



# IL PROBLEMA DELLO SMINAMENTO

LA RIVELAZIONE E LA LOCALIZZAZIONE DEGLI ORDIGNI ESPLOSIVI

TEN. COL. MARIO TARANTINO

**L**o scorso novembre 1997 122 nazioni hanno firmato, ad Ottawa, la Convenzione che vieta l'impiego delle mine antiuomo. Tale bando non riguarda solo la produzione e la commercializzazione, ma anche il semplice impiego di queste mine e di altri ordigni esplosivi. I Paesi firmatari hanno concordato di non acquistare, immagazzinare, vendere o cedere tali ordigni proibiti. I loro Eserciti non potranno più inserirli nei propri piani né impiegarli nelle loro operazioni.

La citata Convenzione, oltre a imporre dei precisi divieti, richiede anche l'aggiunta di nuove capacità operative, come per esempio la capacità di assistenza in materia di sminamento. Essa raccomanda di fornire o di scambiarsi equipaggiamenti, materiali, informazioni tecnologiche, consigli ed aiuti finanziari.

L'inventario delle missioni possibili è ampio ed include, tra l'altro, la fornitura, a quanti lo richiedono, di personale militare che li assista

nelle operazioni di sminamento, che formi degli specialisti dello sminamento, sia supervisori che istruttori, che addestri il personale civile chiamato a partecipare a missioni di assistenza umanitaria, che apra infrastrutture e centri nazionali di addestramento o che organizzi seminari sulla localizzazione delle mine e lo sminamento.

Per essere più efficienti ed efficaci, dovremo probabilmente rivedere le nostre capacità, i nostri mezzi, le nostre procedure abituali o tradizionali. Dovremo forse sostituirle o integrarle con procedure nuove, con nuove tecniche. Dovremo forse sviluppare ed acquisire nuovi equipaggiamenti per il personale addetto allo sminamento. Lo sviluppo di apparecchiature speciali e valide come pure l'eventuale aumento degli organici dei nostri specialisti potrebbero essere molto utili.

Il problema che si pone oggi riguarda la disponibilità di risorse finanziarie per acquistare questi mezzi moderni in un periodo caratterizzato da notevoli riduzioni dei bilanci nazionali.

Il problema della bonifica di vaste aree minate è diventato un compito prioritario per molte organizzazioni internazionali, Nazioni Unite in primo piano, ed ha messo in moto una serie di attività di ricerca e sviluppo in svariati campi della tecnologia e della scienza. Queste ricerche sono tese a realizzare un sistema "sicuro" di identificazione dell'ordigno sul campo.

Le tecniche tradizionalmente utilizzate stanno perdendo la loro efficacia a causa delle nuove tecnologie di realizzazione delle mine antiuomo. I metodi tradizionali di identificazione sono infatti basati sul principio del *metal detector* generalmente ad induzione elettromagnetica. Questo metodo era particolarmente adatto per rivelare mine di vecchia generazione, il cui contenuto metallico era abbastanza elevato. In anni recenti la tecnica di realizzazione di tali ordigni ha consentito di fabbricare mine antiuomo contenenti pochissime e leggerissime parti metalliche, che non sono sufficienti per essere individuate in un ambiente reale da un sistema del tipo *metal detector*.

Per essere rivelate, le mine a prevalente composizione plastica richiedono nuove tecnologie. Tra queste, quella verso la quale sta convergendo un grande interesse è basata sull'identificazione chimica. La potenzialità di questo metodo è già sfruttata utilizzando, tra l'altro, unità cinofile opportunamente addestrate. La scienza e la tecnologia mettono però a disposizione un campo di ricerca in crescita che sembra offrire la soluzione alla realizzazione di un sistema di rivelazione basato su segnali di tipo chimico: i sensori chimici.

Questo articolo vuole offrire una panoramica ampia delle caratteristiche salienti di tali dispositivi e consente di prendere contatto con una delle più affascinanti tra le linee di ricerca attualmente in corso: una ricerca squisitamente interdisciplinare che coinvolge, in *team* di ricerca integrati, fisici, ingegneri, chimici e biologi.

