



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA



**Corso di Laurea Magistrale in
Geofisica di Esplorazione ed Applicata**

Anno Accademico 2012/2013

Candidato: **Gabriele Graziano**
Laurea triennale in: **Scienze Geologiche per la Protezione Civile**

Titolo della tesi

Acquisizione Ground Penetrating Radar multicanale ad alta risoluzione in contesti
geoarcheologici: il sito archeologico di Vada Volaterrana (LI)

Relatore: **Carlo Baroni**
Adriano Ribolini

Controrelatore: **Andrea Caiti**

Correlatore: **Gianluca Catanzariti**
Gianfranco Morelli

Riassunto

Il presente lavoro di tesi si colloca nell'ambito delle indagini GPR svolte all'interno del progetto di ricerca geoarcheologica nell'area di Vada Volaterrana (LI).

Dal 1982 il Dipartimento di Scienze Storiche del Mondo Antico dell'Università di Pisa, in sinergia con la Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana, e con il supporto economico della Società Solvay e del Comune di Rosignano M.mo (LI), effettua indagini multidisciplinari in località San Gaetano di Vada, dove è stato portato in luce un quartiere di età romana ubicato in prossimità del porto dell'antica Vada Volaterrana.

L'obiettivo generale della tesi può essere sintetizzato nella triplice finalità di:

- 1) Verificare la presenza di un'estensione delle strutture del quartiere romano nelle aree adiacenti al sito archeologico in località San Gaetano di Vada.
- 2) Realizzare, con occhio critico, una sequenza operativa di *processing* includendo, altresì, quei passaggi spesso non usuali nel mondo dell'elaborazione dei dati GPR.
- 3) Verificare le relazioni esistenti tra le riflessioni caratterizzanti un dato radargramma e l'immagine visualizzata mediante *time slices*.

Nello specifico, le prospezioni GPR svolte nelle tre aree oggetto di studio nel periodo tra il 2012 e il 2013, sono state condotte avvalendoci di un sistema radar multicanale (STREAM X) il quale permette un'alta densità di dati raccolti garantendo parallelamente tempi di lavoro ridotti rispetto alle classiche acquisizioni monocanale.

La mole di dati così acquisiti vengono elaborati sfruttando le potenzialità offerte da GPR Slice, attualmente uno dei software più completi e diffusi, pensato esclusivamente per operare su dati di natura georadar (www.gpr-survey.com).

La fase successiva all'elaborazione dei dati è costituita dall'organizzazione di questi in forma di *time slices* (rappresentazione del dato sul piano $x[m]$, $y[m]$), utile strumento in grado di visualizzare, in forma di mappa, le riflessioni d'ampiezza registrate ad un dato intervallo temporale. La visualizzazione in sequenza di queste permetterà quindi di seguire le variazioni del segnale registrato lungo la direzione z .

Il punto conclusivo del lavoro è volto alla ricerca di quelle riflessioni (sul radargramma) considerate la causa dell'origine di quanto evidente sulle *time slices*.

Vengono così analizzate le riflessioni presenti su un numero campione di radargrammi e, sfruttando le potenzialità del software nel visualizzare simultaneamente sullo stesso volume di dati radargrammi e *time slices*, si cercheranno le relazioni esistenti che permettano di giustificare la presenza di anomalie⁽¹⁾ d'interesse.

Modificando il punto di vista delle nostre osservazioni e ponendoci ad esaminare in dettaglio questo lavoro di tesi, si individuano innanzitutto due principali aspetti, i quali ricadono a loro volta in aree di natura sia teorica che pratica.

Per quanto riguarda gli aspetti di natura teorica sono stati abbracciati alcuni concetti riguardanti la fisica delle onde elettromagnetiche, dalle equazioni di Maxwell alle caratteristiche strumentali del GPR, passando per la descrizione dei parametri elettromagnetici dei materiali e come questi influenzino la propagazione di un'onda al loro interno.

L'apertura alla seconda parte, di natura pratica, è anticipata da una breve descrizione delle aree indagate e della strumentazione adoperata, concentrando qui l'attenzione sugli aspetti propri dell'acquisizione svolta.

Un taglio decisamente soggettivo è inerente alle operazioni di *processing* applicate al dato, aggregate a costituire due diversi profili di elaborazione: il primo, dallo stampo minimale (*minimal data processing*) concretizzato nella fattispecie da quell'insieme di "passaggi comuni" di un'elaborazione dati GPR quali filtraggio passabanda, recupero delle ampiezze e rimozione del *background*; il secondo *processing flow*, indicato nel corpo della tesi come *advanced data processing*, è da intendersi come un arricchimento dei precedenti *steps* applicati al dato.

