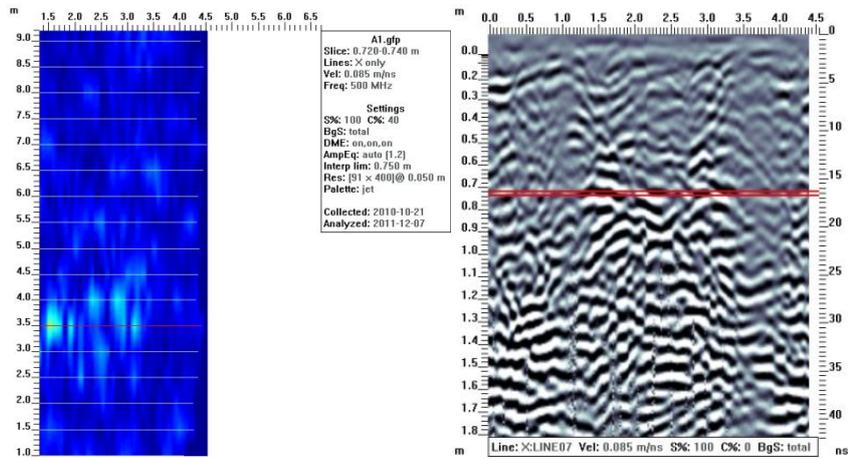


Fig. 5.62: Maiali 4&5 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,72 cm

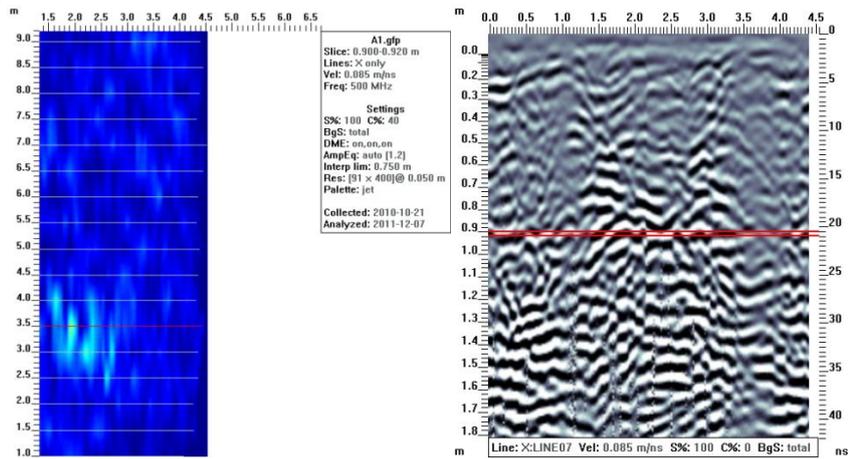


Fig. 5.63: Maiali 4&5 middle - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,90 cm

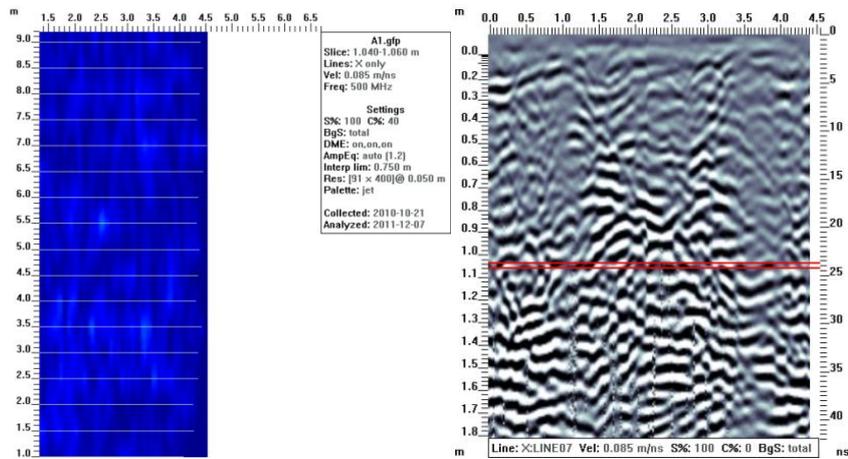


Fig. 5.64: Maiali 4&5 end - colorgramma (valutazione 0) e radargramma, - 1,06 cm

Zona A: maiale 6 (12.12.09)

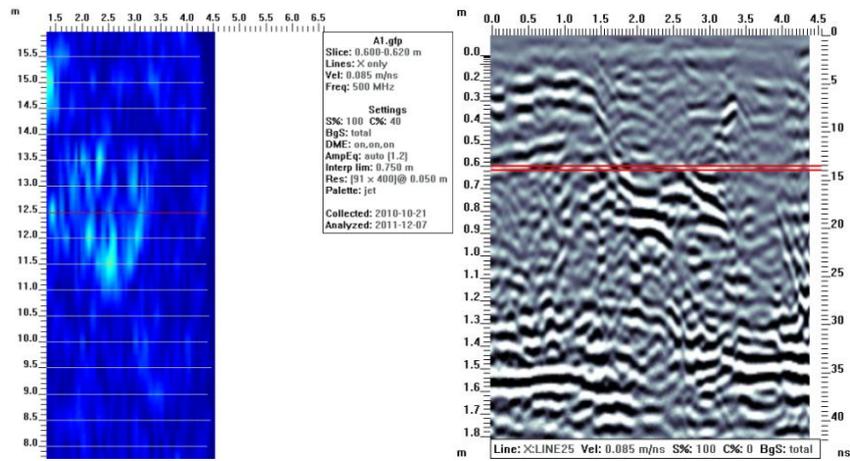


Fig. 5.65: Maiale 6 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,60 cm

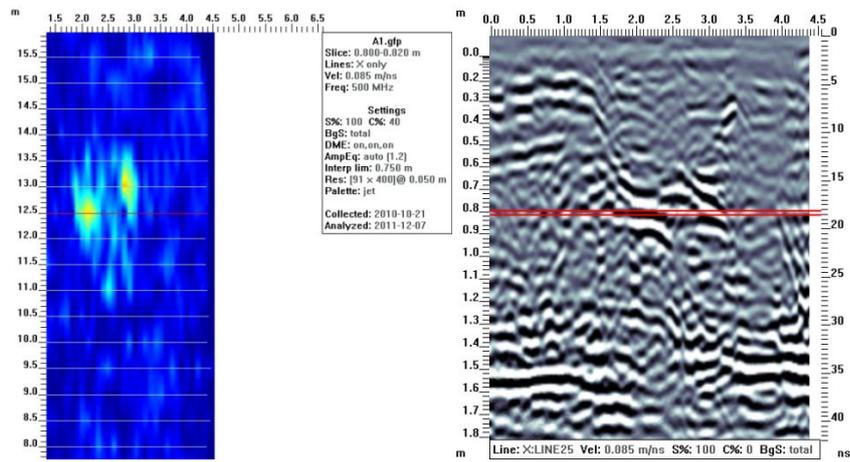


Fig. 5.66: Maiale 6 middle - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,80 cm

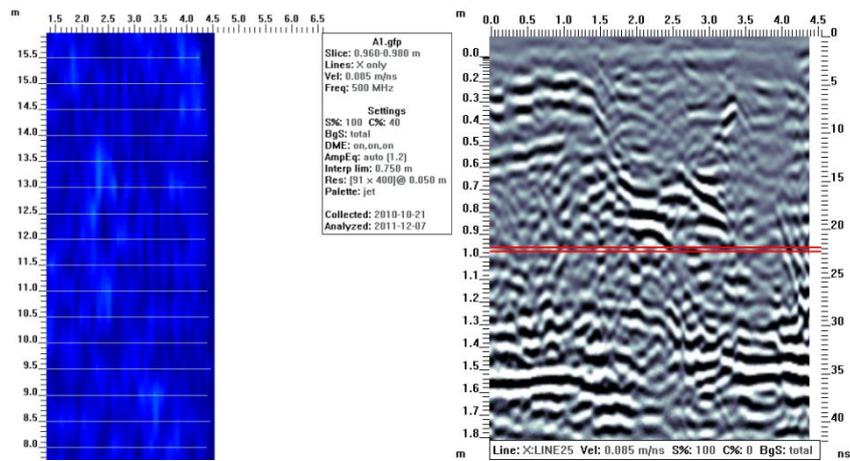


Fig. 5.67: Maiale 6 end - colorgramma (valutazione 0) e radargramma, - 0,98 cm

Zona B: maiale 8 (12.12.09)

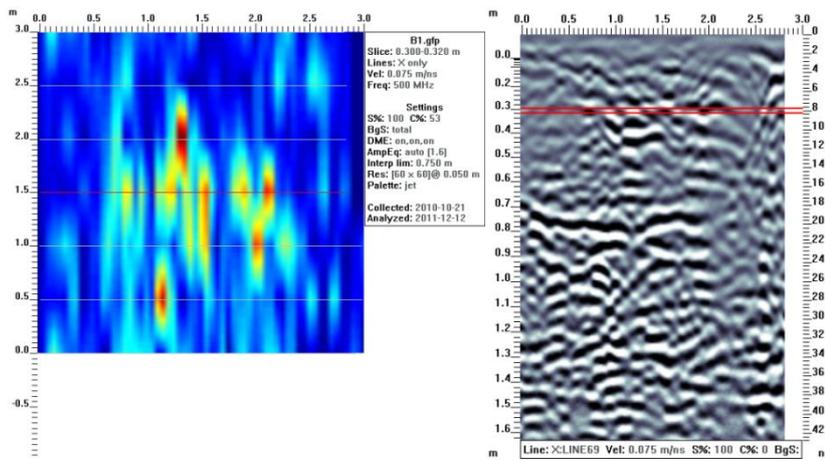


Fig. 5.68: Maiale 8start - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,30 cm

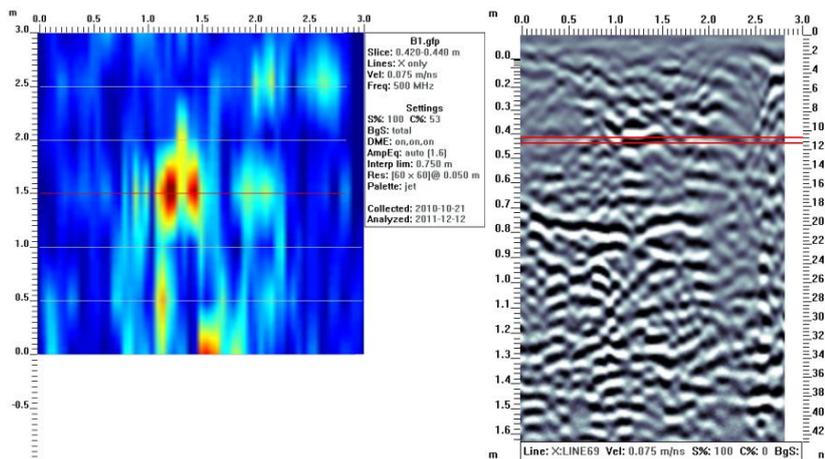


Fig. 5.69: Maiale 8 middle - colorgramma (valutazione +++) e radargramma, - 0,42 cm

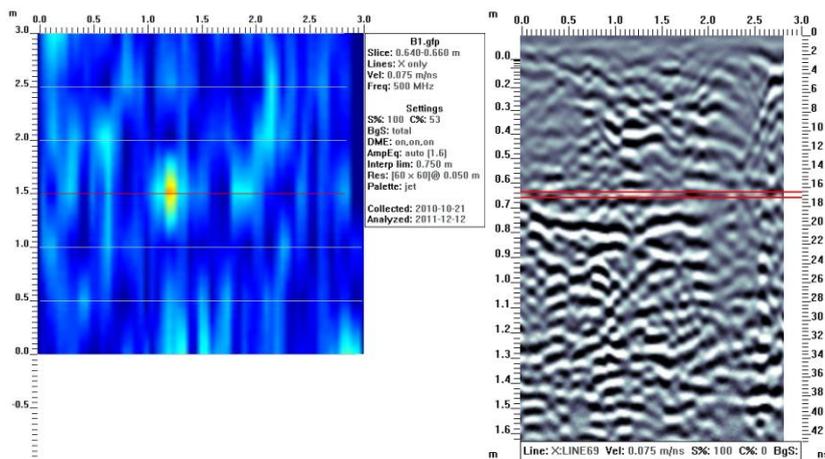


Fig. 5.70: Maiale 8 end colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,66 cm

Zona B: maiale 9 (12.12.09)

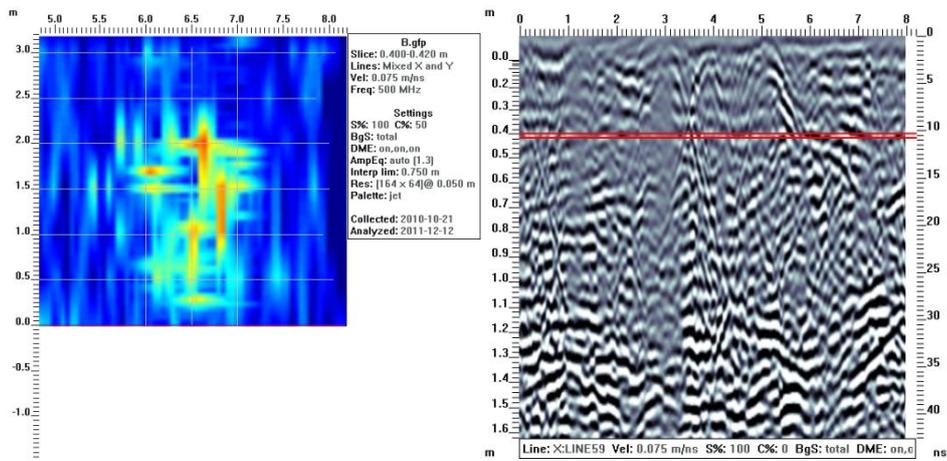


Fig. 5.71: Maiale 9 start - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,40 cm

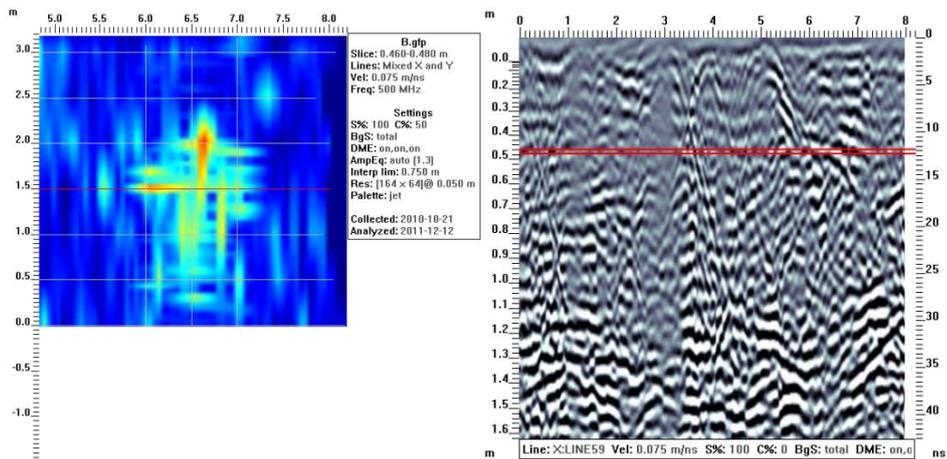


Fig. 5.72: Maiale 9 middle - colorgramma (valutazione +++) e radargramma, - 0,46 cm

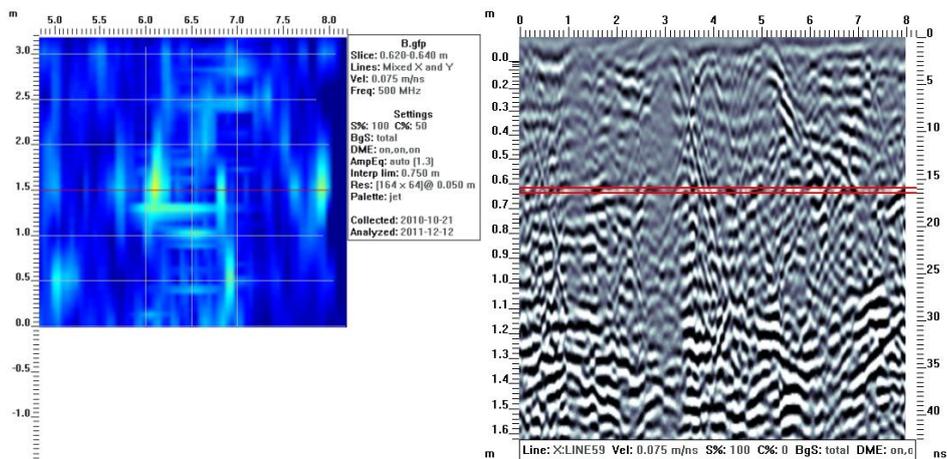


Fig. 5.73. Maiale 9 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,64 cm

Zona B: maiale 10 (12.12.09)

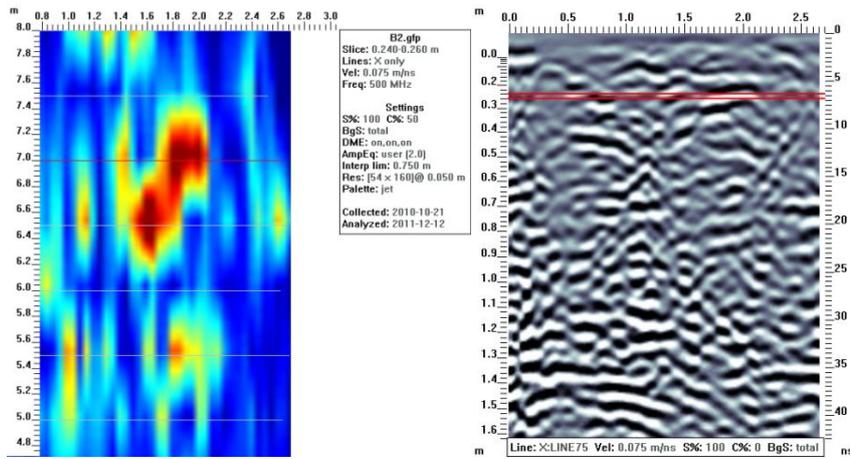


Fig. 5.74: Maiale 10 start - colorgramma (valutazione +++) e radargramma, - 0,24 cm

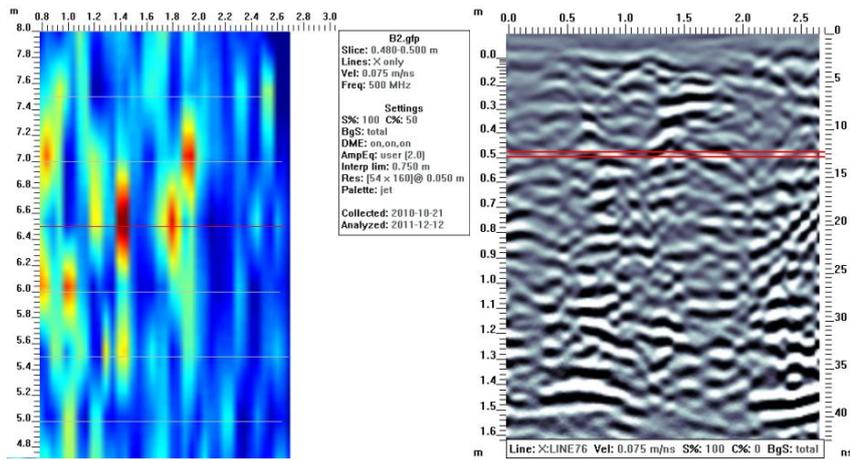
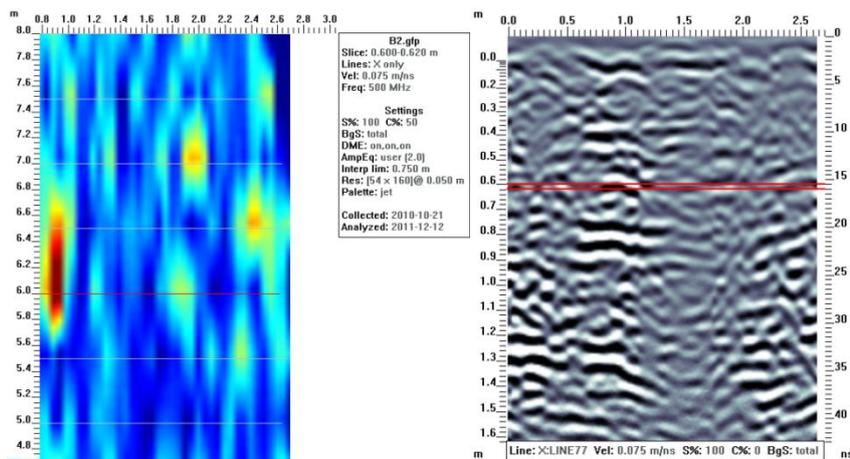


Fig. 5.75: Maiale 10 middle - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,48 cm



5.76: Maiale 10 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,62 cm

Zona B: maiale 18 (12.12.09)

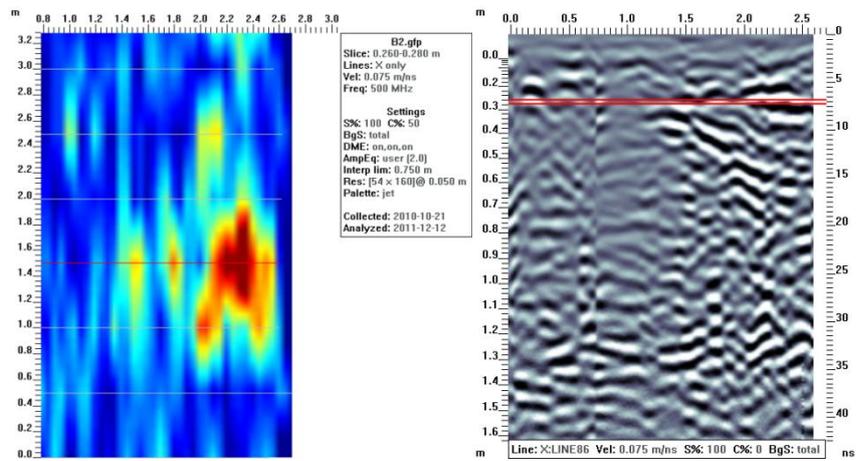


Fig. 5.77: Maiale 11 start - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,26 cm

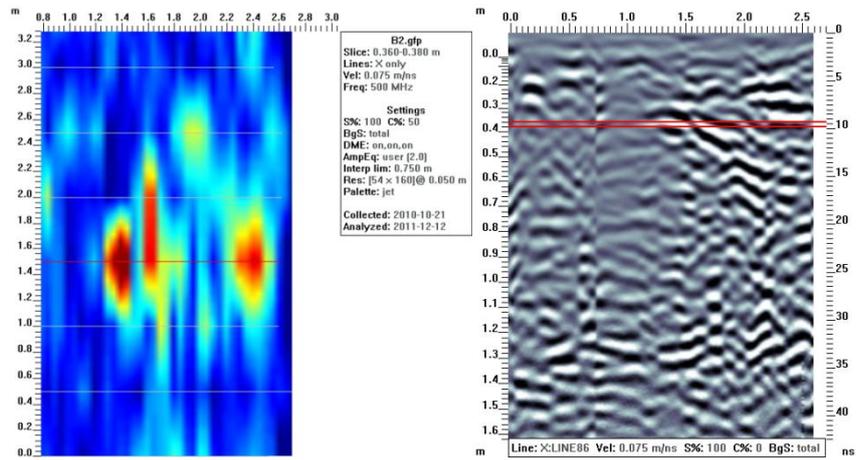


Fig. 5.78: Maiale 11 middle - colorgramma (valutazione +++) e radargramma, - 0,36 cm

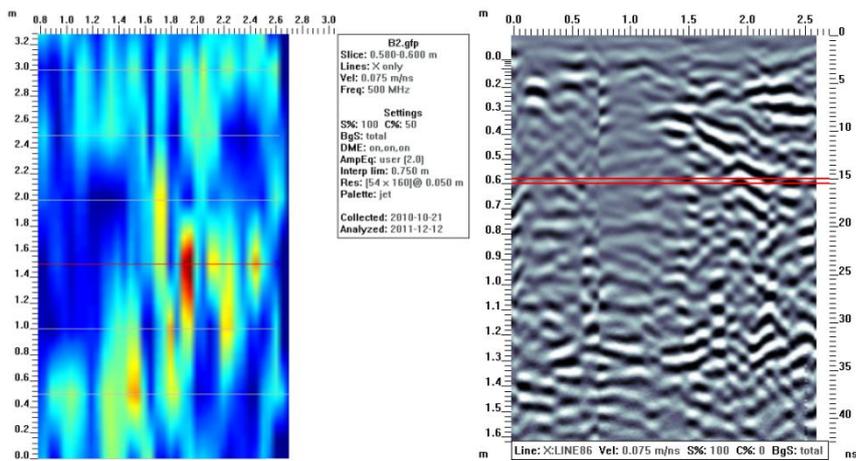


Fig. 5.79: Maiale 11 end - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,60 cm

Zona A: maiale 3 (17.04.10)

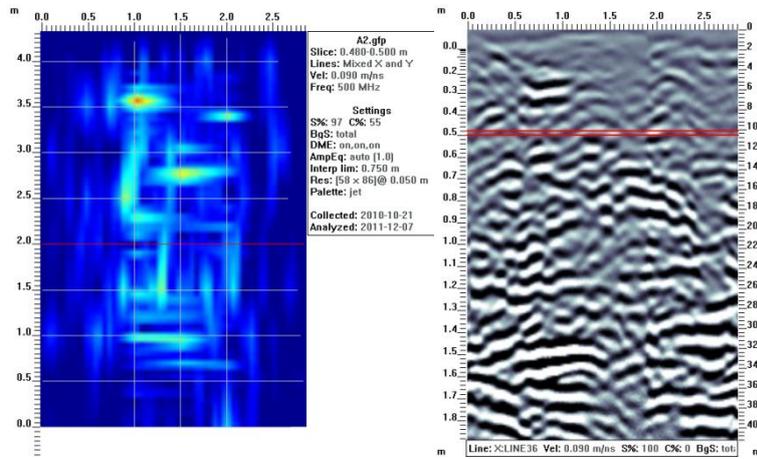


Fig. 5.80: Maiale 3 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,48 cm

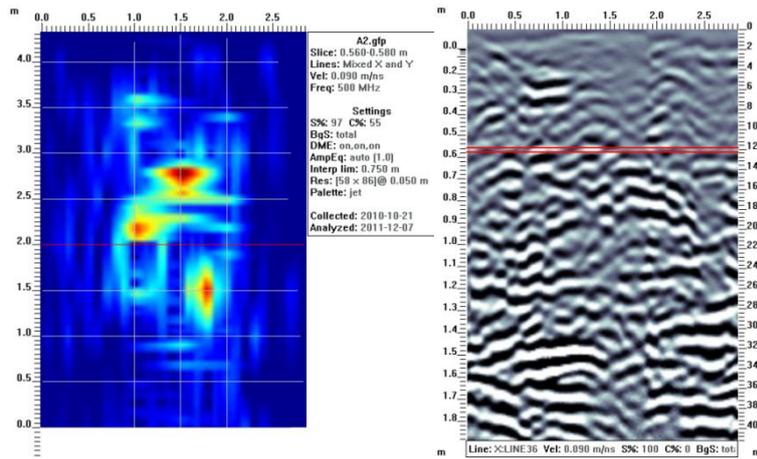


Fig. 5.81: Maiale 3 middle - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,58 cm

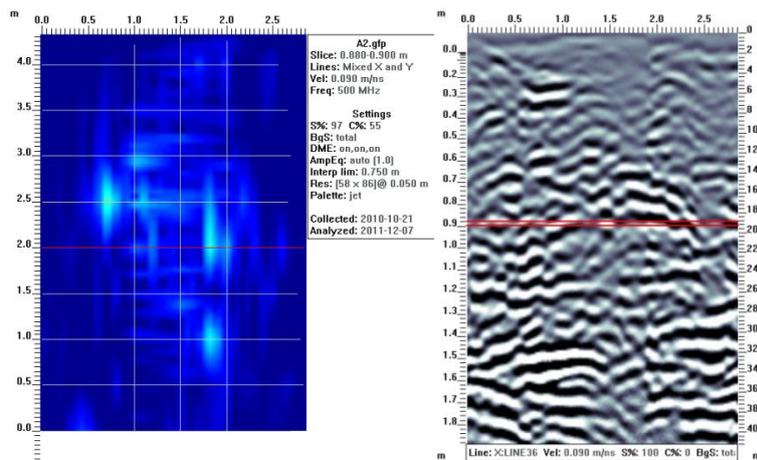


Fig. 5.82: Maiale 3 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,88 cm

Zona B: maiali 4 e 5 (17.04.10)