Nel nostro Paese sono operative alcune unità di ricerca all'avanguardia nel mondo; tra le altre è opportuno citare, come centri di eccellenza nazionale nella ricerca sulla sensoristica chimica, le Università di Roma "Tor Vergata", Pisa, Brescia, Modena, Firenze e Lecce e i centri del Consiglio Nazionale delle Ricerche

dell'IROE di Firenze e del Progetto Sensori e Microsistemi di Roma.

Lo stesso Consiglio Nazionale delle Ricerche ha intrapreso da qualche anno un piano di finanziamento della ricerca sui sensori nell'ambito del Progetto Finalizzato Materiali e Dispositivi per l'Elettronica (MADESS II).

Questi sforzi nazionali sono concordi con gli orientamenti dell'Unione Europea, la quale finanzia annualmente molti progetti internazionali di ricerca, che vedono coinvolte molte unità operative italiane. Sempre in ambito continentale e col finanziamento dell'Unione Europea, sta infine per essere attivato un *network* di armonizzazione delle ricerche "sul naso elettronico", l'espressione finale più completa della sensoristica chimica. Ciò costituisce il tentativo di ricreare artificialmente il sensore chimico naturale, cioè l'olfatto.

## Il problema dello sminamento

L'attività di sminamento rappresenta una delle attività classiche delle unità del Genio, indirizzate prioritariamente all'ostacolo minato. Essa si concretizza tradizionalmente nel rilevamento di ordigni esplosivi e nel forzamento (*breaching*) dell'ostacolo minato. Termini, questi, che si riferiscono essenzialmente ad uno scenario di tipo classico con un ostacolo minato continuo e, in una certa misura, schematico. Il forzamento, in particolare, prevede l'ampio ricorso a materiale esplosivo, di tipo normale o autopropulso, senza limitazioni riferite agli eventuali danni collaterali. Oggi, uno scenario come questo, descritto in maniera sommaria, difficilmente potrà concretizzarsi, anche se non si può escludere in maniera definitiva. L'ostacolo minato che si incontra normalmente nei teatri operativi moderni è più imprevedibile, è privo di regole, è più difficile da localizzare, è diffuso anche in aree urbanizzate ed abitate ed è decisamente più subdolo per l'ampio ricorso alle trappole ed alla improvvisazione. Il suo superamento, quindi, non può essere realizzato con metodologie tradizionali, quanto piuttosto con una sistematica bonifica, realizzata da personale altamente specializzato e dotato di materiali e mezzi anche robotizzati.

L'esigenza che più frequentemente potrà o dovrà essere soddisfatta nelle PSO (*Peace Sup-*

*port Operations*) è generalmente riferita all'apertura di itinerari (*route clearance*), destinati al transito di unità o di convogli umanitari. In casi particolari, l'attività può comprendere la bonifica di intere aree in caso di schieramento di Comandi ed Unità (*area clearance*). L'attività di bonifica è classicamente riferita ad operazioni contro mine, munizionamento inesploso e sub munizioni, ma deve necessariamente estendersi anche alle attività antisabotaggio, fino a ieri limitate al combattimento negli abitati e alle azioni di disturbo dietro le linee avversarie. Infatti, il sabotaggio risulta estremamente pagante anche nelle PSO per "l'insicurezza psicologica" che riesce a determinare negli "attori" che operano sul territorio. Si tratta, comunque, di un'attività estremamente delicata che va affidata a personale in possesso di specifica preparazione e qualità di eccellenza, oltre che di coraggio e di equilibrio.

Per quanto riguarda i mezzi che si possono impiegare nell'attività di bonifica ad integrazione dell'attività umana, possiamo dire che, nonostante le tecniche produttive delle mine siano andate progredendo fin dalla Seconda

Guerra Mondiale, le tecnologie di rivelazione delle stesse e di bonifica delle aree minate non si sono sviluppate altrettanto rapidamente, ma sono rimaste ferme agli standard degli anni quaranta e, di conseguenza, sono completamente inadeguate alle esigenze del momento.

