

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA
FACOLTA' DI INGEGNERIA
A.A. 1999/2000

Corso di Robotica

Prof. Riccardo Cassinis



Elisabetta Brognoli
Marco Porta

matr. 030455
matr. 029748

INDICE

INTRODUZIONE	1
TECNOLOGIE PER IL DEMINING	6
SENSORI DI ANOMALIA	7
APPLICAZIONI AVANZATE DEI METAL DETECTOR	7
SISTEMI GPR – Ground Penetrating Radar	8
TECNICHE A INFRAROSSO	10
INDIVIDUAZIONE DI ESPLOSIVO	12
TECNOLOGIE NUCLEARI	12
TNA–Thermal Neutron Activation (o “rivel. di esplosivo con neutroni termici”)	13
FNA-Fast Neutron Activation (o “rivelazione di esplosivo con neutroni veloci”)	16
NQR-Nuclear Quadrupole Resonance (o “risonanza nucleare a quadripoli”)	17
ALTRE TECNOLOGIE	18
PASSIVE MILLIMETER WAVE DETECTION	18
ACUSTICA	19
REAZIONE FORZATA DEL TNT ATTRAVERSO LASER	21
IMS-Ion Mobility Spectrometry	21
CONCLUSIONE	23
Bibliografia	26

INTRODUZIONE

Le mine sono da tempo utilizzate dagli eserciti per proteggere i propri territori ed impedirne l'accesso alle forze avversarie. Quando si combatte una guerra tra eserciti regolari, entrambe le parti sono tenute dalle convenzioni internazionali a mantenere precise mappe dei territori minati, in modo da permettere la rimozione degli ordigni alla fine delle ostilità.

Alle guerre tra eserciti regolari, tuttavia, dobbiamo purtroppo sommare innumerevoli conflitti locali, a sfondo politico o etnico, nei quali le mine rappresentano uno strumento economico per impedire all'avversario l'accesso ad intere regioni. E' facile immaginare come in conflitti di questo tipo nessuna convenzione internazionale venga rispettata, con la conseguenza che intere aree vengono minate senza che resti traccia della quantità delle mine presenti, né della loro posizione.

L'impatto delle mine sulla società ha grande rilevanza: da un punto di vista umanitario, le mine feriscono molto gravemente e talvolta uccidono migliaia di persone civili; da un punto di vista economico, sottraggono risorse all'economia, rendendo impossibile l'utilizzo di zone agricole, riducendo la forza lavoro, aumentando il numero dei disabili ed obbligando ad impegnare frazioni considerevoli degli aiuti economici ricevuti a livello internazionale per la ripresa del Paese nell'assistenza alle vittime.

Gli studi condotti a livello mondiale da organizzazioni quali l'ONU e la Croce Rossa hanno mostrato che le mine disseminate nei vari Paesi ammontano a 100-150 milioni, con concentrazioni elevatissime in alcuni di essi (Tabella 1); oltretutto grandi quantità di ordigni sono conservate negli arsenali, pronte ad essere disseminate.

Di fronte a questa situazione, le Nazioni Unite hanno richiesto con forza che venisse intrapreso un programma mirante allo sviluppo di nuove tecnologie per lo sminamento, con l'obiettivo di ridurre di almeno un ordine di grandezza il costo medio per ordigno neutralizzato (attualmente il costo di mercato per ordigno è di 1-10 Euro, mentre il costo per ogni mina localizzata e distrutta è di 20-100 volte più elevato del suo valore intrinseco).

La richiesta delle Nazioni Unite è divenuta ancora più pressante con l'entrata in vigore del Trattato di Ottawa (marzo 1999), che impegna i circa 30 Paesi firmatari alle seguenti azioni (tra le altre):

1. distruzione degli arsenali di mine entro i prossimi quattro anni;
2. bonifica di tutti i campi minati entro i prossimi dieci anni;
3. assistenza internazionale e cooperazione tecnologica per aiutare gli stati affetti dal problema a raggiungere gli obiettivi del trattato.

NAZIONE	NUMERO TOTALE DI MINE	NUMERO DI MINE PER Km ²
Afganistan	10.000.000	15.4
Angola	15.000.000	12.0
Azerbaijan	100.000	1.15
Bosnia-Erzegovina	3.000.000	58.8
Cambogia	6.000.000	16.9
Cina Repubblica Popolare	10.000.000	1.07
Croazia	3.000.000	53.0
Egitto	23.000.000	22.9
Eritrea	1.000.000	8.3
Etiopia	500.000	0.4
Georgia	150.000	2.1
Iran	16.000.000	10.0
Iraq	10.000.000	23.0
Corea del Sud	200.000	2.1
Mozambico	3.000.000	3.7
Nicaragua	110.000	0.8
Ruanda	250.000	9.5
Somalia	1.000.000	1.6
Sudan	1.000.000	0.4
Ucraina	1.000.000	1.7
Viet Nam	3.500.000	10.6
Yemen	100.000	0.2
Yugoslavia	500.000	4.9

Tabella 1. Nazioni infestate dalle mine terrestri (fonte ONU)

L'obiettivo dello sminamento umanitario (*humanitarian demining*) è dunque quello di bonificare le zone minate, eliminando il 100% degli ordigni esplosivi presenti. Ma cosa significa esattamente sminare un territorio?

Due cose da fare (tra le altre) sono a) capire se il luogo in questione è minato oppure no e b) identificare tutte le mine disseminate nel sottosuolo e/o in superficie.

Si tratta di compiti lunghi e difficili, anche perché esistono tanti tipi diversi di mine, e una tecnica adatta a rilevarne di un certo tipo può risultare inefficiente per tipi diversi.



Figura 1. Assortimento delle mine più comuni

Quando i terreni minati sono costituiti da zone agricole non abitate o da pascoli o da zone desertiche, è possibile bonificare il terreno utilizzando mezzi meccanici che eliminano le mine facendole esplodere o asportando la parte superficiale del terreno. In questo modo viene eliminata una percentuale delle mine presenti che va dall'85% al 95%. Le mine restanti vanno poi identificate in altro modo.

Questo tipo di terreno minato, però, costituisce più l'eccezione che la norma, dato che la maggior parte dei terreni da bonificare sono stati minati molti anni addietro, e sono oggi coperti da una folta vegetazione che impedisce l'approccio precedente. In questi casi, è necessario dapprima eliminare la vegetazione presente, e poi passare alla ricerca degli ordigni.

Nell'uno e nell'altro caso, comunque, diviene ad un certo punto necessaria un'analisi dettagliata del terreno per individuare tutti i punti sospetti.

I mezzi attualmente più utilizzati nell'individuazione di mine anti-uomo sono i *metal detector* (MD). Si tratta di strumenti in grado di rilevare eventuali variazioni del campo elettromagnetico che emettono in prossimità del suolo, provocate dalla presenza di oggetti metallici nel terreno in esame (si veda più avanti per una spiegazione più dettagliata).

In alternativa ai metal detector, si usano talvolta anche degli strumenti noti come *magnetometri*. Si tratta di sensori che, in quanto tali, non irradiano nessuna forma di energia, ma si limitano a misurare la variazione del campo magnetico terrestre, provocata da oggetti presenti nel sottosuolo. Naturalmente i magnetometri funzionano solo per oggetti ferromagnetici (es. UXO - *Unexploded Ordinance* o *munizionamento non esplosivo*), dato che sono questi i soli che possono interferire con il campo magnetico terrestre. [1]

Chiaramente, né i metal detector, né i magnetometri, sono in grado di differenziare una mina o un UXO da un qualsiasi frammento metallico, e questo costituisce un grosso limite, visto che la maggior parte dei terreni che sono stati campi di battaglia, e che quindi sono probabilmente anche disseminati di mine anti-uomo, contengono in misura altrettanto elevata tali frammenti metallici. Come conseguenza, diventa elevatissima la frequenza di falsi allarmi, ognuno dei quali provoca una grande perdita di tempo ed energie.

E' documentato che nelle campagne finanziate dall'ONU in Afghanistan si è arrivati al punto di individuare un unico segnale corrispondente effettivamente ad una mina ogni 1000 allarmi. [15]

Inoltre, le mine moderne spesso vengono costruite senza nessun componente di metallo, fatta eccezione per l'ago del percussore. Per rilevare mine di questo tipo è necessario impostare i metal detector in modo che abbiano una sensibilità elevatissima (possono arrivare a identificare un decimo di grammo di metallo ad una profondità di 10 centimetri), ma questo fa sì che vengano rilevati anche frammenti metallici minuscoli, cosa che accresce considerevolmente la frequenza dei falsi allarmi.

