

A04
15

Lawrence B. Conyers
Dean Goodman

GROUND PENETRATING RADAR

*Un'introduzione
per gli archeologi*

traduzione di
Giovanni Leucci



Pubblicato per la prima volta negli Stati Uniti
da Altamira Press, Lanham, Maryland, Usa
Ristampa autorizzata. Tutti i diritti riservati

*First published in the United States
by Altamira Press, Lanham, Maryland, Usa
Reprinted by permission. All rights reserved*

Copyright © MMVII
ARACNE editrice S.r.l.

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

via Raffaele Garofalo, 133 A/B
00173 Roma
(06) 93781065

ISBN 978-88-548-0951-2

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: gennaio 2007

INDICE

Ringraziamenti	9
CAPITOLO I	
Introduzione	11
Metodi geofisici utilizzati in archeologia	13
Il metodo Ground-Penetrating Radar	15
Storia del Ground-Penetrating Radar in archeologia	17
CAPITOLO II	
Il Metodo GPR	23
Propagazione dell'energia radar	27
Realizzazione di profili continui in riflessione	28
Registrazione dei dati	30
Parametri fisici che influenzano la trasmissione dell'energia radar	31
Propagazione radar	34
Vincoli sulla frequenza dell'antenna	39
Effetti di focalizzazione e scattering	49
Attenuazione del segnale	49
Effetto di campo vicino	51
CAPITOLO III	
Equipaggiamento GPR e raccolta dei dati	53
Descrizione dell'equipaggiamento GPR	53
Registrazione dei dati in campagna	55
Orientazione dei profili in superficie	57
Acquisizione dei dati in un rilievo	59
Settaggio dell'equipaggiamento e del software	61
CAPITOLO IV	
Trattamento Post -Acquisizione dei Dati	69
Filtri che Rimuovono il Background	70
Filtri F-K	71
Deconvoluzione	71
Migrazione	73

CAPITOLO V

Modelli GPR Sintetici	75
Realizzazione di un Radargramma Sintetico	78
Applicazioni dei Modelli Sintetici in Archeologia	81
Modelli Sintetici Confrontati con Profili GPR	84

CAPITOLO VI

Analisi Tempo – Profondità	99
Il Metodo dell'Onda Riflessa	101
Il Metodo dell'Onda Diretta	109
Misure di Laboratorio	121
Conclusioni sull'Analisi di Velocità	123

CAPITOLO VII

L'uso dei Dati GPR per Mappare Superfici Sepolte e Lineamenti di interesse Archeologico	125
Ricostruzione di Paesaggi Antichi	125
Interpretazione dei Dati	126
Identificazione della Struttura Sepolta	129
Mappe Paleotopografiche	130
Percorsi Antichi di Drenaggio e Topografia	130
Mappe Tridimensionali Generate al Computer	132

CAPITOLO VIII

L'Analisi di Ampiezza negli Studi GPR	137
Slice di Ampiezza su Terreni Livellati	144
Time slices relative a dati raccolti su terreni irregolari	150
Mappe tridimensionali	153
Identificazione di lineamenti invisibili nei profili bidimensionali	155
Le slices di ampiezza che seguono i lineamenti della topografia (Horizon-Slice Maps)	159
Integrazione dei dati GPR con mappe magnetiche e di resistività	166
Utilizzo delle time slices di ampiezza per la ricerca di lineamenti verticali	173
L'uso delle time slices di ampiezza per individuare lineamenti	

