



Università, ricerca fiorentina per l'individuazione delle mine antipersona



United Mine Action Service provided financial support to develop this

publication but this does not necessarily reflect the views of the United Nations.

Università degli Studi di Firenze, Italy



Lorenzo Capineri (lorenzo.capineri@unifi.it), A. Bulletti, G. Borgioli, M. Calzolari, P. Falorni I. Arezzini: Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Firenze. Via S. Marta 3, 50139 Firenze, Italy

A partire dalla seconda guerra mondiale le mine antipersona sono diventate sempre più difficili da individuare con tecniche che fanno uso di rivelatori di metalli (*metal detectors*). Nella foto a sinistra si può vedere una moderna mina antipersona di materiale plastico con diametro circa 70 mm, contenente una piccola quantità di metallo del detonatore.



Oggi esistono due metodi principali per rivelare le mine sepolte. I *metal detectors* sono di uso comune e per fortuna la maggior parte delle mine letali a frammentazione, essendo composte da metallo, sono facilmente rivelabili (sebbene bisogna fare molta attenzione alle trappole dovute ai fili sottili di attivazione nascosti).

I moderni *metal detectors* sono estremamente sensibili alla rivelazione di mine anche con una piccola quantità di metallo (frazioni di grammo) ma notoriamente i campi di battaglia sono pieni di frammenti di metallo di vario tipo e forma; inoltre alcuni suoli sono naturalmente ricchi di metallo. Questo significa un aumento dei falsi allarmi perché ad ogni rivelazione di metallo da parte del *metal detector*, lo sminatore deve sospendere l'operazione di rivelazione ed iniziare una indagine manuale; per la ricerca a terra utilizza una sottile asta metallica al fine di rivelare la natura dell'oggetto metallico sepolto che ha generato l'allarme e possibilmente stabilirne la forma, le dimensioni ed il materiale dell'involucro. I falsi allarmi sono spesso elevati e oltre a diminuire la produttività dell'operazione stancano l'operatore aumentando così la probabilità di incidenti: si stima un incidente ogni 1000 mine rivelate.

Molti altri metodi ingegnosi sono stati proposti, ma nessuno ha trovato largo uso da parte degli sminatori che operano sul campo. La ricerca di nuovi metodi deve comunque soddisfare alcuni criteri:



- (1) Alta probabilità di corretta rivelazione per ogni tipo di mina
- (2) Basso tasso di falsi allarmi anche in presenza di frammenti metallici
- (3) Costo dello strumento adeguato alle risorse disponibili per la bonifica nei paesi post-bellici
- (4) Facilità di utilizzo anche da parte di personale non specializzato



I radar penetranti convenzionali (*ground penetrating radar* o GPR) rispondono bene ai primi due criteri sopra enunciati, ma sono costosi (circa 30.000\$) e questo ha limitato il loro utilizzo. Inoltre, il parametro misurato (tempo impiegato dall'impulso elettromagnetico riflesso dal bersaglio) deve essere elaborato per essere interpretato immediatamente dallo sminatore. Molti metodi di elaborazione dei dati e algoritmi di riconoscimento, così come le interfacce uomo-macchina di facile utilizzo, sono stati sviluppati, ma ancora una volta a scapito dei costi, velocità e compattezza dello strumento.

Il radar olografico a microonde oggetto di una ricerca dell'Università di Firenze è una tecnologia che può assolvere ai criteri sopracitati. Il concetto è quello di fornire un'immagine di tipo olografico della superficie scandita con lo strumento, la cui elevata risoluzione spaziale fornisce l'informazione della forma e delle dimensioni degli oggetti sepolti a bassa profondità. L'immagine immediatamente disponibile al termine della scansione può essere così interpretata dall'operatore che grazie alle capacità di rivelazione e classificazione delle forme del cervello umano, riesce a stabilire se l'oggetto è potenzialmente una mina. La tecnologia che implementa questo metodo risulta più economica di quella del GPR (circa 5000\$).

Il principio fisico del funzionamento si basa sull'interferenza tra due onde monocromatiche. Supponiamo che un'onda continua incidente (a sinistra) abbia un'ampiezza data da:

$$a_0 = \cos(2\pi ft + \varphi_0)$$

dove f è la frequenza, t il tempo e φ_0 sia l'angolo della fase non nota. L'onda che viene riflessa da un oggetto sepolto andrà nella direzione opposta.

Alla posizione della sorgente, avrà una differenza di fase pari al doppio della distanza d dall'oggetto (perché è andata e ritorno), diviso per la lunghezza d'onda che è uguale a $v/2\pi f$, dove v è la velocità nel mezzo. Così alla sorgente l'ampiezza sarà:

$$A = \cos(2\pi ft + 4\pi d/v + \varphi_0)$$

Il segnale di interferenza alla sorgente sarà il prodotto dell'onda incidente (trasmessa) e riflessa mediata nel tempo, poiché si tratta di un segnale continuo. L'angolo della fase non nota φ_0 sparisce e l'ampiezza del segnale risultante sarà:

