



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: **Nicola Lo Cicero**  
Laurea triennale in: **Scienze Geologiche per la Protezione Civile**

Titolo della tesi

Acquisizione Ground Penetrating Radar monocanale e multicanale  
ad alta risoluzione nei contesti geoarcheologici.  
Il sito archeologico medievale dell'abbazia di Badia Pozzeveri (LU)

Relatore: **Carlo Baroni**  
**Adriano Ribolini**

Controrelatore: **Andrea Caiti**

Correlatore: **Gianluca Catanzariti**  
**Gianfranco Morelli**

Riassunto

L'obiettivo del presente lavoro di tesi consiste nel constatare la capacità del Ground Penetrating Radar (Georadar, GPR) nell'identificare la presenza di possibili *targets* riconducibili a strutture d'interesse nelle prospezioni geoarcheologiche.

Quanto detto è stato raggiunto seguendo un percorso ragionato che ha previsto, in primo luogo, la costruzione di un'efficace sequenza *processing* del dato, cercando di giustificare sotto un'ottica critica quanto più possibile ogni singolo *step* e analizzando al contempo quei passaggi spesso non convenzionali nel mondo dell'elaborazione dati GPR.

Il dato elaborato è stato quindi sfruttato per la realizzazione di determinati *sets* di *time slices* da cui poter osservare la presenza, al variare della profondità temporale, di aree particolarmente riflettive da connettere a probabili strutture antropiche sepolte.

Un'ultima fase lavorativa, consequenziale alle precedenti, è infine rivolta all'interpretazione dei radargrammi soggetti a *processing* mediante l'analisi di un numero campione di profili interessanti i *targets* individuati. Si è dunque cercato di fornire una probabile origine alle riflessioni maggiormente caratterizzanti i radargrammi.

Nello specifico l'oggetto del presente studio ha previsto l'acquisizione, l'elaborazione e la restituzione dei dati rilevati nel corso del progetto di ricerca geoarcheologica svolta nel contesto del sito archeologico dell'abbazia medievale di Badia Pozzeveri (Altopascio – LU, figura 1) la cui struttura doveva probabilmente occupare un'area più ampia rispetto a quella odierna.



**Fig. 1** – Abbazia di Badia Pozzeveri. In rosso l’area soggetta ad indagine GPR monocanale, in giallo area soggetta ad indagine GPR multicanale.

L’ipotesi animatrice dell’indagine non sembra essere frutto di semplici speculazioni: una maggiore estensione della struttura ecclesiastica, oggi non più visibile, sembra infatti confermata dalla letteratura in materia ed inoltre, la stessa forma in pianta attuale denuncia di per se geometrie anomale nei confronti dei canoni di costruzione delle “colleghe” la cui origine è contemporanea.

In particolare due sono state le prospezioni interessanti l’area immediatamente prospiciente la facciata dell’abbazia: ad un primo *survey*, realizzato mediante strumentazione monocanale (avente frequenza nominale pari a 400 MHz), ne è seguito un secondo tramite tecnologia multicanale denominata STREAM X (7 canali, frequenza nominale 200 MHz).

La motivazione che ha spinto all’esecuzione di due indagini è da ricondurre alla volontà di confermare quanto deducibile dal primo sondaggio, sfruttando le capacità del GPR multicanale il cui uso consente, in tempi di lavoro ragionevoli, una maggiore copertura della zona interessata.

L’elaborazione dei dati è stata realizzata mediante *GPR Slice*, uno dei software più completi e diffusi per il trattamento dei dati radar.

Nei riguardi della tesi in oggetto essa può essere pensata come articolata in parti quali:

1. Inquadramento dell’area indagata
2. Aspetti teorici
3. Breve analisi della strumentazione utilizzata e *processing* del dato

4. Restituzione del dato attraverso la costruzione e la visualizzazione di *time slices*

5. Interpretazioni delle principali riflessioni caratterizzanti i radargrammi soggetti ad elaborazione

Ad un breve inquadramento dell'area indagata segue quindi una seconda fase che abbraccia ciò che concerne la teoria della fisica delle onde elettromagnetiche e del GPR, includendo inoltre gli aspetti base relativi alle proprietà di un'antenna.