L'obiettivo che ci si pone è dunque quello di riuscire ad avere strumenti che sappiano individuare mine anti-uomo in modo sufficientemente affidabile e con una bassa frequenza di falsi allarmi.



Figura 2. Una tipica mina anti-uomo a basso contenuto metallico (tipo 72)



Figura 3. Altro esempio di mina anti-uomo a contenuto metallico minimo (diametro 8cm, altezza 3.5cm)

In ogni caso, poi, indipendentemente dallo strumento utilizzato per individuare la possibile presenza di una mina, lo sminatore deve ad un certo punto passare alla fase di *prodding*, cioè deve “pungolare” il terreno con un’asta metallica rigida di circa 25cm, al fine di verificare l’effettiva presenza di oggetti sepolti. Ogni volta che sente qualcosa, lo sminatore deve controllare il contorno dell’oggetto per verificare se effettivamente si tratta di un ordigno esplosivo.

Questo pungolamento del terreno è attualmente l’unico modo esistente che garantisca una individuazione esaustiva delle mine in un territorio (unitamente ad una procedura che prevede di scavare il terreno quando il pungolamento non è efficace, ad esempio in terreni molto sassosi).

Si tratta naturalmente di un compito molto pericoloso: è possibile infatti che la mina sia ruotata su un lato e che quindi lo sminatore preme con l’asta la parte della mina sensibile alla pressione, piuttosto che la superficie laterale.

Si tratta inoltre di un compito molto lento: richiede, per ogni oggetto individuato, da 2 a 20 minuti a seconda della natura del terreno, e un uomo può arrivare ad analizzare tra i 20 e i 50 m² al giorno.

Se l'ispezione conferma la presenza di una mina, si passa dapprima alla fase di rimozione del terreno e poi alla neutralizzazione dell'ordigno e alla sua rimozione.

Questo comporta in media 30 minuti, cosicché la neutralizzazione di un singolo ordigno viene in genere completata in un tempo che va dai 30 ai 50 minuti.

I costi e i tempi riportati da rapporti internazionali a proposito dello sminamento nel mondo sono impressionanti.

Durante la campagna del 1995 in Cambogia hanno lavorato 3000 sminatori per un anno, ripulendo soltanto 12km² di campi minati e neutralizzando 50000 ordigni, con 10 incidenti mortali tra il personale impegnato. Il costo totale della campagna è stato di 8 milioni di Euro, con un costo medio per mina neutralizzata di 160 Euro.

E' stato stimato che per bonificare l'intero territorio della Cambogia, procedendo di questo passo, occorrerebbero 15.000 anni. [15]

Nel seguito, passeremo in rassegna le moderne tecnologie e i moderni sensori sviluppati per lo sminamento al fine di migliorare l'efficienza nel rilevamento delle mine, e cercheremo di evidenziare i pro e i contro dell'utilizzo di robot autonomi o telecomandati per l'utilizzo effettivo di queste tecniche; cercheremo inoltre di provare che l'utilizzo di "robot sminatori" è spesso molto vantaggioso e talvolta indispensabile per l'efficiente utilizzo di molti fra questi sensori e queste tecnologie.

TECNOLOGIE PER IL DEMINING

Trattando di tecnologie per il demining, occorre innanzitutto distinguere tra i cosiddetti sensori di anomalia e i sistemi in grado di rilevare direttamente l'esplosivo.

Per *sensori di anomalia* si intendono quei dispositivi che cercano i punti del terreno in cui vi è una discontinuità nelle proprietà medie di tipo elettromagnetico, acustico o termico.

Queste discontinuità, infatti, derivano dalla presenza di oggetti estranei nel terreno stesso, che presentano delle caratteristiche del tutto indipendenti da quelle di ciò che li circonda: rilevando queste discontinuità, si rilevano così gli oggetti che le provocano.

I sensori di anomalia sono in genere degli strumenti veloci che permettono di analizzare il terreno in tempo reale, anche se spesso sono affetti dal problema dei falsi allarmi: essi infatti rilevano una discontinuità nel terreno, ma non possono sapere a priori se l'oggetto che la provoca sia una mina oppure no. Questo, naturalmente, riduce significativamente la loro efficienza.

Non sono affetti da questo problema i *sistemi che rilevano la presenza di esplosivo*, dato che questo costituisce una prerogativa tipica delle mine.

Attualmente, gli unici veri rilevatori efficienti di esplosivo utilizzati sul campo sono i cani, che si sono rivelati degli ottimi alleati degli sminatori, in virtù della loro elevatissima sensibilità olfattiva. Riescono infatti a percepire l'odore delle mine anche dopo anni che sono state interrate, e possono rilevare piccolissime quantità di esplosivo (10-13g), caratteristica che li rende naturalmente molto affidabili.

Hanno problemi a localizzare le mine in modo accurato, a causa del fatto che l'odore dell'esplosivo può penetrare nel suolo e nella vegetazione per un'area che può raggiungere, in alcuni mesi, anche 10m di distanza dall'effettiva posizione della mina, ma restano formidabili per capire se un dato territorio è minato oppure no.

I limiti nell'utilizzo dei cani stanno nel fatto che si stancano presto, sono molto sensibili alle condizioni ambientali e alla direzione del vento, necessitano di lunghi (e costosi) periodi di addestramento.

In alternativa all'impiego dei cani, si ritiene fattibile ricorrere ai cosiddetti nasi artificiali e all'impiego di tecniche nucleari.

SENSORI DI ANOMALIA

APPLICAZIONI AVANZATE DEI METAL DETECTOR

Tutti gli strumenti che individuano il metallo (e quindi anche i metal detector) sono di natura elettromagnetica ed hanno un certo numero di caratteristiche comuni.

Una parte dello strumento contiene una o più spire percorse da una corrente tempo-variante, la quale dà origine ad un campo magnetico pure tempo-variante, che si propaga attraverso il suolo, ed anche attraverso eventuali oggetti metallici in esso presenti. Questi eventuali oggetti metallici presenti nel terreno modificano il campo originario o, più precisamente, generano un secondo campo magnetico, che raggiunge le spire della parte antistante dello strumento (talvolta si tratta delle stesse spire che avevano prodotto il campo magnetico originario, talaltra di spire diverse) e inducono una tensione elettrica nelle spire riceventi (o nella spira ricevente).

Dunque, il rilevamento di una tensione indotta permette di dedurre la presenza di un oggetto metallico.

Al di là di queste caratteristiche comuni, esistono poi molte varianti: il numero di spire (una, due o tre), la “forma” (cioè l’estensione spaziale) del campo magnetico primario, la frequenza dell’onda trasmessa, la forma dell’onda trasmessa (sinusoidale o impulsiva), la “caratteristica” principale con cui gli oggetti magnetici rispondono al campo che li raggiunge (permeabilità magnetica o conduttività elettrica), il modo in cui l’elettronica riesce a discriminare la tensione indotta (molto debole) dalle tensioni (potenzialmente molto maggiori) provocate dalle spire dello strumento anche in assenza di qualsiasi oggetto metallico. Il fattore più importante è proprio quest’ultimo, essendo quello che determina la sensibilità dello strumento.

Anche i metal detector funzionano sulla base di questi principi fondamentali, misurando in sostanza ciò che ottengono dal suolo in risposta al campo elettromagnetico che emettono.

I metal detector utilizzati nel demining si sono raffinati sempre più con il passare degli anni, ma il loro vero punto debole continua a restare l’elevata frequenza di falsi allarmi, dovuta all’individuazione di frammenti metallici presenti nel terreno che si sta ispezionando.

Alcuni ritengono che questi strumenti abbiano ormai raggiunto il limite del loro sviluppo, mentre altri hanno giustamente osservato che esistono molti altri campi in cui i metal detector sono usati con successo per fornire informazioni relative all’oggetto in esame che vanno ben oltre il semplice “bip” emesso all’individuazione dell’oggetto stesso.

E’ quindi iniziata una certa ricerca finalizzata a migliorare anche i metal detector utilizzati nel demining.

Per esempio, si parla oggi di metal detector “intelligenti”, che riescono a produrre in output la dimensione e il tipo di oggetto e la profondità a cui si trova; oppure di “*visualizing metal detector*” che dovrebbero essere in grado di restituire un’immagine bidimensionale di oggetti metallici sotterrati. Un esempio di sistema già esistente e

commercializzato è il metal detector HILTI Ferroskan, che sa fornire un'immagine bidimensionale di oggetti ferromagnetici. [6]

Questo strumento è stato sviluppato all'interno dalla HILTI Corporation (Schaan, Liechtenstein) per applicazioni di ingegneria civile, e quindi non è applicabile al demining così com'è.