$$A(d) = \cos(4\pi d/v)$$

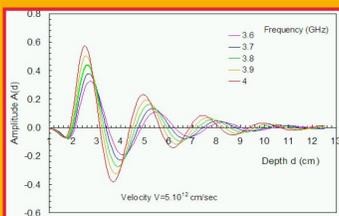


grafico 1

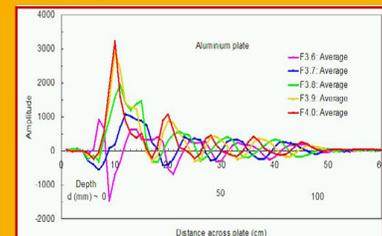
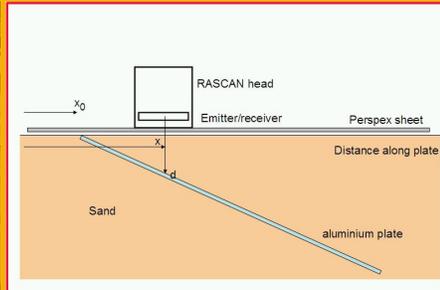
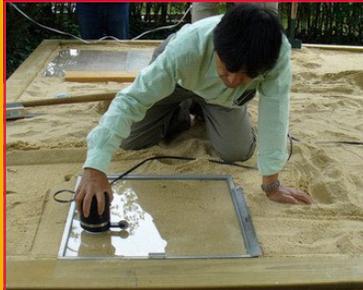


grafico 2

Il radar olografico RASCAN sviluppato dal Laboratorio Remote Sensing of Bauman Moscow State Technical University nell'ambito di un progetto di collaborazione internazionale è ad oggi l'unico radar olografico commerciale disponibile. La figura sotto sulla sinistra mostra la compatta e leggera testa di scansione che è utilizzata per scandire la superficie di un suolo sabbioso, dove è stata sepolta una piastra riflettente di alluminio, come illustrato nel disegno sotto al centro. Questo esperimento, dunque, simula il semplice modello matematico descritto in precedenza per la variazione del segnale di interferenza A con cambio di profondità d . Come si può vedere nella foto sottostante a sinistra, la scansione manuale della superficie è effettuata lungo linee parallele a distanza 10 mm e con un passo di campionamento di 10 mm, quindi la risoluzione delle immagini risulta elevata pari a 10 mm. Il segnale di interferenza è misurato secondo due direzioni di polarizzazione, parallela e perpendicolare alla linea di scansione. Le due polarizzazioni sono molto utili per identificare la forma dell'oggetto riflettente che in generale può essere anche allungata e comunque inclinata rispetto alla direzione di scansione.



L'immagine olografica è prodotta linea per linea al procedere della scansione ed è costruita dal solo segnale di interferenza la cui intensità codificata in scala di colore grigio. Cinque frequenze discrete sono registrate contemporaneamente per garantire che un bersaglio a profondità arbitraria venga rivelato (in quanto la differenza di fase tra l'onda incidente e riflessa può assumere valori che annullano la funzione cosinusoidale). L'immagine in falsi colori (sopra a destra) mostra una elaborazione delle immagini alle cinque frequenze associate a cinque diversi colori (4.0 GHz-rosso, 3,9 GHz-giallo, 3,8 GHz-verde, 3.7 GHz-blu, 3,6 GHz-viola). Il bordo del piano inclinato è posizionato nella metà in basso dell'immagine, in modo che la metà superiore dell'immagine corrisponde alla risposta del suolo sabbioso omogeneo. I segnali oscillanti provenienti dalla piastra inclinata interrata sono chiaramente visibili nella metà inferiore dell'immagine. L'immagine ricorda da vicino la risposta ottica di interferenza prodotta da una lastra di vetro leggermente inclinata. In questo modo si identifica questo andamento oscillante come "effetto zebra". Facendo una media di più linee di scansione adiacenti e rappresentando il segnale demodulato come grafico in funzione della posizione dell'antenna (vedi grafici 1 e 2 nella pagina precedente), si osserva un buon accordo tra il modello teorico e le misure sperimentali.



Facoltà di Ingegneria, progetto NATO, 2007



Per validare l'applicazione dell'olografia a microonde per l'individuazione delle mine, si riporta un esperimento svolto nell'ambito di un progetto NATO presso un campo prova allestito presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Firenze (in alto al centro). La foto sopra, a sinistra, mostra un esperimento in cui sono stati sepolti diversi simulanti di mine in terreno sabbioso leggermente umido. La scansione del campo di prova è stata effettuata sia con il radar olografico sia con un radar impulsivo convenzionale. L'immagine olografica radar è indicata sopra a destra, presenta chiaramente due bersagli di forma circolare (colore giallastro) corrispondenti alle due mine di metallo. In alto a destra si può osservare il simulante di una mina di plastica rappresentata con un colore bluastro a causa della diversa risposta di fase. In basso a destra si nota un simulante di mina PMA-2 in plastica con una caratteristica risposta di fase riportata in colore violaceo. Infine un filo metallico sepolto in diagonale è chiaramente visibile. Invece la forma oblunga in rosso corrisponde all'impronta sulla sabbia della persona che ha effettuato la scansione.

I vari esperimenti effettuati hanno dimostrato che il radar olografico è capace di misurare le variazioni della risposta

di fase indotte da mine anche di tipo plastico sepolte a bassa profondità (fino a 20 cm utilizzando frequenze intorno ai 2 GHz). Inoltre, l'elevata risoluzione spaziale delle immagini consente una discriminazione tramite la forma e le dimensioni degli oggetti sepolti. Al fine di sfruttare le potenzialità del radar olografico per la rivelazione di mine antipersona il gruppo di ricerca sta lavorando verso una soluzione con scansione robotizzata (<http://uscnd.det.unifi.it/congress.htm>) e con la fusione dei dati ottenuti da altri sensori (metal detector e acustico - vibrazionali). Infine la ricerca è stata presentata al 350° anniversario della Royal Society di Londra a Giugno 2010 e lo stand con il dimostrativo è stato visitato da Sua Maestà la Regina Elisabetta II (<http://www.rascan.com/royalsociety>).