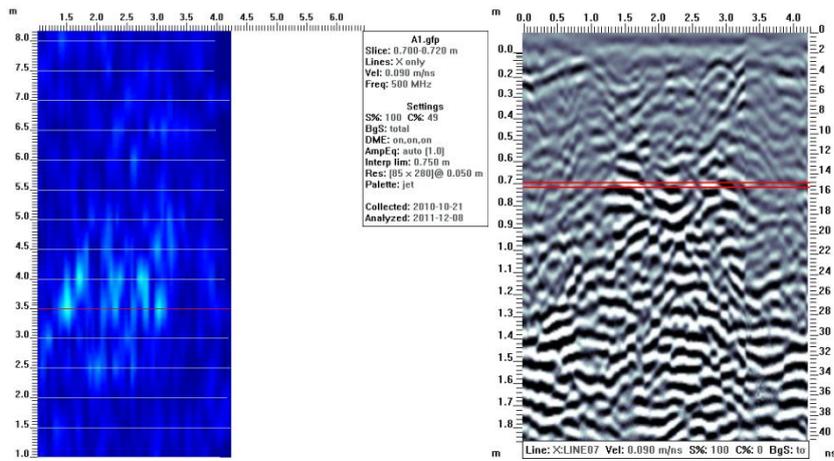


Fig. 5.83: Maiali 4&5 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,70 cm

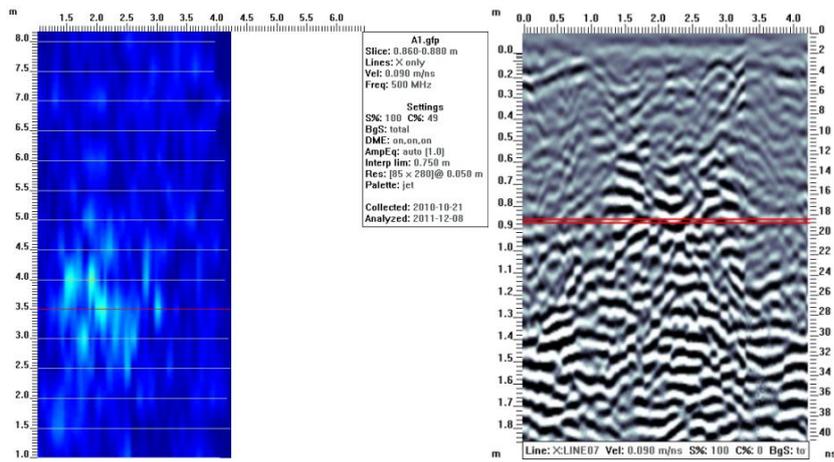


Fig. 5.84: Maiali 4&5 middle - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,88 cm

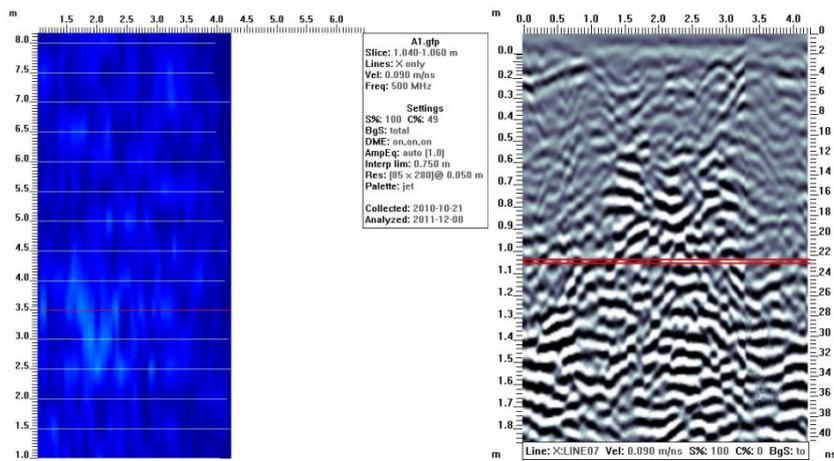


Fig. 5.85: Maiali 4&5 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 1,06 cm

Zona B: maiale 6 (17.04.10)

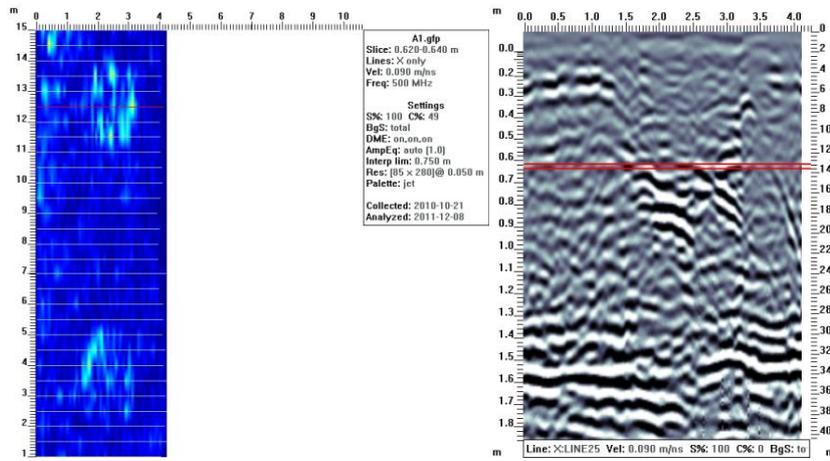


Fig. 5.86: Maiale 6 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,62 cm

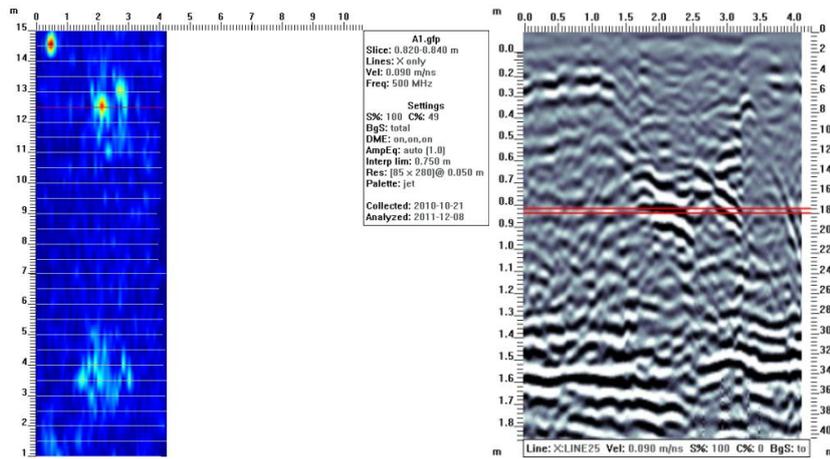


Fig. 5.87: Maiale 6 middle - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,82 cm

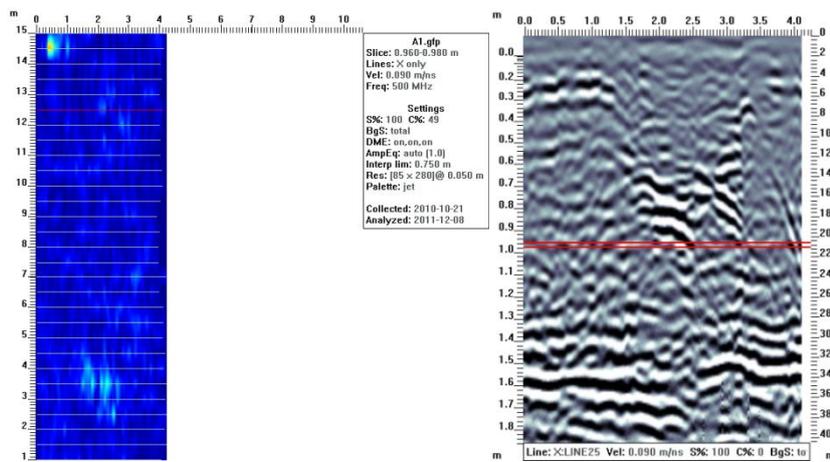


Fig. 5.88: Maiale 6 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,96 cm

Zona B: maiale 48 (17.04.10)

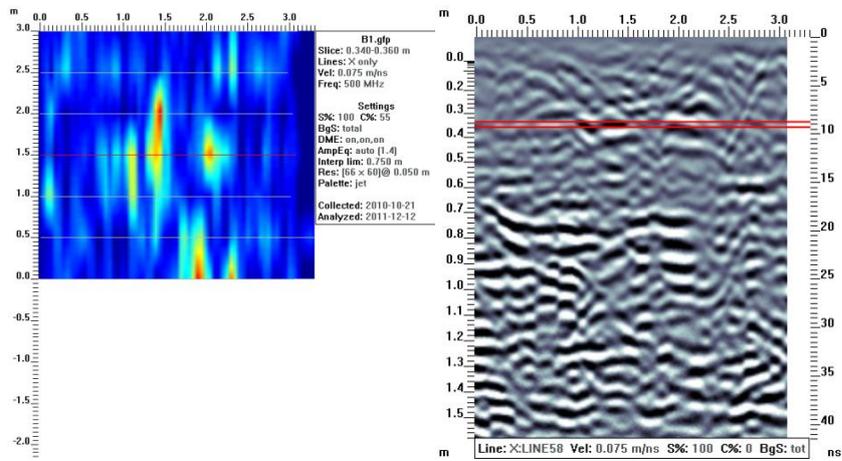


Fig. 5.89: Maiale 8 start - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,34 cm

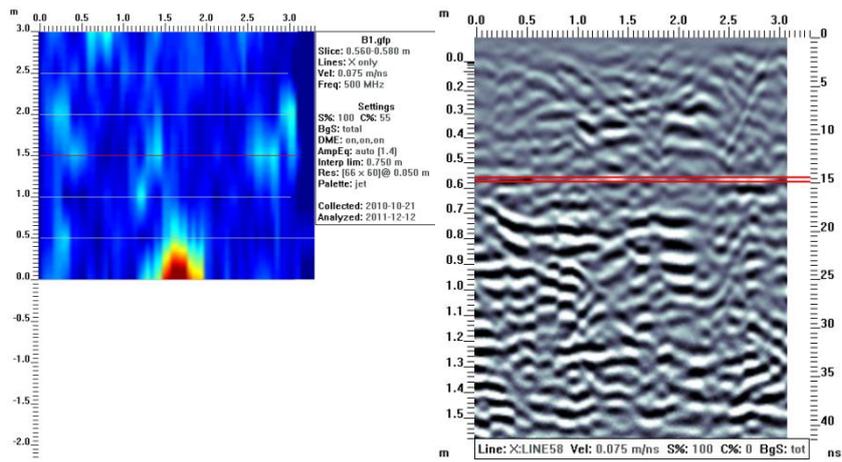


Fig. 5.90: Maiale 8 middle - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,56 cm

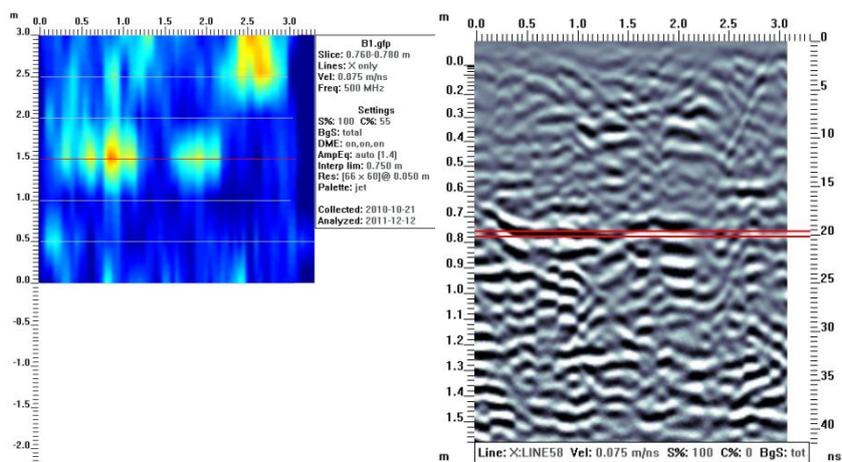


Fig. 5.91: Maiale 8 start - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,76 cm

Zona B: maiale 9 (17.04.10)

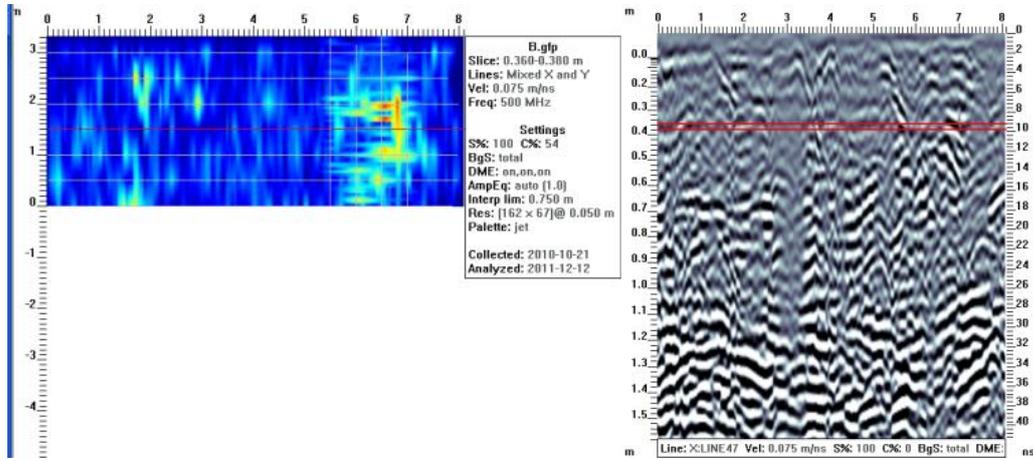


Fig. 5.92: Maiale 9 start - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,36 cm

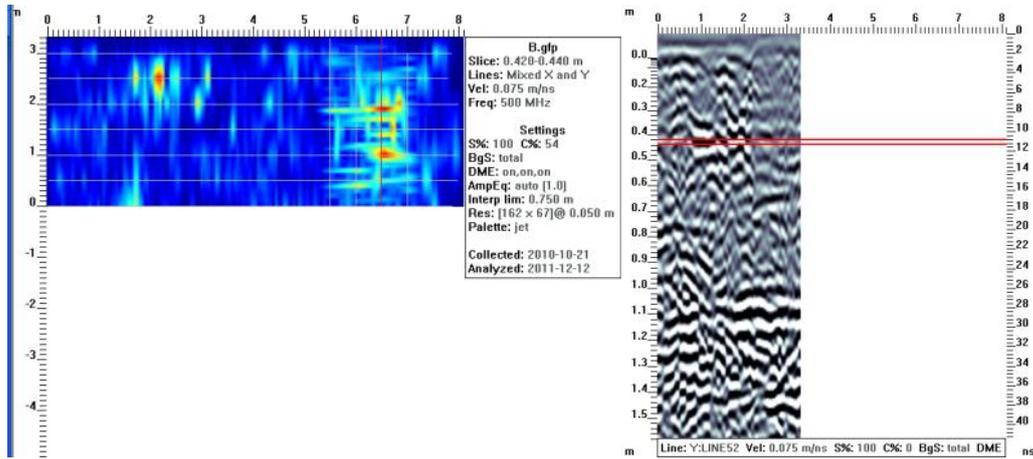


Fig. 5.93: Maiale 9 middle - colorgramma (valutazione +++) e radargramma, - 0,44 cm

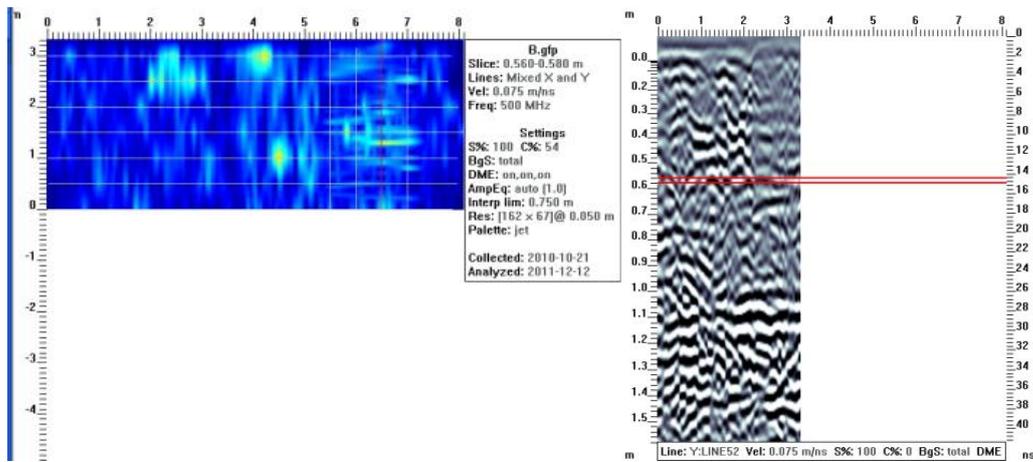


Fig. 5.94: Maiale 9 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,58 cm

Zona B: maiale 10 (17.04.10)

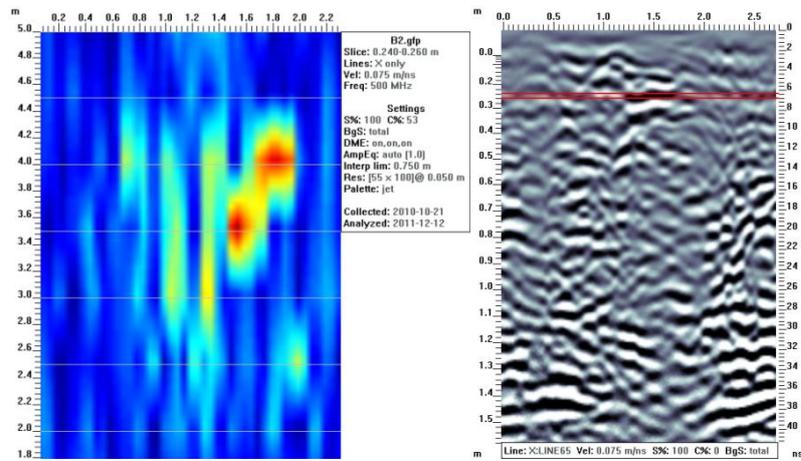


Fig. 5.95: Maiale 10 start - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,24 cm

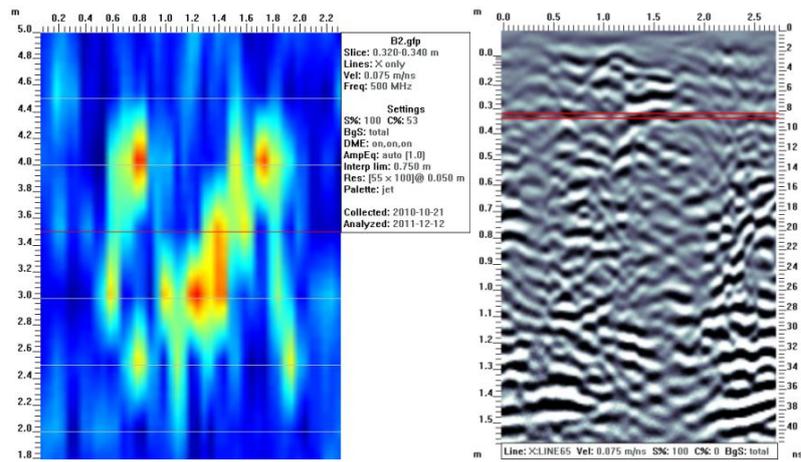


Fig. 5.96: Maiale 10 middle - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,34 cm

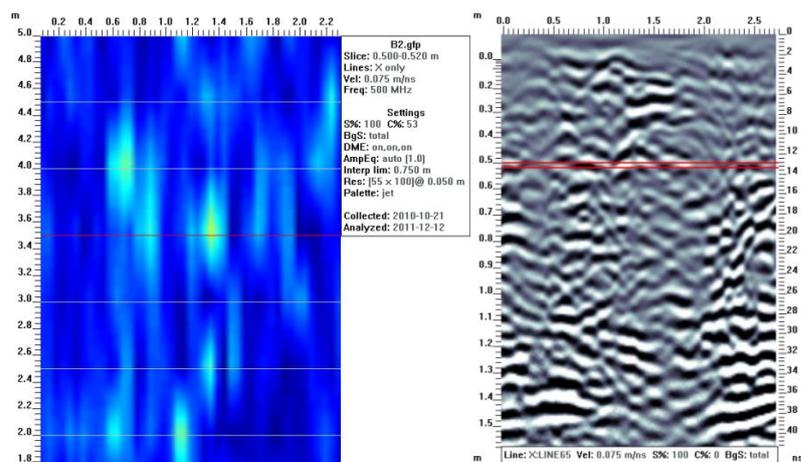


Fig. 5.97: Maiale 10 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,52 cm

Zona A: maiale 3 (05.06.10)

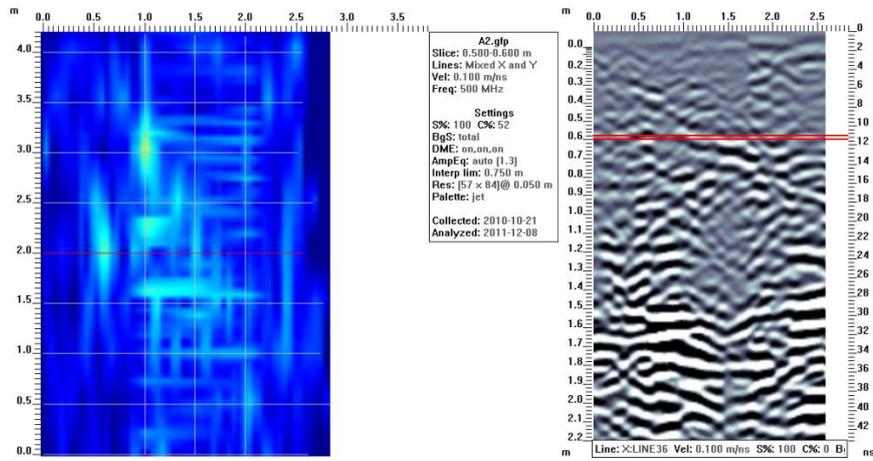


Fig. 5.98: Maiale 3 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,58 cm

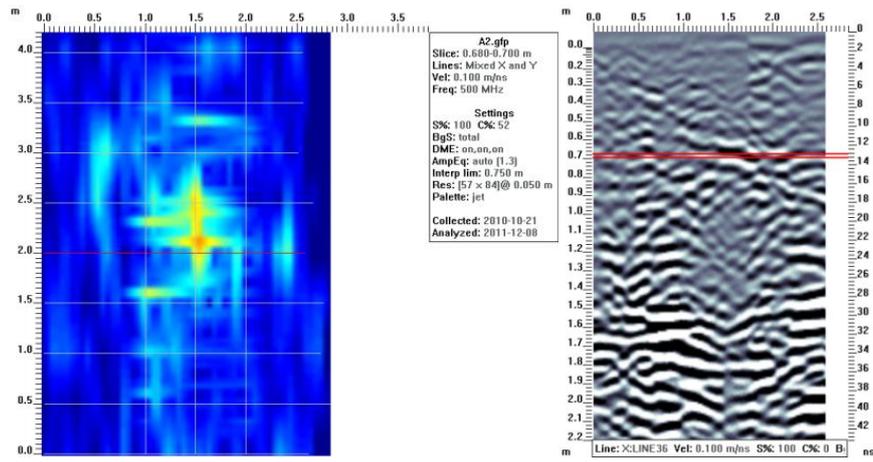


Fig. 5.99: Maiale 3 middle - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,70 cm

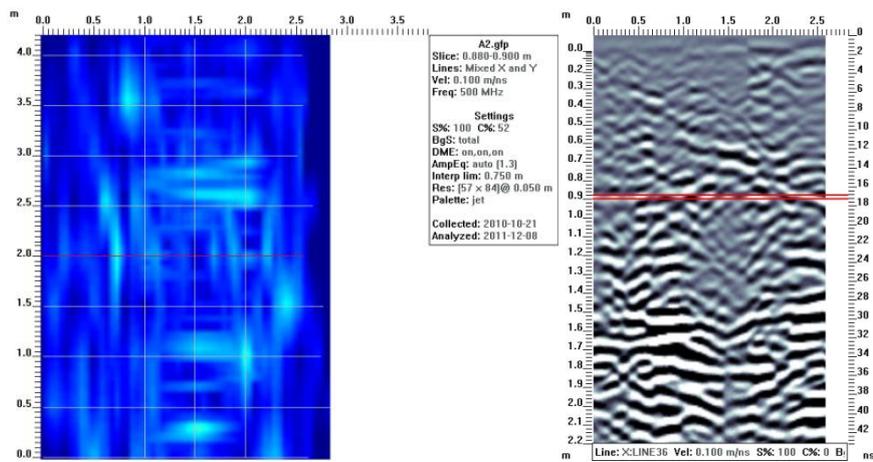


Fig. 5.100: Maiale 3 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,90 cm

Zona B: maiali 4 e 5 (05.06.10)

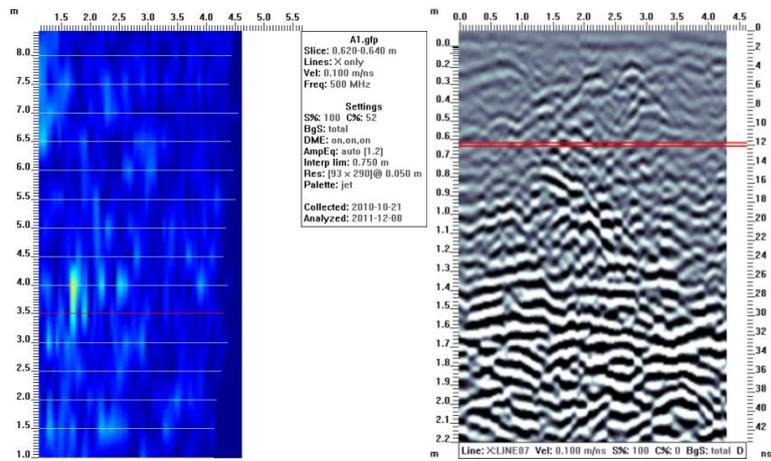


Fig. 5.101: Maiali 4&5 start - cologramma (valutazione +) e radargramma, - 0,62 cm

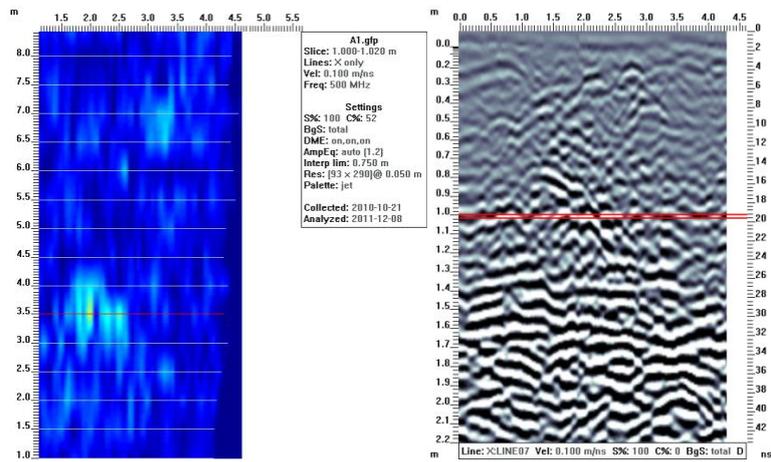


Fig. 5.102: Maiali 4&5 middle - cologramma (valutazione +) e radargramma, - 1,00 m

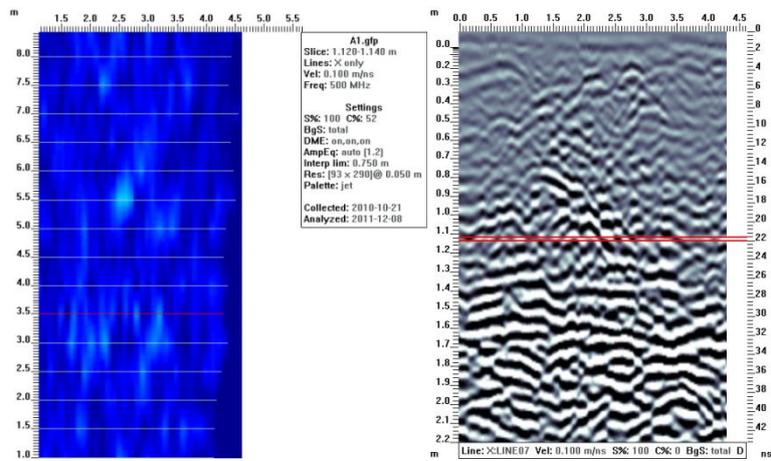


Fig. 5.103: Maiali 4 e 5 end - cologramma (valutazione +) e radargramma, - 1,140 m