Tuttavia, si è cercato, nell'ambito del progetto DeTeC (*Demining Technology Center*) interno all'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), di modificarlo al fine di renderlo adatto all'attività di demining.

Ci si aspettano i risultati migliori nell'individuazione di oggetti ferromagnetici non troppo piccoli, come per esempio delle mine a contenuto metallico non troppo basso e situate ad una profondità ridotta nel terreno, mentre ci si aspettano risultati subottimi per oggetti non ferromagnetici e/o isolati, nel senso che l'individuazione di un singolo punto metallico nel terreno potrebbe, sì, essere d'aiuto per uno sminatore, ma di per sé sarebbe insufficiente per prendere una decisione.

D'altro lato, si stanno facendo studi per vedere se è possibile diminuire significativamente la frequenza di falsi allarmi.

Per esempio, è stato tentato l'utilizzo di un metal detector che fosse alla ricerca non di una semplice onda riflessa, ma di una caratteristica curva di decadimento provocata dall'oggetto eventualmente rilevato nel terreno, curva da confrontare con una serie di curve memorizzate in un database. Questo naturalmente al fine di identificare l'oggetto responsabile della riflessione dalla sua specifica curva.

Esiste una serie di problemi connessi con questo metodo di ricerca, dovuti per esempio al fatto che la curva dipende da diversi fattori, come l'orientamento dell'oggetto nel terreno, il tipo di metallo di cui è fatto, ... e dovuti naturalmente anche al fatto che il confronto può essere fatto solo con curve tipiche di oggetti noti a priori, ma l'approccio potrebbe essere promettente.

Un'altra applicazione interessante è costituita dal *magnetometro oscillante* (MWM = *Meandering Winding Magnetometer*). Si tratta di uno strumento che genera un campo elettromagnetico spazialmente periodico, la cui lunghezza d'onda dipende unicamente dalla periodicità spaziale. In linea di principio, attraverso l'uso di questo strumento, è possibile determinare molte caratteristiche di un oggetto metallico sepolto (dimensione, forma, ...) e si sta attualmente investigando circa il suo utilizzo nell'ambito del demining. [1] [4] [5] [6] [7]

SISTEMI GPR – Ground Penetrating Radar

I sistemi GPR (*Ground Penetrating Radar*) funzionano emettendo in direzione del terreno un impulso elettromagnetico attraverso un'antenna trasmittente e misurando, per mezzo di un'antenna ricevente, le riflessioni che provengono in risposta dal terreno stesso.

Le misure raccolte permettono di rilevare la presenza di un qualche oggetto al di sotto del suolo.

Infatti, una qualsiasi discontinuità dielettrica in un mezzo di propagazione, dovuta per esempio alla presenza di un oggetto, sarà causa di una variazione nell'impedenza elettromagnetica del mezzo che l'onda sta attraversando, e quindi di una riflessione, la cui intensità sarà tanto maggiore quanto più sarà elevata la differenza nei coefficienti dielettrici del mezzo e dell'oggetto.

La permittività del terreno varia tipicamente da 4 a 40; un così vasto intervallo è in parte dovuto anche al fatto che in genere un terreno bagnato presenta una permittività più alta rispetto a quella dello stesso terreno asciutto (la permittività dell'acqua è 80). Al contrario, la permittività di oggetti plastici spazia in un range limitato ([2,6]).

Gli impulsi tipici che si usano in un sistema GPR durano per un intervallo di tempo dell'ordine del nanosecondo, o anche meno, ed hanno un tempo di salita di qualche centinaio di picosecondi, cosa che corrisponde a frequenze che vanno dal centinaio di MHz a 1 o 2 GHz.

In genere, servirebbero frequenze alte per ottenere una buona risoluzione spaziale; tuttavia la profondità di penetrazione dei campi elettrici è inversamente proporzionale alla frequenza, e questo fa sì che utilizzando frequenze troppo alte non si riesca a penetrare nel terreno più di pochi centimetri. Si ritiene che un buon compromesso al fine di rilevare mine anti-uomo sia costituito da un sistema con un'antenna che lavora ad una frequenza centrale di 1GHz; questo infatti permette di raggiungere profondità di 1m nella maggior parte dei terreni con una risoluzione dell'ordine di qualche centimetro.

Bisogna inoltre sottolineare che la profondità di penetrazione dipende anche dal tipo di terreno in oggetto, dato che terreni diversi presentano diverse attenuazioni. Per esempio, la sabbia del deserto ha un'attenuazione di 1dB/m alla frequenza di 1GHz, mentre l'argilla ha un'attenuazione di 100 dB/m alla stessa frequenza.

Comunque, quello che si fa è emettere un impulso elettromagnetico verso il terreno e rilevare un'eventuale riflessione. L'onda riflessa viene campionata e digitalizzata attraverso un convertitore A/D.

Muovendo l'antenna lungo una linea e memorizzando i dati dell'onda riflessa ad intervalli di spazio regolari, è possibile costruire un'immagine rappresentante una fetta verticale del suolo.

Attraverso l'analisi computerizzata dei dati raccolti, è poi possibile, partendo da queste immagini bidimensionali, ricostruire l'effettiva immagine tridimensionale degli oggetti.

Questa tecnica è stata utilizzata per lungo tempo nell'ingegneria civile, nella geologia e nell'archeologia, al fine di individuare oggetti sepolti e di studiare le caratteristiche dei vari tipi di suolo. Quindi è una tecnica ben consolidata; quello che veramente ancora manca è l'utilizzo di algoritmi efficienti che permettano un riconoscimento automatico degli oggetti.

Inoltre, anche se questa tecnologia è promettente al fine dell'individuazione di mine anti-uomo, non vanno dimenticati i suoi limiti intrinseci, come per esempio il fatto che le frequenze necessarie per individuare oggetti relativamente piccoli (attorno al GHz) limitano significativamente la profondità di penetrazione.

Da non sottovalutare è anche il fatto che il prezzo necessario per realizzare una tale tecnica è ben al di sopra di quello dell'attrezzatura tradizionale. [1] [3]

A titolo di esempio, riportiamo delle immagini prodotte da un sistema GPR durante degli esperimenti condotti sempre nell'ambito del progetto DeTeC interno all'EPFL. [4]

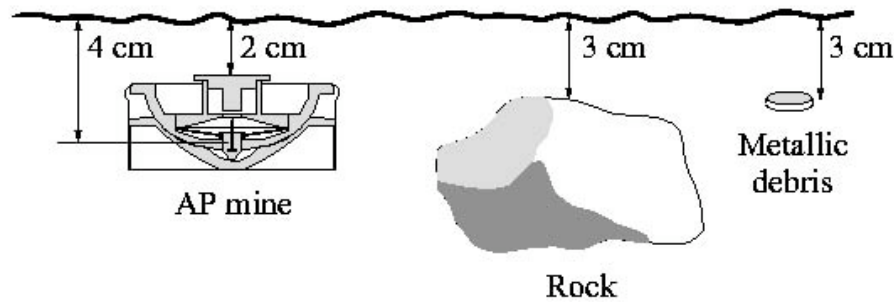


Figura 4. Oggetti analizzati con un sistema GPR

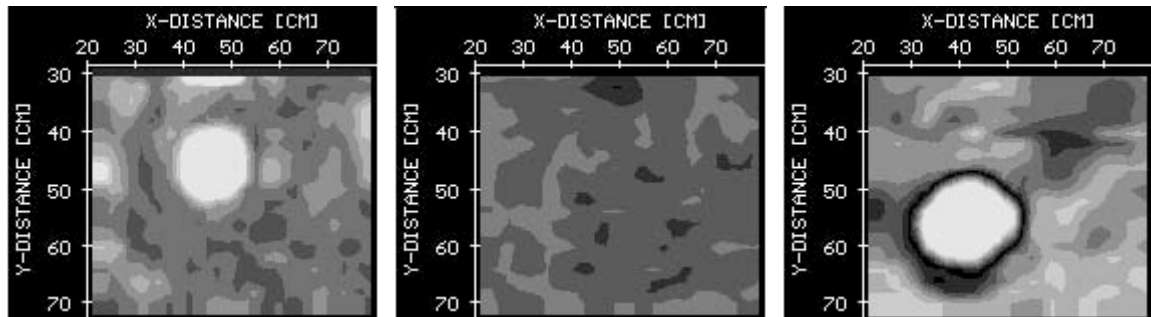


Figura 5. Immagini ottenute

TECNICHE A INFRAROSSO

Le mine sepolte nel sottosuolo presentano una densità diversa rispetto a quella del terreno circostante, e quindi trattengono e rilasciano calore ad una velocità differente rispetto al terreno stesso.

