

# GEORADAR E MONITORAGGIO DEI RILEVATI ARGINALI

UN SISTEMA DI MONITORAGGIO TRAMITE PROSPEZIONE GEOFISICA, NON INVASIVO E NON DISTRUTTIVO, DELLO STATO DI SALUTE DEI RILEVATI ARGINALI POTENZIA LA CAPACITÀ DI IDENTIFICARE DISCONTINUITÀ E DISOMOGENEITÀ NON APPREZZABILI DALLA SUPERFICIE.

**I**l monitoraggio dello stato di salute dei manufatti arginali è un'attività di cruciale importanza per la difesa idraulica dei territori di pianura.

A oggi, detta attività viene principalmente condotta mediante ispezioni visive, o attraverso costose indagini *ad hoc* su tratti di rilevato di lunghezza limitata, con metodi geofisici talvolta invasivi o di laboriosa implementazione.

Il georadar (*Ground Penetrating Radar*, GPR) è una tecnica di prospezione geofisica che può essere utilmente impiegata per identificare le strutture esistenti nel sottosuolo, siano esse di origine naturale che antropica.

Le prospezioni GPR possono fornire un utile ausilio al processo decisionale in una varietà di ambiti geofisici e ingegneristici, potenziando la nostra capacità di identificare discontinuità e pattern non visibili dalla superficie.

La possibilità di pervenire rapidamente e in maniera non invasiva a una conoscenza particolareggiata dello stato di salute dei manufatti arginali è un requisito importante per un tecnica di monitoraggio da impiegare nelle funzioni di mantenimento in efficienza del sistema difensivo e nella programmazione tempestiva degli interventi di ripristino più urgenti, problematiche che, evidentemente, stanno particolarmente a cuore alle istituzioni e agli enti pubblici operanti nel settore della difesa idraulica del territorio. Si riporta di seguito una sintesi dei risultati di una serie di indagini di campo recentemente condotte e finalizzate all'identificazione di cavità all'interno di manufatti arginali (per eventuali approfondimenti si veda Di Prinzi et al., 2010).

Gli esiti delle prove sono decisamente incoraggianti, in virtù dei punti di forza di questa tipologia di prospezione, che risiedono principalmente: nella maneggevolezza dello strumento, nella rapidità di esecuzione della misura anche coprendo distanze elevate, nella risoluzione adeguata del dato conseguibile e nella non invasività della prova.

## Cavità nel sottosuolo: tecniche di monitoraggio

L'identificazione della posizione, della forma e dell'estensione di cavità scavate da animali (es. conigli selvatici, tassi, volpi e nutrie) all'interno dei manufatti arginali è un problema particolarmente sentito. Dette anomalie, infatti, possono minare l'integrità e la stabilità strutturale dei rilevati stessi durante gli eventi di piena, potendo divenire sede di vie di deflusso preferenziali all'interno del rilevato, fino anche a dare luogo a fenomeni di sifonamento. Tra i diversi fenomeni che possono innescare la rottura di un rilevato arginale (es. sormonto, sifonamento, erosione al piede:), il sifonamento è uno dei più ricorrenti, come censito da Govi e Turitto (2000).

La caratterizzazione di cavità nel sottosuolo può essere condotta attraverso una serie di tecniche di prospezione geofisica di uso ormai consolidato, che si basano sul contrasto fisico tra il mezzo indagato e l'aria contenuta nelle cavità (come per esempio indagini gravimetriche, prospezioni geoelettriche, sismica e microsismica, *remote sensing* – scanner iperspettrale Mivis).

L'impiego delle tecniche elencate al problema precedentemente delineato si scontra con tre principali limitazioni, che possono anche coesistere:

- caratteristica locale della prospezione,

quando è richiesto il monitoraggio di strutture con rilevante sviluppo longitudinale

- invasività

- risoluzione insufficiente a localizzare cavità dell'ordine della decina di centimetri.

Il georadar permette di ovviare ai problemi sopradescritti in quanto consente di svolgere prospezioni su ampie superfici, è una tecnica non invasiva e (con una scelta appropriata delle frequenza delle antenne) permette di rilevare oggetti anche di dimensioni di poche decine di centimetri.