Zona B: maiale 6 (05.06.10)

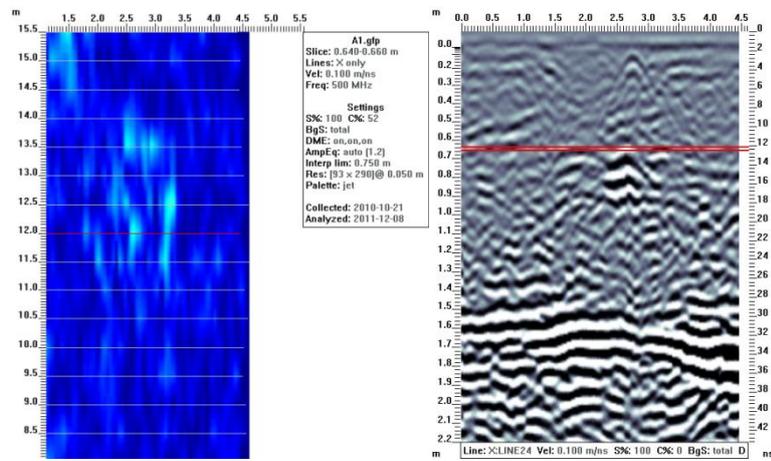


Fig. 5.104: Maiale 6 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,64 cm

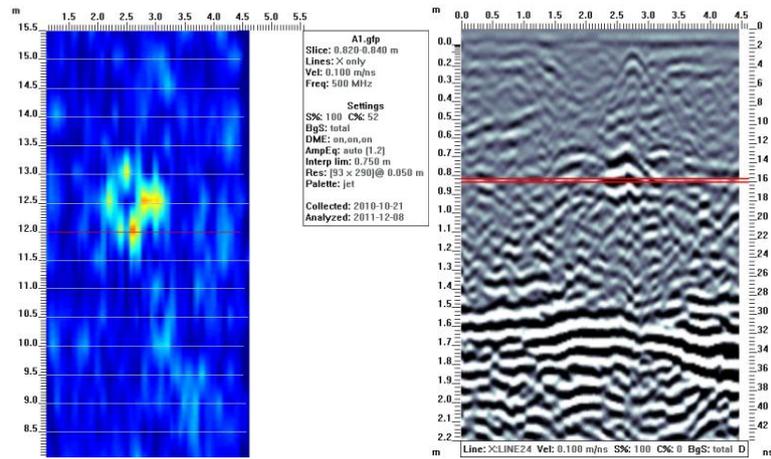


Fig. 5.105: Maiale 6 middle - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,82 cm

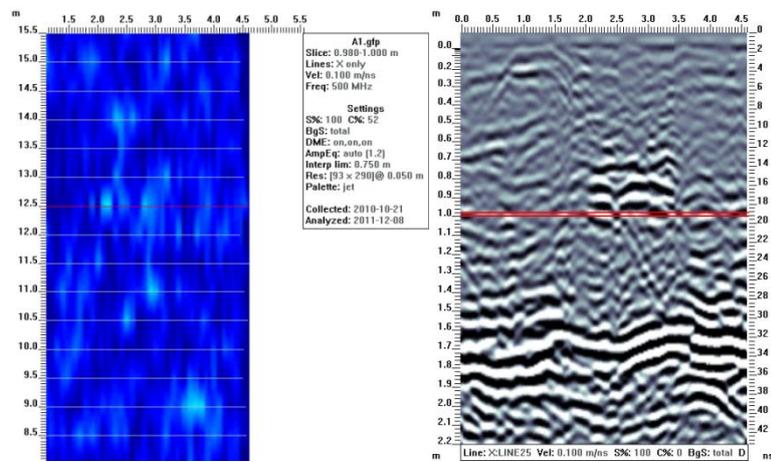


Fig. 5.106: Maiale 6 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 1,00 m

Zona B: maiale 8 (05.06.10)

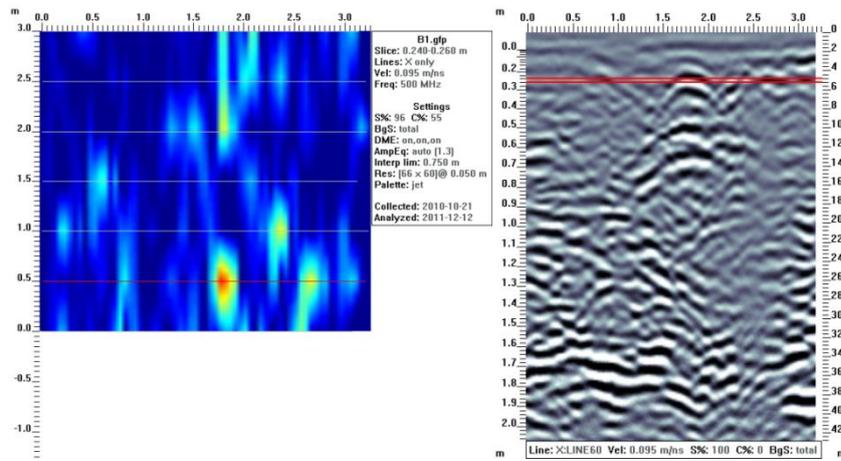


Fig. 5.107: Maiale 8 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,24 cm

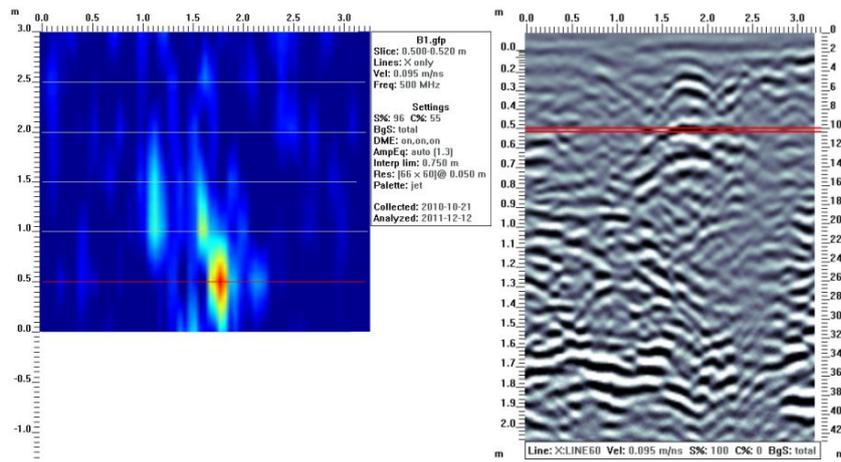


Fig. 5.108: Maiale 8 middle - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,52 cm

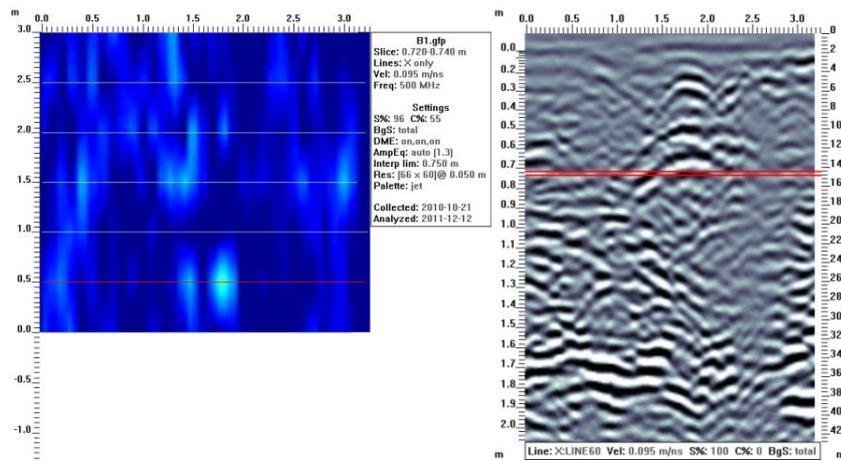


Fig. 5.109: Maiale 8 end - colorgramma (valutazione 0) e radargramma, - 0,74 cm

Zona B: maiale 9 (05.06.10)

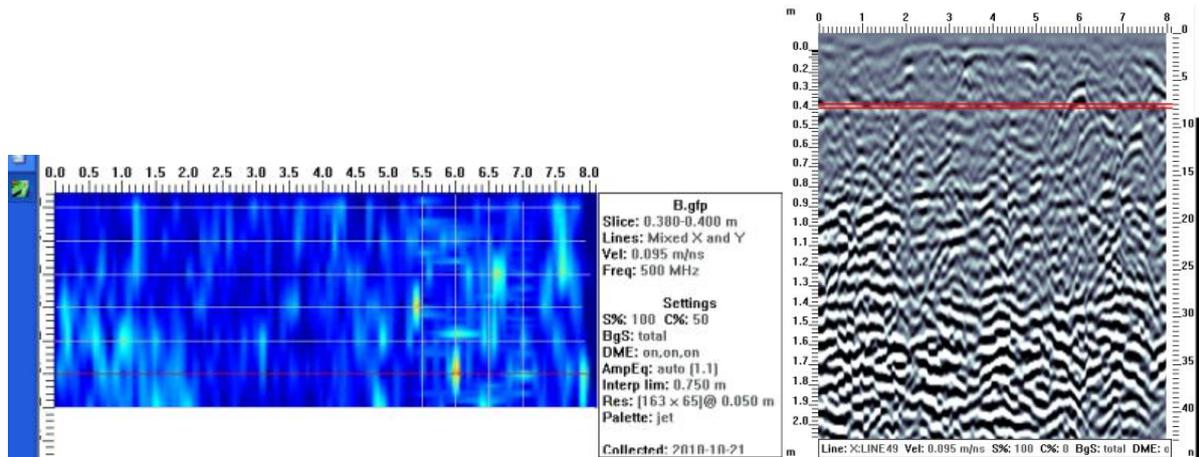


Fig. 5.110: Maiale 9 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,38 cm

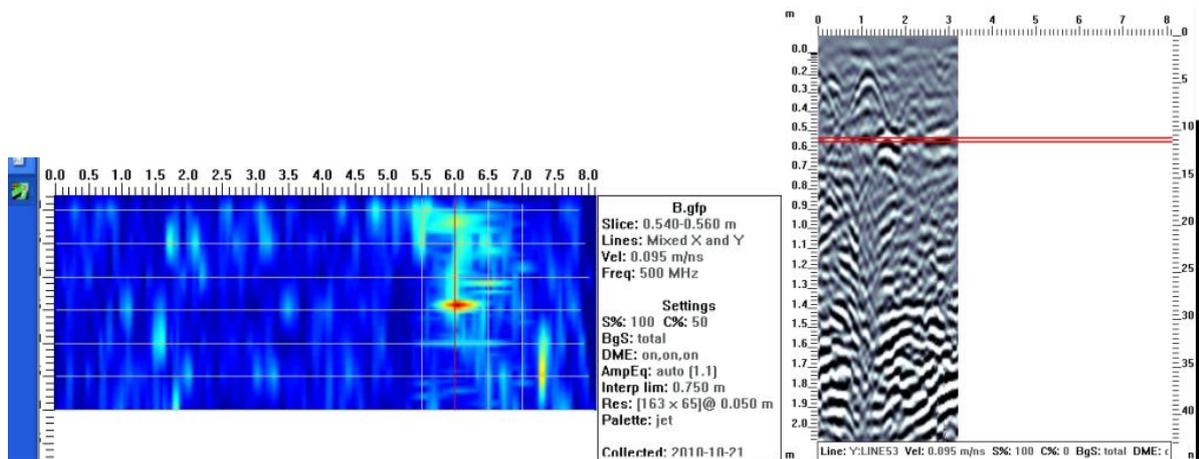


Fig. 5.111: Maiale 9 middle - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,56 cm

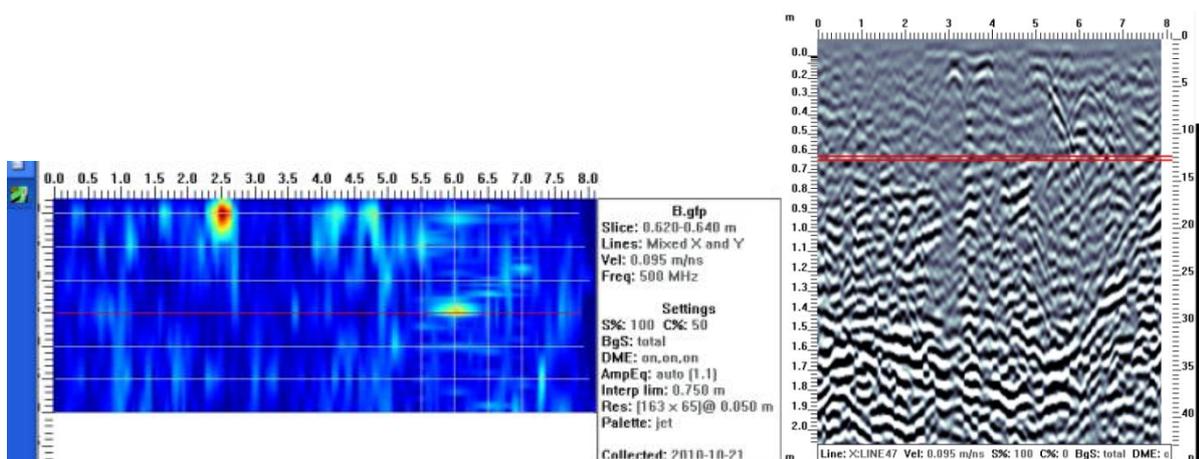


Fig. 5.112: Maiale 9 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,64 cm

Zona B: maiale 10 (05.06.10)

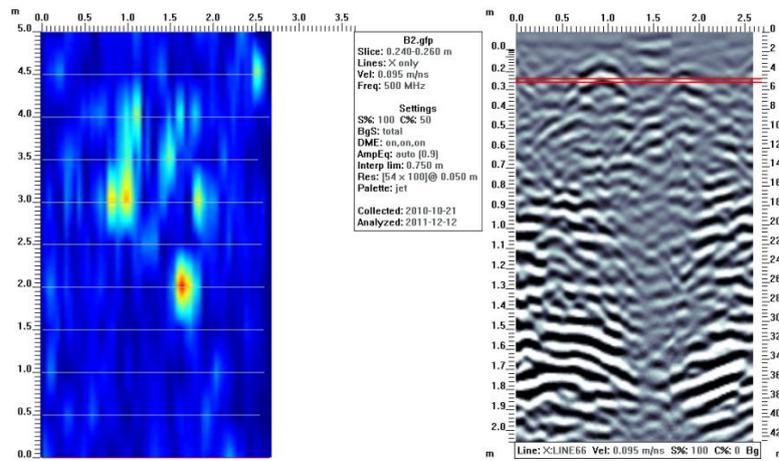


Fig. 5.113: Maiale 10 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,24 cm

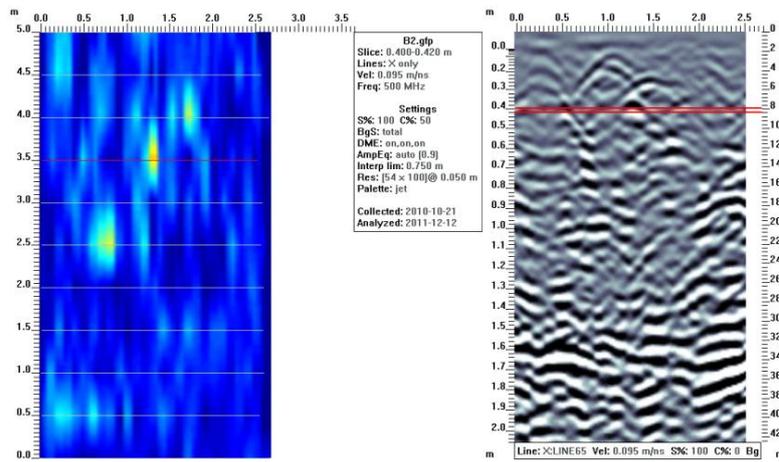


Fig. 5.114: Maiale 10 middle - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,42 cm

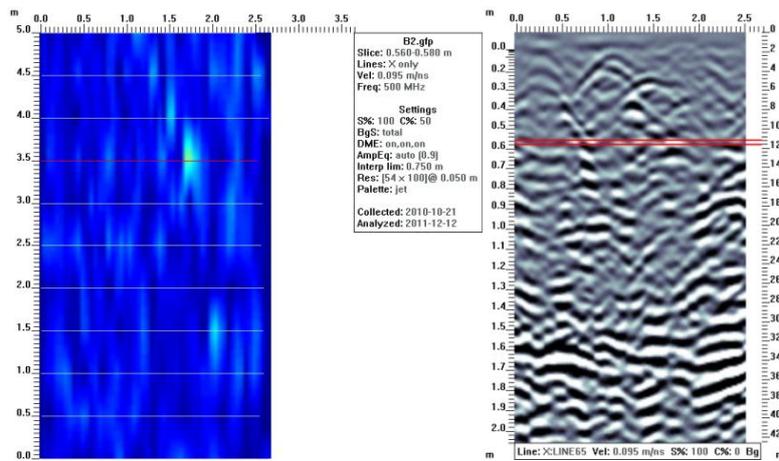


Fig. 5.115: Maiale 10 end - colorgramma (valutazione 0) e radargramma, - 0,58 cm

Zona A: maiale 4 e 5 (05.03.11)

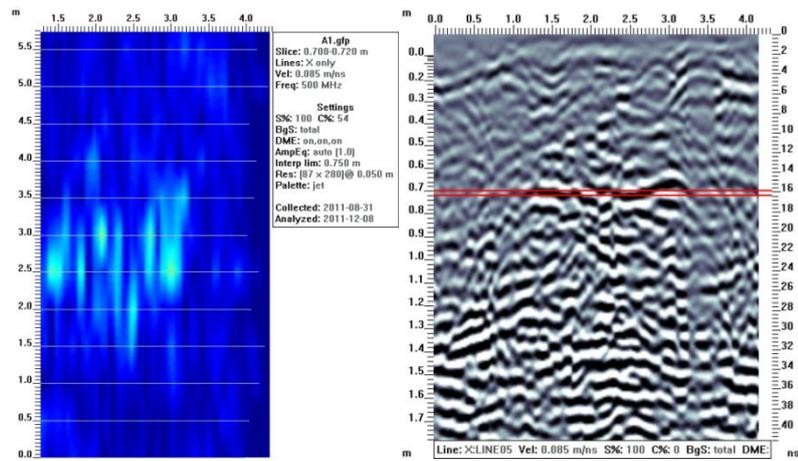


Fig. 5.116: Maiali 4 e 5 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,70 cm

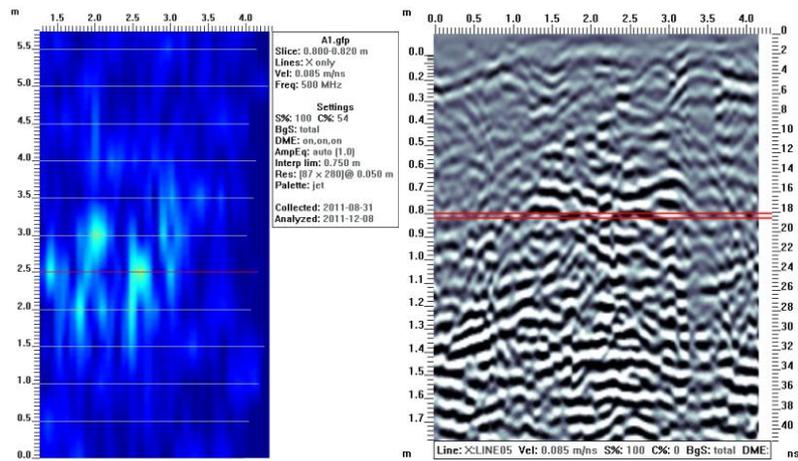


Fig. 5.117: Maiali 4e 5 middle - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,82 cm

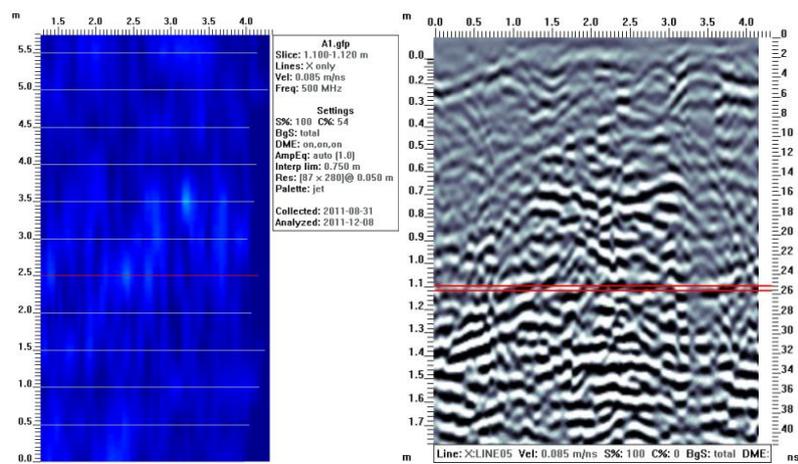


Fig. 5.118: Maiali 4 e 5 start - colorgramma (valutazione 0) e radargramma, - 1,120 m

Zona B: maiale 6 (05.03.11)

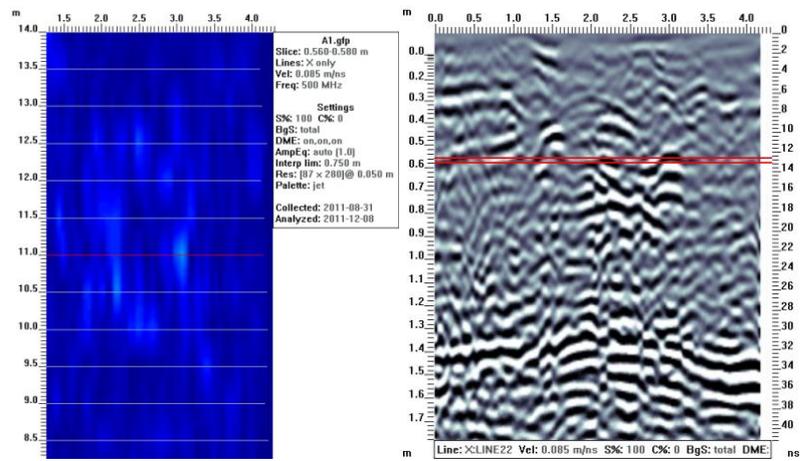


Fig. 5.119: Maiale 6 start - colorgramma (valutazione 0) e radargramma, - 0,56 cm

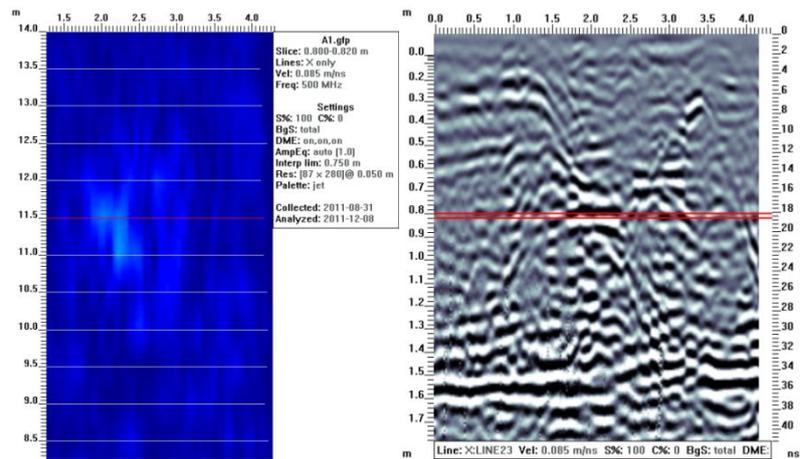


Fig. 5.120: Maiale 6 middle - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,82 cm

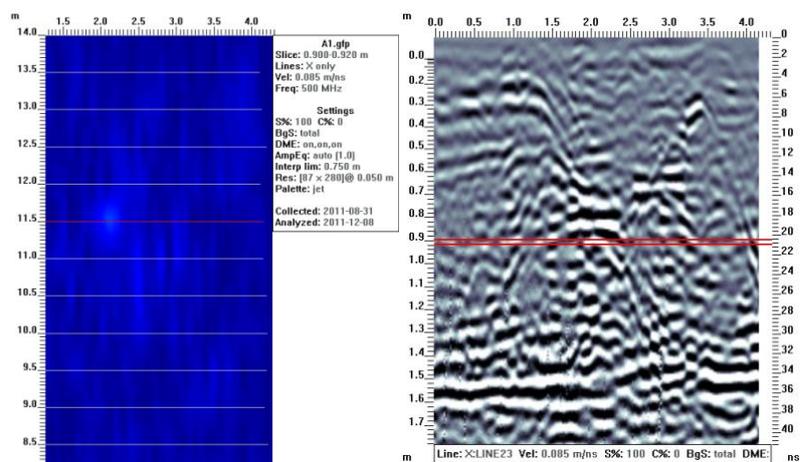


Fig. 5.121: Maiale 6 end - colorgramma (valutazione 0) e radargramma, - 0,70 cm

Zona B: maiale 9 (05.03.11)

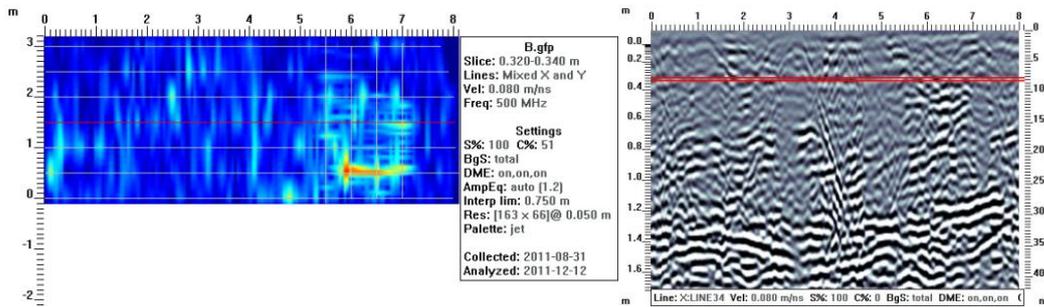


Fig. 5.122: Maiale 9 start - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,32 cm

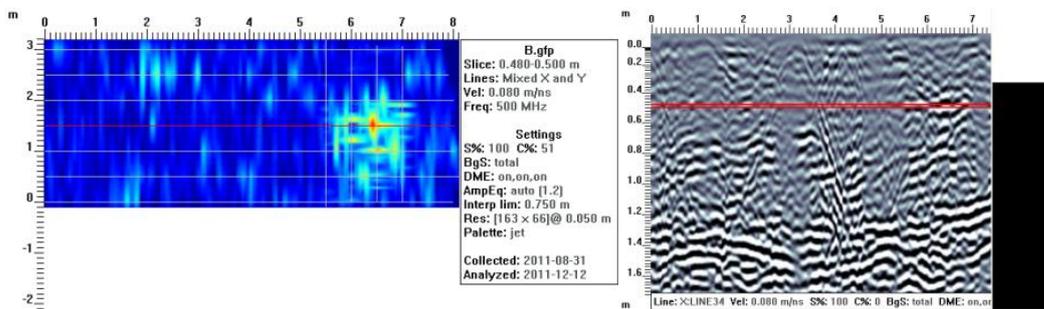


Fig. 5.123: Maiale 9 middle - colorgramma (valutazione ++) e radargramma, - 0,50 cm

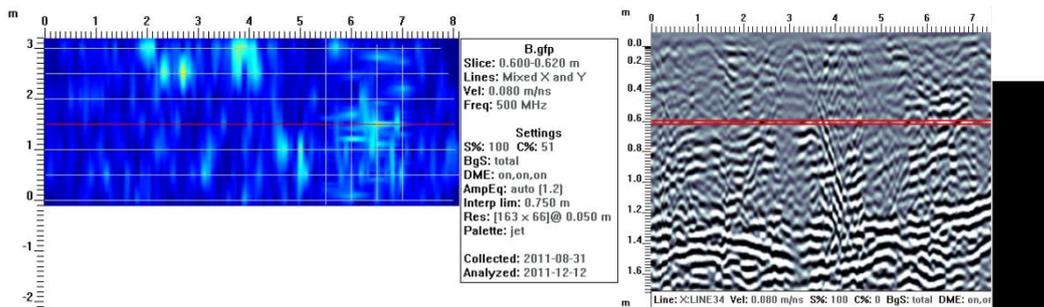


Fig. 5.124: Maiale 9 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,62 cm

Zona B: maiale 10 (05.03.11)