Il contrasto termico tra una mina e il terreno circostante può essere identificato utilizzando una tecnologia ad infrarosso (IR), specialmente quando si dispone di fotografie di una zona minata appena dopo il tramonto e immediatamente dopo l'alba.

Quando una mina è sepolta da tempo, il contrasto termico si rileva solo in prossimità degli immediati confini della mina stessa; si parla in questo caso di *effetto di volume*.

Se invece la mina è stata sepolta da poco, e quindi il terreno adiacente è stato recentemente smosso, il contrasto termico è rilevabile anche ad una certa distanza dalla mina, la cui individuazione risulta quindi facilitata. In questo caso si parla di *effetto di superficie*. L'*effetto di superficie* è riscontrabile per alcune settimane dopo il seppellimento della mina.

Con un'analisi di questo tipo, la massima profondità a cui si può trovare la mina per essere identificata è di 10-15cm.

Un problema è dato dal fatto che i risultati ottenuti possono dipendere fortemente dalle condizioni ambientali, e ci sono periodi durante la giornata (soprattutto mattina e pomeriggio) in cui il contrasto termico è minimo e la mina diviene non individuabile. [1] [2]

Le due figure seguenti mostrano dei risultati ottenuti con queste tecnologie.

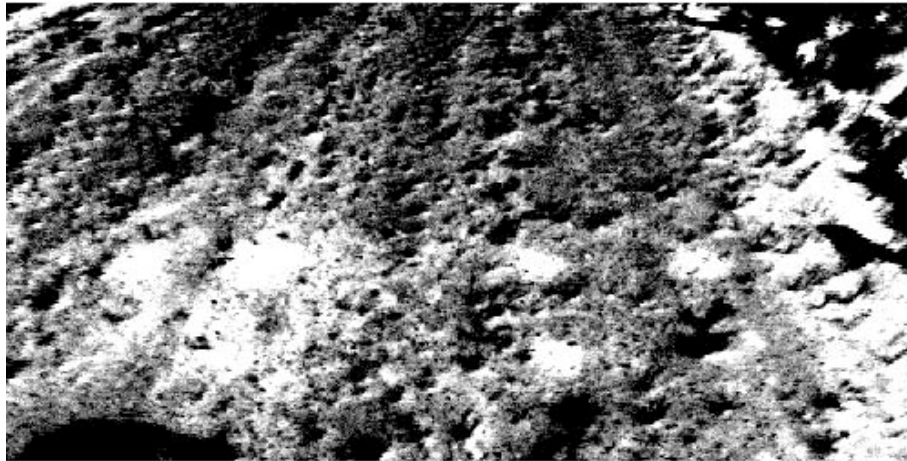


Figura 6. Immagine IR diurna (14.15)

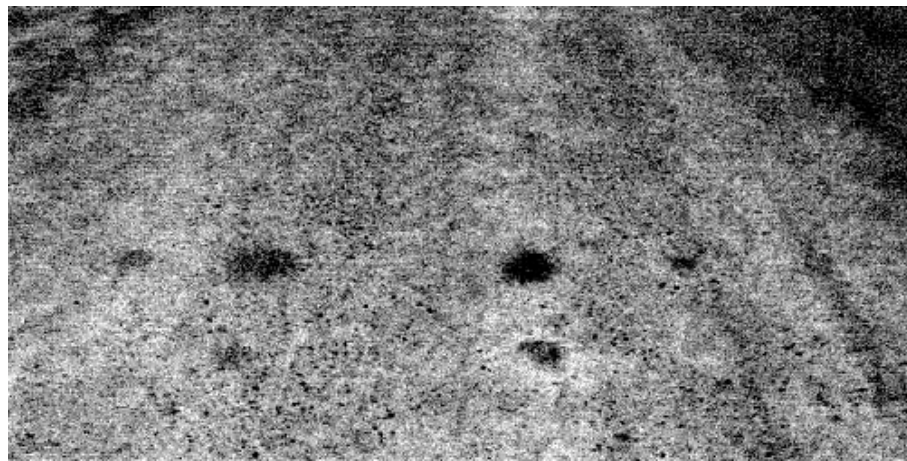


Figura 7. Immagine IR notturna (04.45)

Le tre chiazze nell'angolo basso a sinistra della figura 7 sono provocate da mine sepolte recentemente; la chiazza più larga corrisponde ad una mina anti-carro, mentre le altre due a due mine anti-uomo. Analogamente, le tre chiazze che si vedono nell'angolo basso a destra corrispondono a una mina anti-carro e a due mine anti-uomo, ma sono provocate da mine sepolte da molto più tempo. Le chiazze sono visibili anche nella figura 6, ma in esse risultano chiare.

INDIVIDUAZIONE DI ESPLOSIVO

Come abbiamo già sottolineato, molte mine moderne contengono metallo solo in piccolissima parte, rendendo molto difficile la loro individuazione attraverso dei sensori di anomalia; questo ha reso necessario lo sviluppo di sistemi in grado di individuare direttamente l'esplosivo.

Come evidenziato sopra, l'utilizzo dei cani nell'individuazione di esplosivo è, da un lato, molto utile, ma, dall'altro, anche piuttosto problematico.

A partire dall'osservazione dei cani, però, diversi gruppi di ricercatori hanno pensato di sviluppare dei sistemi che ne imitino il comportamento.

Non si tratta di un'impresa facile, anche perché non è del tutto chiaro che cosa i cani davvero sentano: se sentono unicamente l'esplosivo o anche altre sostanze presenti nelle mine o addirittura anche altre particelle depositatesi nel suolo circostante le mine, e se usano esclusivamente l'olfatto oppure anche altri sensi.

Ad ogni modo, sensori artificiali di odori e di vapori sono stati realizzati, anche se spesso si sono rivelati molto lenti ed ingombranti.

In alternativa, appare molto promettente l'utilizzo di tecnologie nucleari.

TECNOLOGIE NUCLEARI

Le tecnologie nucleari sfruttano la proprietà dei neutroni di essere una radiazione penetrante per investigare il contenuto interno di oggetti non ispezionabili in altro modo.

Inoltre, alcuni prodotti delle reazioni nucleari indotte dai neutroni sui nuclei degli oggetti in esame possono essere a loro volta radiazioni penetranti, che possono dunque fuoriuscire dall'oggetto in esame ed essere rilevate.

Grazie a queste tecniche, si riesce a rivelare la presenza di esplosivo in un punto sospetto attraverso l'individuazione di una concentrazione anomala di ^{14}N .

Infatti tutti gli esplosivi sono caratterizzati da un'elevata presenza di azoto (in una quantità che può variare dal 17 al 35% del peso totale – tabella 2).

Viceversa, il terreno e i possibili materiali in esso contenuti presentano una percentuale di azoto inferiore allo 0.1%, anche in terreni fertilizzati. [15]

Analizzeremo qui tre fra le tecniche nucleari più promettenti:

1. TNA (*Thermal Neutron Activation*)
2. FNA (*Fast Neutron Activation*)
3. NQR (*Nuclear Quadrupole Resonance*)

MATERIALE	STATO FISICO	DENSITA' (g/cm ³)	H (%)	C (%)	N (%)	O (%)	ALTRO
Nitroglicerina	Liquido	1.6	2.2	15.9	18.5	63.4	
Nitrato di ammonio	Solido	1.7	5.0	0.0	35.0	58.0	
Polvere nera	Solido	1.7 – 1.95	0.5	11.0	10.5	36.0	10% S 29% K
Nitrocellulosa	Solido	1.5 – 1.7	2.4	24.3	14.1	59.2	
PETN	Solido	1.76	2.4	19.0	17.7	60.7	
TNT	Solido	1.5 – 1.6	2.2	37.0	18.5	42.3	
C-3	Solido	1.58 – 1.62	2.9	22.8	32.8	41.6	
C-4	Solido	1.64 – 1.66	3.6	21.9	34.5	40.2	
Comp B	Solido	1.71	2.7	24.4	30.5	42.7	
Tetryl	Solido	1.57 – 1.71	1.8	29.3	24.4	44.6	
Dinamite	Solido	1.25	4.0	14.0	15-20	59	10% Na
Trinitroanisole	Solido	1.41	2.1	34.6	17.3	46.1	
Trinitroxilene	Solido	1.60	3.5	42.4	16.5	37.6	
Cordite	Solido	1.66			13.1		

Tabella 2. Proprietà fisiche e composizione percentuale in peso di alcuni materiali esplosivi

TNA–Thermal Neutron Activation (o “rivel. di esplosivo con neutroni termici”)

La rivelazione di esplosivo con neutroni termici si basa sul fatto che nella reazione di cattura $^{14}\text{N}(n,\gamma)$ viene prodotto con buona probabilità un fotone avente un'energia $E_\gamma=10.8\text{MeV}$. Questa energia è maggiore di quelle dei fotoni emessi nelle reazioni di cattura neutronica, che variano tipicamente dai 6 agli 8 MeV, quindi il segnale che evidenzia la presenza di azoto si colloca ben visibilmente in una regione di relativo basso fondo (alte energie) dello spettro gamma.