### La bonifica delle aree minate per scopi militari e umanitari

Lo sminamento è un'operazione difficile, che si svolge in più fasi. Queste vanno dall'individuazione delle aree minate alla identificazione dei singoli ordigni e infine alla loro bonifica. In particolare, si può distinguere lo sminamento a scopi militari da quello umanitario. Ricordiamo che l'obiettivo più comune di un campo minato è quello di creare un impedimento al passaggio del nemico. Quindi, ai fini militari lo sminamento tende alla bonifica di un corridoio, largo 4 - 5 metri, sufficiente per il passaggio di veicoli e truppe, pur accettando un certo grado di rischio, in funzione di un'adeguata percentuale di bonifica del terreno.



Carro sminatore a rulli

I metodi più usati per la bonifica operativa sono i sistemi meccanici o quelli esplosivi. Questi assicurano un grado di affidabilità del 60 - 70% che, in condizioni di guerra, si ritiene accettabile. Tra i sistemi del primo tipo rientrano i veicoli dotati di catene metalliche, poste di fronte al mezzo, che battono il terreno facendo esplodere le mine (veicolo sminatore attrezzato con flagelli, in grado di fresare il terreno), oppure con sistemi a rulli costipatori o a vomere, montati su *chassis* di carri armati. I rulli possono essere montati anche davanti a semplici autocarri o a mezzi movimento terra.

Tra i sistemi esplosivi abbiamo i cosiddetti sistemi a razzo esplosivo che, impattando con il terreno, provocano varie esplosioni, le quali inducono il brillamento, "per simpatia", degli ordigni circostanti (sistema britannico *Giant Viper*).

I mezzi utilizzati nel campo del cosiddetto sminamento umanitario sono generalmente di diversa concezione, anche per ragioni di impatto ambientale, e diversi sono gli obiettivi che si vogliono perseguire. Tale tipo di sminamento, come accennato precedentemente, tende alla restituzione delle aree minate al loro stato precedente. Se, ad esempio, si tratta di un terreno agricolo non si può quindi procedere alla sua devastazione, mentre è necessario che l'efficienza di questa attività sia elevata, per rendere di nuovo sicura l'area. Per questi motivi lo sminamento umanitario ha un costo alto e, soprattutto, attualmente procede ad una velocità di esecuzione estremamente lenta. Ad esempio, in Cambogia in due anni sono state distrutte circa 100.000 mine con un costo totale di 14 milioni di dollari, stimando che nel Paese ci sono dai 4 ai 7 milioni di ordigni disseminati. Mantenendo questo ritmo la totale bonifica del Paese si compirebbe in 1000 anni, spendendo 5 miliardi di dollari.

È quindi comprensibile come solo con un notevole balzo in avanti dal punto di vista tecnologico sia possibile rendere fattibile la bonifica effettiva dei territori minati. A questo proposito l'Unione Europea, attraverso i suoi programmi di finanziamento alle ricerche scientifiche e tecnologiche, ha promosso molte iniziative di ricerca, tendenti allo studio e allo sviluppo di nuove tecniche di localizzazione di



Autocarro con sistema di sminamento mediante vomeri

ordigni antiuomo. Presso il *Joint Research Center* di ISPRA (Varese) l'Unione Europea mantiene un osservatorio e un centro ricerche sull'argomento, mentre l'industria italiana sta avviando importanti studi e progetti che promettono risultati decisivi nel settore.

Per concludere, questo tipo di bonifica si sviluppa attraverso quattro fasi: localizzazione e identificazione dei campi minati; rivelazione delle singole mine; rimozione e "brillamento".

Per ragioni di sicurezza, le ultime due fasi si realizzano contemporaneamente, facendo semplicemente esplodere le mine sul posto.

I principali mezzi di rilevazione sono rappresentati da *metal detectors*, "aratri" e sistemi "flagellatori" del terreno, nonché cani opportunamente addestrati.