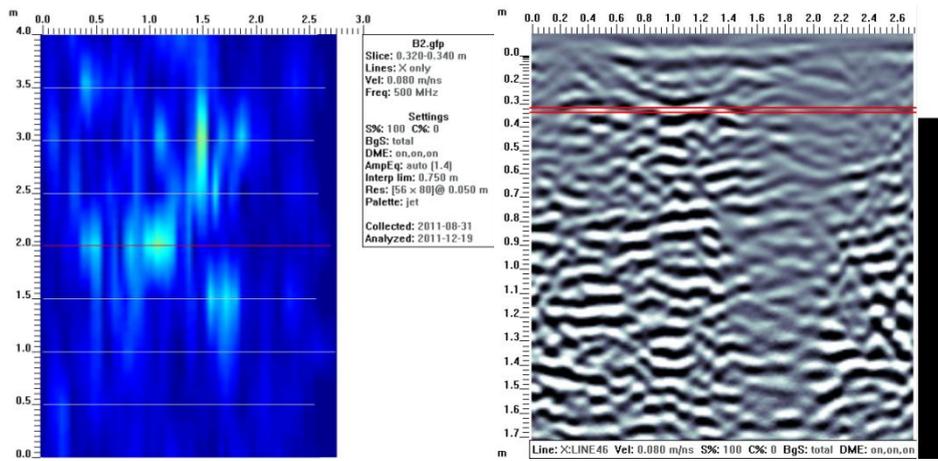


Fig. 5.125: Maiale 10 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,32 cm

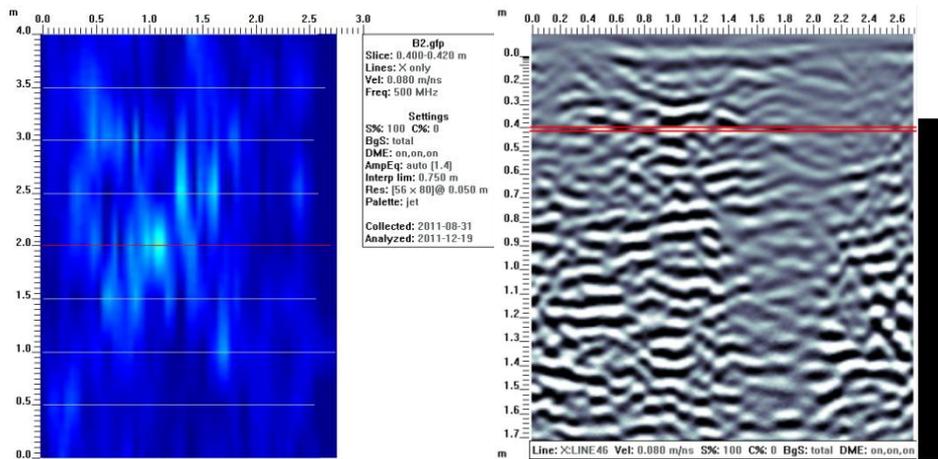


Fig. 5.126: Maiale 10 middle - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,42 cm

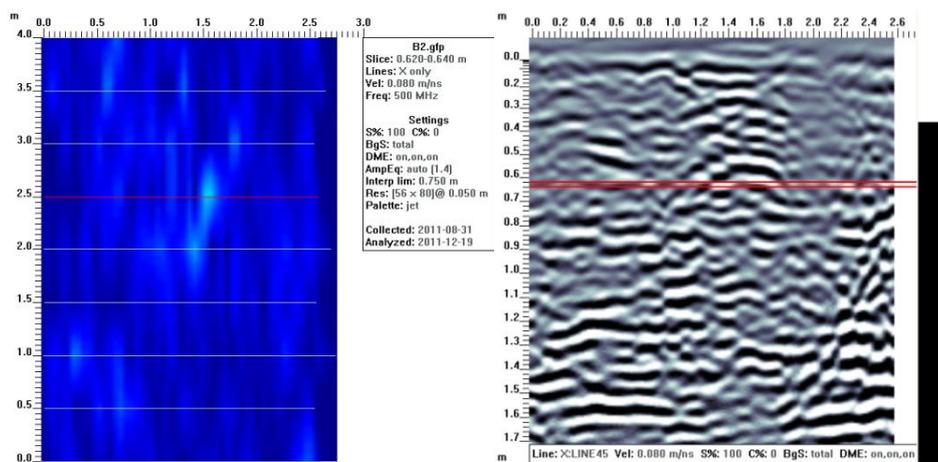


Fig. 5.127: Maiale 10 end - colorgramma (valutazione 0) e radargramma, - 0,64 cm

Zona B: maiale 4 e 5 (17.09.11)

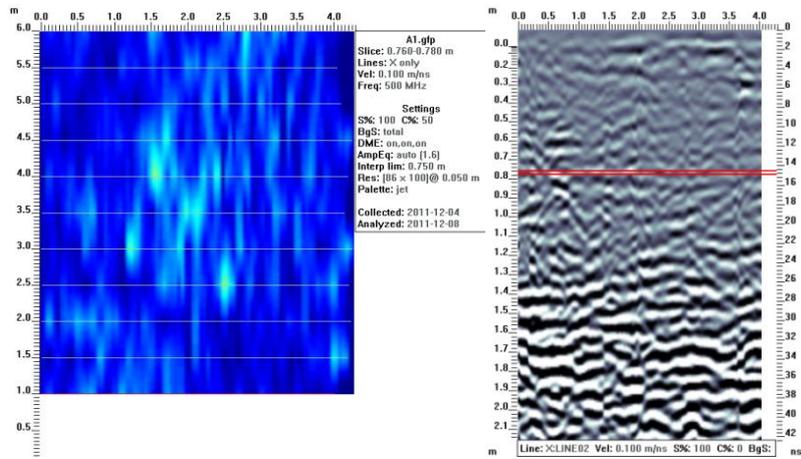


Fig. 5.128: Maiali 4&5 start - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,76 cm

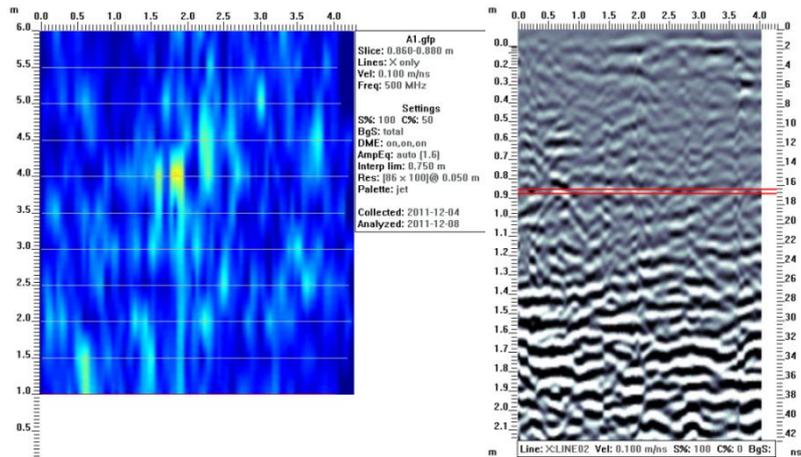


Fig. 5.129: Maiali 4&5 middle - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,86 cm

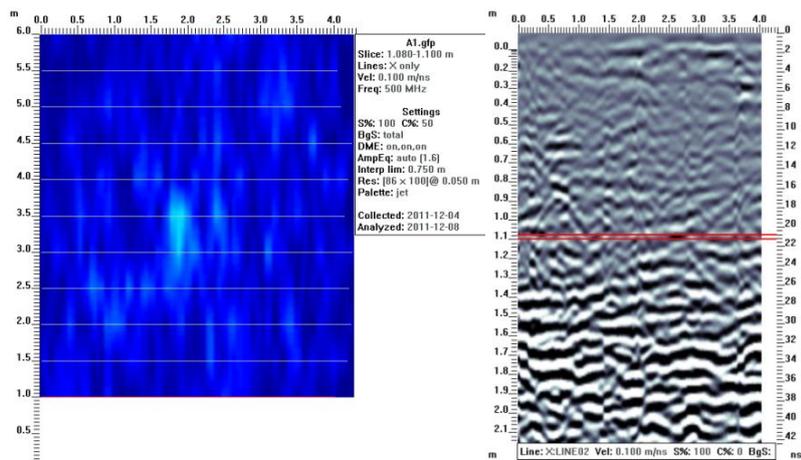


Fig. 5.130: Maiali 4&5 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 1,10 m

Zona B: maiale 9 (17.09.11)

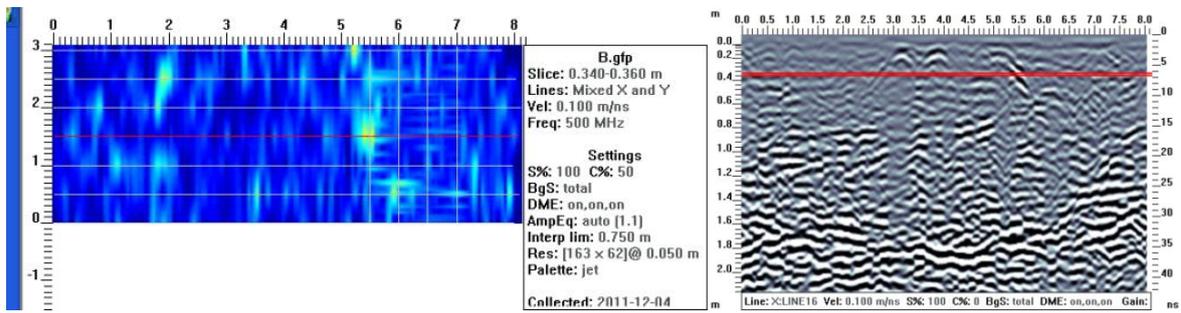


Fig. 5.131: Maiale 9 start colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,34 cm

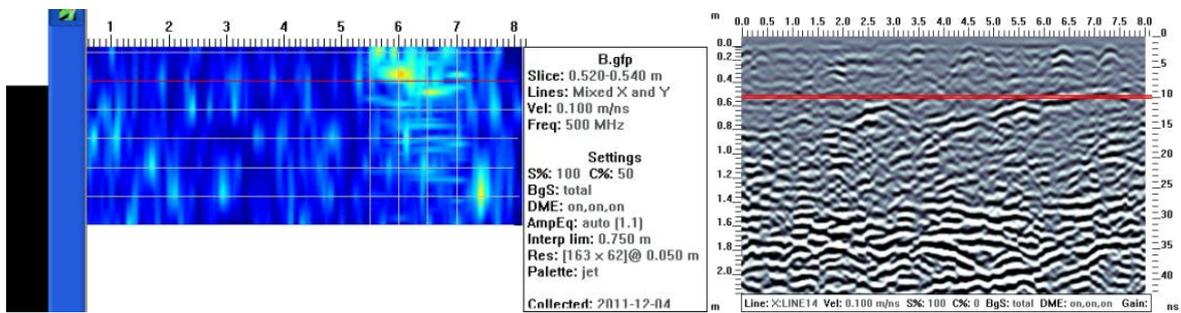


Fig. 5.132: Maiale 9 middle - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,54 cm

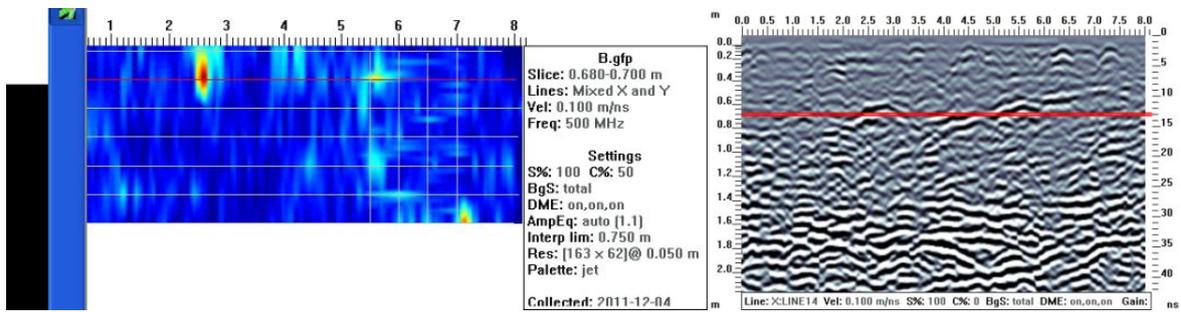


Fig. 5.133: Maiale 9 end - colorgramma (valutazione +) e radargramma, - 0,70 cm

		04.06.09	17.10.09	12.12.09	17.04.10	05.06.10	05.03.11	17.09.11
1	S	+						
	M	++						
	E	+						
2	S	+	++	+				
	M	+++	+	++				
	E	+	+	+				
3	S	+	+	++	+	+		
	M	+++	++	++	++	++		
	E	+	+	+	+	+		
4 e 5	S	+	+	+	+	+	+	+
	M	+++	++	+	+	+	+	+
	E	+	+	0	+	+	0	+
6	S	+	+	+	+	+	0	
	M	+++	++	+	++	++	+	
	E	+	+	0	+	+	0	
7	S	++						
	M	+++						
	E	+						
8	S	+++	++	++	++	+		
	M	+++	++	+++	+	+		
	E	+	+	+	++	0		

9	S	+	+	++	++	+	++	+
	M	++	++	+++	+++	++	++	+
	E	+	+	+	+	+	+	+
10	S	+++	+	+++	++	+	+	
	M	+++	++	++	++	+	+	
	E	+	+	+	+	0	0	
11	S	+	+++	++				
	M	+++	++	+++				
	E	+	+	++				
Controllo negativo		+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++

Tab 5.4: Tabella riassuntiva dei giudizi di intensità del segnale nei diversi colorgrammi

Nella tabella 5.4, viene evidenziato il trend di maggiore o minore leggibilità del disturbo indotto sia per le tre superfici dello stesso maiale, sia per gli stessi maiali in tempi diversi. I risultati delle analisi geofisiche sono stati prodotti partendo dallo studio delle velocità espresse in m/ns della propagazione delle onde sul terreno, tali velocità in realtà possono risultare variamente alterate dalla presenza di liquidi nel terreno o da altri mezzi che alterano il propagarsi delle onde nel substrato e quindi possono modificare le letture.

Venendo all'interpretazione della velocità del segnale, abbiamo mantenuto come costante la profondità del target in metallo (posto nella fossa controllo) e abbiamo valutato di quanto si sia modificata la velocità di propagazione delle onde nel terreno costruendo quindi lo schema con le variazioni di velocità qui di seguito, che c'è servito per una corretta lettura dei radargrammi e dei colorgrammi.

target	04-06-09	17-10-09	12-12-09	17-04-10	05-06-10	05-03-11	17-09-11
A: 0,75 m	0,1 m/ns	0,1 m/ns	0,085 m/ns	0,090 m/ns	0,1 m/ns	0,085 m/ns	0,1 m/ns
B: 0,65 m	0,1 m/ns	0,1 m/ns	0,075 m/ns	0,075 m/ns	0,095 m/ns	0,080 m/ns	0,1 m/ns

Tab 5.5: Tabella riassuntiva delle variazioni di velocità, applicate nella lettura dei dati delle diverse acquisizioni col georadar

Scopo di questa operazione è utilizzare come costante la quota del target di metallo, per osservare in questo modo la variazione di velocità di propagazione delle onde e poter quindi confrontare le diverse quote estrapolabili dai radargrammi.

Dalla lettura della totalità dei radargrammi, si è potuta costruire la seguente tabella (Tab 5.6), dove si può osservare la quota relativa ad ogni scansione e la differenza di quota totale restituita:

	maiale	04-06-09	17-10-09	12-12-09	17-04-10	05-06-10	05-03-11	17-09-11	Delta Q
Area A	1	0,54-0,88	-	-	-	-	-	-	-
	2	0,52-0,72	0,54- 0,88	0,54- 0,94	-	-	-	-	- 0,24
	3	0,54-0,78	0,56- 0,80	0,54- 0,80	0,50-0,88	0,56-0,90	-	-	- 0,12
	4e5	0,78- 1,04	0,72- 1,06	0,72 - 1,06	0,70- 1,06	0,66 - 1,14	0,70 - 1,10	0,78 - 1,10	- 0,06
	6	0,64- 0,94	0,68- 1,00	0,62 - 0,98	0,62- 0,98	0,64 - 1,00	0,62 - 1,00	-	- 0,06
Area B	7	0,34- 0,54	-	-	-	-	-	-	-
	8	0,28- 0,58	0,30- 0,56	0,32- 0,66	0,36- 0,76	0,44- 0,74	-	-	- 0, 16
	9	0,42- 0,60	0,48- 0,64	0,40-0,64	0,38- 0,58	0,38- 0,62	0,32- 0,60	-	- 0,00
	10	0,34- 0,62	0,32- 0,70	0,24-0,62	0,24- 0,52	0,24- 0,58	0,32- 0,64	0,36- 0,66	- 0,04
	11	0,36- 0,66	0,36-0,66	0,36- 0,64	-	-	-	-	+ 0,02

Tab 5.6: Tabella riassuntiva delle variazioni di quota, nei diversi radargrammi

Come si può notare, la velocità di propagazione rallenta ed assume valori differenti nei mesi autunnali ed invernali, restituendo a volte anche indicazioni sulle quote non precise e interpretabili come improbabili innalzamenti della quota di sepoltura, come verrà trattato più approfonditamente nel Cap. 6.

5.3 Esumazione

Di seguito vengono riportati i dettagli relativi alle diverse esumazioni; in particolar modo, l'indagine si è focalizzata sulle modificazioni di profondità osservata rispetto alla quota di esumazione prescelta e sulle caratteristiche morfologiche del fondo sottostante la carcassa. La valutazione del fondo è stata eseguita tramite l'osservazione del grado di impregnazione da parte di liquame putrefattivo e l'assegnazione di un punteggio da 0 a ++++. Le valutazioni della profondità sono state effettuate sulla base di una stima generale a partire dalla profondità del sito in corrispondenza della parete, ovvero nella zona più superficiale.

5.3.1 Prima esumazione

Di seguito sono riportate le immagini delle prime esumazioni: il campione 1 nell'area A è stato esumato in data 06.07.09, mentre il campione 7 è stato esumato in data 20.07.09.

Nel corso delle procedure di recupero del campione 1, è stata evidenziata un'ampia infiltrazione del terreno del fondo da parte di liquame putrefattivo, con diffuso distacco di annessi piliferi commisti al terreno.



Fig. 5.134: del campione 1 eseguita in data 06.07.09

Il campione 7 ha evidenziato caratteristiche simili: il fondo presentava un elevato grado di contaminazione da parte di liquame putrefattivo, visibile sotto forma di macchia di colore nerastro. Sono inoltre riconoscibili residui di setole, autonomizzate dalla superficie cutanea dei campioni.



Fig. 5.135: esumazione del campione 7 eseguita in data 20.07.09

5.3.2 Seconda esumazione

Di seguito sono riportate le immagini della seconda fase di esumazioni, che ha interessato il campione 2 nell'area A, esumato in data 14.12.09, ed il campione 11 nell'area B recuperato in data 25.01.10.

Il fondo nell'area A presentava di nuovo una netta area di contaminazione ad opera di liquami putrefattivi nerastri, a contorni sfumati; sul fondo erano presenti setole distaccate, variamente commiste al terreno.



Fig. 5.135: esumazione del campione 2 eseguita in data 14.12.09

Viceversa, il fondo del sito di deposizione nell'area B presentava al momento dell'esumazione una riduzione del grado di contaminazione da parte dei liquami putrefattivi, con una maggiore omogeneità rispetto al terreno circostante. Il numero di setole presenti era inoltre ridotto rispetto alla prima esumazione.



Fig. 5.136: esumazione del campione 11 eseguita in data 25.01.10

5.3.3 Terza esumazione

Di seguito sono riportate le immagini della terza fase di esumazioni, che ha interessato il campione 3 nell'area A, esumato in data 21.6.10, ed il campione 8 nell'area B recuperato in data 22.06.10.

Il fondo della fossa del campione 3 continua a presentare una evidente area di contaminazione da parte dei liquami putrefattivi di colore nerastro; il numero di setole presenti è ridotto rispetto alle prime esumazioni, in accordo con la fase di decomposizione avanzata descritta.



Fig. 5.137: esumazione del campione 3 eseguita in data 21.06.10

Il campione 8 presentava sul fondo una netta riduzione del grado di contaminazione da parte di liquame putrefattivo, e risultava ormai indistinguibile rispetto all'area circostante; non erano riconoscibili setole autonomizzate.



Fig. 5.138: esumazione del campione 8 eseguita in data 22.06.10

5.3.4 Quarta esumazione

Di seguito sono riportate le immagini della quarta fase di esumazioni, che ha interessato il campione 6 nell'area A, esumato in data 02.5.11, ed il campione 10 nell'area B recuperato in data 31.05.11.

Il fondo del campione A presentava ancora un'area di colorazione nerastra sotto la carcassa, distinguibile dal terreno circostante, nonostante la scheletrizzazione raggiunta dai campioni. Non sono riconoscibili residui di setole.



Fig. 5.139: esumazione del campione 6 eseguita in data 02.05.11

Nel caso dell'area B, non era evidenziabile più alcuna area di contaminazione da parte di liquame putrefattivo, ed il terreno del fondo era indistinguibile per colore e densità a quello circostante. Non erano riconoscibili residui di annessi piliferi.



Fig. 5.140: esumazione del campione 10 eseguita in data 31.05.10

5.3.5 Quinta esumazione

Di seguito sono riportate le immagini della quinta fase di esumazioni, che ha interessato i campioni 4 e 5 nell'area A, esumati in data 30.11.11, ed il campione 9 nell'area B recuperato in data 01.12.11.

Il campione nell'area A non presenta evidenti segni di contaminazione ad opera di liquame putrefattivo.



Fig. 5.141: esumazione dei campioni 4 e 5 eseguita in data 30.11.11

Il fondo della deposizione nell'area B allo stesso modo non evidenziava segni di liquami putrefattivi: il terreno era omogeneo rispetto a quello non interessato dalla sepoltura sia per colore che consistenza. Il fondo era sito a oltre 1.30m.



Fig. 5.142: esumazione del campione 9 eseguita in data 01.12.11

Di seguito sono esposti in maniera sinottica i dati relativi alle caratteristiche morfologiche del fondo ed alla profondità della sepoltura, in una scala semiquantitativa con andamento maggiore (da 0 a +++) in base alla presenza di liquidi sul fondo e alle sue caratteristiche

	Area A	Area B
I esumazione (Luglio 2009)	+++	+++
II esumazione (Dicembre 2009 – Gennaio 2010)	+++	++
III esumazione (Giugno 2010)	+++	+
IV esumazione (Maggio 2011)	+	0
V esumazione (Novembre – Dicembre 2011)	0	0

Tab 5.7: Tabella riportante le in una scala semiquantitativa con andamento maggiore (da 0 a +++) in base alla presenza di liquidi sul fondo e alle sue caratteristiche

Come è possibile osservare, la presenza di liquame putrefattivo è evidente nelle prime esumazioni in entrambe le aree, e permane nei siti di deposizione dell'area A fino alla IV esumazione, per poi scomparire. Nel caso dell'area B invece il fondo presenta contaminazione solo nelle prime esumazioni, e non è più riconoscibile a partire dalla IV.

5.4 Esame esterno

Di seguito vengono forniti i risultati dell'esame esterno eseguito sui campioni al momento dell'esumazione. Verrà inoltre presentata per ogni maiale una descrizione delle caratteristiche specifiche del processo di decomposizione osservato.

5.4.1 Maiale 1 (area A, esumazione del 06.07.09)

Il campione 1 è stato esumato dopo circa 7 settimane di permanenza sotto terra. 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 diffusa colorazione verdastra con perdita di annessi cutanei; un'isolata area di colliquazione cutanea di colore verdastro è identificabile in regione toracica sinistra in corrispondenza della soluzione di continuo chirurgica.

5.4.2 Maiale7 (area B, esumazione del 20.07.09)

Il campione 7 è stato esumato dopo 7 settimane di permanenza sotto terra. 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 deformabile al tatto, con completa perdita degli annessi piliferi.

5.4.3 Maiale 2 (area A, esumazione del 14.12.09)

Il campione 2 è stato esumato dopo 29 settimane di permanenza sotto terra. 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'esterno si presenta di colore brunastro, diffusamente colliquato, deformabile al tatto, con isolate brecce 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.

5.4.4 Maiale11 (area B, esumazione del 25.01.10)

Il campione 11 è stato esumato dopo 35 settimane di permanenza sotto terra. 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

dorso, è diffusamente colliquata, con isolate aree di colorazione verdastra in corrispondenza del collo e del gluteo. Gli arti sono completamente scheletrizzati.

5.4.5 Maiale 3 (area A, esumazione del 21.06.10)

Il campione 3 è stato esumato dopo 56 settimane di permanenza sotto terra. Il maiale presenta una completa scheletrizzazione del capo, degli arti e dell'addome, con esposizione della superficie ossea. Il lato sinistro e destro del torace evidenzia la presenza di tessuti molli colliquati, di colore brunastro, privi di annessi piliferi, deformabili al tatto.

5.4.6 Maiale 8 (area B, esumazione del 22.06.10)

Il campione 8 è stato esumato dopo 54 settimane di permanenza sotto terra. 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 deformabili al tatto.

5.4.7 Maiale 6 (area A, esumazione del 02.05.11)

Il campione 6 è stato esumato dopo 102 settimane di permanenza sotto terra. All'esame esterno si evidenzia 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 interessate da colonizzazione da parte di radici.

5.4.8 Maiale 10 (area B, esumazione del 31.05.11)

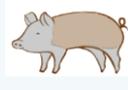
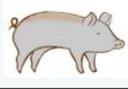
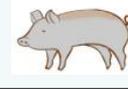
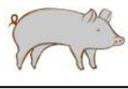
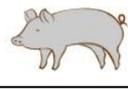
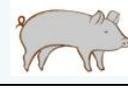
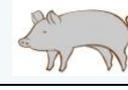
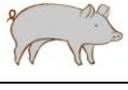
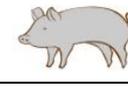
Il campione 10 è stato esumato dopo 103 settimane di permanenza sotto terra. All'esame esterno si evidenzia diffusa scheletrizzazione della carcassa con completa esposizione della superficie ossea in tutte le sedi corporee; non sono identificabili residui di tessuti molli. Le ossa sono interessate da colonizzazione da parte di radici.

5.4.9 Maiali 4 e 5 (area A, esumazione del 30.11.11)

I campioni 4 e 5 è stato esumato dopo 130 settimane di permanenza sotto terra. All'esame esterno entrambi i campioni 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 diffusamente interessate da colonizzazione da parte di radici.

5.4.10 Maiale 9 (area B, esumazione dell'01.12.11)

Il campione 9 è stato esumato dopo 128 settimane di permanenza sotto terra. 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 interessate da colonizzazione da parte di 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		

Tab 5.8: schema riassuntivo grado di decomposizione all'esumazione

LEGENDA:

Rosa = Ben conservato

Verde = Primi stadi della decomposizione

Marrone = Avanzato stato di decomposizione

Grigio = Scheletrizzazione

In base allo stato di decomposizione osservato sui diversi campioni, è stata effettuata una valutazione quantitativa tramite metodo ADD (Megyesi et al., 2005); di seguito sono riportati i risultati relativi al punteggio TBS (Total Body Score) di ogni campione, definito come la somma dei punteggi relativi al grado di putrefazione di capo e collo, tronco ed arti, ed il corrispondente numero di ADD (accumulated degree-days), unitamente al diverso tempo di permanenza sotto terra ed al sito di deposizione.

Tempo di permanenza sotto terra (settimane)	Area A	Tempo di permanenza sotto terra (settimane)	Area B
7	93,76	7	140,60
29	340,41	35	2387,81
56	7211,07	54	9727,47
102	9727,47	103	18197,01
130	18197,01	128	18197,01

Tab 5.9: numero di ADD corrispondenti ad ogni campione in base al grado di decomposizione

Come è possibile osservare, i campioni nell'area B raggiungono la scheletrizzazione (corrispondente al numero massimo di ADD) alla IV esumazione, dopo 103 settimane, mentre nell'area A tale stadio viene raggiunto dopo 130 settimane, al termine del progetto sperimentale.