Nell'ambiente dell'elaborazione dati GPR, vista la natura stessa dell'onda elettromagnetica, tale sequenza è considerata, da vari autori, come sinonimo di *over processing* quindi spesso non eseguita. Nello specifico, i passaggi fondamentali di cui si compone sono dati da: deconvoluzione spiking, deconvoluzione omomorfa, migrazione e filtraggio boxcar.

Fattore comune ad entrambe le sequenze di *processing* è dato dall'essenziale fase di *pre-processing*, caratterizzata da *detrending* del dato ed allineamento delle tracce ad un'origine comune.

¹ Non avendo noto un valore di riferimento, si intenda per "anomalie" quelle riflessioni d'ampiezza, sulle *time slice*, ad alta intensità rispetto al background e caratterizzate da orientazioni preferenziali, ricollegabili pertanto a strutture antropiche

Il tutto viene affrontato con occhio critico: i risultati successivi ad ogni singolo passaggio sono stati confrontati e commentati, valutando se un reale beneficio è stato apportato all'immagine.

Un secondo aspetto, ma non per importanza, è volto alla restituzione delle anomalie d'ampiezza, in forma di mappa, mediante la costruzione delle *time slice*.

Vengono analizzati i parametri fondamentali determinanti la realizzazione di quest'ultime, criticamente impostati affinché il dato non subisca forti modifiche nel processo di mappatura.

L'ultima fase, la cui componente soggettiva risulta più marcata, ha previsto l'analisi delle principali riflessioni caratterizzanti i radargrammi soggetti all'elaborazione.

Tale analisi è stata effettuata allo scopo di ricercare quelle riflessioni la cui genesi dovrebbe essere legata alla presenza di strutture murarie sepolte costituenti l'obiettivo del survey.

Inoltre, la possibilità di effettuare incroci tra profili e *time slices* è stata sfruttata in tale sede al fine di confermare le precedenti supposizioni.

Le immagini nelle figg. 1 e 2 mostrano i risultati ottenuti a seguito delle indagini eseguite, attraverso le quali è possibile notare particolari anomalie indubbiamente associabili a strutture antiche di interesse archeologico.

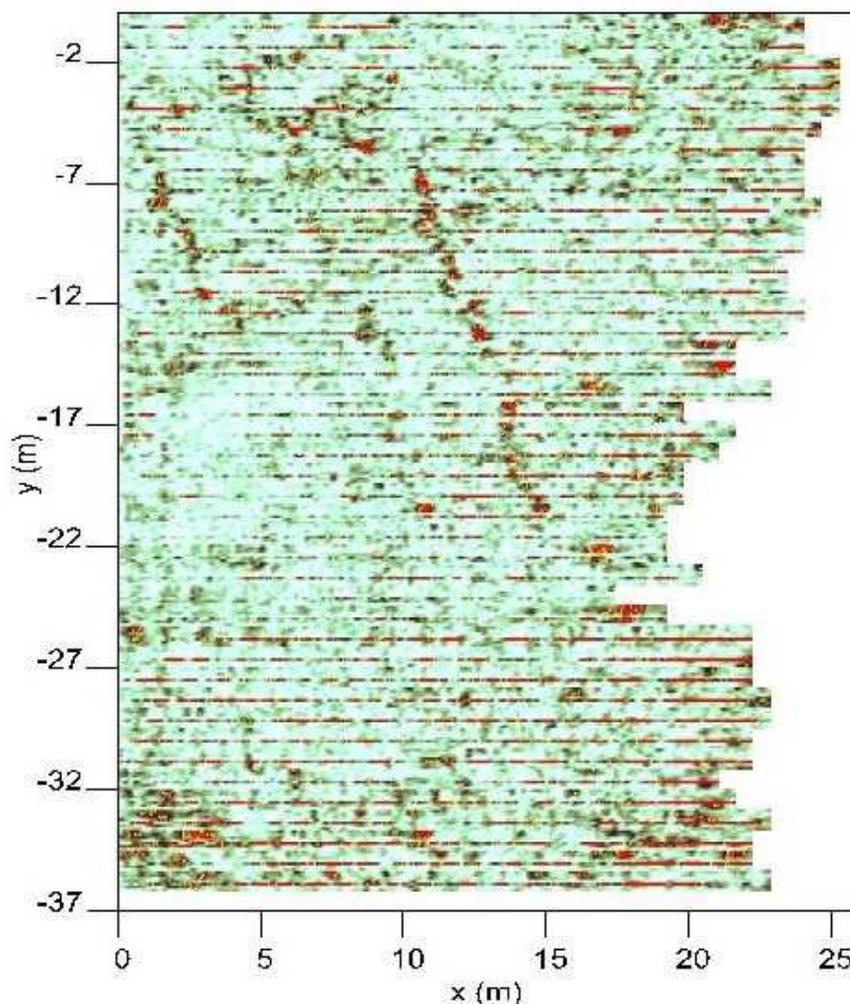


Fig. 1 - Time slice 21-25 ns, acquisizione area A. L'immagine mostra chiaramente anomalie sospette riconducibili ai target d'interesse.