Tuttavia, nel corso degli ultimi anni si sono andati compiendo sostanziali passi in avanti nello sviluppo delle tecniche di rivelazione meccanica, elettronica e biologica delle mine. Queste due ultime tecniche suscitano l'interes-

## Le mine: definizione e caratteristiche

Le mine si distinguono dalle armi e munizioni classiche perché caratterizzate dai seguenti aspetti:

- sono destinate ad esplodere, e quindi a produrre i loro effetti, solo nel momento in cui si verifica il contatto, normalmente differito nel tempo, con la "vittima". Le munizioni classiche, invece, nella generalità dei casi, esplodono al momento dell'impatto;
- sono armi dagli effetti eccessivamente traumatici e agiscono indiscriminatamente, uccidendo sia combattenti che civili; questi ultimi soprattutto nel lungo periodo post-conflitto;
- sono disseminate nel terreno e rese spesso invisibili dalla presenza degli elementi naturali circostanti e dalle loro caratteristiche mimetiche, tali da rendere le zone minate indistinguibili dalle aree collaterali.

Da tutto ciò scaturisce uno stato di incertezza tipico della presenza di un'area minata, disseminata di mine vere o false che siano, accrescendone l'effetto psicologico e quindi l'efficacia intrinseca della stessa.

Una definizione generalmente accettata dalla legislazione internazionale e da quella nazionale, considera la mina come un ordigno posto sopra o sotto lo strato superficiale del terreno o altra diversa superficie, attivato, ovvero predisposto per esplodere a causa della presenza, prossimità o contatto di una persona oppure di un veicolo.

Le mine anti-carro contengono da 1 a 9 Kg di esplosivo e la detonazione è causata da una pressione compresa tra 100 e 300 Kg, esercitata su un piatto di pressione del diametro di 15-25 cm.

Le mine antiuomo sono generalmente di dimensioni inferiori, in quanto contengono una minore quantità di esplosivo (10-250 gr) e detonano sotto una pressione non inferiore ai 12 Kg, esercitata su un piatto o bottone di pressione di diametro compreso tra i 2 e i 10 cm.

La tecnologia di questi ordigni è molto semplice ed economica da realizzare; non richiede strumenti o mezzi sofisticati, ma può essere "fatta in casa" come suol dirsi.

Nel mondo sono presenti oltre 200 tipi di mine terrestri, che si distinguono a loro volta in mine antiuomo e anticarro. Queste ultime, grazie al loro elevato contenuto metallico, sono facilmente localizzabili da parte delle unità di sminamento.

Le mine antiuomo, in base alle ferite che infliggono, possono essere divise in due gruppi, *blast mines* e *fragmentation mines*. Le prime agiscono con una singola esplosione verso l'alto e sono in grado di produrre ferite tali da condurre all'amputazione di entrambe le gambe. Le seconde possono esplodere attraverso la pressione esercitata in qualsiasi modo sul piatto di pressione o indirettamente attraverso la trazione di un filo d'inciampo, sistemato ad una certa altezza dal terreno, lungo un percorso obbligato. Un esempio italiano di questo tipo di mine è rappresentato dalla *Valmara 69*, la quale, potendo essere proiettata ad una certa altezza dal terreno (circa 100 - 120 cm), grazie a una carica secondaria, può scagliare un migliaio di frammenti metallici per oltre 25 metri di raggio. Esse uccidono l'individuo che si trova nelle immediate vicinanze e feriscono gravemente coloro che si trovano nel raggio d'azione. *Un soldato ferito rappresenta per le unità militari un peso più gravoso rispetto ad uno che viene ucciso.*

se maggiore, in quanto garantiscono, sia pure con qualche difficoltà, una maggiore precisione nella individuazione delle aree minate e delle zone "trappolate". Come diremo più avanti, i diversi parametri in gioco, di cui bisogna tener conto, sono quelli che possono condizionare e a volte inficiare i risultati dell'attività di bonifica, che comunque rimangono apprezzabili.

### Lo sviluppo dei sensori e dei microsistemi nell'attività di sminamento

Tutti gli esseri viventi del nostro pianeta, in misura più o meno apparente, sono dotati di sofisticati sistemi biologici integrati (sensori), che utilizzano per interagire proficuamente con l'ambiente in cui si trovano.

La perdita di efficienza di questi indispensabili sistemi o la loro mancanza si ripercuote in una riduzione della capacità di sopravvivenza ed induttivamente in un rallentamento del loro processo evolutivo. Per questi motivi essi sono eccezionalmente importanti.