Capitolo 6

Discussione

6.1 Geoarcheologia

6.1.1 Osservazione esterna

L'analisi preliminare si è basata sulla valutazione del grado di visibilità del sito di deposizione, ed in particolar modo sulla possibilità di percepire la presenza di un'anomalia sulla base della pura osservazione esterna. Tale indagine ha avuto come scopo quello di verificare l'effettiva esistenza di una difformità morfologica e botanica, percepibile e chiaramente riconoscibile, sovente citata come elemento diagnostico della presenza di una deposizione.

Nel caso specifico, è indubbio che la differenza fra le aree utilizzate ha avuto un notevole effetto sul grado di visibilità delle fosse, in quanto nei siti privi di copertura vegetale, ovvero nella zona A, i contorni generali del sito sono sempre stati riconoscibili, mentre nella zona B, caratterizzata dalla presenza di alberi, la caduta delle foglie ha nel periodo autunnale nascosto in maniera completa i segni dell'avvenuto seppellimento. Risulta pertanto evidente che un'osservazione generale, per quanto possa apportare informazioni significative, risulta limitata dal contesto ambientale specifico e dalla peculiarità della zona analizzata, e deve pertanto considerarsi un mero strumento empirico per la valutazione dell'area di ricerca.

6.1.2 Botanica

Una prima considerazione che può essere fatta a seguito dell'osservazione dei risultati ottenuti con la sperimentazione descritta 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. 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 ci permette di dire che da questo studio non è possibile trarre delle 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 a ottobre (a cinque mesi dall'inumazione) appare molto simile a causa probabilmente dell'effetto limitante dell'aridità estiva. La cluster analysis eseguita per il sito A (Fig. 6.1) ci mostra che i rilievi possono essere suddivisi in tre grandi gruppi, che riuniscono gli stessi in funzione della loro somiglianza sulla base del numero delle specie, numero dei contatti e numero di contatti di ciascuna specie.



Fig. 6.1: Dendrogramma Area A (a sinistra) e dettaglio (a destra)

Il dendrogramma dell'area B non è stato prodotto in quanto l'area B mostrava un grado di uniformità prodotto dalla copertura vegetale, che non ha permesso lo studio dell'Area B come avvenuto invece per l'area A. L'osservazione delle caratteristiche dei rilievi propri di questi tre gruppi ci permette di dire 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 grosso 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. Un'altra differenza è ravvisabile tra i rilievi: questa è dovuta al disturbo subito dal quadrato. Vengono infatti distinti i rilievi su quadrati indisturbati (controllo e rilievo pre-inumazione) da quelli su quadrati che hanno subito l'azione dello scavo (falsi positivi e maiali). Andando ad osservare i dati relativi alle specie esclusive e ai risultati dell'analisi della varianza vediamo che sono state rilevate solo 2 specie che sono cresciute solamente sui quadrati che hanno subito il disturbo dovuto allo scavo e non sui quadrati indisturbati: *Teesdalia nudicaulis* (L.) R. Br e *Myosotis ramosissima* Rochel.

Dalla Cluster Analysis non emerge invece una distinzione chiara tra sepolture con maiali e falsi positivi. Le specie che maggiormente marcano il disturbo in entrambi 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 nostra 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 ci indica che il nostro sito non solo è stato disturbato dallo scavo ma presenta anche una qualche situazione di stress. E' presumibile che lo stress principale al quale l'ambiente indagato è sottoposto sia la scarsità d'acqua. Infatti, l'osservazione dei dati climatici, in particolare dei diagrammi ombrotermici di Bagnouls & Gaussen, ci rivela che esistono almeno due momenti nell'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) e 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 caryophyllea*, *Koeleria pyramidata*, *Carex caryophyllea*, *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.

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 discriminino realmente i due tipi di quadrato disturbato.

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.

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. E' da rimarcare l'assoluta novità di tale approccio di analisi, dato che in letteratura non sono disponibili studi analoghi da utilizzare come confronto degli attuali risultati.

6.2 Georadar

I risultati delle prospezioni geofisiche sono stati prodotti mediante l'osservazione delle anomalie e l'analisi delle velocità, espresse in m/ns, della propagazione delle onde sul terreno.

Tali velocità in realtà possono risultare variamente modificate dalla presenza di liquidi nel terreno o da altri materiali che alterano il propagarsi delle onde nel substrato (come il ghiaccio).

Nel caso specifico, si è mantenuta fissa la profondità del target in metallo e si è valutato di quanto si sia modificata la velocità di propagazione delle onde nel terreno nei diversi periodi, costruendo quindi uno schema utilizzato per una corretta lettura dei dati e la produzione dei radargrammi e dei colorgrammi.

In particolar modo il radargramma evidenzia in tutte le sepolture la presenza di un'anomalia sotto forma di curva iperbolica, già descritta in letteratura (Schultz et al., 2006). Il segnale era evidente in tutte e due le aree, che pure erano composte da terreni dissimili: mentre l'area A era costituita da ciottoli, l'area B presentava un'intensa colonizzazione da parte di radici, entrambi elementi di variabilità che tendono a condizionare un aumento di falsi positivi. Nonostante tale fattore di variabilità, in entrambi i casi la sepoltura è risultata ben riconoscibile per l'intero periodo di studio.

Tale dato si accorda con quanto riportato in letteratura in merito alla sepoltura di carcasse di maiali di grandi dimensioni (Schultz et al., 2006).

L'osservazione dei tracciati mostra come già nell'autunno/inverno del 2009 ci sia una sostanziale riduzione della riflettanza che lentamente decresce fino a rendere i cologrammi poco utili all'osservazione profonda oltre la primavera del 2011 a quasi 22 mesi dall'inumazione.

I radargrammi invece pur continuando a restituire un segnale più facilmente osservabile durante tutto l'arco dei 30 mesi, si mostrano alterati dai segnali di spostamento del terreno e dal riassetto del materiale post scavo all'interno della buca.

Si consideri come esempio relativo al deterioramento della riflettanza nei color grammi, la diminuzione di riflettanza del maiale 9 al momento della sepoltura, in data 04.06.09, e all'ultimo rilievo del radar il 17.09.11.

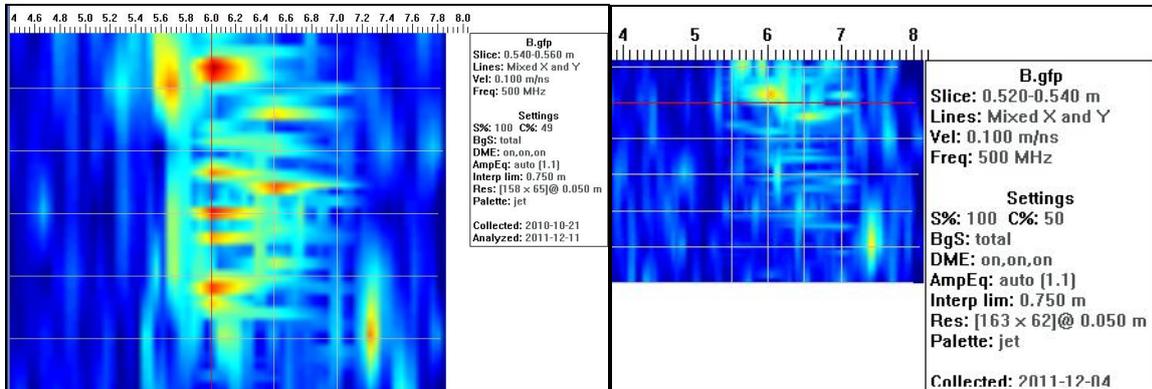


Fig. 6.2: Diminuzione di riflettanza dei colorgrammi del maiale 9 al momento della sepoltura, in data 04.06.09 (a sinistra) e in data 17-09-11 (a destra)

In questo esempio, si osserva la diminuzione di riflettanza, alla stessa quota (-0,54 cm), con la stessa frequenza (500 Mhz), alla stessa velocità del segnale (1 m/ns), con la stessa interlinea (0,750m) e una risoluzione 0,050 m; ovvero misurando con gli stessi parametri il colorgramma mostra una minore riflettanza.

La riduzione di segnale con il tempo è evidenziata anche dalla valutazione semiquantitativa eseguita sui campioni; se analizzato statisticamente con una correlazione semplice il segnale fornito dal georadar e valutato da 0 a +++ presenta un I.C. (indice di correlazione) pari a -0.54 con il tempo: tale valore evidenzia che il segnale tende a ridursi con il passare del tempo, ma conferma la presenza di altri elementi di variabilità che concorrono alla modificazione della riflettanza.

La quota non sembra costituire un elemento di variazione, né qualitativa né quantitativa, del segnale: nel dettaglio, sia la morfologia che la riduzione del segnale nelle diverse aree sono paragonabili, e non è stata evidenziata una differenza statisticamente significativa. E' da osservare che tale risultato non discorda con i dati di letteratura riportati: se pure è vero che se alcuni evidenziano una differenza di risposta della sepoltura all'indagine georadar a diverse profondità, è da osservare che tali risultati sono stati ottenuti in condizioni sperimentali estremamente differenti da quelle del nostro studio. Un altro elemento di variabilità è costituito dal peso dei diversi campioni: le osservazioni geofisiche non sembrano mostrare particolari difficoltà di osservazione in relazione al differente peso dei maiali. È da notare che gli studi attualmente esistenti confrontano due classi di peso molto differenti dagli attuali, fra 25.9 e 33.6

Kg per i più piccoli, fra 51.71 e 69.85 per i più grandi. La letteratura evidenzia pertanto un diverso comportamento geofisico dei campioni sotto i 40 Kg, che nel presente studio non erano presenti. I nostri campioni inoltre sono caratterizzati da un differenza di peso non significativa: ecco perché dalle analisi condotte, non si è evidenziato alcuna significatività nella differenza di risposta del segnale. Il peso nel nostro caso pertanto sembra non avere un ruolo nel determinismo di un'apprezzabile differenza di risposta.

Viceversa, lo stato di conservazione del cadavere sembra avere una particolare importanza: le variazioni delle risposte geofisiche risultano essere legate a doppio filo con lo stato di scheletrizzazione dei resti, sia da un punto di vista morfologico che quantitativo: il georadar infatti evidenzia una diminuzione del segnale proprio in concomitanza con l'inizio della scheletrizzazione dei maiali. Tale diminuzione, evidenziabile dall'analisi morfologica dei tracciati, è riscontrabile anche dalla stima degli ADD (accumulated degree-days) di ogni campione; nel dettaglio, con l'aumentare del numero di ADD, ovvero con l'avanzamento dei processi trasformativi, l'intensità del segnale, calcolata come somma delle valutazioni della superficie, del punto massimo e del fondo, diminuisce, se analizzata statisticamente con una correlazione semplice, con un indice di correlazione (I.C.) pari a -0.63.

6.3 Temperature e precipitazioni

I dati meteo ottenuti da Arpa Lombardia sono graficamente rappresentati nelle seguenti immagini:

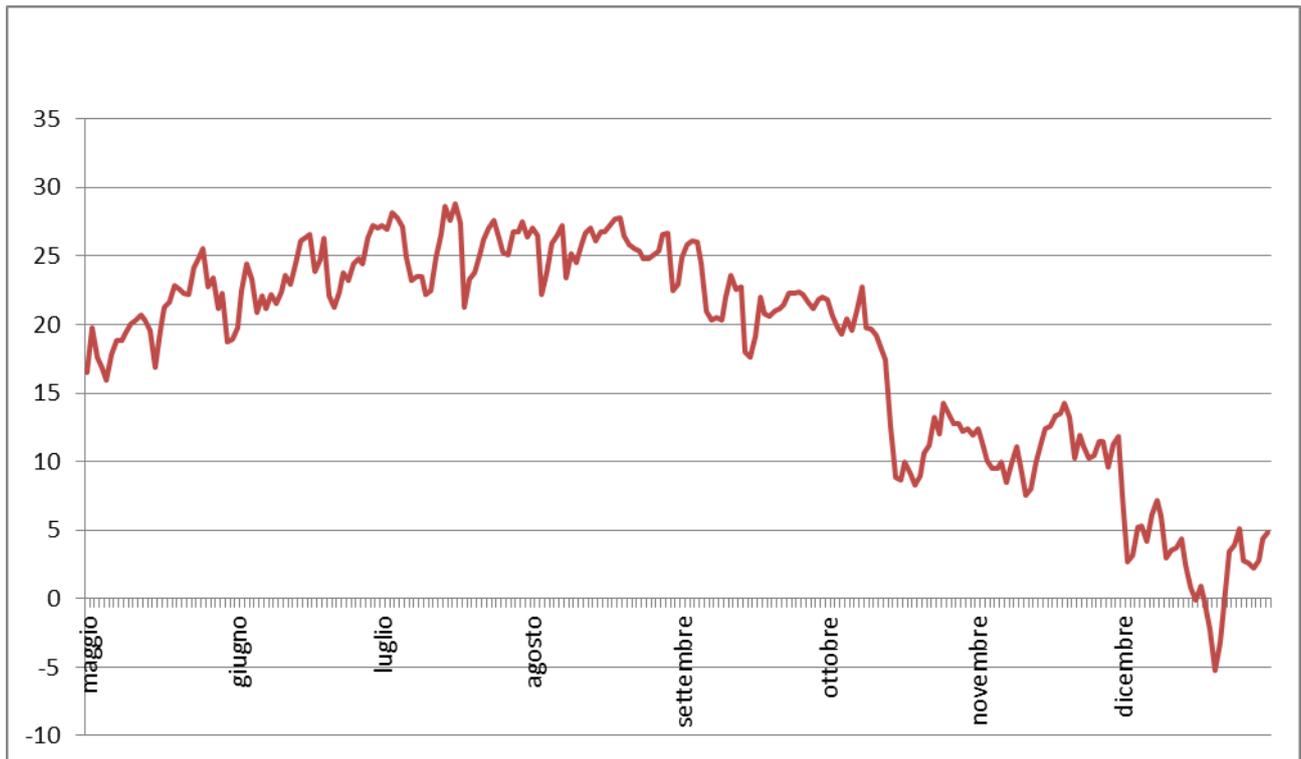


Fig. 6.3: Temperature maggio-dicembre 2009



Fig. 6.4: Temperature gennaio-dicembre 2010

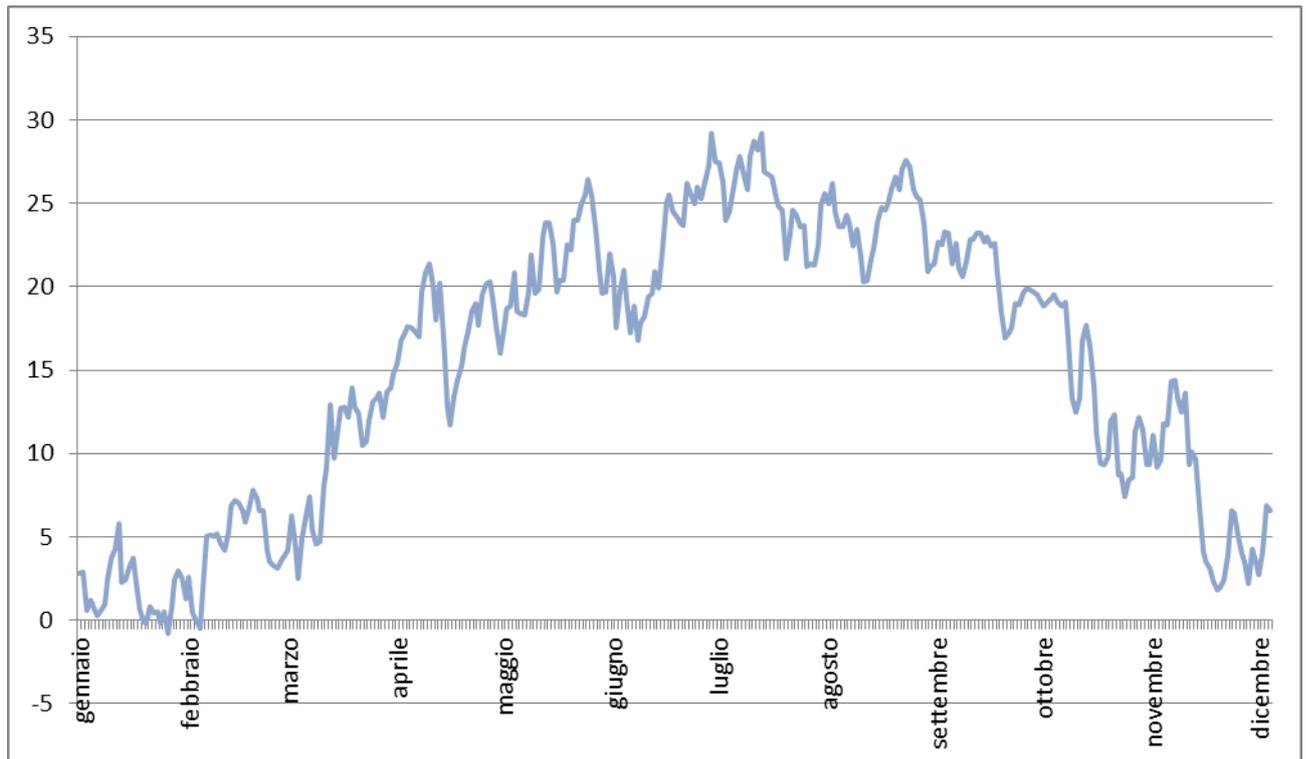


Fig. 6.5: Temperature gennaio- 4 dicembre 2011

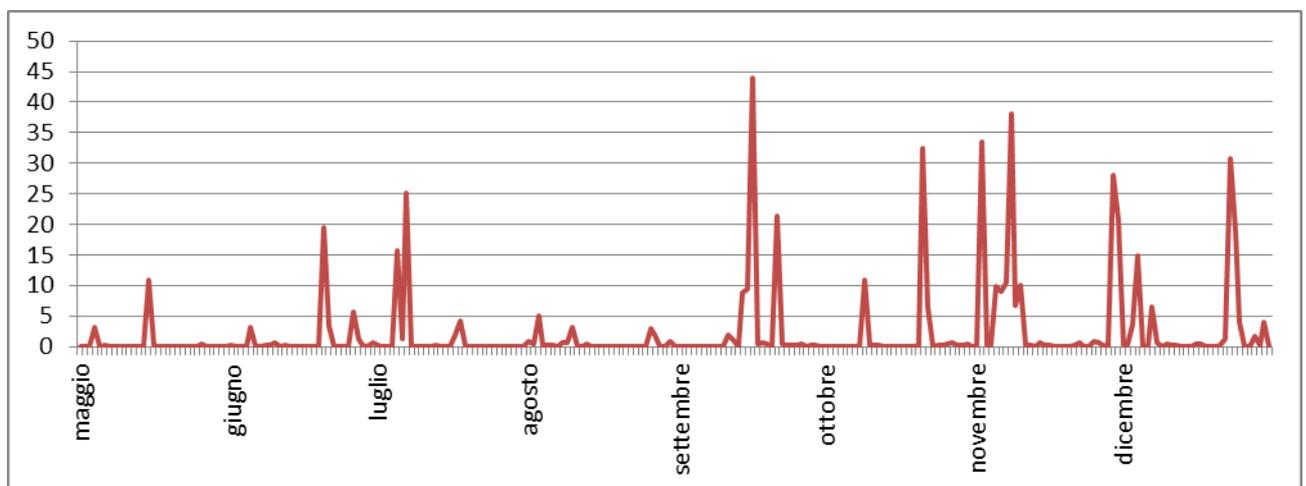


Fig. 6.6: Precipitazioni maggio-dicembre 2009

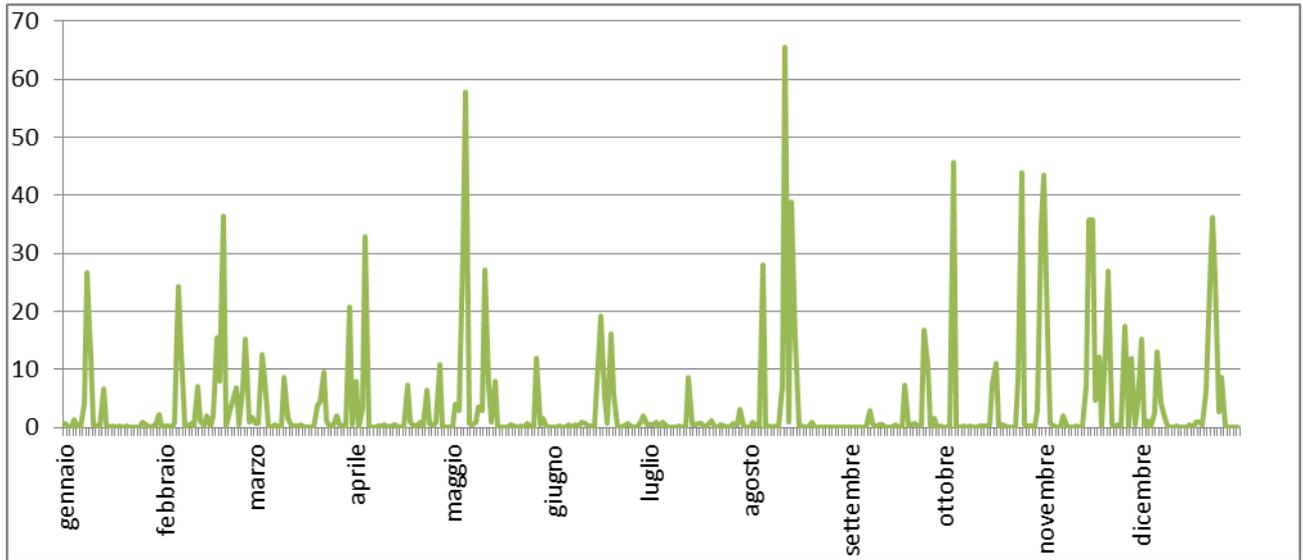


Fig. 6.7: Precipitazioni gennaio-dicembre 2010

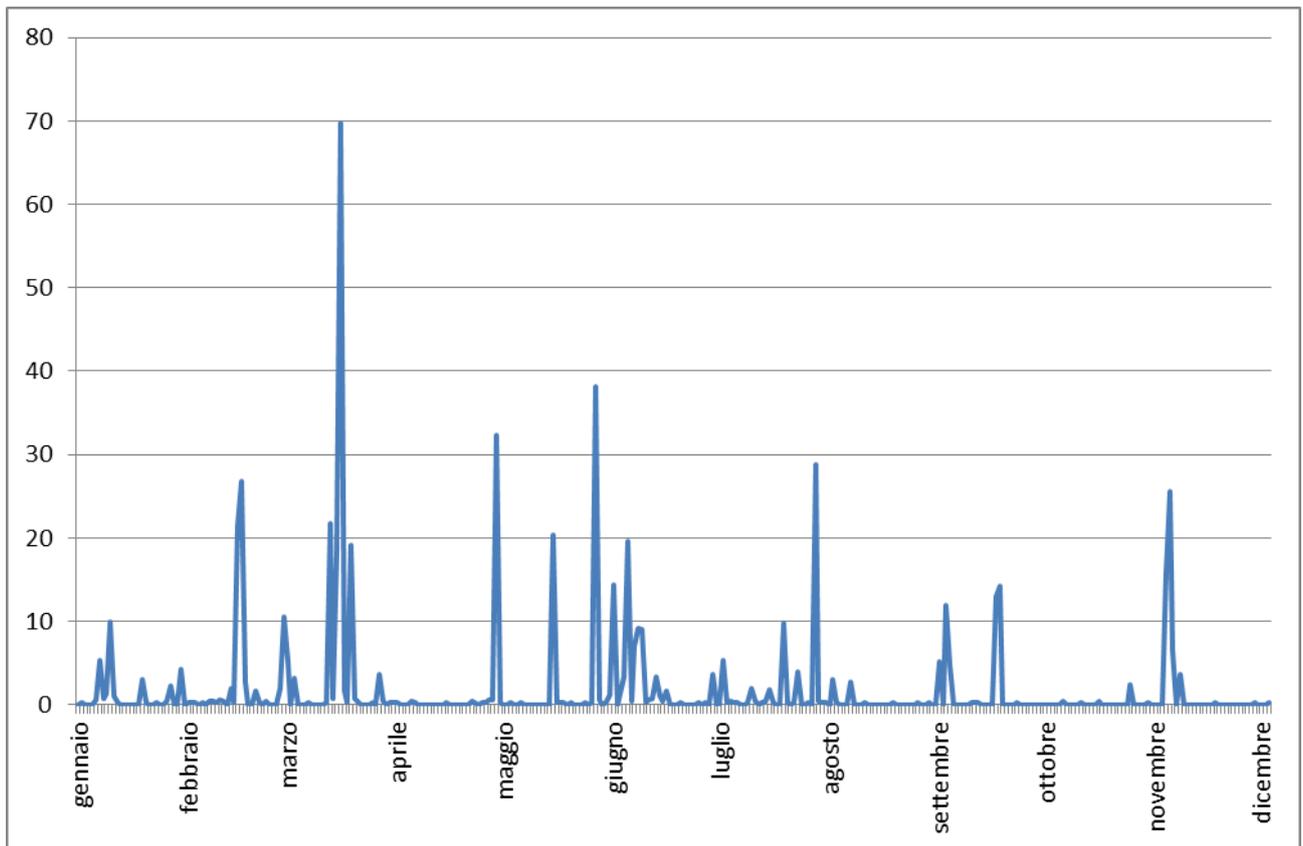


Fig. 6.8: Precipitazioni gennaio-4 dicembre 2011

Come si può notare, confrontando i valori della tabelle 5.4 e 5.5 della velocità di propagazione e della visibilità del segnale, con i dati Meteo, si apprezza che esso rallenta ed assume valori

differenti nei mesi autunnali ed invernali, restituendo a volte anche indicazioni sulle quote non precise e identificabili a volte come improbabili innalzamenti della profondità di sepoltura (Tab 5.6) .

Le correlazioni tra temperatura, precipitazione e velocità del segnale, mostrano un forte di grado di significatività, così come espresso nella tabella 6.1.

In particolare la correlazione risulta essere più importante tra le velocità e gli andamenti di temperature medie e precipitazioni giornaliere, rispetto al confronto delle stesse con la visibilità del segnale, in quanto quest'ultima soffre della soggettività dell'operatore. Laddove non si raggiunge un risultato pari a + 0,7, il valore risulta essere comunque molto vicino (0,69).

	Visibilità del segnale			Velocità (n/ms)	
	Area A	Area B	Area A e b insieme	Area A	Area B
Temperatura media (T°C)	0,3	-0,23	-0,03	0,73	0,92
Precipitazioni (mm/g)	-0,58	-0,16	-0,38	-0,69	-0,77

Tab 6.1: correlazione visibilità del segnale, velocità, temperature media e precipitazioni

L'analisi della correlazione conferma quindi che la velocità del segnale risulta fortemente influenzata dalle condizioni climatiche, che si riflettono in un diverso comportamento del suolo al passaggio del segnale del georadar.

6.3 Esumazione

Dal punto di vista del recupero archeologico forense, non sono emersi elementi diversi da quelli che sono solitamente evidenziati durante le fasi di recupero di un cadavere umano scheletrizzato; le difficoltà incontrate sono state le stesse, con particolare riferimento agli individui totalmente scheletrizzati.

Le osservazioni peculiari si sono limitate indubbiamente alle carcasse completamente scheletrizzate; esse infatti non presentavano una particolare disarticolazione e gli elementi scheletrici erano sostanzialmente in fase di continuità e in posizione anatomica. L'unica particolare osservazione può essere fatta sui maiali 4 e 5 ovvero sulla sepoltura doppia, dove effettivamente ci siamo trovati davanti ad un abbassamento di profondità di sepoltura, che ha individuato il maiale a -1,30 m contro un dato geofisico di circa 1,10 m.