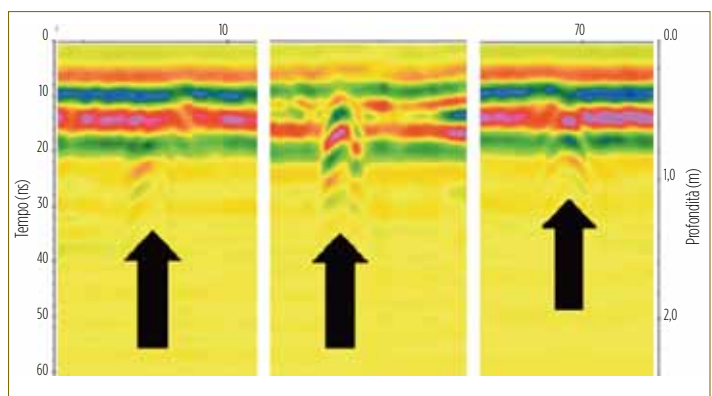
## Caso di studio: tecnica e risultati

Le misure GPR descritte in questa sede hanno interessato diverse aree lungo gli argini di alcuni canali del Comprensorio di pianura del Consorzio della bonifica renana, nei comuni di Baricella e Malalbergo (Bo). Le aree investigate sono state scelte in quanto interessate dall'attività di animali scavatori, testimoniata da ispezioni visive effettuate da associazioni locali di volontari della Protezione civile.

Lo strumento utilizzato nello studio è un Ramac/GPR, Mala Geosciences Co., prodotto in Svezia, dotato di un'antenna da 250 MHz e un'unità di controllo Ramac. Un'antenna da 250 MHz in condizioni ideali e terreni leggermente

FIG. 1  
B-SCAN

Rilevamento cavità realizzate da animali scavatori (velocità di propagazione 0.08 m/ns).



conduttivi, può raggiungere un massimo valore di penetrazione pari a circa 3-4 m, tuttavia in condizioni reali, la presenza dell'acqua influisce su questo valore, riducendolo.

Lo scopo principale dello studio è la valutazione dell'efficacia delle indagini GPR per rilevare la presenza di cavità contenenti aria all'interno di terreni coesivi di natura sabbiosa e limoso-argillosa. L'area di studio è interessata in prevalenza dalla presenza di tane di nutrie (*Myocastor coypus*), di solito situate sulla sponda, molto vicino alla superficie del pelo libero del corso d'acqua, e in misura minore da tane di volpi (*Vulpes*) che solitamente sono localizzate all'interno del corpo arginale stesso. Le dimensioni sono molto variabili, ma difficilmente hanno un diametro minore di 0.3 m. Per il processamento e l'interpretazione dei dati è stato utilizzato il software Reflexw 5.0 (Sandmeier, 2006) ed è stata implementata una semplice procedura standard di filtraggio dei dati. Nello studio sono state eseguite diverse scansioni in direzione approssimativamente perpendicolare alla giacitura di alcune tane di animali scavatori precedentemente localizzate mediante ispezioni visive. I rilievi GPR hanno identificato correttamente le tane precedentemente censite e hanno, inoltre, permesso di localizzarne altre, sfuggite alle ispezioni visive a causa della vegetazione spontanea che ne copriva l'ingresso, la cui presenza è stata verificata a valle del rilievo GPR tramite ispezioni visive mirate.

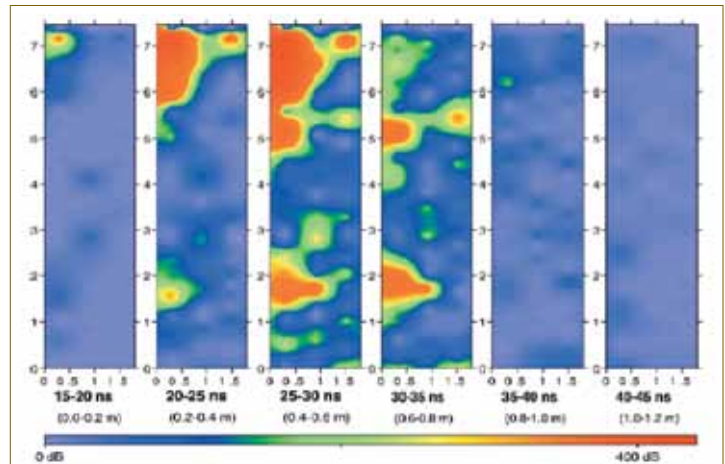
La figura 1 illustra il risultato conseguito durante alcune prove di campo riportando tratti di sezioni verticali (i cosiddetti B-scan), profonde ~2.5 m e lunghe ~5 m, nelle quali le anomalie di forma iperbolica evidenziate dalle frecce nere corrispondono appunto alle cavità localizzate.