Nella terza fase l'attenzione è rivolta in primo luogo sulla strumentazione impiegata e sui parametri d'acquisizione (polarizzazione antenna, frequenza nominale, *time window*, campionamento spaziale, temporale e risoluzione) ed in secondo luogo al *processing* del dato.

In particolare i dati grezzi, sia mono che multicanale, dopo essere stati sottoposti al *pre-processing* (detrondizzazione del dato e ricerca di un T0 comune) vengono soggetti ad elaborazione seguendo, per quanto riguarda i dati multicanale, due diversi approcci, un primo sviluppato attraverso gli *steps* ritenuti necessari ed un secondo caratterizzato da passaggi rientranti in ciò che spesso viene definito *over processing*.

Ciò al fine di valutare se l'applicazione di quest'ultimi al dato possa portare reali benefici nella visualizzazione del *target* d'interesse.

Il primo *processing flow* prevede dunque quei passaggi comuni nell'elaborazione dati GPR quali: filtraggio passa banda, recupero delle ampiezze e rimozione del *background*.

Il secondo *processing flow* include gli *steps* appena citati arricchendo il tutto con: *spectral whitening*, deconvoluzione *spiking*, deconvoluzione omomorfa e filtraggio *boxcar*, passaggi questi spesso non applicati in ambiente georadar per la natura stessa dell'onda elettromagnetica.

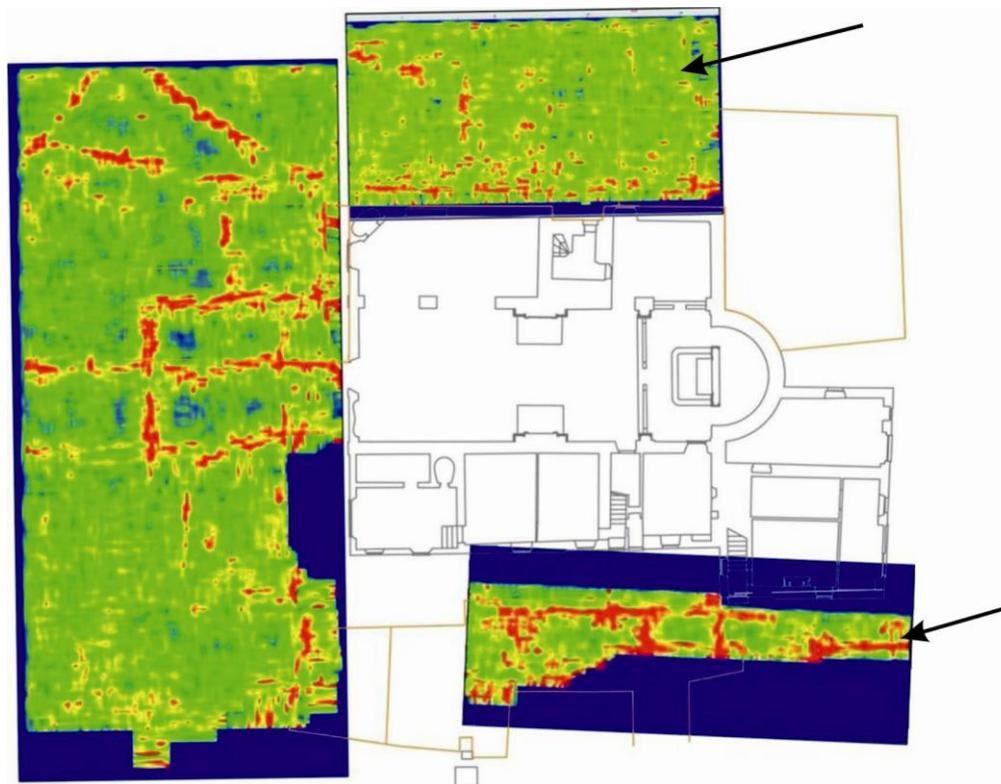
La fase in questione è stata chiaramente svolta con un'ottica critica per una valutazione dell'effettiva efficacia dei singoli passaggi e di come questi si riflettano nell'elaborazione e nella restituzione del dato.