In particolare il cranio di uno dei due animali è stato ritrovato adagiato lungo la parete ad una profondità di 1.00 m circa, mentre il resto era distribuito in maniera uniforme tra 1,10 m e 1,30 m - indubbiamente una distribuzione e una disarticolazione molto particolare, dovuta probabilmente ad una serie di elementi che hanno agito in maniera diversa in momenti diversi:

- al momento dell'inumazione il cranio si è appoggiato alla parete dello scavo
- il successivo riempimento ha portato probabilmente ad una elongazione del collo
- la scheletrizzazione del cranio è avvenuta prima della scheletrizzazione del resto del corpo, che quindi ancora sotto la pressione del terreno, ha raggiunto la quota di sepoltura del tronco
- la scheletrizzazione anche del resto del corpo del maiale, seguita da un abbassamento di quota, ha portato quindi gli altri elementi scheletrici ad assestarsi tra 1,15 m e 1,30 m ben al di sotto del 1,00 m di quota, dove è stato trovato il cranio

Capitolo 7

Conclusioni

Lo studio attuale costituisce il primo progetto sperimentale finalizzato ad una valutazione olistica delle modificazioni di natura geologica e botanica determinate dalla presenza di sepolture nello scenario geografico italiano, i cui risultati preliminari sono stati oggetto di presentazioni in congressi internazionali (Poppa et al., 2010; Poppa et al., 2011); in tal modo sono state ottenute le prime indicazioni per la determinazione dell'applicabilità del georadar all'ambiente naturale del nostro Paese. Il progetto sperimentale esposto ha consentito di trarre un'indicazione complessiva sulle alterazioni causate dalla sepoltura, fondata sul contributo della geoarcheologia, della botanica e della geofisica, nell'ambito di quell'impianto multidisciplinare dell'intervento al cadavere sepolto che, come esposto nei precedenti capitoli, costituisce ormai un paradigma imprescindibile in ambito forense; multidisciplinarietà che, come risulta evidente, è di enorme rilevanza per un corretto trattamento del cadavere forense.

Negli ultimi anni le nuove tecnologie hanno apportato importanti sviluppi nella tecnica di registrazione ed indagine della scena del crimine (Cattaneo et al., 2008); il georadar costituisce uno degli strumenti potenzialmente più utili per la ricerca di cadaveri sepolti, ma i precisi limiti di tale metodica sono ancora sconosciuti, così come non è ancora definito l'inserimento di tale tecnologia nell'ambito delle raccomandazioni di ricerca e recupero attualmente esistenti.

E' innanzitutto evidente che un cadavere in decomposizione, almeno nelle caratteristiche sperimentali specifiche, determina nel sottosuolo un'anomalia ben evidenziabile al georadar che permane come entità distinguibile anche a distanza di anni, fino alla sua scheletrizzazione. Il georadar pertanto sembra costituire uno strumento affidabile per l'identificazione di siti di deposizione, ancor di più se si considera che tale strumento è stato utilizzato su terreni ghiaiosi e in un caso con colonizzazione di alberi, ovvero sfavorevoli alla scansione GPR.

E' tuttavia da segnalare che, se pure è confermato che la presenza di un cadavere crea un'anomalia riconoscibile, rimane la questione che riguarda la capacità dell'operatore di riconoscere il segnale come indicativo di una sepoltura. In effetti, la letteratura esistente evidenzia che i limiti della geofisica non sono tecnici, bensì soprattutto interpretativi: come è possibile identificare un segnale come indicativo di una sepoltura? E se un osservatore esterno vedesse lo stesso segnale senza conoscere la presenza del sito di deposizione, interpreterebbe

correttamente l'anomalia? Tali domande per le caratteristiche del progetto sperimentale non possono trovare risposta nello studio attuale: ulteriori indicazioni potrebbero provenire dall'esecuzione di scansioni GPR in cieco su terreni contenenti siti di deposizione, seguita da più operatori oppure senza informare gli stessi sulla esatta posizione dei corpi. Tale aspetto non è secondario, in quanto il georadar, come tutti i metodi in grado di fornire una valutazione qualitativa, sono soggettivi, ovvero estremamente dipendenti dall'esperienza del singolo operatore. Una verifica del margine di soggettività di tale metodica è pertanto imperativa nel futuro.

Un altro aspetto rilevante che emerge dal presente studio consiste nella necessità di un'adeguata preparazione in merito alle caratteristiche del singolo caso preliminarmente all'utilizzo dello strumento: come sopra esposto, il peso e la fase di decomposizione del cadavere influenzano il segnale, con modalità che presentano un fortissimo impatto pratico. La letteratura suggerisce che un cadavere sotto i 50 Kg tenderà a produrre un segnale destinato a ridursi rapidamente nel tempo; e nel caso in cui il soggetto da cercare avesse un peso inferiore ai 50 Kg, l'opportunità di utilizzare il georadar dovrà essere attentamente valutata, anche se nel presente studio non ci sono state evidenze di influenze del peso, sulla percezione del segnale. Anche la decomposizione ha un notevole peso: se sono passati anni dalla deposizione, e qualora sia ipotizzabile che il cadavere sia scheletrizzato, è presumibile che il georadar non sia in grado di aggiungere informazioni valide, ancor più se la sepoltura è avvenuta in terreno sfavorevole. In altri termini, dai risultati attuali emerge che il georadar non deve essere considerato uno strumento utilizzabile in ogni caso, un'arma da mettere in campo in tutte le occasioni in cui sia necessario, ma anzi che in alcuni casi è necessario scegliere se utilizzare tale strumento, anche nell'ipotesi che sia in dotazione, perché le informazioni che potrebbero derivarne sarebbero nulle o addirittura fuorvianti. Identificare erroneamente un'anomalia per una deposizione porta ad uno spreco di risorse e personale per l'esplorazione del sito, e causa una perdita di tempo nelle indagini; ancora peggiore è il caso opposto, in cui la deposizione è presente, ma l'insieme strumento-operatore non è in grado di identificarla. In ogni caso, tale eventualità potrebbe avere conseguenze limitate, se si considerasse il georadar uno strumento con dei limiti ben precisi, e il risultato negativo del test non fosse considerato conclusivo. E' quello che avveniva nei primi studi effettuati sulla metodica in cui il georadar veniva considerato affidabile in ogni caso, ed è tuttora l'opinione prevalente nell'ambito generale, ove il termine tecnologia è spesso considerato sinonimo di precisione. In realtà, il georadar presenta, come molti altri metodi, un ambito di utilizzabilità e casi in cui il suo utilizzo è sconsigliabile, o addirittura controproducente.

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.

Le applicazioni 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 ricerca e recupero di cadaveri sepolti in ambienti specifici, necessità di crescente urgenza con l'aumento dei casi di ricerca e recupero di cadaveri sepolti, come evidenziato da diverse comunicazioni riguardanti in maniera specifica il territorio di Milano (Cattaneo et al., 2009a; Cattaneo et al., 2009b). Nel territorio di Milano, sulla base dell'esperienza del LABANOF, Laboratorio di Antropologia e Odontologia Forense, mediamente ogni anno vengono disposte 4/5 operazioni di ricerca di cadaveri sconosciuti; si pone pertanto la necessità di una precisa definizione degli ambiti di utilizzo e dei limiti delle diverse metodiche di indagine. Da questo punto di vista l'attuale progetto sperimentale costituisce un primo passo per una più precisa standardizzazione delle procedure di ricerca e recupero di resti umani sepolti.

Capitolo 8

Appendice – Altri metodi di ricerca e di rilievo

Durante gli anni trascorsi sul presente studio, abbiamo però avuto la possibilità di esplorare altri campi legati alla ricerca di cadaveri scomparsi con strumentazioni tecniche diverse da quella dell'approccio geofisico, geoarcheologico e botanico, ma non meno interessanti. In alcuni casi si sono trattati di veri e propri episodi sperimentali, legati anche solo semplicemente alle tecniche di rilievo. La maggior parte di queste applicazioni è però legata alla ricerca, finalizzata all'individuazione di un luogo di occultamento di cadavere e/o di rilevamento dello stesso, legato ad un caso giudiziario.

In particolare abbiamo valutato l'uso di:

- Fotografie satellitari
- Termocamera
- Geoelettrica
- Laser scanner 3D
- Scanner ambientale

I risultati di tali tecniche di ricerca sono esposti nei seguenti capitoli.

8.1 Fotografie satellitari

Da sempre il primo step, nell'ambito della ricerca archeologica forense, è quello di recuperare la documentazione planimetrica, topografica e fotografica dell'area oggetto delle indagini. Molto spesso tale raccolta e la successiva analisi dei dati riesce a dare indicazioni su zone da considerare più o meno attendibili. In questo caso sicuramente la fotografia satellitare mostra quanto può essere utile nell'individuazione di aree sottoposte a scavo antropico e come esse siano visibili a distanza di anni.

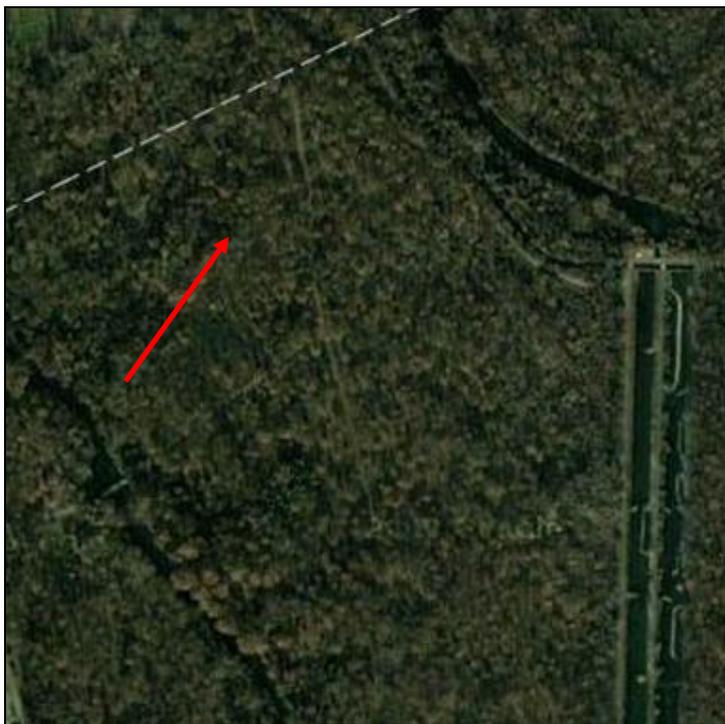


Fig. 8.1: Foto Satellitare della zona, Google, Aprile 2009

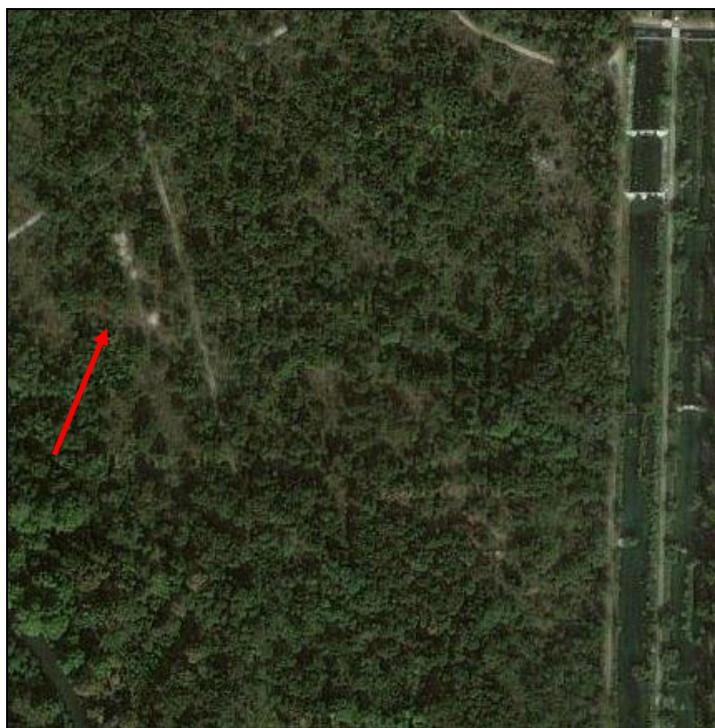


Fig. 8.2: Foto Satellitare della zona, Google, Maggio 2010

Le due immagini scattate, dell'area utilizzata per l'esperimento, rispettivamente nell'aprile del 2009 e nel maggio 2010 mostrano in maniera macroscopica le alterazioni della superficie (CFR botanica Cap 5) dovute allo scavo dei maiali; in particolare notiamo come a distanza di 1 anno

dalle inumazioni, l'alterazione superficiale sia ancora molto visibile. Le frecce rosse indicano con buona approssimazione l'area oggetto delle esumazioni dove si può notare la visibile alterazione della superficie a seguito delle prime esumazioni. Rimane importante l'osservazione di questo dato, ottenuto in maniera casuale, dove una superficie di poche decine di metri quadrati risulta ben individuabile, anche in un luogo ricco di vegetazione e anche dopo un lungo periodo trascorso dal tempo del disturbo.

8.2 La termografia

Nel marzo del 2009 è stata effettuata una ricerca per la procura di Milano, nell'ambito di un procedimento volto alla determinazione della zona di occultamento di resti umani.

8.2.1 Zona della ricerca

La ricerca si è estesa in una zona di Milano ovest per una distanza di 1.7 km ad ovest della Via dei Missaglia, verso il Naviglio Pavese, e per una distanza di 1.5 km in direzione est, verso i quartieri Quinto Sole, Noverasco e Mirasole, coprendo un'area di 4.5 km quadrati.

Le condizioni meteorologiche in tutti i comuni della provincia di Milano, nei giorni in cui si sarebbero svolti i fatti, erano rappresentate da nevicata mediamente intense, miste a pioggia. La neve caduta riferibile agli intensi fenomeni climatici dei giorni precedenti ai fatti, era compresa tra i 10 ed i 15 cm di neve, compromettendo la regolare circolazione dei veicoli all'interno del comune di Milano e provincia. Il dato climatico è importante ai fini della ricerca perché tali condizioni il raggiungimento di alcune zone mediante l'impiego di automezzi non dotati di quattro ruote motrici diveniva particolarmente difficoltoso non solo nei giorni delle nevicata, ma anche in quelli immediatamente successivi. Ed ancora più difficoltoso doveva essere il transito su strade secondarie, campestri e sterrate, dove non erano passati spazzaneve e mezzi spargisale.

8.2.2 Strategia adottata

Nell'ambito della ricerca la strategia adottata è stata quella di una ricognizione aerea in elicottero con riprese a infrarossi, tramite termocamera. La scelta di questo tipo di strumento è subordinata al fatto che dalla sparizione dell'individuo all'inizio dell'attività di ricerca erano intercorsi solo tre mesi e dieci giorni, periodo durante il quale le fasi di decomposizione di un cadavere sepolto, in particolare nei mesi invernali, potevano essere ancora in atto. Infatti, il fenomeno di decomposizione di un cadavere può creare una differenza nella temperatura, generando un calore proprio. Se si aggiunge attività entomologica alla decomposizione questo fenomeno viene amplificato (Hunter J. R. 2005).

Inoltre lo scavo e il rinterro di una fossa in un terreno indisturbato determinerà anomalie nella compattezza delle matrici, relazionabili con l'assorbimento e il rilascio di calore in modo diverso rispetto al terreno circostante indisturbato. L'insieme di questi fenomeni, soprattutto se riscontrati a breve distanza di tempo da un avvenuto occultamento, può generare un'anomalia visibile all'obiettivo di una termo-camera sufficientemente sensibile. Nel caso di questa ricerca lo strumento scelto era in grado di riconoscere differenze in temperatura del suolo anche inferiori ad 1 grado centigrado. Si tratta di una telecamera termica FLIR P-660 con una sensibilità di (454 mK mini Kelvin o 4,5 centesimi di grado), risoluzione di 640 x 480 con sistema GPS incorporato. Le riprese sono state effettuate da un elicottero della Polizia di Stato ed e la termocamera è stata utilizzata a mano, non avendo a disposizione un supporto.



Fig. 8.3: Elicottero della Polizia di Stato e imbarco

Sono state programmate e compiute una serie di 20 strisciate alla quota di circa 200 m dal suolo garantendo una larghezza visibile dall'obbiettivo di ogni striscia di circa 80 m, coprendo così tutta l'area della zona oggetto dell'indagine. In fase di post-produzione del materiale raccolto, grazie all'analisi di tutti i fotogrammi, sono state individuate 41 anomalie che potevano, per dimensioni e forma, corrispondere allo scavo di una fossa per sepoltura. Ogni anomalia è stata oggetto di sopralluogo, al fine di eliminarne quante per posizione, servitù di vista e difficoltà di raggiungimento non potevano essere attinenti alle indagini. Le anomalie restanti sono state indagate in prima battuta con un sopralluogo a piedi e con l'ausilio delle unità cinofile RRU (Recupero Resti Umani), e ove necessario con tecniche archeo-forensi tramite sondaggi mirati, scavati stratigraficamente, di tipo archeologico. In particolare si fa riferimento allo scorticamento a macchina dei primi centimetri di orizzonte umifero o di aratura, seguito da una pulizia di tipo archeologico a cazzuola e dallo scavo di eventuali disturbi individuati negli strati in prima giacitura sottostanti. Per le operazioni di asportazione della vegetazione e lo scorticamento degli orizzonti di superficie è stato messo a disposizione un mini escavatore della CAT, manovrato da operatori dei Vigili del Fuoco.

8.2.3 Limite della tecnica impiegata

La strategia di cui sopra ha in sé limiti, dettati da caratteristiche proprie dell'area di indagine, quali la copertura della vegetazione a terra, alberi e piante che possono nascondere all'obbiettivo della termo-camera anomalie presenti al di sotto di esse, o la presenza di specchi d'acqua (zone stagnanti, risaie ecc.) di corsi d'acqua (fiume Lambro), di fossati e di altre canalizzazioni frequenti sul territorio. Altro tipo di anomalia, invisibile alla termo-camera, è il seppellimento all'interno di un cantiere dove sono in corso operazioni di movimento terra, tali da rendere uniforme la temperatura del terreno movimentato, registrando su tutta l'area un'unica anomalia. La lettura delle immagini termiche risulta difficile anche in presenza di campi arati grazie al fatto che l'aratura comporta, per definizione, uno spostamento del terreno a intervalli regolari.

8.2.4 Anomalie

Di seguito sono descritte solo le anomalie più significative, individuate dalla campagna di acquisizione dati avvenuta nel marzo 2009, per ogni anomalia è presente l'immagine I.R. della zona individuata come anomala in fase di analisi dei dati raccolti durante il sopralluogo aereo, corredata dal posizionamento della stessa area su Google Earth.

Al di sotto è riportata una didascalia in cui è indicata la posizione dell'immagine sulla registrazione raccolta in formato ThermaCam Researcher Pro 2.9.

Per le anomalie considerate improbabili, possibili o con buone possibilità, sono state descritte le attività d'approfondimento che sono avvenute tramite l'utilizzo delle unità cinofile e/o tramite indagini archeologico forensi.

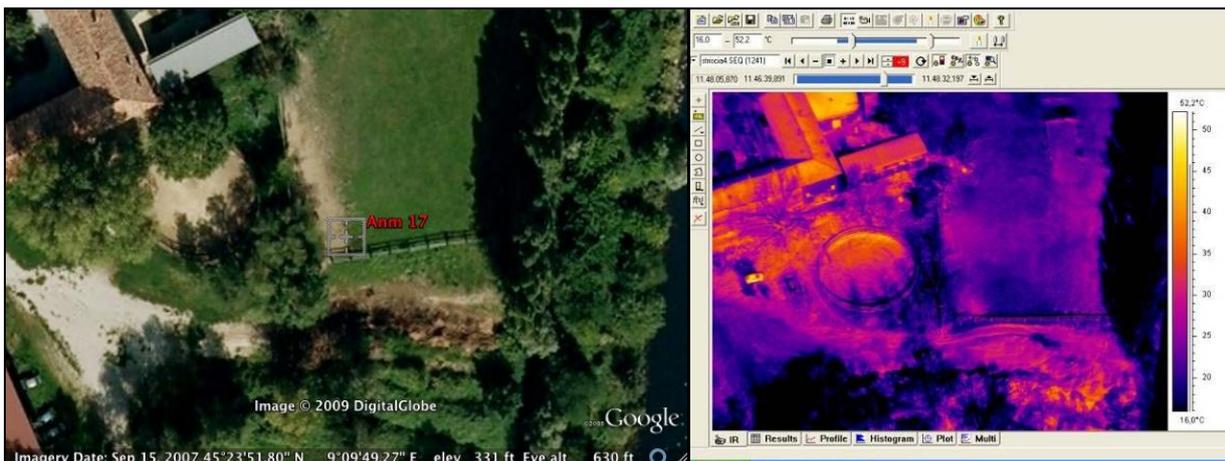


Fig.8.4: Anomalia 17 - Ubicazione Google Earth e Immagine I.R. dell'anomalia.

L'anomalia è situata all'interno di un centro di equitazione presso la cascina Bandeggiata nel comune di Rozzano. Si trova nel campo sul lato est della stessa cascina ad una distanza di 30 m dallo spigolo sud est della struttura cascinale. Si tratta di un'area di circa 1mq sulla quale non cresce vegetazione.

Durante il sopralluogo del 09/04/09 questo sito è stato considerato poco probabile come luogo di occultamento di una vittima, sia per le dimensioni dell'anomalia sia per la sua posizione in prossimità della cascina. Si è comunque deciso di approfondire ulteriormente l'area con un secondo sopralluogo in data 20.05.09, con l'ausilio dell'unità cinofila. Quest'ultimo ha dato esito negativo e l'anomalia è stata eliminata dalla ricerca in corso.



Fig. 8.4: Anomalia 17 da terra.

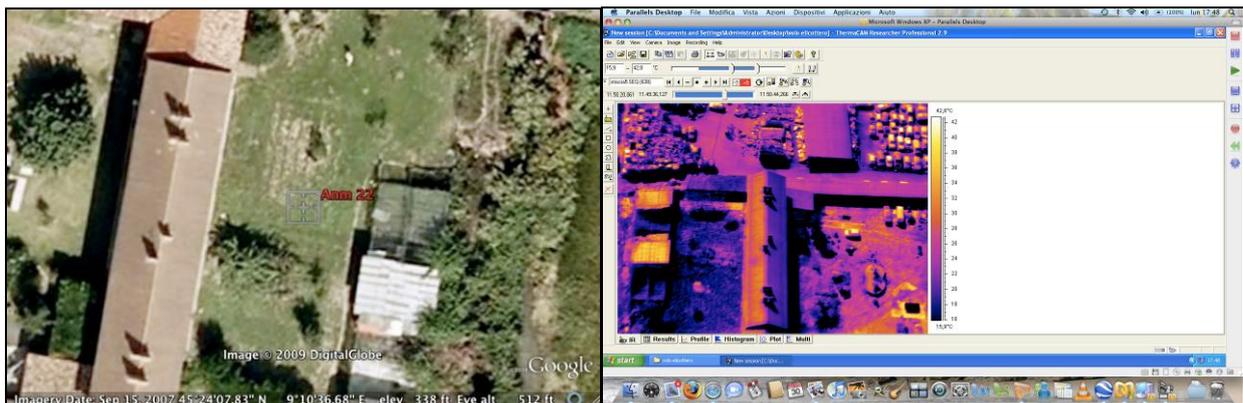


Fig.8.5: Anomalia 22 - Ubicazione Google Earth e immagine I.R. dell'anomalia

La zona dell'anomalia si trova all'interno di una proprietà privata a Milano. Il sito è nel giardino a est del corpo di fabbrica principale. Per accedere alla zona interessata è necessario entrare nel giardino, completamente recintato e chiuso da un cancello con catena e lucchetto. L'anomalia

dista 30 m dal cancello secondario di accesso alla proprietà. Il primo sopralluogo è avvenuto il giorno 14.05.09.

Poiché i proprietari sono persone note alla Polizia Giudiziaria e poiché la zona di interesse risulta facilmente raggiungibile dal sito di sparizione, anche in presenza di forti nevicate, si è deciso di approfondire l'anomalia direttamente con un sondaggio archeo-forense.

Le operazioni di scavo, con l'ausilio di un mini escavatore manovrato dai Vigili del Fuoco di Milano, hanno avuto luogo durante il secondo sopralluogo, il 08.06.09, in seguito all'acquisizione di un decreto di perquisizione da parte della Polizia Giudiziaria.

La zona interessata dall'anomalia presentava, in superficie, un'area di circa 2 m di diametro di terreno smosso e mescolato a frequenti frusti di carbone, sul quale non cresceva alcun tipo di vegetazione.



Fig. 8.6: Zona di terreno smosso rilevata dalla termo-camera

Il sondaggio archeo-forense, un quadrato di 4 m di lato, profondo 15 cm, orientato in senso N-S, ha preso avvio con la rimozione contemporaneamente dello strato vegetativo, costituito da prato, e dello strato umico, composto da limo sabbioso debolmente argilloso di colore grigiastro scuro, di consistenza mediamente resistente.

In seguito ad una pulizia di tipo archeologico è stato messo in luce lo strato sottostante di colore bruno giallastro composto da limo fortemente argilloso, di consistenza piuttosto resistente. Al centro del sondaggio è stato documentato il disturbo di una fossa di forma subrettangolare, che misurava 1.20 m in senso N-S per 2.20 m in senso E-W. La fossa è stata distinta poiché riempita da un terreno di limo argilloso di colore bruno giallastro lievemente più scuro rispetto allo strato che lo circondava. Il riempimento, inoltre, risultava meno resistente dello strato descritto sopra. Il taglio della buca raggiungeva una profondità massima di 30 cm, con pareti verticali, terminanti su un fondo piatto e regolare. Nella zona centrale della fossa è stato documentato un approfondimento di forma circolare, con un diametro pari a 18 cm, con una profondità 10 cm. E' verisimile che la buca fosse una trincea per l'alloggiamento di una o più piante, mentre l'approfondimento circolare è da ricondursi all'impronta di un palo ligneo, per il sostegno di una pianta o vitigno, asportato in un secondo momento. La buca è stata scavata solo parzialmente, si tratta di uno scavo campione di circa 35% della totalità del riempimento.

In seguito al secondo sopralluogo l'anomalia 22 è stata eliminata dalla ricerca.



Fig. 8.7: Anomalia 22 pre -scavo (a sinistra) e post-scavo (a destra)

8.2.5 Conclusioni

L'indagine è stata svolta in un periodo di tempo compreso tra il 20 marzo 2009 ed l'8 luglio 2009. Tutte le anomalie riscontrate in fase di analisi delle immagini riprese con la termotelecamera sono state indagate a terra ricorrendo a sopralluoghi, indagini con Unità Cinofile specializzate nel recupero dei resti umani ed infine, ove i precedenti strumenti non siano stati esaustivi, ricorrendo ad un'indagine archeo-forense. Quest'ultima rappresenta il più invasivo tra gli approfondimenti e l'unico che può dare un riscontro certo per la presenza di una vittima o meno.

Di tutte le anomalie individuate, tre delle quali doppie: sono state eliminate dalla ricerca senza la necessità del sopralluogo 2 anomalie (2,30); sono state eliminate da un primo sopralluogo a piedi, perché in posizioni ritenute impossibili da raggiungere in data 10/12/09, o perché ritenute troppo esposte alla visuale delle abitazioni circostanti e agli occhi di potenziali passanti, o perché individuati elementi in superficie chiaramente responsabili delle letture anomale registrate dalla termocamera altre 26 anomalie (4, 5, 6, 13, 14, 15, 16, 17a, 19, 20, 21, 23, 25, 27, 28, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40); sono state eliminate dalla ricerca, in seguito ad approfondimenti, o tramite unità cinofila o tramite indagini archeo-forensi, o tramite entrambe le tecniche, ulteriori 17 anomalie (1, 7, 8, 8a, 9, 10, 11, 11a, 12, 17, 18, 18a, 22, 24, 26, 29, 41).

Molte delle anomalie registrate in fase di acquisizione dati e soggette a sopralluogo sono state giustificate dalla presenza di elementi in superficie che potevano creare differenze in temperature rispetto alle zone circostanti.

Nessuna delle anomalie registrate durante il sopralluogo aerea e successivamente indagate sul posto è risultato compatibile con la fossa per una sepoltura clandestina in situ. Inoltre non sono state individuate fosse compatibili con una deposizione primaria, asportato e trasportato in un luogo secondario in un momento successivo.

8.3 Indagini geoelettriche

Lo scopo di questa sezione del lavoro è stato quello di eseguire una serie di indagini geofisiche da superficie (prospezioni geoelettriche multi-elettrodo, *earth resistivity imaging* ERI; Reynolds, 2011) per lo studio della possibilità di identificazione di un sito di occultamento.

La programmazione di questo esperimento, avvenuta nel 2010, non ha permesso l'utilizzo della stessa area e dello stesso materiale del Parco del Ticino, in quanto sarebbe mancate le letture al momento dell'inumazione (Trombino et al., 2010).