La figura 2 riporta invece sei *time-slice* ottenute ad altrettante profondità a partire da un modello tridimensionale del sottosuolo costruito a partire da una serie di B-scan paralleli (rilievo in modalità *meandering*). Le anomalie rosse presenti nelle *time-slice* sono indotte dalla presenza di due diverse cavità, una più piccola e profonda, l'altra di maggiori dimensioni e dalla forma a Y, geometria tipica di tane scavate da volpi e lepri. Le informazioni ottenute dal modello 3D, cioè profondità e morfologia della tana, sono state confermate qualche settimana dopo l'indagine, durante il ripristino delle sponde del canale.

Sulla base delle indagini preliminari qui presentate, il GPR si è dimostrato

FIG. 2  
TIME-SLICE

Time-slice ottenute a diverse profondità da un modello 3D del sottosuolo (rilievo Gpr in modalità *meandering* con un'interdistanza tra i B-scan di ~0.45 m; le profondità sono indicate tra parentesi; le coordinate orizzontali x-y sono metriche).



un metodo con buone potenzialità per il rilevamento delle cavità realizzate da animali all'interno di manufatti arginali. Questo risultato era in parte prevedibile, in virtù del contrasto dielettrico rilevante esistente tra terreno e cavità (aria), a causa del quale una porzione significativa dell'energia dell'onda viene riflessa in corrispondenza dell'interfaccia aria-terreno. Va sottolineato inoltre come un rilievo GPR consenta di coprire distanze/aree estese, grazie alla maneggevolezza dello strumento e alla rapidità di acquisizione del dato. Nel caso in esame, la possibilità di monitorare il dato in continuo durante la misura ha, come anticipato, permesso di localizzare cavità che non erano state rinvenute durante le ispezioni visive.

A tal proposito preme evidenziare come il monitoraggio in continuo lungo diversi chilometri di arginature possa essere semplicemente implementato trainando la strumentazione con mezzi motorizzati. Va comunque sottolineato come occorra in ogni caso disporre dell'antenna più idonea in termini di risoluzione del dato e profondità indagabile, che dipende dalla frequenza operativa dell'antenna, scelta che deve essere fatta al momento dell'acquisto della strumentazione. Durante le misure di campo si sono riscontrati anche alcuni fattori limitanti che hanno interferito con l'indagine. Ad esempio, la propagazione delle onde radar avviene meglio in terreni asciutti e sabbiosi. Un elevato contenuto

di acqua riduce rapidamente l'energia delle onde elettromagnetiche e provoca un'apprezzabile diminuzione della capacità di penetrazione del GPR. Perciò si consiglia di programmare misure in periodi tendenzialmente poco piovosi, per ottenere i risultati migliori.

Tuttavia, informazioni con un buon livello di dettaglio si possono ottenere anche in altre condizioni di saturazione del terreno, come nel caso del presente studio. Infatti, molte delle misure effettuate sono state realizzate in condizioni assolutamente sfavorevoli, con livelli di saturazione del suolo elevati.

Inoltre, affinché si possano realizzare delle buone scansioni GPR è necessario che gli argini siano periodicamente mantenuti (es. operazioni di sfalcio). La presenza di vegetazione contribuisce ad attenuare l'energia del segnale e, per il particolare strumento utilizzato nello studio, impedisce il corretto funzionamento del ruotino al quale è collegato l'odometro, inficiando la misura della scala orizzontale delle scansioni.

Monica Di Prinzio<sup>1</sup>, Attilio Castellarin<sup>1</sup>,  
Marco Bittelli<sup>2</sup>, Paola Rossi Pisa<sup>2</sup>

1. Dipartimento di Ingegneria civile, ambientale e dei materiali (Dicam), Università di Bologna

2. Dipartimento di Scienze e tecnologie agroambientali (Dista), Università di Bologna

## BIBLIOGRAFIA

Di Prinzio M., Bittelli M., Castellarin A., Rossi Pisa P., "Application of GPR to the monitoring of river embankments", in *J. Appl. Geophys.*, 2010, doi:10.1016/j.jappgeo.2010.04.002.

Govi M., Turitto O., *Casistica storica sui processi d'interazione delle correnti di piena del Po con arginature e con elementi morfotopografici del territorio adiacente*, Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere, 2010.