Nel perenne sforzo volto all'imitazione della natura, per costruire apparecchiature di particolare rilievo come i robot, per esempio, da destinare a lavori ripetitivi, di precisione o faticosi, l'uomo cerca di realizzare, con le tecnologie rese disponibili dallo sviluppo industriale dei nostri tempi, sensori e microsistemi in grado di superare, in prestazioni, quelli biologici.

Tali sensori però rappresentano solamente la prima interfaccia con l'ambiente; essi devono poi essere seguiti da dispositivi microelettronici in grado di utilizzare ed elaborare le informazioni ricevute.

E parallelamente, a valle della necessità di rilevare, individuare e misurare grandezze di tipo fisico, chimico e biologico, sono stati realizzati, nel recente passato e sono ora in fase evolutiva, sensori di tipo fisico, chimico e biologico che aiuteranno nella caratterizzazione e nel controllo degli ambienti generalizzati in cui si vive e si opera, dei quali si è parte integrante e da cui si desidera, naturalmente, sviluppo di conoscenza.

Il passo successivo riguarderà la realizzazione di microsistemi intelligenti, pensati come strutture complesse costituite da sensori, elet-

tronica di elaborazione ed attuatori. Questi ultimi possono essere micromotori, microleve, micropompe, microinterruttori, micromacchine intelligenti delle dimensioni di pochi mm<sup>3</sup>, possibilmente realizzati tutti essenzialmente con gli stessi materiali: il silicio, l'ossido di silicio, metalli sotto forma di film sottili tipo platino, cromo, oro, alluminio, etc.

Nell'ultimo decennio, infatti, veramente sorprendenti sono stati i progressi nel campo della lavorazione meccanica del silicio che ha portato, tanto per citare uno dei possibili esempi, alla realizzazione di ruote dentate del diametro di alcune centinaia di micron, in grado di operare a più di 20.000 giri al minuto e di micropompe integrate adatte per il trasporto di fluidi in microcanali.

Si stanno aprendo quindi impensate possibilità di sviluppo in questa direzione che vedrà realizzazioni compatte di microstrutture operative, autonomamente alimentate, in grado di aiutare l'uomo nell'analisi dell'ambiente generalizzato (esempi di ambiente generalizzato sono: le atmosfere, le acque, le terre, gocce di liquidi biologici, le cellule biologiche, gli autoveicoli, gli edifici, lo spazio, etc.).

Infine, uno sguardo ancora più lontano potrebbe farci intravedere prototipi di micromacchine in grado di estendere le loro capacità funzionali ad attività lavorative da svolgere in spazi molto ristretti. Un esempio potrebbe essere identificato nei micro operatori ecologici delle arterie, un altro in micromanipolatori autonomi da impiegare in esperimenti di biologia o di bioelettronica.

I sensori di nuova generazione sono dei dispositivi a stato solido realizzati tramite tecnologie microelettroniche, in grado di consentire la lettura dell'ambiente generalizzato e fornire risposte sotto forma di segnali di tipo elettrico od ottico adatti per successive elaborazioni e per azioni finali di controllo e monitoraggio.

Essi sono cioè in grado, per esempio, di misurare forze, accelerazioni, pressioni e temperature di gas, liquidi e solidi (sensori fisici), concentrazioni di ioni (calcio, sodio, potassio, idrogeno, etc.) in soluzione, concentrazioni di gas quali anidridi, ossido e biossido di carbonio, ossido di azoto ed altri in atmosfere,

nonché concentrazioni di gas in liquidi (sensori chimici). Possono infine, utilizzando enzimi, anticorpi o molecole opportunamente progettate, accrescere la loro sensibilità e selettività nei confronti di particolari specie chimiche o biologiche (sensori biologici).

Trattandosi di dispositivi ad elevata complessità il loro studio e sviluppo può essere svolto solamente a livello interdisciplinare con competenze riguardanti la fisica dello stato solido, la chimica, la microelettronica, la biologia, la chimica-fisica delle interfacce, l'elettrochimica e via dicendo.

Ciò può essere chiarito elencando alcune delle più importanti caratteristiche che un sensore deve soddisfare: esso deve essere selettivo (per rispondere solamente alla specie chimica d'interesse), ad elevata sensibilità, ad elevata risoluzione, a basso rumore, compatibile con le tecnologie microelettroniche, non contaminante e non contaminabile, robusto, a basso costo e, in tutte le applicazioni che riguardano direttamente gli esseri viventi, biocompatibile.