nella zona di campo vicino

179

CAPITOLO IX

Conclusioni

183

BIBLIOGRAFIA

193

RINGRAZIAMENTI

I nostri più grandi ringraziamenti vanno alle molte persone che ci hanno aiutato nella nostra ricerca indirizzata allo sviluppo delle tecniche GPR in questi anni. Molti apprezzamenti vanno a Jeff Lucius e Mike Powers, della U.S. Geological Survey, e a Gary Olhoeft, della Colorado School of Mines, per le loro molte ore dedicate all'assistenza tecnica e all'incoraggiamento. Payson Sheets, dell'Università del Colorado, è stata una sorgente costante di motivazioni durante le numerose prove sia in campagna che in laboratorio. I ringraziamenti vanno anche ai molti esperti del GPR che hanno dato il loro tempo per revisionare e commentare le prime bozze del nostro manoscritto. Questi ringraziamenti vanno specialmente a Floyd McCoy, Clark Dobbs, Marilyn Beaudry, e Bruce Bevan. Per l'aiuto in Giappone abbiamo il piacere di ringraziare Yasushi Nishimura, del Nara National Cultural Properties Research Institute, come anche Katsumi Arita, Hiromichi Hongo, Hideo Sakai, Takao Uno, Yoshinori Hosoguchi, e Yoshiko Ouyachi. Ringraziamenti speciali vanno a Koji Tobita per la sua assistenza nella campagna del Giappone. Ringraziamenti per il loro aiuto nella logistica e assistenza in campagna sono anche dovuti a Rinsaku Yamamoto, Noboru Tsujiguchi, Tokuo Yamamoto, J. Daniel Rogers, Bruce Smith, James Price, Mark Lynott, Ohikita Masaaki, Ishii Katsumi, Yukio Maehata e al Dipartimento Archeologico della città di Matsue.

CAPITOLO I

INTRODUZIONE

Nell'ambito della salvaguardia dei beni archeologici i metodi non invasivi di analisi del sottosuolo cominciano a diventare sempre più importanti. La limitatezza delle risorse finanziarie non permette, in molti casi, di realizzare scavi su aree molto estese. Per questo motivo la strategia degli scavi archeologici è cambiata drasticamente negli ultimi dieci anni. In molti siti, la spesa e il tempo necessario per effettuare scavi a larga scala impedisce la raccolta di informazioni sulle risorse culturali sepolte, non visibili direttamente sulla superficie. Molte volte non è assolutamente possibile scavare, il che impedisce all'archeologo, che ha familiarità solo con i metodi tradizionali, di ottenere informazioni. Gli studi recenti legati ai metodi di esplorazione geofisica e alle tecniche di acquisizione ed elaborazione dei dati per l'individuazione di superfici e strutture sepolte hanno dimostrato le grandi potenzialità della geofisica stessa nella identificazione e classificazione dei suoli e nell'aiuto offerto per la progettazione delle strategie in funzione di un eventuale scavo futuro. Uno dei più recenti metodi di esplorazione geofisica, che ha ricevuto un ampio consenso tra gli archeologi, è il Ground Penetrating Radar (GPR), *“il radar che penetra nel sottosuolo”*. Questo metodo può definire, in maniera veloce ed accurata, i lineamenti di corpi sepolti di interesse archeologico e le stratigrafie in 3 dimensioni, consentendo un notevole risparmio di tempo e denaro.

Gli studi archeologici si basano, nella maggior parte dei casi, su dati estremamente eterogenei e di diversa attendibilità. Spesso c'è molta arbitrarietà e accidentalità nelle scoperte di resti archeologici, e le successive strategie di scavo sono talvolta basate su una scarsa conoscenza della estensione e distribuzione delle strutture nel sottosuolo. Raramente l'intera area di interesse viene completamente scavata; in questo caso le informazioni ottenute da un rilievo GPR relative alla estensione e distribuzione delle strutture di interesse archeologico possono permettere di estrapolare i risultati ottenuti in corrispondenza di piccole aree scavate.

Nei casi più sfortunati, le opere di costruzione e di urbanizzazione possono distruggere irrimediabilmente interessanti strutture archeologiche. Il GPR, per il suo eccellente potere risolutivo, può essere usato per identificare le aree di interesse archeologico prima dell'urbanizzazione e consentirne così la conservazione e la tutela.

I rilievi GPR permettono agli archeologi di coprire vaste aree in un breve periodo di tempo. In condizioni del sottosuolo particolarmente favorevoli, alcuni sistemi radar sono in grado di penetrare fino a profondità che superano i 40 metri (Davis and Annan, 1992).

Tipicamente, il GPR è usato per "mappare" le strutture di interesse archeologico a profondità che vanno da poche decine di centimetri a qualche metro. I rilievi radar possono non solo identificare le strutture sepolte per un possibile scavo futuro ma anche inserirsi nell'ambito degli scavi stessi, mettendo in risalto l'area archeologica non ancora conosciuta. Il principio di funzionamento del GPR è analogo a quello di un semplice radar utilizzato per rilevare la presenza di aeroplani nel cielo.