Un sensore nucleare di questo segnale potrebbe essere impiegato con successo nell'individuazione di mine interrate, come strumento di conferma dopo lo scanning operato da sensori di anomalia.

La massima probabilità della cattura in azoto si ha per neutroni che abbiano energie termiche ($E_n=0.0025\text{eV}$). Per questo motivo è necessario termalizzare i neutroni veloci prodotti dalle sorgenti radioisotopiche generalmente utilizzate (il ^{252}Cf emette neutroni con energia media $E_n=2\text{MeV}$).

Quando si indaga la presenza di mine nel sottosuolo, i neutroni vengono in parte moderati anche dal terreno, ma non a sufficienza; quindi va utilizzato anche un moderatore esterno per ottimizzare il processo e rendere i tempi di misura accettabili.

Questo processo di moderazione riduce di almeno due o tre ordini di grandezza (a seconda del moderatore utilizzato) il flusso neutronico efficace.

I neutroni degradati in energia del moderatore esterno si diffondono nel terreno e, in presenza di nuclei di azoto, producono, tra gli altri, i gamma con un energia $E_\gamma=10.8\text{MeV}$. I fotoni di questa energia non vengono attenuati dalla presenza del terreno, e possono essere rivelati da opportuni scintillatori (tipicamente NaI(Tl)), posizionati vicino alla sorgente di neutroni per ottimizzare l'efficienza geometrica del sensore.

Un sensore di questo tipo è attualmente in sperimentazione nell'ambito del progetto EXPLODET (EXPLOsive DETection) dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) (figura 8). [15]

Dati sperimentali ottenuti con un sensore che utilizza una sorgente neutronica di ^{252}Cf da 10^7 neutroni/s e quattro rivelatori gamma, mostrano che è possibile rivelare mine anti-carro contenenti circa 1.2kg di azoto interrate fino a 10cm in un tempo dell'ordine del mezzo minuto. Per individuare mine anti-uomo contenenti 0.1kg di azoto sono necessari invece tempi di misura di 6-7 minuti. Infine, per rivelare quantità di circa 0.5kg di azoto in superficie, sono sufficienti tempi di misura di circa 30 secondi.

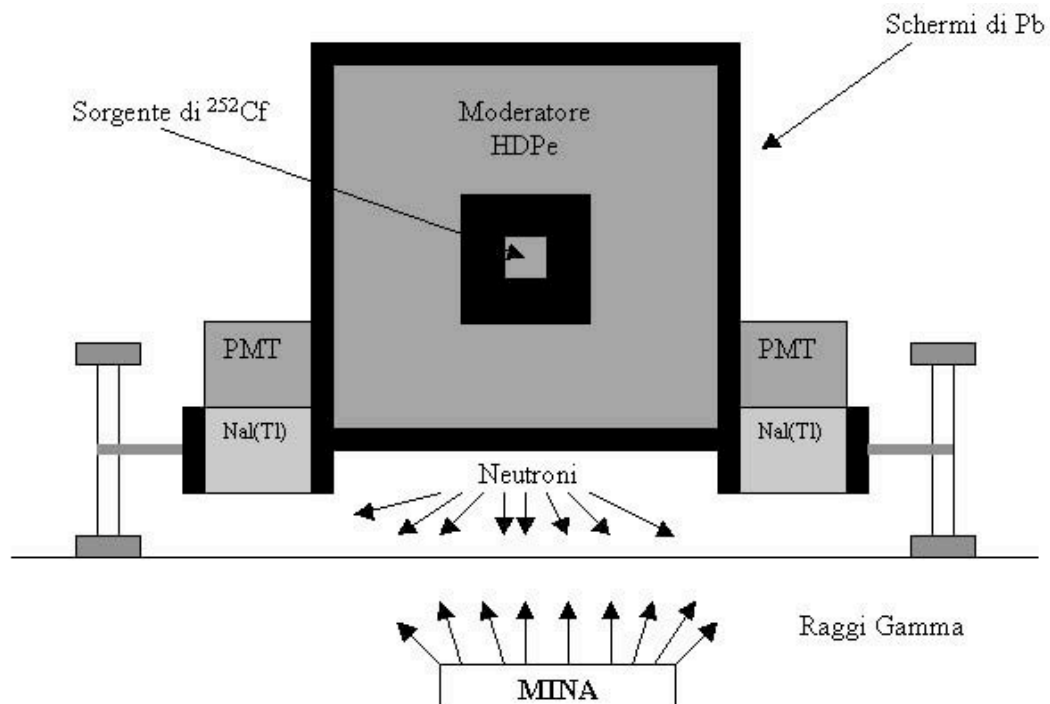


Figura 8. Disegno schematico del sensore per neutroni termici in fase di sviluppo nell'ambito del progetto EXPLODET. Il sensore, montato su di un carrello leggero di alluminio, consta di una sorgente di ^{252}Cf inserita in un moderatore composto di Pb e polietilene ad alta densità (HDPe). I raggi gamma sono rivelati in un array di almeno quattro rivelatori a scintillazione NaI(Tl) di forma cilindrica con diametro di 7.5cm ed altezza 7.5cm

Nell'ambito del progetto EXPLODET sono inoltre in fase di sviluppo degli studi dedicati a verificare:

- la possibilità di sostituire i rivelatori NaI(Tl) con i CsI(Tl) letti da fotodiodo, che, essendo più robusti ed economici, permetterebbero di massimizzare il numero di rivelatori a scintillazione utilizzabili nel sensore;

- la possibilità di calibrazione energetica ed analisi automatica dello spettro gamma, realizzata attraverso sistemi di reti neurali finalizzate a realizzare un sistema intelligente di controllo del ciclo di misura, ricerca e valutazione quantitativa del segnale provocato dal fotone avente energia di 10.8MeV;
- lo sviluppo di elettronica dedicata.

Tutto questo naturalmente al fine di realizzare un prototipo di sensore completamente automatico, che possa essere incluso in un sistema ibrido (per esempio con un metal detector).

Sono stati condotti esperimenti relativi alla tecnologia TNA anche da parte dell'esercito americano, che ha realizzato una struttura che pesa globalmente circa 180kg ed è mostrata in figura 9, durante degli esperimenti su campo realizzati dall'esercito stesso. [1]

Il sensore ha dato buoni risultati per le mine anti-carro, mentre si è rivelato molto più inefficiente nell'individuazione di mine anti-uomo, a causa della quantità inferiore di esplosivo che contengono.



Figura 9. Sensore TNA



Figura 10. Veicolo utilizzato per gli esperimenti realizzati con il sensore di figura 9



Figura 11. Veicolo utilizzato per gli esperimenti realizzati con il sensore di figura 9

FNA-Fast Neutron Activation (o “rivelazione di esplosivo con neutroni veloci”)

La tecnologia FNA utilizza neutroni veloci per indurre reazioni di eccitazione inelastica $A(n,n'\gamma)A$ o in generale reazioni $A(n,x\gamma)B$ in cui vengono emessi raggi gamma utilizzabili per identificare i nuclei presenti nel campione.

Rispetto alla tecnica TNA, la tecnica FNA presenta i seguenti vantaggi:

- i neutroni non devono essere termalizzati e quindi il flusso nominale prodotto dalla sorgente è totalmente utilizzato per indurre le reazioni volute;
- la sezione d'urto per la produzione di specifici gamma indotta da neutroni veloci sui nuclei leggeri caratteristici dell'esplosivo (C, N, O) è in genere maggiore di quella corrispondente all'emissione di un singolo fotone in una reazione di cattura;
- tramite l'analisi dello spettro gamma prodotto con neutroni veloci è possibile determinare l'abbondanza relativa dei nuclei di C, N e O presenti nei campioni nascosti.

Quest'ultimo punto è di fondamentale importanza per discriminare il materiale esplosivo da oggetti di uso comune che presentano un alto tenore di azoto.

Uno svantaggio, tuttavia, che questa tecnica presenta nei confronti della tecnologia TNA è costituito dal fatto che gli spettri gamma risultano in genere più complessi.