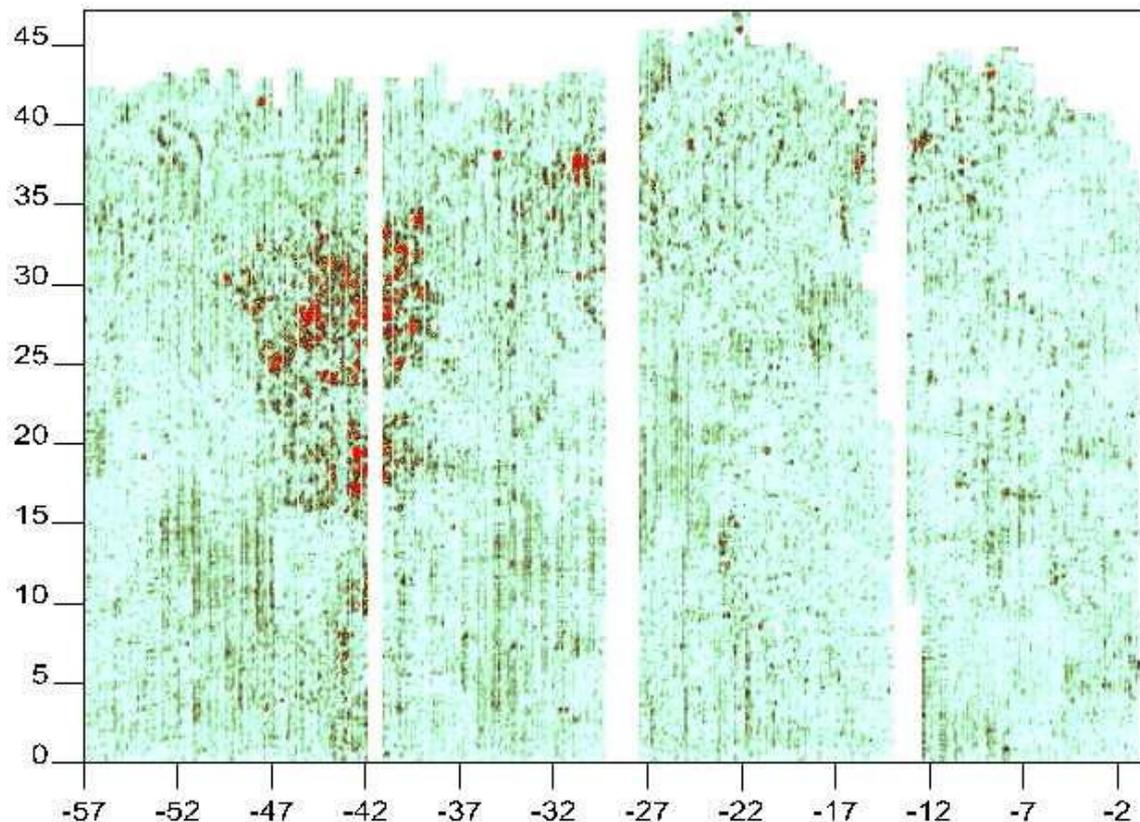


Fig. 2 – Time slice 11-15 ns, acquisizione area C. Anomalia di interesse a pianta quadrangolare evidente nel settore a sud dell'area, riconducibile ad una struttura presumibilmente interessata da fenomeni di crollo dato il suo aspetto caotico

In conclusione, visti i successi ottenuti, l'esito può considerarsi più che soddisfacente.

Le prospezioni GPR nei contesti archeologici, seppur costituiscano una metodologia di recente applicazione in tali ambiti, confermano la loro validità.

In particolare, lo sviluppo e la diffusione di strumentazioni multicanale, al contrario delle tradizionali indagini monocanale, consentono oggi la copertura di vaste aree in tempi decisamente brevi senza venir meno alla qualità del dato garantendo, al contempo, un'alta densità di dati acquisiti.

Nel caso di sistemi monocanale la necessità di trovare un compromesso tra limiti di tempo e costi impone l'acquisizione su maglia larga, violando così i limiti dettati dal teorema di Nyquist spaziale. Inoltre, i primi risultati conseguiti seguendo un profilo di elaborazione minimale possono essere migliorati applicando quei passaggi del *processing* che spesso vengono ignorati nel mondo dell'elaborazione GPR.

In ultima analisi, le time slice si sono rivelate un utile strumento grazie al quale è possibile un'immediata visione delle ampiezze caratterizzanti il volume indagato, rendendo decisamente più agevole il riconoscimento di eventuali strutture presenti.