Sostanzialmente il GPR capta e registra le onde radar riflesse dalle superfici di discontinuità intercettate dalle onde radar stesse. Le onde radar, emesse da un'antenna trasmittente sotto forma di impulsi ad intervalli di tempo distinti, si propagano nel sottosuolo, vengono riflesse da oggetti sepolte o da interfacce che hanno proprietà elettriche e magnetiche differenti e vengono successivamente rilevate in superficie da un'antenna ricevente. Quando gli impulsi radar attraversano vari strati, subiscono variazioni di velocità di propagazione che dipendono dalle caratteristiche elettriche e magnetiche degli strati attraversati. Dalla misura dei tempi di viaggio degli impulsi, se la velocità di propagazione nel sottosuolo è nota, la profondità può essere stimata in maniera accurata.

Nel metodo GPR le antenne radar vengono spostate sulla superficie del terreno; in tal modo si ottengono profili bidimensionali che contengono un grande numero di riflessioni (figura 1). Gli andamenti di tali riflessioni mettono in evidenza la stratigrafia del sottosuolo o la presenza di oggetti sepolte. Se i dati vengono acquisiti lungo profili equispaziati, la correlazione e l'analisi delle riflessioni permette di costruire una accurata immagine tridimensionale delle strutture sepolte e quindi della stratigrafia ad essi associata.

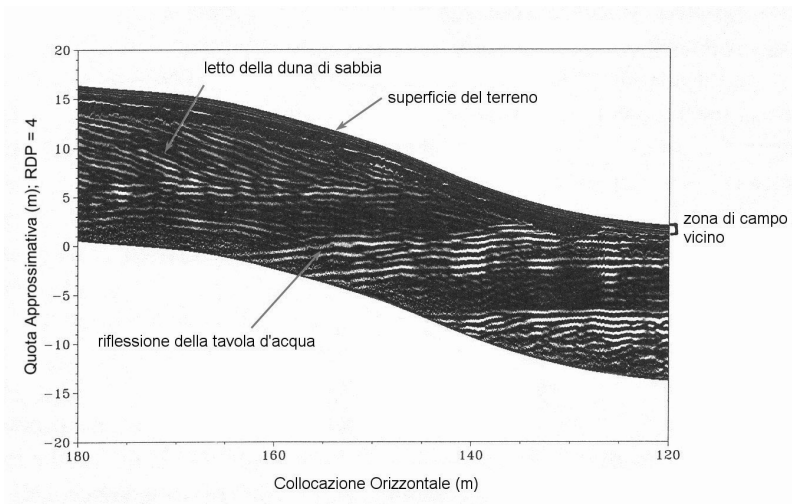


Fig.1: Profilo GPR eseguito su una duna di sabbia al Great Sand Dunes National Monument nel Colorado. Le linee nere e bianche rappresentano le riflessioni dai piani del basamento nel sottosuolo (modificato da Olhoeft, 1994)

METODI GEOFISICI UTILIZZATI IN ARCHEOLOGIA

Ci sono anche altri metodi geofisici che sono stati applicati con successo nell'esplorazione archeologica.

Resistività, induzione elettromagnetica e suscettibilità magnetica sono parametri fisici spesso usati dagli archeologi (Clark, 1996).

I rilievi di resistività si ottengono inserendo quattro elettrodi nel terreno, inducendo una corrente elettrica tra due di essi (e quindi nel mezzo) e misurando la differenza di potenziale tra gli altri due. La conduttività elettrica (e il suo inverso, la resistività) del terreno, e del possibile corpo archeologico sepolto può così essere misurata. Dipendendo da un certo numero di fattori, il più importante dei quali è la distanza tra gli elettrodi sulla superficie del terreno, può essere effettuata una stima della profondità raggiunta dalla corrente immessa e circolante nel sottosuolo. Poiché differenti tipi di suoli e strutture sepolte hanno differenti capacità di condurre una corrente elettrica, cambiamenti di resistività elettrica nel sottosuolo possono indicare la presenza di corpi sepolti. Quando viene effettuata una serie di misure con disposizione a griglia e i risultati sono riportati su una mappa, compaiono aree anomale che possono rappresentare corpi di un certo interesse.

Allo stesso modo, l'induzione elettromagnetica (EM) è stata anche ampiamente usata nell'esplorazione archeologica. L'energia elettromagnetica è il simultaneo accoppiamento di un campo elettrico e un campo magnetico. Questi campi sono perpendicolari tra di loro e perpendicolari alla direzione in cui si propagano a partire da una sorgente. I campi elettromagnetici si hanno tipicamente quando una corrente elettrica polarizza il materiale attraverso cui essa si propaga creando così un campo magnetico ausiliario. Tale campo non si propaga attraverso lo spostamento di elettroni, come una normale corrente elettrica, ma dalla reazione di milioni di atomi nel materiale vicino al campo inducente (corrente di spostamento).