Sono stati prodotti dei prototipi di questi sensori da utilizzarsi in applicazioni aeroportuali. Questi prototipi utilizzano dei generatori elettrostatici per generare i neutroni veloci e un array complesso di rivelatori gamma, cosa che li rende estremamente costosi (circa 5 milioni di Euro).

Nell'ambito della ricerca di mine sepolte, appare più realistico ipotizzare l'utilizzo di sorgenti elettroniche portatili, in grado di produrre neutroni da 14MeV con flussi da 10^7 a 10^{11} neutroni al secondo. E questo non solo per ragioni di costo (sono in commercio strumenti da circa 0.1 milioni di Euro), ma anche di peso e di compattezza.

NQR-Nuclear Quadrupole Resonance (o “risonanza nucleare a quadripoli”)

La tecnologia NQR è una spettroscopia a radiofrequenza, simile alla risonanza magnetica nucleare (NMR) e ad una tecnica nota come *magnetic resonance imaging* (MRI). A differenza di queste, però, non è necessario generare un campo magnetico per poterla applicare.

La tecnica si basa sul fatto che gli elettroni di valenza dagli atomi allineano i propri spin lungo direzioni ben definite.

L'energia associata a questo allineamento è abbastanza piccola. A temperatura ambiente circa lo stesso numero di elettroni è allineato parallelamente e antiparallelamente a queste direzioni, ma una delle due popolazioni predomina leggermente (circa 1 su 10^7 spin nel caso dell'azoto). Applicando un impulso con frequenza pari a questa energia, si causa un'eccitazione negli elettroni e, quando questi ritornano nella loro posizione di riposo, è possibile osservare un segnale, noto come segnale NQR. Per l'azoto, la frequenza di risonanza va da 0 a 6 MHz, mentre il TNT ha 18 diversi punti di risonanza, 12 dei quali sono compresi tra i 700 e i 900 KHz (frequenze AM delle radio commerciali). Le frequenze NQR per gli esplosivi sono molto specifiche e non si trovano negli altri composti dell'azoto.

La procedura che permette di individuare la presenza di mine è la seguente: si emette un impulso RF (radio frequenza) alla frequenza di interesse e si riceve il segnale di ritorno. L'intensità di tale segnale è proporzionale alla quantità di esplosivo.

Il processo richiede circa 10 secondi, ed è molto efficiente, in quanto la ricorrenza di falsi allarmi è pari circa all'1% ed è sufficiente uno spessore di 2 o 3 millimetri perché ci sia la rilevazione.

Inoltre, una cosa importante è che non si genera semplicemente un allarme per la presenza di esplosivo, ma si identifica esattamente il tipo di esplosivo.

Non mancano, tuttavia, gli svantaggi: il segnale NQR è molto debole in confronto al rumore termico e spesso sono necessari segnali di una certa potenza. La ricerca è volta a migliorare il rapporto segnale/rumore attraverso l'utilizzo di sequenze di impulsi efficienti e a cercare di ricorrere a onde radio a bassa potenza. Altro svantaggio è che involucri metallici neutralizzano l'azione del dispositivo di rilevamento.

La figura seguente illustra il segnale ricevuto in presenza di due tipi diversi di esplosivo.

Si vede che i picchi sono in corrispondenza di particolari frequenze, uniche per ogni sostanza.

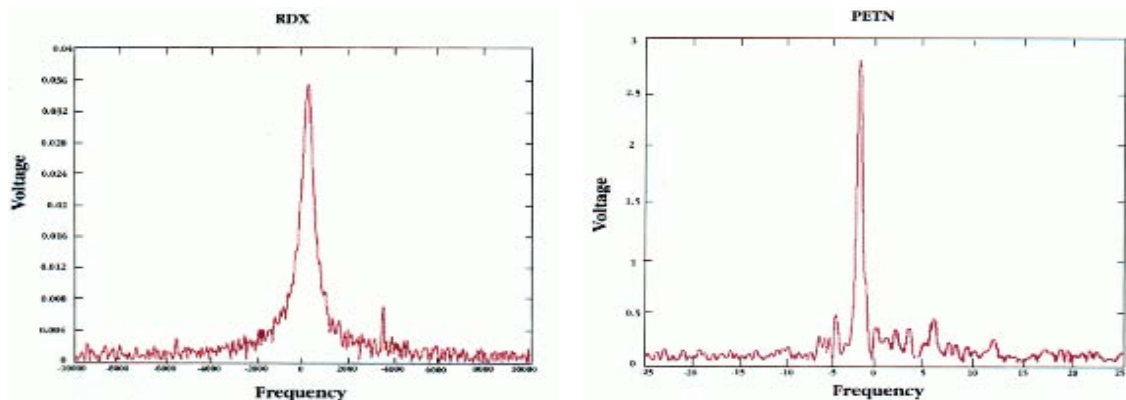


Figura 12. Segnale NQR per esplosivo RDX (a sinistra) e per esplosivo PETN (a destra)

ALTRE TECNOLOGIE

PASSIVE MILLIMETER WAVE DETECTION

Questa tecnologia sfrutta l'energia elettromagnetica associata allo spettro situato tra le microonde e gli infrarossi.

A frequenze d'onda millimetrica, questa energia può essere prodotta sia elettronicamente che termicamente. Proprio a causa del fatto che questa energia può essere generata termicamente, ogni corpo che si trovi a temperatura ambiente la emette naturalmente.

Questo significa che un sistema basato su questa tecnologia può funzionare sia in un modo attivo (illuminando l'oggetto da analizzare con l'energia in questione), sia in modo passivo.

Noi siamo interessati appunto a questo modo passivo: quello che si fa è misurare il contrasto tra l'energia emessa dal suolo e quella emessa da oggetti in esso sepolti, per mezzo di uno strumento noto come radiometro d'onda millimetrica (*millimeter wave radiometer*). Degli esperimenti condotti in laboratorio hanno dimostrato la possibilità di individuare oggetti metallici posti 7-8 cm al di sotto di sabbia asciutta, lavorando a una frequenza di 44GHz.

Sono stati fatti test anche su oggetti plastici, a frequenze di 44GHz, 12GHz e recentemente anche 5GHz. Come detto, l'utilizzo di frequenze più basse migliora la penetrazione nei terreni, specialmente in quelli umidi, anche se fa perdere qualcosa in termini di risoluzione spaziale.

Come risultato degli esperimenti sono state prodotte delle immagini bidimensionali rappresentanti mine coperte da foglie o sepolte ad una profondità ridotta (1-2 cm) (figura 13). [1] [10]

I radiometri passivi MMW sono degli strumenti più semplici dei GPR e risentono meno dei disturbi. Inoltre possono essere usati per generare immagini bidimensionali di oggetti situati in superficie (eventualmente ricoperti da leggera vegetazione) o sepolti a profondità ridotte (alcuni centimetri), con dei risultati migliori su terreni asciutti e relativamente a oggetti metallici.