È stato quindi progettato uno studio pilota in collaborazione Dott. Mele e del Prof. Giudici del Dipartimento di Scienze della Terra, dell'università degli studi di Milano, che hanno provveduto ad eseguire i campionamenti ed elaborare i dati.

A tal fine, nell'Aprile 2010 sono state inumate in un fondo privato presso Santa Maria della Versa (PV) una serie di carcasse di suini a bassa profondità ed è stata monitorata la variazione della resistività elettrica del terreno nel corso di un arco temporale compreso tra aprile 2010 e marzo 2011 in modo da testare questa applicazione.

8.3.1 Metodo di lavoro

Il metodo di lavoro ha previsto il monitoraggio dell'avanzamento dello stato di decomposizione di un cadavere sepolto attraverso la ripetizione di misure di resistività elettrica con la tecnica multi-elettrodo, la quale consente di ottenere immagini bidimensionali (in orizzontale ed in profondità) di sezioni di terreno. Le misure di resistività elettrica sono state ripetute 8 volte nel corso di un periodo compreso tra aprile 2010 e marzo 2011 in modo da monitorare il processo di decomposizione che si sviluppa dopo la sepoltura delle carcasse attraverso le variazioni dei valori di resistività elettrica attribuibili alla formazione di fluidi organici che si sviluppano in relazione ai processi di decomposizione.

A seguito dell'acquisizione dei dati sul terreno è stato necessario elaborare gli stessi in modo da restituire dei modelli di resistività elettrica (sezioni di resistività 2D). Per fare ciò è necessario utilizzare il software RES2DINV® attraverso il quale le varie sezioni 2D elaborate sono state analizzate sia singolarmente (analisi "tradizionale") che sequenzialmente (analisi tipo Time-Lapse) per la valutazione delle variazioni spaziali e temporali della resistività elettrica.

8.3.2 Caso Di Studio

In accordo con la legislazione Italiana, anche in questo studio pilota sono state utilizzate e quindi seppellite di carcasse di individui giovanile di maiale.



Fig. 8.8: Fossa con i maiali prima della chiusura con il terreno rimosso

Per questo lavoro le carcasse di suini sono state seppellite in un fondo privato in una porzione di territorio compresa nel comune di Santa Maria della Versa (PV) e precisamente nella frazione Ruinello di Sotto, all'interno di due fosse distanti tra loro 2.8 metri e profonde rispettivamente 1 m e 1.2 m scavate nei depositi colluviali di natura prevalentemente argillosa. All'interno di ogni buca sono stati messi 5 maiali dal peso di circa 6 chili l'uno.

L'esecuzione delle misure ha previsto l'utilizzato di un georesistivimetro a 32 canali, connesso a 32 elettrodi spazati di 0.5 m lungo un stendimento prefissato di lunghezza totale pari a 15.5 m ubicato in modo tale da intercettare trasversalmente le fosse. Gli elettrodi sono stati posizionati alla chiusura delle fosse e sono stati successivamente utilizzati per effettuare tutte le misure.

8.3.3 Inquadramento geologico

Dalla Carta Geologica IGM Foglio 59 Pavia a Scala 1:100000, nell'area dove sono state effettuate le indagini è affiorante il Calcare di Pietra dei Giorgi, descritto come: "Alternanza di calcari marnosi, marne, arenarie, brecciole a Nummuliti, Discocylinae, Alveoline, ecc. Le

modalità di affioramento non permettono di stabilire se si tratti unicamente di questa formazione (Cretaceo?-Eocene) o anche, almeno in parte, di un complesso indifferenziabile”.

Nel luogo esatto dove sono state effettuate le indagini è affiorante però un'altra unità Q2I: “Alluvioni formanti la superficie principale della pianura che si insinua nelle valli appenniniche (T. Versa, T. Scuropasso) e si estende dal piano del Q2r1a1 piede del terrazzo del Q1m2; alluvioni di età diversa, comprese fra il Q1r3e il Q2r.

1Q2r: ”Alluvioni (Alluvium recente o Alluvium s.l.) sul fondo delle incisioni fluviali. Ghiaie. Sabbie e limi. Torbe”. 2Q1m: “Alluvioni del primo livello sopra la superficie principale della pianura (Colle di S. Colombano): (Diluvium medio?). Sabbie, limo argilloso, localmente ghiaie con alterazione superficiale notevole "separabili sia litologicamente sia morfologicamente”.

La zona presenta una situazione abbastanza complessa per quanto riguarda la dinamica di versante; infatti quasi tutta la Valle Versa è soggetta a fenomeni franosi di vario tipo (ad esempio scivolamento, colamento); nello specifico nel luogo utilizzato per le misurazioni l'IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi d'Italia) ha classificato la zona soggetta a scivolamento rotazionale/traslato. La situazione si nota a grande scala nell'arco stagionale (movimento dei vigneti che traslano verso il fondovalle, ma anche problematiche per gli abitanti della zona che registrano rotture nelle tubazioni sotterranee delle proprie abitazioni) ma anche a piccola scala, in quanto si è verificato lo spostamento di alcuni elettrodi nel periodo trascorso tra due rilevazioni. La dinamica di versante è un fattore che deve essere preso in considerazione nel nostro elaborato in quanto le sezioni vengono analizzate nel tempo, per la precisione la raccolta dati è stata realizzata nell'arco di un anno (da aprile 2010 a marzo 2011).

3Q1r: “Alluvioni della superficie principale della pianura: (Diluvium recente); talora ricoperto localmente da limi successivi, difficilmente distinguibili. Ghiaietto, sabbie e limo argilloso alterati nella parte superficiale; banchi di argilla”.

8.3.4 Prospezione geoelettrica

Lo scopo della prospezione elettrica è quello di effettuare una stima dei valori di resistività elettrica del sottosuolo mediante misure indirette effettuate dalla superficie. La resistività elettrica è fortemente influenzata da vari parametri quali: porosità del sottosuolo, presenza di minerali metallici e fluidi, quantità di acqua presente negli interstizi tra le rocce e all'interno delle porosità delle stesse (assume quindi importanza anche il concetto di porosità efficace come

parametro utile per l'analisi, la porosità efficace viene definita come il rapporto del volume dei vuoti intercomunicanti rispetto al volume totale).

La strumentazione utilizzata per effettuare misure di resistività del sottosuolo è costituita da un quadripolo formato da un dipolo potenziometrico e da un dipolo energizzante è collegato ai poli di un generatore di corrente continua, mentre il dipolo potenziometrico è collegato ad un voltmetro avente una grande resistenza interna. Creando un campo elettrico attraverso gli elettrodi A e B il circuito viene chiuso dal terreno permettendo così il passaggio di una corrente i passante da un elettrodo all'altro.

Stendimento Dipolo-Dipolo Questo stendimento è molto sensibile a variazioni di resistività orizzontali, mentre è carente nell'individuazione delle variazioni verticali, di conseguenza il metodo descritto è ottimale nell'individuazione di cavità o, come nel nostro caso, di buche. Si è quindi ritenuto ragionevole effettuare le buche a profondità non eccessive (la profondità massima raggiunta dagli scavi è di 1.2 m) ed eseguire le misurazioni senza scendere troppo in profondità.

La conduzione della corrente attraverso il terreno avviene mediante tre modalità:

- conduzione elettronica
- conduzione elettrolitica
- conduzione superficiale (tipo "shale")

La 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 e rendono possibile la conduzione.

La conduzione elettrolitica (è la modalità più comune nei terreni) si osserva in tutti quei terreni e rocce dove sono presenti dei vuoti (dovuti a porosità primaria oppure a fratturazione), se è possibile che queste cavità siano imbibite con fluidi e i vuoti siano intercomunicanti tra di loro si riesce a realizzare la continuità che permette il passaggio di ioni e quindi la trasmissione di corrente elettrica. Nei sistemi granulari, dove la presenza di materiale fine (argilloso) è trascurabile, esiste una legge che relaziona la resistività della formazione con la resistività del fluido contenuto e la porosità della formazione stessa; questa relazione prende il nome di Legge di Archie.

La conduzione superficiale riguarda sedimenti fini (limi ed 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, viene impedita la movimentazione degli ioni e quindi la conduzione di corrente per via elettrolitica. La movimentazione degli ioni, e quindi la conduzione di corrente elettrica è dovuta all'adsorbimento di cationi della soluzione sui piani di sfaldatura principali dell'argilla, tutto ciò verrà discusso più in dettaglio

8.3.5 Dati raccolti

L'obiettivo di questo studio pilota è quello di monitorare nel tempo le variazioni di resistività elettrica all'interno del terreno attraverso l'elaborazione di sezioni 2D in modo da valutare l'opportunità di utilizzo di indagini geoelettriche per l'individuazione di siti di occultamento. In totale sono state eseguite 2 misure in configurazione Dipolo-Dipolo per ogni giornata di raccolta dati, una misura definita "diretta" e una "inversa", invertendo la disposizione del quadripolo asimmetrico di misura. Tale scelta è stata effettuata per valutare se è osservabile o meno nelle sezioni 2D (Fig. 8.7, 8.8 e 8.9) l'effetto dell'anisotropia della conducibilità elettrica (ciò è dovuto alla scelta di utilizzo del dipolo-dipolo come tipologia di stendimento). Una misura è stata realizzata prima di effettuare le buche, tale misura viene definita bianco ed è una misurazione importante in quanto serve da riferimento, specialmente nell'elaborazione time-lapse.

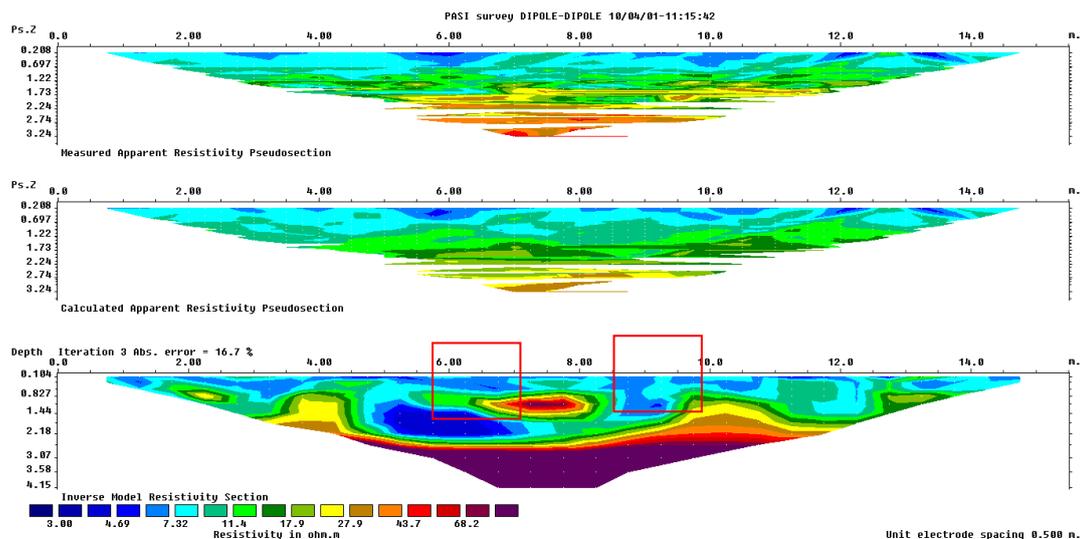


Fig. 8.9: Sezione 2D di resistività diretta elaborata con i dati acquisiti il 01/04/2010

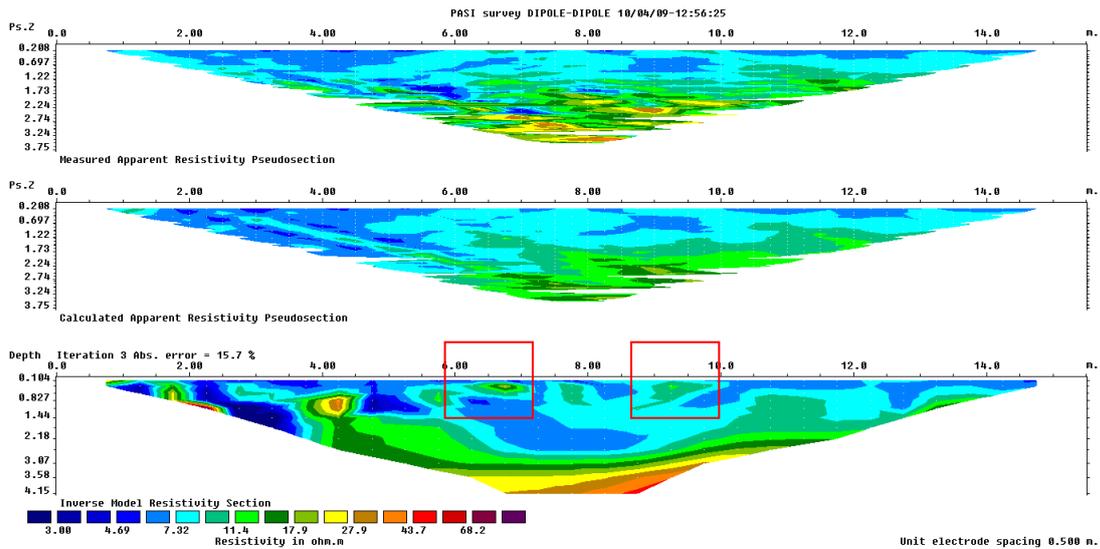


Fig. 8.10: Sezione 2D di resistività diretta elaborata con i dati acquisiti il 10/04/2010

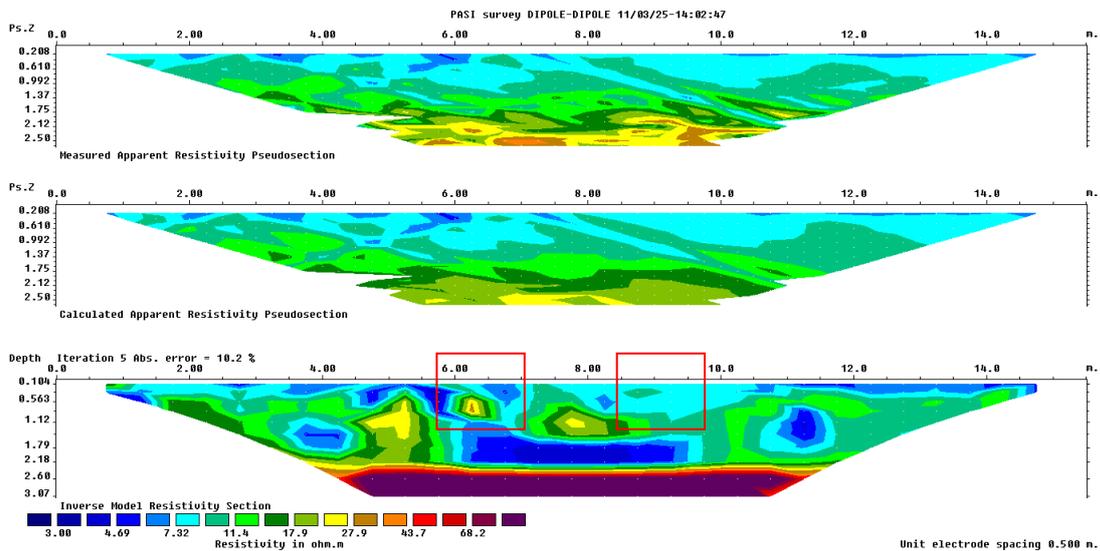


Fig. 8.11: Sezione 2D di resistività diretta elaborata con i dati acquisiti il 25/03/2011

Nelle immagini 8.9, 8.10 e 8.11 si possono apprezzare le variazioni di resistività lungo lo stendimento in prossimità delle buche: al tempo zero, dopo 10 gg e dopo quasi 12 mesi.

8.3.6 Conclusioni

In conclusione del lavoro si può affermare che l'esecuzione della serie di prospezioni geoelettriche da superficie abbinata all'analisi temporale di tipo tradizionale e Time-Lapse ha permesso il monitoraggio sulla presenza di siti di occultamento. Nel corso della gestione e dell'interpretazione dei dati necessarie al raggiungimento degli scopi preposti, sono state valutate

ed integrate basi di dati sia di natura geofisica che di natura geologica/idrogeologica, quali la variazione delle resistenze di contatto tra gli elettrodi ed il terreno che intervengono sul rapporto segnale/rumore all'aumentare della separazione elettrodica (e quindi della profondità di esplorazione) del dispositivo dipolo-dipolo utilizzato per l'acquisizione delle misure e la presenza di numerose eterogeneità nei depositi colluviali (lenti) che hanno dato luogo a variazioni spaziali del contenuto d'acqua molto accentuate nell'arco di tempo considerato.

All'interno dei terreni investigati sono state rilevate e monitorate variazioni di resistività elettrica connesse a variazioni di saturazione e di litologia dei terreni ed alcune variazioni in corrispondenza delle fosse.

Il confronto delle sezioni Time-Lapse con il modello di riferimento a tempo zero ed il modello elettrostratigrafico ha messo in evidenza le potenzialità, la praticità ed il basso costo di questo tipo di applicazione geofisica abbinata all'elaborazione dei dati Time-Lapse per il monitoraggio delle proprietà fisiche dei terreni in questo determinato contesto di lavoro, che è risultato penalizzato dalla tipologia del terreno esaminato con conclusioni che non devono essere estese in modo banale ad altre tipologie di terreni. La metodologia di indagine utilizzata potrà quindi essere applicata in altri siti caratterizzati, ad esempio, da terreni a granulometria più grossolana (sabbioso-ghiaiosa) e quindi più resistivi dal punto di vista elettrico (come il Parco del Ticino) e più permeabili dal punto di vista idraulico, con l'obiettivo di attribuire un valore più generale alle conclusioni di questo esperimento ed evidenziare diverse risposte in differenti tipi di sedimenti.

8.4 Metodi di rilievo

Nel corso del presente lavoro sono anche stati effettuati studi pilota su metodiche di rilievo, con strumentazione di assoluto valore ed interesse, come Laser scanner ambientali e laser scanner 3D, che in tempi recenti si son dimostrati utili per la ricostruzione della scena di un crimine e per la restituzione fedele/realistica di tutto ciò che la scena di un crimine (o in questo caso di un ritrovamento prevede).

8.4.1 Il laser scanner 3D

Se è vero l'adagio che chi ben comincia è a metà dell'opera, un corretto sopralluogo giudiziario e l'accurata raccolta di tutti gli elementi presenti sulla scena del crimine è di certo il primo passo verso un buon esito dell'investigazione criminale. Un'esatta valutazione di tutti gli indizi utili alla ricostruzione delle dinamiche e degli eventi accaduti e la precisa acquisizione delle misurazione degli oggetti di interesse è una carattere indispensabile per le indagini, sia in ambito investigativo forense che medico legale. Requisiti essenziali per la descrizione sono completezza, oggettività, accuratezza, la non-invasività e l'archiviazione digitale per ricostruzione e analisi successive, ma i metodi classici soddisfano solo in parte queste richieste, a causa di molti aspetti.

Uno dei principali risiede nella riduzione dell'intrinseca tridimensionalità della scena del crimine a un livello bidimensionale dovuta all'uso di schizzi, fotografie e video, con una conseguente diminuzione della completezza della rappresentazione. Inoltre, il livello di accuratezza delle misurazioni viene ridotto dall'impiego di metri o strumenti posizionati vicino o contatto con gli oggetti. Spesso, poi, la documentazione non è sintetica e richiede tempo nella rielaborazione ed è influenzata dalla soggettività dell'operatore sia durante le prime fasi che nella successiva analisi. Negli ultimi vent'anni sono state sviluppate nuove tecniche per ridurre questo grado di approssimazione, come lo stitching fotografico e la realtà virtuale, capaci di effettuare una ricostruzione 3D della scena in cui le acquisizioni virtuali possono essere animate e fruite interattivamente per mezzo di hardware VMRL dedicati e di appositi software.

Ciononostante, i dettagli della scena di piccole e medie dimensioni spesso dovevano essere creati virtualmente e inseriti nella scena 3D con conseguente perdita di oggettività nello studio delle dinamiche del crimine.

Nell'attesa di superare queste limitazioni, negli ultimi anni è stata usata in maniera intensiva la fotogrammetria, soprattutto per le ricostruzioni di incidenti del traffico all'aperto, poiché permette di ottenere una misura accurata nelle tre dimensioni degli oggetti bersaglio appartenenti alla scena e di integrarli con successo nella rappresentazione virtuale. Tuttavia un'acquisizione estesa e a tutto campo dell'ambiente inattuabile, a causa della complessità delle superfici da misurare e della quantità di tempo necessario.

Oltre a questi aspetti, nessuno degli approcci visti finora consente di adattare la risoluzione della misurazione alle dimensioni, alla complessità, e alla significatività degli elementi che devono essere acquisiti: gli ampi spazi aperti dovrebbero essere acquisiti con una risoluzione di

misurazione di uno o due ordini di grandezza maggiore di quella richiesta per misurazione di uno o due ordini di grandezza maggiore della richiesta per misurare le scene al chiuso, dove ad interessare sono la vittima o le sue parti, le lesioni corporee, le macchie di sangue e gli oggetti medio-piccoli.

Per superare parte delle problematiche citate, oggi vengono in aiuto alla medicina legale e alle scienze forensi i digitalizzatori ottici 3D, impiegati regolarmente in altri ambiti come l'industria, la medicina, la geologia, l'ingegneria civile, l'archeologia e le applicazioni di realtà virtuale. Si tratta di strumenti maneggevoli e resistenti, in grado di acquisire uno scenario mediante l'uso di uno scanner laser e di tradurre le diverse misurazioni in coordinate tridimensionali in funzione del sistema di riferimento impiegato. In tal modo si ottiene una rappresentazione digitale fedele (nelle misure, nella forma e nel colore) degli oggetti acquisiti, che possono quindi essere integrati in un contesto di realtà 3D.

I digitalizzatori ottici 3D sono oggi reperibili sul mercato in tre classi principali, a seconda della capacità di misurazione: strumenti a portata ampia, media e corta. Le prime due classi sono composte dai sistemi cosiddetti "a tempo di volo" e vengono impiegati per realizzare l'acquisizione rapida di uno scenario dalle dimensioni più o meno ampie (da 10 metri a diversi chilometri per i digitalizzatori ad ampia portata, da alcuni metri ad alcune decine di metri in interni per le digitalizzatori a media portata). La terza classe è composta da strumenti basati sulla triangolazione ottica, sia nella forma passiva che in quella attiva, che consentono un'acquisizione a una risoluzione nettamente migliore, su una dimensione di misurazione che oscilla da alcuni centimetri a frazioni di metri per un'acquisizione a vista singola (la singola ripresa), fino ad alcuni metri per un'acquisizione multi-vista.

È disponibile un'ampia varietà di sistemi appartenente all'ultima classe, che nell'ambito della medicina forense, ad oggi, sono stati impiegati solo nella rappresentazione 3D di piccoli oggetti (come la pelle, le ferite e le lesioni ossee), senza essere ancora considerati strumenti utili per le operazioni di misurazione durante l'iniziale sopralluogo nelle prime fasi investigative.

Lo scopo del lavoro qui illustrato è stato quello di verificare la fattibilità dell'utilizzo di una digitalizzazione 3D di terza classe per l'acquisizione della documentazione "su campo" di diverse tipologie di scena del crimine, da quella al chiuso con un cadavere ben conservato, a quella all'aperto in presenza di un corpo carbonizzato o in riduzione scheletrica.

Lo strumento impiegato è il digitalizzatore laser scanner a lame di luce vivid vi-910 (Konica Minolta Inc.) originariamente sviluppato per applicazioni industriali, in particolare per la reverse

engineering dei modelli con forme non geometriche, accurato, portatile, facilmente configurabile, veloce e capace di realizzare misurazioni con una portata molto estesa.

Il sistema vivid 910i è stato quindi utilizzato in due diverse situazioni: per prima la scansione di una scena del crimine reale, cioè la scoperta di un corpo inumato da sedici anni in una zona boschiva nei pressi di Milano e la sfida in questo caso era rappresentata dalla possibilità di svolgere gli esperimenti in un contesto reale (in cui potevano verificarsi forti variazioni di illuminazione, sia per la diversa insolazione nelle varie ore del giorno), caratterizzato dalla presenza di operatori specializzati sulla scena, dal fatto di dover seguire i protocolli precisi di intervento e dai limiti di tempi molto rigidi.

Come seconda scena è stata invece fatta la scansione di un maiale, nella fattispecie il maiale numero 9, per simulare le difficoltà di un rilievo in un fossa un po' più profonda e quindi con una serie di problematiche legate alla diversa quota e alla distanza di scansione dal soggetto e ai numerosi sottosquadri che si possono creare.

Acquisizione di uno scheletro in una scena del crimine reale

Il sopralluogo si è svolto in area boschiva in presenza di molti operatori: le forze dell'ordine, il magistrato, l'antropologo forese, l'archeologo. Il rinvenimento dello scheletro inumato venti anni prima è avvenuto a seguito di un'investigazione giudiziaria, quindi la delicatezza del caso ha richiesto che le operazioni seguissero protocolli precisi per preservare ogni indizio e tutti gli elementi utili all'indagine forense per ricostruire la dinamica degli eventi. Di conseguenza, la richiesta principale è stata che la misurazione 3D della scena non rallentasse l'attività della squadra di specialisti, pur mediando la necessità di realizzare le acquisizioni al massimo grado di completezza per immortalare la scena prima della rimozione dello scheletro e l'esigenza di rimuoverlo il prima possibile, sia in funzione delle poche ore di luce disponibili per completare le operazioni, sia il rapido avvio delle successive analisi.

Il corpo scheletrizzato giaceva in una fossa profonda circa 30 cm, coperto da una cerata. Il processo di misurazione è stato condotto in due fasi: nella prima il corpo è stato acquisito subito dopo la rimozione della terra superficiale, ancora coperto dalla cerata, nella seconda misurazione 3D è stata effettuata con lo scheletro a vista. Le due sessioni di misurazione hanno richiesto circa 30 minuti l'una; inizialmente il digitalizzatore ottico è stato equipaggiato con lenti wide per acquisire il corpo, ad eccezione del cranio, sia prima che dopo la rimozione della cerata. Sono state necessarie quindici viste per poter coprire l'intera scena, poiché le superfici erano molto

irregolari ed erano caratterizzate da sottosquadro, regioni in ombra e variazioni di colore, dovute all'illuminazione solare. Quindi per misurare il cranio, che rappresentava l'elemento centrale delle indagini forensi per motivi collegati alla modalità del decesso, sono state montate lenti tele e sono state catturate 8 viste, per della estrema irregolarità della sua forma e delle fratture multiple che presentava. Dopo l'acquisizione, le viste sono state allineate grossolanamente per verificare che non fossero state lasciate scoperte alcune zone, mentre l'elaborazione della fase 2 e delle fase 4 è stata completata in laboratorio.



Fig. 8.12: immagine dello scheletro dopo lo scavo

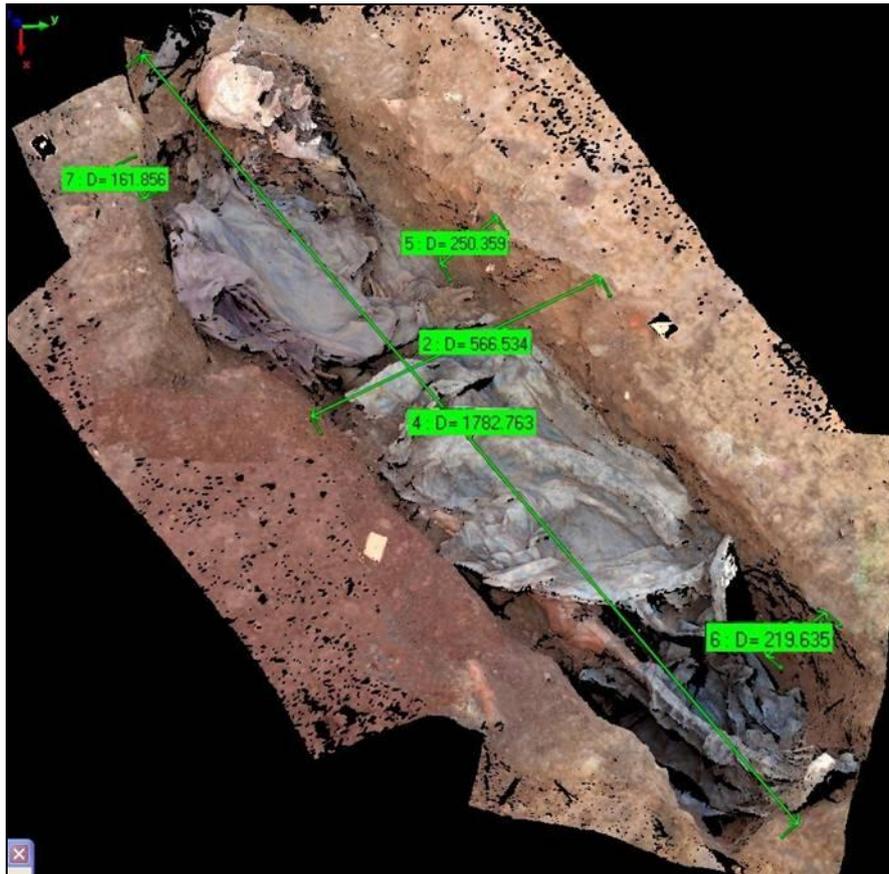


Fig. 8.13: Scansione 3D



Fig. 8.14: Scansione 3D del cranio (a sinistra) e foto del cranio (a destra)

Acquisizione di uno scheletro di maiale in un scena reale

Anche in questo caso il sopralluogo si è svolto in un'area boschiva, in presenza di molti operatori.