Il metodo EM sfrutta quello che è chiamato campo elettromagnetico primario generato da una sorgente posta sulla superficie del terreno. Man mano che questo campo si propaga nel sottosuolo, da origine ad un campo secondario nei materiali che sono compresi nella sua sfera di influenza. Un sensore mantenuto sulla superficie del terreno ad una certa distanza dalla sorgente primaria, misura il campo totale. I materiali conduttivi dissipano questo campo EM mentre i materiali resistivi favoriscono la propagazione dell'energia elettromagnetica. Quello che si ottiene da questo tipo di misura è la conduttività del terreno. Le anomalie possono essere correlate a cambiamenti di conduttività. Entrambi i metodi di resistività ed EM sono stati usati con successo nell'esplorazione archeologica ma essi permettono solo di calcolare rozzamente la profondità delle anomalie scoperte perché il percorso dell'energia che è trasmessa (nei rilievi di resistività) o le dimensioni delle sfere di influenza nel terreno (nei rilievi EM) possono solo essere stimati. L'utilizzo di questi metodi è vantaggioso in terreni ricchi di argilla o umidi dove il metodo GPR è meno adatto.

Nei rilievi della suscettibilità magnetica vengono misurate piccole variazioni del campo magnetico terrestre che possono essere causate dalla presenza di corpi magnetizzati in prossimità della superficie terrestre stessa. Nel contesto archeologico, queste variazioni possono essere causate da pavimenti di creta (cotta al forno), vasi di terracotta, fornaci sepolte e molte altre modifiche di natura antropica realizzate su un paesaggio antico. Rilievi magnetici come l'EM e di resistività sono stati applicati con successo in aree dove il GPR è risultato essere il metodo meno appropriato; ma come per gli altri metodi, la profondità delle anomalie scoperte può essere solo stimata.

IL METODO GPR

I GPR attualmente in commercio sono molto maneggevoli e ciò consente il loro trasporto in qualsiasi sito. Molti sistemi possono essere alimentati da qualsiasi batteria ad alto amperaggio come quelle per auto da 12 volt, da generatori elettrici portatili o direttamente generatori a corrente alternata da 110 volt. Con alcune unità GPR recentemente sviluppate, l'intero equipaggiamento radar, compreso il computer necessario per l'acquisizione dei dati, può essere alimentato da poche batterie ricaricabili che ne consentono il funzionamento per molte ore.

I primi sistemi GPR registravano i dati in forma analogica (su carta) e questo limitava notevolmente l'elaborazione dei dati.

Sebbene questi sistemi radar, che sono ancora in uso, possono consentire di ottenere preziose informazioni riguardanti il sottosuolo, i moderni sistemi GPR acquisiscono i dati in forma digitale su supporto magnetico o direttamente sul disco fisso del computer. Ciò consente di elaborare e di filtrare i dati grezzi immediatamente dopo l'acquisizione. Il potenziamento dei nuovi computer e lo sviluppo di nuovi software ha portato un rapido miglioramento nell'interpretazione dei dati, consentendo una migliore risoluzione del sottosuolo.

Il successo dei rilievi GPR in archeologia dipende da molti fattori quali il tipo di terreno, la mineralogia dei sedimenti, il contenuto di argilla, l'umidità del terreno, la profondità degli oggetti sepolti, la superficie topografica e la vegetazione. Il GPR non è un metodo geofisico che può essere applicato indifferentemente a ogni situazione geologica o archeologica, nonostante la opportuna modifica del metodo di acquisizione ed elaborazione dei dati, possa essere adattato alle diverse condizioni dei siti. In passato si credeva che i rilievi GPR avrebbero avuto successo solo in aree dove i terreni e i sedimenti sottostanti fossero estremamente asciutti e non conduttivi (Vickers and Dolphin 1975). Sebbene la penetrazione dell'onda radar e l'abilità di riflettere energia in superficie aumentano in un ambiente asciutto, recenti ricerche hanno dimostrato che l'assenza di umidità non è necessariamente un prerequisito per i rilievi GPR. Le attuali tecniche di elaborazione, che utilizzano potenti software, hanno dimostrato che, qualche volta, si possono ottenere dati significativi anche in condizioni di terreno molto umido.