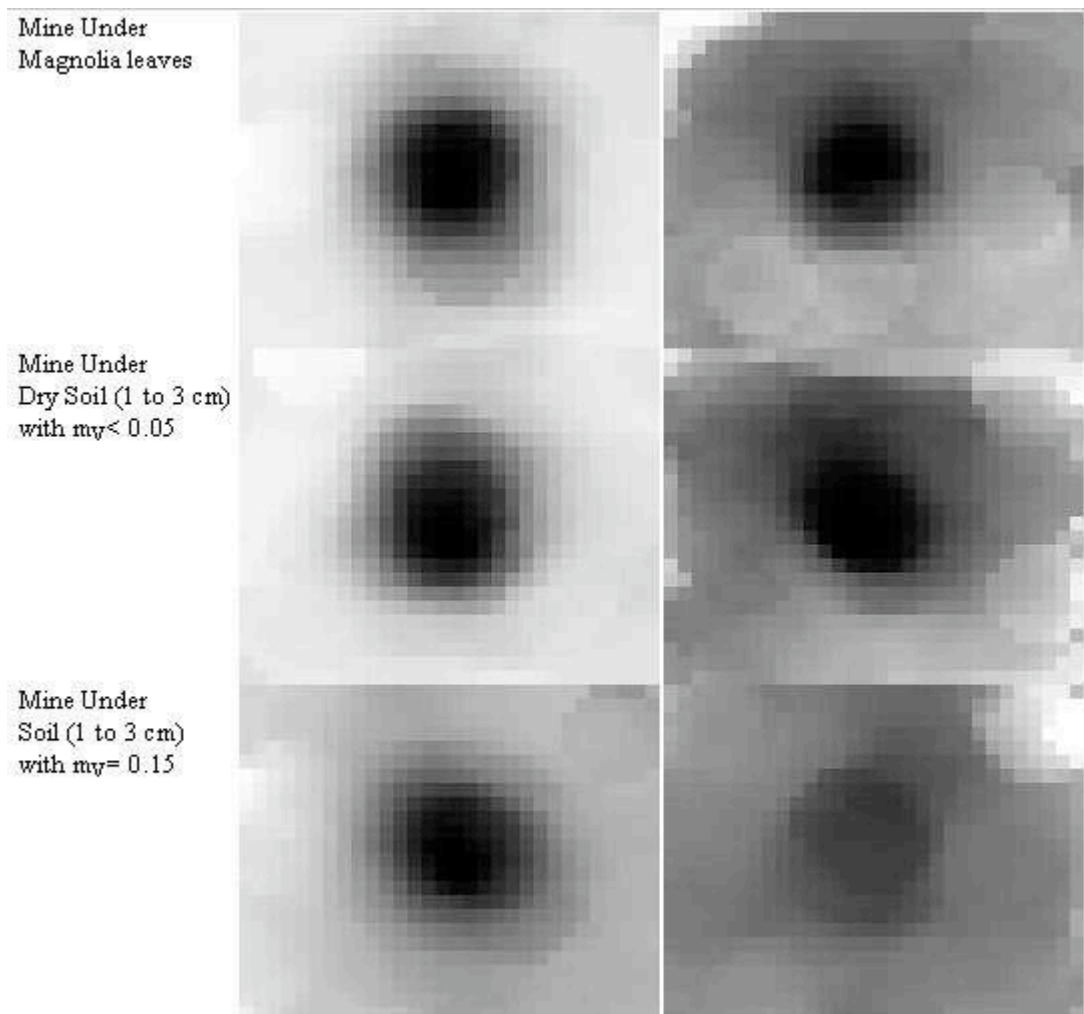


Figura 13. Immagini ottenute con la tecnologia passiva MMW: mina anti-carro metallica a sinistra e mina anti-uomo plastica PMN2 a destra. (m_v = water volume fraction)

ACUSTICA

La rilevazione di mine per mezzo di ultrasuoni si realizza attraverso l'emissione in un mezzo di un'onda sonora ad una frequenza maggiore di 20kHz. L'onda viene riflessa dai punti di confine tra materiali che hanno diverse proprietà acustiche.

Questi sistemi sono in grado di penetrare significativamente anche attraverso materiali molto bagnati, cosicché sono in qualche modo visti come complementari ai sistemi GPR.

Sempre nell'ambito del progetto DeTeC interno all'EPFL, sono stati condotti degli esperimenti in laboratorio per giudicare i risultati di queste tecniche nell'individuazione di mine anti-uomo disperse in risaie (e quindi al di sotto dell'acqua). Sono stati utilizzati dei metodi di analisi dei segnali e di *pattern recognition* per distinguere oggetti simili a mine anti-uomo da oggetti di altro tipo.

Le immagini seguenti mostrano i risultati ottenuti utilizzando una sonda a 15MHz e un passo di scansione di 0.6mm (lungo gli assi X e Y) nell'analisi di una mina anti-uomo PRB M409 posta orizzontalmente su una superficie al di sotto dell'acqua.

La parte superiore della mina si trova ad una profondità di 3cm ed è chiaramente visibile nella figura 14 che rappresenta una fetta orizzontale di ciò che si vede ad una profondità fissata. La figura 15 è stata ottenuta nelle stesse condizioni, ma considerando anche l'asse Z, ed ottenendo quindi una visione tridimensionale.

Questi test sono stati condotti in acqua, perché a frequenze così elevate gli ultrasuoni non riescono a penetrare il suolo.

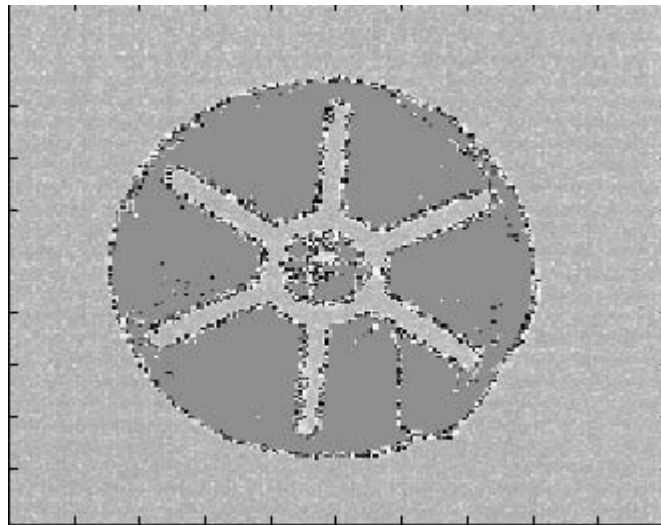


Figura 14. Immagine bidimensionale di una mina anti-uomo in acqua

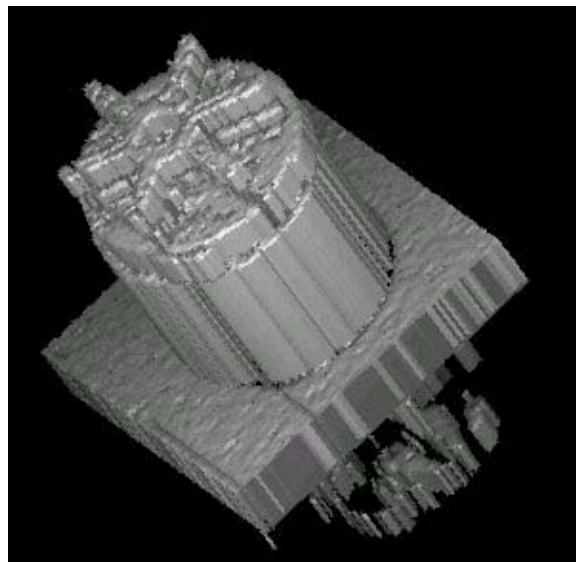


Figura 15. Immagine tridimensionale di una mina anti-uomo in acqua

L'acustica però può essere utilizzata anche per l'individuazione di mine situate nel sottosuolo. Per esempio è stato sperimentato un sistema che emette degli impulsi di 1ms al fine di misurare la differenza nell'impedenza acustica tra una mina e il terreno circostante.

Misurando il tempo che intercorre tra la partenza dell'impulso e l'arrivo della riflessione, si riesce a posizionare l'oggetto. Il problema sta nel riuscire ad isolare gli impulsi dovuti a piccoli oggetti da altri segnali. [1]

REAZIONE FORZATA DEL TNT ATTRAVERSO LASER

E' stata presa in considerazione anche l'idea di realizzare un sensore di TNT sfruttando l'assorbimento della luce da parte del TNT stesso. L'energia luminosa, infatti, fa reagire le molecole di esplosivo contenute nelle mine, con conseguente aumento di calore, che può essere individuato. Esiste un sensore sensibile a variazioni piccolissime di temperatura, realizzato in un laboratorio IBM con sede in Svizzera, che risulterebbe adatto allo scopo.

L'idea sarebbe quindi quella di individuare delle molecole di TNT facendole esplodere sulla superficie del sensore attraverso un laser.

Attualmente il sensore funziona, ma non è ancora stato sperimentato con il TNT. [2]

Dato che l'esplosione di una molecola di TNT provoca anche l'emissione di energia luminosa, si potrebbe anche utilizzare un sensore luminoso molto sensibile (i cosiddetti *photomultipliers* riescono ad individuare anche un singolo quanto di luce).

IMS-Ion Mobility Spectrometry

L'IMS (*Ion Mobility Spectrometry*) separa composti molecolari ionizzati sulla base dei loro tempi di transizione, quando sono soggetti a un campo elettrico all'interno di un tubo (figura 16); tale tempo di transizione è poi confrontato con i tempi di transizione di composti noti. In questo modo è possibile distinguere il TNT da altre molecole. Questa tecnica è veloce e permette la realizzazione di dispositivi compatti; sfortunatamente la sensibilità non è molto alta, in particolare per dispositivi di piccole dimensioni.