Dopo un'attenta comprensione dei parametri di costruzione, alle tre elaborazioni (monocanale + multicanale minima ed "avanzata") è seguita la realizzazione di *time slices*, al fine di poter osservare le variazioni d'ampiezza al variare della profondità e di comprendere, se possibile, gli effettivi vantaggi e svantaggi in termini qualitativi (e di tempistica di lavoro) apportati dalle diverse sequenze d'elaborazione seguite. Un metro di paragone per le *time slices* è stato in particolare offerto dall'elaborazione eseguita direttamente in sito nell'immediato post acquisizione tramite software *GREED* che ha prodotto l'immagine di figura 2. Si tratta comunque di un'elaborazione semplicistica (date anche le ridotte soluzioni offerte dal software) i cui risultati tendono ad offrire geometrie dallo stampo "ideale" il cui compito consiste esclusivamente nel fornire un punto di partenza per lo studio del volume indagato.

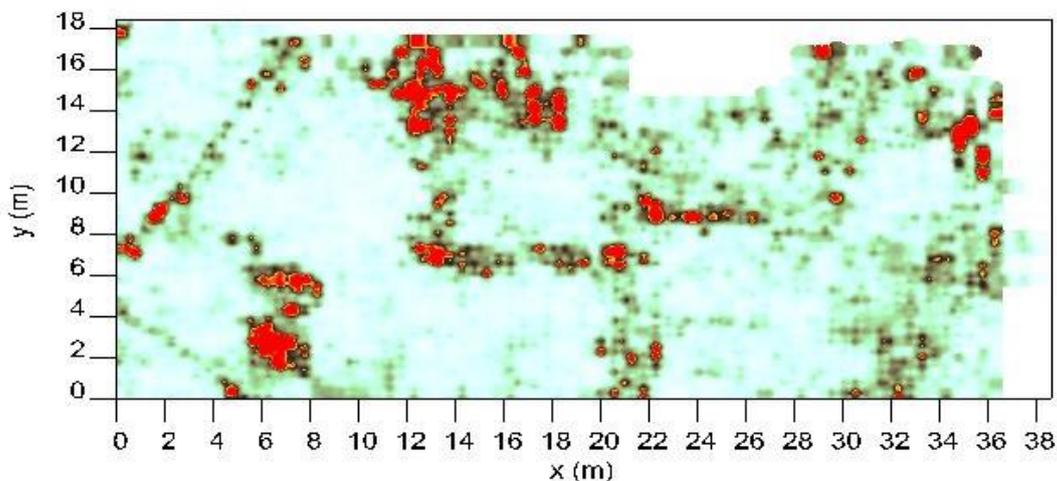
L'ultima fase include infine l'analisi dei radargrammi, attraverso il quale si cerca di fornire una possibile origine alle riflessioni più evidenti e/o caratteristiche; un aiuto è stato qui fornito dal software il quale prevede la possibilità di effettuare incroci tra i profili e le *time slices*.