Al rinvenimento dello scheletro del maiale numero 9 in seguito alle operazioni di scavo descritte nella presente tesi, ha fatto seguito l'acquisizione con il digitalizzatore Vivid vi-910.

È stata utilizzata una lente wide e sono state effettuate 7 viste per coprire il maiale solo da un lato, data la difficile logistica dell'alimentazione per cui il maiale è stato acquisito da un solo punto di vista, creando quindi una serie numerosa di sottosquadri.

Le viste sono state allineate sul posto per verificare che non ci fossero grosse lacune nell'acquisizione.

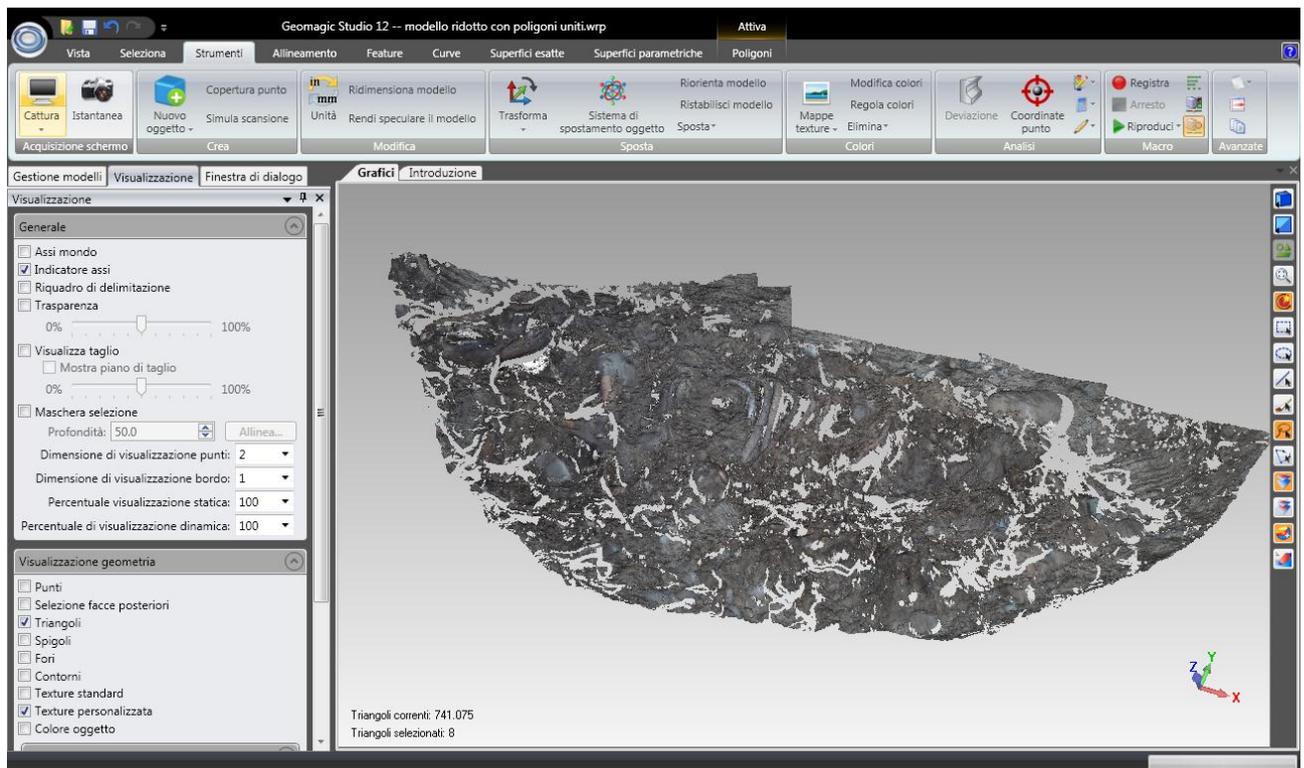


Fig. 8.15: Scansione 3D del maiale

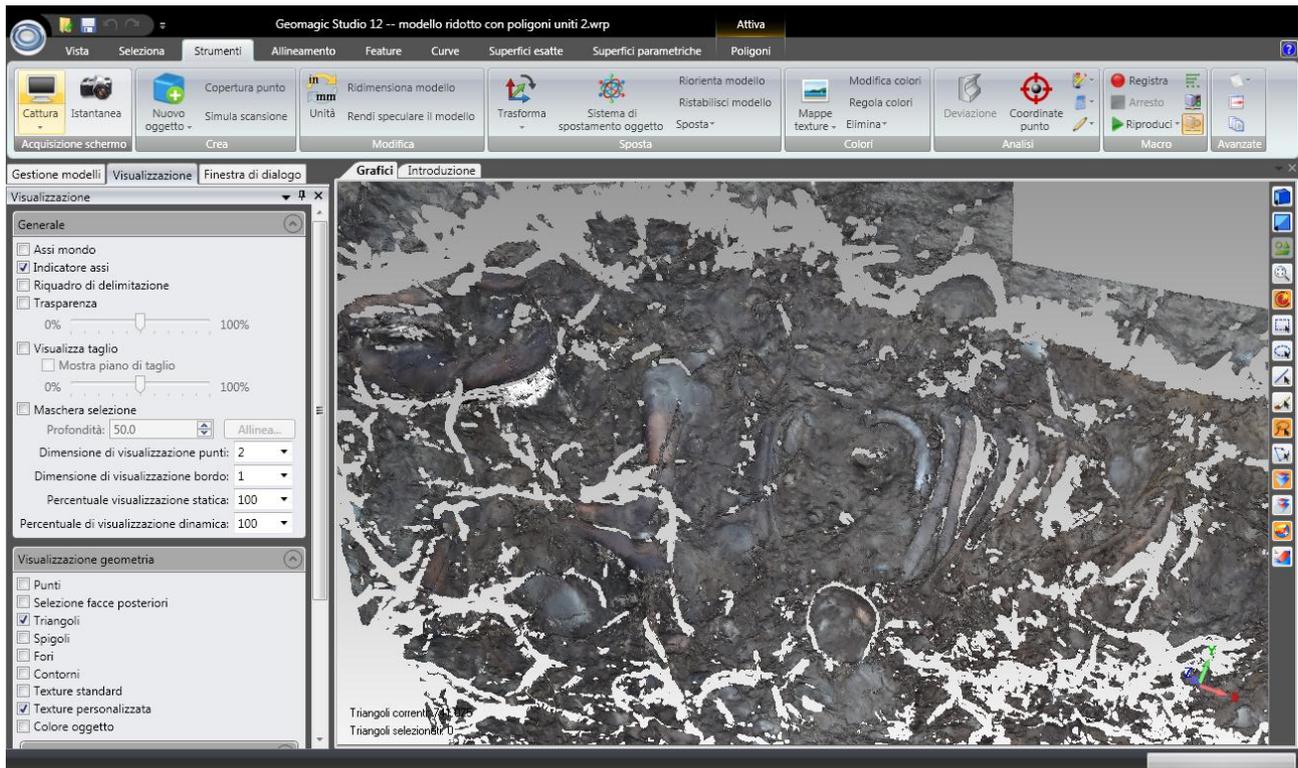


Fig. 8.16: Scansione 3D del maiale, dettaglio

8.4.2 Lo scanner ambientale

Lo scanner ambientale invece rientra tra le macchine digitalizzatrici di portata ampia, ed è stato utilizzato per un esperimento nel maggio del 2010, nel campo addestramento degli artificieri dell' RMS della Svizzera del Cantone Ticino, in collaborazione col politecnico di Milano e di Lecco.

Obiettivo dell'esercizio, che si è svolto sulla piazza d'armi militare di Isonne era quello di procedere a delle sperimentazioni di una tecnica sofisticata di rilevamento 3D con l'ausilio di un digitalizzatore ambientale ad ampio raggio.

Sono state preparate delle cariche esplosive legate a mo' di cintura attorno a delle carcasse di maiali (già morti per cause naturali e non commestibili) così da simulare l'azione dei kamikaze.

I suini come al solito, presentano in effetti delle caratteristiche biologiche del tutto simili agli umani, per cui le condizioni anche in questo caso riflettono abbastanza bene la realtà.

Come cariche esplosive sono state utilizzate 1) 600 g di Plastite militare e 2) 2000 g di gelatina di tipo A.

I resti sparpagliatisi a seguito delle esplosioni sono stati quindi opportunamente rilevati numericamente e catalogati, nonché in seguito acquisiti con il digitalizzatore per la successiva elaborazione (fotografica e planimetrica)

La restituzione, in questo caso molto più laboriosa dello scanner 3D date le dimensioni dell'area ha restituito un ambiente virtuale in cui è stato possibile muoversi all'interno e osservare e misurare la distanza tra ogni singolo frammento e gli oggetti sparsi sulla piazza d'armi, riuscendo quindi in pochi secondi a registrare una miriade di informazioni metriche e topografiche che altrimenti avrebbero occupato ore e ora di registrazione manuale e fotografica, non permettendo però lo stesso livello qualitativo di restituzione.

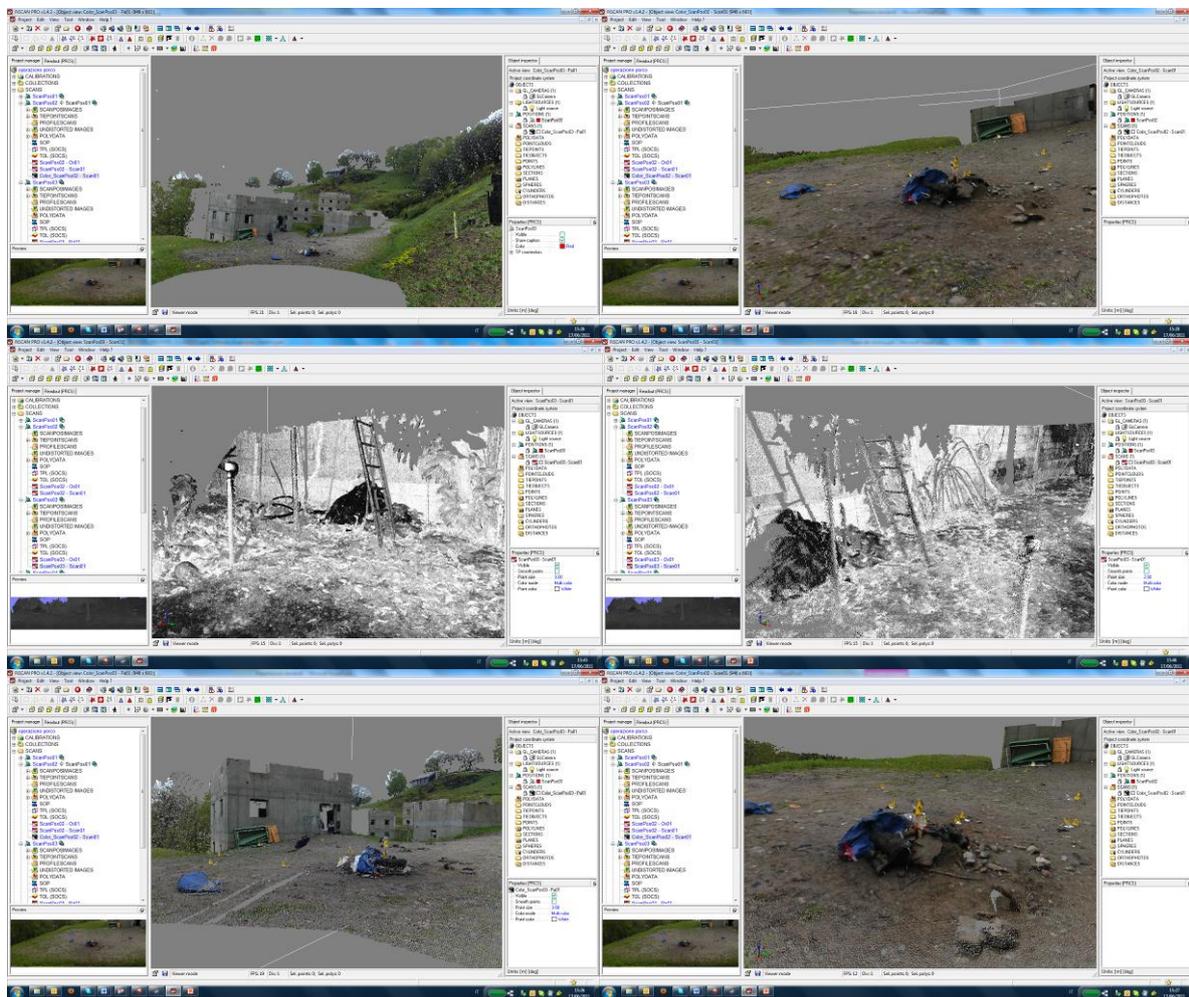


Fig. 8.17: screenshots della ricostruzione ambientale 3D

8.4.3 Cani da cadavere

Le fasi di ricerca non invasive possono essere supportate dall'utilizzo di cani da cadavere, specificamente addestrati per la ricerca di materiale in decomposizione; le superiori capacità olfattive dei cani può identificare la presenza di odori di decomposizione che per intensità sfuggono all'olfatto umano, e l'animale può in base ad un adeguato addestramento segnalare le zone ove tale odore è più intenso. Anche i cani da cadavere, come ogni altra risorsa impiegata nella ricerca dei resti umani, possiedono limiti specifici che richiedono un'adeguata capacità di gestione nei diversi scenari applicativi. I cani da cadavere infatti hanno una soglia di concentrazione che può essere mantenuta con successo in esercizi così specifici per 10-15 minuti, oltre i quali l'attenzione e la sensibilità della ricerca inevitabilmente si riducono. L'attività di ricerca inoltre inevitabilmente stanca l'animale, e può essere effettuata su aree molto ristrette, che devono comunque essere battute da altri animali in maniera indipendente. L'attenzione dell'animale può essere inoltre distratta dalla presenza di altro materiale in decomposizione nelle vicinanze, che può alterare i risultati dell'indagine. E' inoltre da osservare che l'utilizzo dei cani richiede l'impiego di conduttori adeguatamente preparati, e con il quale l'animale ha un rapporto specifico in grado di favorire la comunicazione dei segnali.

A Milano è presente l'unica unità per la ricerca di resti umani.



Fig. 8.18: Unità ricerca resti umani



Fig. 8.19: Fasi della ricerca

8.5 Conclusioni

La rassegna delle tecniche e delle tecnologie qui presentata, offre una panoramica di metodi che sono, a seconda delle circostanze, alternativi e/o complementari alle metodiche che sono state trattate all'interno di questo lavoro di Dottorato.

Ognuna di esse trova il massimo impiego in ambienti e situazioni differenti.

Il loro utilizzo, nell'ottica della multidisciplinarietà, è la chiave del successo di un ricerca per il ritrovamento di un luogo di occultamento.

Capitolo 9

Bibliografia

- Bell S, *Crime and circumstance: investigating the history of forensic science*, Praeger Publishers, Westport CT
- Bevan BW, The search for graves, *Geophysics* 1991;56:1310-9
- Brown AG, Smith A, Elmhurst O. The combined use of pollen and soil analyses in a search and subsequent murder investigation. *J. Forensic Sci.* 2002;47:614–8.
- Brown AG. The use of forensic botany and geology in war crimes investigations in NE Bosnia. *Forensic Sci. Int.* 2006;163:204-10.
- Buck SC, Searching for graves using geophysical technology: field tests with ground penetrating radar, magnetometry, and electrical resistivity, *J Forensic Sci* 2003;48(1): 5-11
- Caccianiga M, Bottacin S, Cattaneo C, Vegetation dynamics as a tool for detecting clandestine graves, *J Forensic Sci*, 2011, in press.
- Caccianiga M., Trombino L, Bottacin S, *BOTANICA FORENSE: DINAMICA DI VEGETAZIONE IN ESPERIMENTI DI SEPOLTURA*, Tesi di laurea, Facoltà di Scienze MM.FF.NN, 2009
- Cattaneo C, Salsarola D, Porta D, Poppa P, Gibelli D, Grandi M, Evolution of Forensic Archaeology in Italy: a 10 year experience, XXI Congress of the International Academy of Legal Medicine, Lisboa, 2009 (a)
- Cattaneo C, Salsarola D, Porta D, Poppa P, Gibelli D, Sansoni G, Silingardi E, Evolution of forensic archaeology and anthropology in Italy: three criminal cases, AAFS Annual Meeting, Denver, 2009 (b)
- Cattaneo, C, Sansoni G, Maldarella M, Trebeschi M, Porta D, Poppa P, Picozzi M, Acquisizione della scena del crimine con un digitalizzatore ottico 3D: nuove prospettive per le scienze forensi, *Minerva Medicolegale* 2008;128(1):31-38
- Codice Penale e di Procedura Penale e le leggi complementari, a cura di Alibrandi L, Corso PM, Ed. CELT, VI Ed., Piacenza, 2007
- Congram DR, A clandestine burial in Costa Rica: prospection and excavation, *J Forensic*

- Sci 2008;53(4):793-6
- Davenport GC, Remote sensing applications in forensic investigations, *Hist Arch* 2001;35(1):87-100
 - Doolittle JA, Bellantoni NF, The search for graves with ground-penetrating radar in Connecticut, *J Arch Sci* 2010;37:941-6
 - E.R.S.A.L. (Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia) e Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino, progetto “CARTA PEDOLOGICA”, i Suoli del Parco Ticino settore meridionale, Milano, Luglio 1996
 - France DL, Griffin TJ, Swanburg JG, A multidisciplinary approach to the detection of clandestine graves, *J Forensic Sci* 1992;37(6):1445-58
 - France DL, Griffin TJ, Swanburg JG, Lindemann JW, Davenport CG, Trammel V et al., Multidisciplinary approach to the detection of clandestine graves. *J. Forensic Sci.* 1992;37:1445-58.
 - France DL, Griffin TJ, Swanburg JG, Lindemann JW, Davenport CG, Trammel V et al. Multidisciplinary approach to the detection of clandestine graves. *J. Forensic Sci.* 1992;37:1445-58.
 - Greguss P, *Holzanatomic der Europäischen Laubbholzer und Straucher*, Akademiai Kiadó, Budapest, 1959
 - Haglund WD, Sorg MH, *Advances in forensic taphonomy – Method, theory and archaeological perspectives*, CRC Press, Boca Raton, USA, 2002
 - Haglund WD, Sorg MH, *Forensic taphonomy – The postmortem fate of human remains*, CRC Press, Boca Raton, USA, 2006
 - Harris E.C., *Principi di stratigrafia archeologica*, NIS, 1995
 - Hoshower LM, Forensic archaeology and the need for flexible excavation strategies: a case study, *J Forensic Sci* 1998;43(1):53-6
 - Huang CL, Wu YW, Hwang CL, Jong YS, Chao CL, Chen WJ, Wu YT, Yang WS, The application of infrared thermography in evaluation of patients at high risk for lower extremity peripheral arterial disease, *J Vasc Surg* 2011;54(4):1074-80
 - Hunter JR, Cox M, *Forensic archaeology: advances in theory and practice*, Routledge, London, 2005
 - Hunter JR, Roberts C, Martin A. *Studies in crime: an introduction to forensic archaeology*, Routledge, London, 2005

- Ishii K, Hitosugi M, Yaguchi T, Tokudome S, The importance of forensic mycology, *Leg Med* 2007;9:287
- James SH, Nordbye JJ, *Forensic Science; an introduction to scientific and investigative techniques*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2005
- Jervis JR, Pringle JK, Tuckwell GW, Time-lapse resistivity surveys over simulated clandestine graves, *Forensic Sci Int* 2009;192:7–13
- King JA, Bevan BW, Hurry RJ, The reliability of geophysical surveys at historic-period cemeteries: an example from the Plains Cemetery, Mechanicsville, Maryland, *Historical Archaeology* 1993;27:4-16
- King JA, Bevan BW, Hurry RJ, The reliability of geophysical surveys at historic period cemeteries: an example from the Plains Cemetery, Mechanicsville, Maryland, *Hist Arch* 1993;27(3):4-16
- Kirk PL, *Criminalistics*, *Science* 1963;140:367-70
- Koppenjan SK, Schultz JJ, Ono S, Lee H, The application of GPR in Florida for detecting forensic burials. Report number DOE/NV/11718-739. Symposium on the application of geophysics to environmental and engineering problems (SAGEEP), 1 January 2003, San Antonio, Texas
- Maspero A, Cattaneo C, Bruni E, Piccinini A, Grandi M, L'apporto della botanica forense alla medicina legale: quattro case reports, *Archivio di Medicina Legale* 2001;9-12
- Megyesi MS, Nawrocki SP, Haskell NH. Using accumulated degree-days to estimate the postmortem interval from decomposed human remains. *J Forensic Sci.* 2005 May;50(3):618-26.
- Mellett JS, Location of human remains with ground-penetrating radar. In: Hanninen P, Autio S, Fourth International Conference on ground penetrating radar, special paper, 2003 1992, 16 (359-65) Espoo: Geological Surveys of Finland
- Mildenhall DC, Wiltshire PEJ, Bryant WM, Forensic palinology: why do it and how it works, *Forensic Sci Int* 2006;163:163-72
- Miller Coyle H, Lee CL, Lin WY, Lee HC, Palmbach TM. Forensic botany: using plant evidence to aid in forensic death investigation. *Croat. Med. J.* 2005;46:606-12
- Miller Coyle H, Lee CL, Lin WY, Lee HC, Palmbach TM. Forensic botany: using plant evidence to aid in forensic death investigation. *Croat. Med. J.* 2005;46:606-12

- Morse D, Crusoe D, Smith HG, *Forensic archaeology*, 1976;21(2):323-32
- Morse D, Duncan J, Stoutamire J, *Handbook of forensic archaeology and anthropology*, Pennsylvania State University, 1983
- P. Poppa, D. Gibelli, D. Porta, D. Mazzarelli, A. Cappella, F. Magli, M. Caccianiga, L. Trombino, T. Garbari, A. Bellani, D. Salsarola, C. Cattaneo , *A multidisciplinary approach to the search for bodies buried in soil: an experimental study in northern Italy*, XIX IAFS WORLD Meeting and 9. WPMO TRIENNIAL Meeting and 5. MAFS Meeting, Funchal, 2011
- Parker R, Ruffell A, Hughes D, Pringle J, *Geophysics and the search of freshwater bodies: a review*, *Sci Jus* 2010;141-9
- Pepe O, Palomba S, Sannino L, Blaiotta G, Ventorino V, Moschetti G, Villani F, *Characterization in the archaeological excavation site of heterotrophic bacteria and fungi of deteriorated wall painting of Herculaneum in Italy*, *J Environ Biol.* 2011;32(2):241-50
- Picozzi M, Intini A, *Scienze forensi – Teoria e prassi dell’investigazione scientifica*, UTET Giuridica, 2009
- Picozzi M, Intini A, *Scienze forensi – Teoria e pratica dell’investigazione scientifica*, UTET Giuridica, Milano, 2009
- Piette MHA, De Letter EA, *Drowning: still a difficult autopsy diagnosis*, *Forensic Sci Int* 2006;163:1-9
- Poppa P, Salsarola D, Gibelli D, Mele E, Zanotti E, Vanin S, Veronese A, Garberi G, Taborelli A, Andreola S, Cattaneo C, *Protocole expérimental multidisciplinaire pour le repérage et l’examen des corps inhumés*, X Congrès d’Anthropologie médico-légale de Nice, 2010
- Pringle JK, Jervis JR, *Electrical resistivity survey to search for a recent clandestine burial of a homicide victim, UK – Case report*, *Forensic Sci Int* 2010;202:e1-e7
- Reynolds JM, *An introduction to applied and environmental geophysics*, 1997, New York, Wiley Ed.
- Ruffell A, Donnelly C, Carver N, Murphy E, Murray E, McCambridge J, *Suspect burial excavation procedure: a cautionary tale*, *Forensic Sci Int* 2009;183:e11-e16
- Ruffell A, Donnelly C, Carver N, Murphy E, Murray E, McCambridge J, *Suspect burial excavation procedure: a cautionary tale*, *Forensic Sci Int* 2009;183:e11-16
- Schotsmans EMJ, Gaffney C, Cuenca-Garcia C, Janaway RC, Wilson AS, *The*

taphonomic study of Lime burials: detecting limed and unlimed graves with ground-penetrating radar, 19th IAFA World Meeting, 9th WPMO Triennial Meeting 5th MAFS Meeting, Funchal, Madeira, 12-17 September 2011

- Schultz JJ, Collins ME, Falsetti AB, Sequential monitoring of burials containing large pig cadavers using ground-penetrating radar, *J Forensic Sci* 2006;51(3):607-16
- Schultz JJ, Martin MM, Controlled GPR grave research: comparison of reflection profiles between 500 and 250 MHz antennae, *Forensic Sci Int* 2011;209:64-9
- Schultz JJ, Sequential monitoring of burials containing small pig cadavers using ground penetrating radar, *J Forensic Sci* 2008;53(2):279-87
- Schultz JJ, Using ground-penetrating radar to locate clandestine graves of homicide victims: forming forensic archaeology partnerships with law enforcement, *Homicide Studies* 2007;11:15-27
- Schultz JJ, Using ground-penetrating radar to locate clandestine graves of homicide victims: forming forensic archaeology partnerships with law enforcement, *Homicide Studies* 2007;11:15-29
- Schweingruber FH, *Anatomic Europaischer Holzer. Anatomy of the European woods*, Eidgenoss. Forschungsanst fur Wald, Schnee und Landshaft, Birmendorf, Paul Haupt, Bern, 1990
- Skinner M, Planning the archaeological recovery of evidence from recent mass graves, *Forensic Sci Int* 1987;34:267-87
- Spenneman DHR, Franke B, Archaeological techniques for exhumations: a unique data source for crime scene investigations, *Forensic Sci Int* 1995;74:5-15
- Taylor JJ, Diatoms and drowning – a cautionary case note, *Med Sci Law* 1994;34(1):78-9
- Tibbet M, Carter DO. Mushrooms and taphonomy: the fungi that mark woodland graves. *Mycologist* 2003;17:20-4.
- Tibbet M, Carter DO. Mushrooms and taphonomy: the fungi that mark woodland graves. *Mycologist* 2003;17:20-4.
- Towne EG. Prairie vegetation and soil nutrient responses to ungulate carcasses. *Oecologia* 2000;122:232-39.
- Trombino L, Mele M, Moioli G, PROSPEZIONE GEOELETTICA TIME-LAPSE PER APPLICAZIONI GEOFORENSI, Tesi di laurea, Facoltà di Scienze MM.FF.NN, 2010
- Umadevi V, Raghavan SV, Jaipurkar S, Framework for estimating tumour parameters

- using thermal imaging, *Indian J Med Res.* 2011;134(5):725-31
- Watson CJ, Forbes SL. Investigation of the vegetation associated with grave sites in Southern Ontario. *Canadian Society of Forensic Science Journal* 2008;41(4):199-207
 - Watson CJ, Forbes SL. Investigation of the vegetation associated with grave sites in Southern Ontario. *Canadian Society of Forensic Science Journal* 2008 Dec;41(4):199-207.
 - Winsor T, Winsor D, The noninvasive laboratory-history and future of thermography, *Angiology.* 1985;36(6):341-53
 - Yen LY, Jayaprakash PT, Prevalence of diatom frustules in non-vegetarian fodstuffs and its implications in interpreting identification of diatom frustules in drowning cases, *Forensic Sci Int* 2007;170(1):1-7