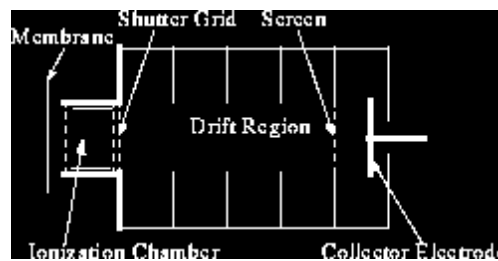


Figura 16. Schema di uno spettrometro

I dispositivi utilizzati operano a pressione atmosferica, permettendo l'utilizzo di analizzatori di dimensioni contenute, a basso consumo, leggeri e di facile utilizzo. La frequenza dei falsi allarmi è molto alta quando le quantità rilevabili scendono al di sotto

del nanogrammo. Le misure sono possibili sia su terreno asciutto sia in zone acquitrinose. Il ciclo di rilevazione dura dai 5 agli 8 secondi.

I sistemi IMS hanno un costo variabile dai 40,000\$ ai 60,000\$. [2] [8] [9] [10]

CONCLUSIONE

Alla luce di quanto sin qui descritto, ci chiediamo: vale la pena di sviluppare robot, autonomi o telecomandati, per effettuare operazioni di demining? O conviene piuttosto continuare ad impiegare squadre di sminatori, eventualmente dotate di sensori sempre più sofisticati?

Nel tentativo di dare una risposta a queste domande, ci sembra opportuno sottolineare che nessuna tecnologia attualmente esistente o in fase di sviluppo può da sola costituire la soluzione al problema dello sminamento.

Ogni tecnologia, infatti, ha dei limiti intrinseci che abbiamo cercato di evidenziare nella trattazione precedente; e dunque nessuna può essere efficientemente impiegata per ricercare, individuare e confermare la presenza di mine.

L'unica soluzione ragionevole è rappresentata dall'utilizzo di sistemi ibridi, in cui siano utilizzati contemporaneamente più sensori di anomalia, al fine di ridurre i problemi di efficienza che spesso caratterizzano il singolo sensore, ed un rivelatore di esplosivo che dia la conferma dell'effettiva presenza di una mina nei punti individuati dai sensori di anomalia.

Questa tecnologia "mista" è nota come *sensor fusion*, ad indicare appunto che i risultati forniti da più sensori vanno analizzati globalmente per raggiungere un certo grado di affidabilità.

Un sistema ibrido del tipo sopra definito è stato realizzato dalle Forze Armate Canadesi.

Il sistema, chiamato *Improved Landmine Detector Concept* (ILDC), è costituito da un veicolo telecomandato su cui sono montati tre tipi di rivelatori di anomalia (GPR, IR e ad induzione elettromagnetica) ed un rivelatore nucleare di conferma che utilizza la cattura di neutroni termici (tecnologia TNA).

Il veicolo telecomandato è preceduto da un veicolo speciale, che ha il compito di far esplodere le mine anti-uomo più piccole, le quali richiederebbero dei tempi lunghi per essere identificate. [15]

Nell'ottica del *sensor fusion*, l'utilizzo di robot "sminatori" sembrerebbe indispensabile, se non altro per poter supportare tutta l'attrezzatura necessaria.

Abbiamo visto, ad esempio a proposito delle tecnologie nucleari, che ciò che serve non è semplicemente un sensore, ma piuttosto anche acceleratori, moderatori, rivelatori di radiazioni. Se poi l'idea è quella di integrare questa tecnica con altri sensori, si capisce che le strutture necessarie divengono pesanti ed ingombranti, e quindi difficilmente gestibili manualmente.

Oltre a questo, l'utilizzo di un robot permette di effettuare misurazioni più precise rispetto a quelle che si otterrebbero manualmente, dato che un robot ha la possibilità di soffermarsi per svariati minuti in uno stesso punto per acquisire più dati o migliorare le misurazioni in corso.

Abbiamo visto come questo sia necessario, ad esempio, nel caso delle rilevazioni effettuate con tecnologia TNA, in cui è richiesto un tempo di 6-7 minuti per rilevare la presenza di una mina anti-uomo, così come i dati sperimentali ricavati nell'ambito del progetto EXPLODET ci dimostrano.

Uno sminatore, al contrario di un robot, non può permettersi di restare per un così lungo tempo su ogni singolo punto di un terreno minato.

Inoltre, la lentezza che deriverebbe da questa situazione potrebbe essere evitata facendo lavorare più robot in parallelo sullo stesso terreno. Con questo approccio, anzi, potrebbe essere addirittura possibile aumentare la velocità media con cui i campi vengono sminati attualmente.

E naturalmente non abbiamo ancora citato l'aspetto più importante, cioè che l'utilizzo di robot sminatori per le operazioni più pericolose permetterebbe di salvaguardare la vita degli sminatori umani, evitando loro di indagare direttamente terreni sconosciuti e potenzialmente molto pericolosi.

D'altro lato, l'utilizzo di robot per lo sminamento porta con sé anche una serie di problemi.

Per esempio, il costo. Abbiamo citato i milioni di Euro necessari per realizzare il sensore FNA, ai quali bisognerebbe aggiungere le spese per la costruzione e la manutenzione del robot stesso e di tutti gli altri sensori da integrare su di esso. Moltiplicando quanto otteniamo per il numero di robot necessari per sminare anche un solo campo minato (se si intende realizzare un lavoro in parallelo), o addirittura tutti i campi minati del mondo, non faticiamo a comprendere che stiamo parlando di qualcosa di non fattibile.

Chiaramente il costo del sensore FNA è un caso particolare, ma il costo totale, in ogni caso, di realizzazione di un robot munito di vari tipi di sensori (anche molto più economici) sarebbe comunque ben al di sopra di quanto si è disposti a spendere per le operazioni di sminamento.

Oltre al costo, poi, ci sono molti problemi tecnologici.

Spesso, infatti, i terreni minati sono coperti da fitta vegetazione, in cui un essere umano si può muovere facilmente, aggirando gli alberi o qualunque altro ostacolo, ma dove un robot potrebbe essere impossibilitato a muoversi di un metro.

Oppure, anche in presenza di vegetazione non molto fitta, i robot potrebbero trovarsi a dover percorrere terreni molto sconnessi, o ad attraversare corsi d'acqua, o ad arrampicarsi su tratti ripidi, ...

Tutto questo, oltretutto, in condizioni ambientali non prevedibili, cosa che renderebbe necessario, per esempio, il fatto di costruire robot impermeabili.

Infine, va considerato che coloro che dovranno di fatto utilizzare questi robot non hanno nessuna particolare competenza tecnica (che peraltro non viene nemmeno richiesta).

Questo significa che i robot dovrebbero essere semplici da utilizzare, da mantenere e da interpretare.

Cioè i robot dovrebbero essere in grado di fare praticamente tutto da soli, dovrebbero essere riparabili sul campo e dovrebbero avere un'interfaccia operatore chiara ed immediata.

Appare quindi evidente come i vincoli imposti dall'utilizzo dei robot per lo sminamento umanitario siano molto stringenti; è altrettanto chiaro, però, che le potenzialità offerte da

un approccio robotico sono enormi, soprattutto se paragonate all'approccio e ai risultati attuali.

Quindi, visti i passi da gigante che la tecnologia sta facendo in questi anni, è auspicabile che i problemi tecnici ed economici che oggi si frappongono tra la Robotica e lo sminamento umanitario vengano superati nel più breve tempo possibile.

Bibliografia

- [1] <http://diwww.epfl.ch/w3lami/detec/susdemsurvey.html>
- [2] <http://diwww.epfl.ch/w3lami/detec/monterey951.html>
- [3] <http://diwww.epfl.ch/w3lami/detec/gprhard.html>
- [4] <http://diwww.epfl.ch/w3lami/detec/monterey961.html>
- [5] <http://www.protovale.co.uk/abtpi.html>
- [6] <http://diwww.epfl.ch/w3lami/detec/visualmd.html>
- [7] <http://www.fourmilab.ch>
- [8] <http://www.sandia.gov/explosive/projects/landmine.htm>
- [9] <http://www.clu-in.org/products/site/camp/graseby.htm>
- [10] <http://www.nlectc.org/txtfiles/expsurvey.html>
- [11] <http://www.pao.nrl.navy.mil/rel-00/13-00r.html>
- [12] http://www.ic.ornl.gov/rd-groups/amg/nqr_desc.html
- [13] <http://www.ntiac.com/Landmine.html>
- [14] <http://diwww.epfl.ch/w3lami/detec/gpr96.html>
- [15] G. Viesti, “Il ruolo delle tecniche nucleari nella rivelazione di mine ed esplosivi nascosti”, INFN – Padova, 1999
- [16] A.C. Dubey, J.F. Harvey, J.T. Broach, R.E. Dugan, “Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets IV”, Proceedings of Spie – The International Society for Optical Engineering, Orlando, Florida, 5-9 Aprile 1999