L'esito dell'intera operazione può essere reputato più che positivo; l'indagine monocanale sembra infatti rilevare corpi riconducibili a strutture sepolte (figura 3) e ciò sembra essere confermato dall'indagine multicanale (capace per altro d'individuare ampiezze d'onda riflesse non riscontrate

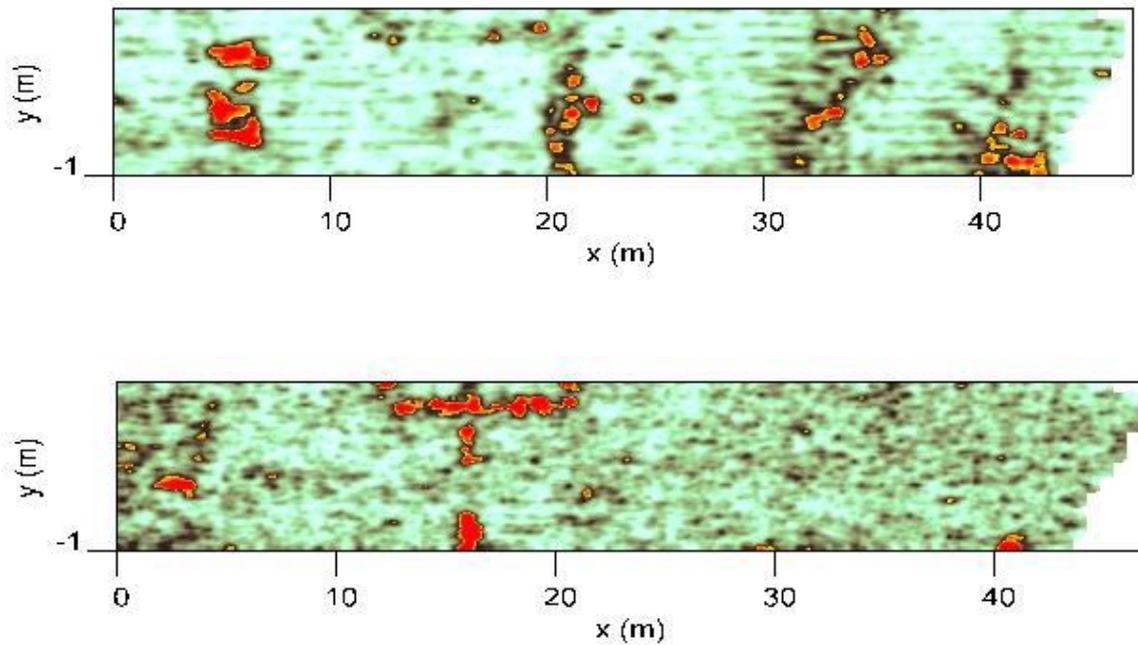
dal monocanale); malgrado l'area coinvolta da quest'ultima sia in realtà meno estesa dal settore investigato dal GPR monocanale, evidenti sono i *targets* comuni individuati (figura 4).



**Fig. 2** – Pianta dell'abbazia di Badia Pozzeveri contornata dai settori interessati da prospezione GPR. Le aree sono elaborate mediante il software GREED il quale permette solamente un processing del dato di massima ed una restituzione di time slices i cui targets assumono direzioni fortemente ideali; tale elaborazione è solitamente eseguita nell'immediato post acquisizione al fine di ricavare un punto di partenza per un'analisi maggiormente accurata e studiata. Le zone laterali (freccie in nero) non sono trattate nel presente lavoro



**Fig. 3** – Time slice 12 – 13 ns relativa al dato monocanale, evidenti le ampiezze riconducibili a strutture murarie sepolte. Il settore delimitato in blu identifica l'area interessata da indagine multicannelale.



**Fig. 4** – Time slices, rispettivamente relative ad una profondità temporale di 10 – 14 ns (in alto) e 23 – 27 ns (in basso), costruite a partire dal dato multicanale soggetto a processing “avanzato”. Le linee indicano la struttura non rilevata dall’indagine monocanale.

Tali oggetti sembrano dunque confermare l’ipotesi della modifica strutturale dell’abbazia nel corso nei secoli, la quale in passato doveva vantare un’estensione decisamente più ampia rispetto a quella oggi visibile.

Inoltre l’applicazione di passaggi del processing non convenzionali al dato grezzo ha permesso di ottenere, al contrario di quanto talvolta accade (*overprocessing*), immagini migliori rispetto a quelle ottenute attraverso un’elaborazione base.