Tutte queste caratteristiche non possono essere in pratica simultaneamente soddisfatte, ma un accettabile compromesso può quasi sempre essere trovato, a livello di progettazione, in relazione ai compiti specifici che un determinato sensore dovrà svolgere.

L'interesse per i sensori è in continua crescita, come viene mostrato dall'evoluzione straordinariamente positiva dei loro mercati e dal loro sviluppo, reso vivo dalla pressante necessità di misurare grandezze fisiche, chimiche e biologiche nel contesto delle grandi aree applicative, quali: salute, medicina, conservazione dei cibi, chimica analitica, processi industriali, ambienti, analisi odori, etc.; è, inoltre, fortemente legato allo sviluppo delle tecnologie microelettroniche ed a quelle di nuovi materiali organici ed inorganici.

Possono essere fatte ulteriori considerazioni a carattere generale. Alcune attengono ai motivi di fondo che stanno originando un grande interesse in questo campo a livello di ricerca ed a livello industriale soprattutto in USA, in Giappone ed ora anche in Europa.

Alcuni di questi motivi riguardano: la creazione di nuovi mercati e di posti di lavoro, la possibilità di un più ampio sfruttamen-

to delle tecnologie microelettroniche, l'opportunità di originare attività a livello interdisciplinare, sempre proficue e di estremo interesse, e soprattutto il problema del miglioramento della qualità della vita.

Infine va di nuovo sottolineato che ogni attività nel settore dei sensori deve necessariamente svolgersi a livello interdisciplinare per la diversità delle competenze richieste a livello di progetto e realizzazione tecnologica.

### La classificazione delle tecnologie per la rivelazione e la localizzazione di ordigni esplosivi

Prima di parlare della classificazione delle tecnologie in argomento, definiamo il sensore come un sistema che, sollecitato da una qualsivoglia forma di energia, reagisce cambiando il proprio stato, quindi una o più delle sue caratteristiche (resistività, volume, temperatura, etc.).

Ad esempio, è un sensore un materiale semiconduttore investito da fotoni di una certa energia, in quanto esso può presentare variazioni della sua resistività.

Come altro esempio, è un sensore un materiale che, immerso in un campo magnetico, subisce una variazione della propria conducibilità.

Questi materiali sensibili ai fotoni ed al campo magnetico, non sarebbero di nessuna utilità se non venisse utilizzata una struttura per la rivelazione (lettura) delle variazioni delle loro caratteristiche e la presentazione del risultato in una forma di energia opportuna e più facilmente accessibile.

Tale struttura, insieme con il materiale sensibile, dà luogo ad una conversione di energia e di informazione dall'ingresso all'uscita e per questo motivo essa viene spesso detta "trasduttore". Questa parola, tuttavia, mentre evidenzia il concetto di trasduzione, purtroppo non contiene più nessun legame lessicale che ricordi l'azione del sensore.

Veniamo ora ad illustrare quali sono i metodi tecnologici attuali e quali sono le direzioni future nella rivelazione e localizzazione di ordigni come le mine antiuomo. Possiamo classificare tali metodi in tre categorie: metodi elettromagnetici, metodi nucleari e metodi chimici.

Essi hanno la caratteristica di non rivelare la mina in quanto tale, ma piuttosto tendono a rivelare una particolare proprietà dell'ordigno. Come vedremo, i metodi elettromagnetici rivelano l'interazione dei materiali della mina con i campi elettromagnetici, i metodi nucleari rivelano la presenza di certe specie atomiche, mentre i metodi chimici sono sensibili alla presenza di particolari molecole. È chiaro che ognuna di queste proprietà non è esclusiva delle mine in sé e che quindi ogni metodo tende a dare un'informazione ambigua, che produce un certo numero di falsi allarmi o di mancate identificazioni. La strategia corretta quindi da seguire per un miglioramento della efficienza di localizzazione degli ordigni deve consistere nell'utilizzo simultaneo di più tecniche di rivelazione, in grado di cogliere diverse proprietà dell'oggetto mina e quindi di fornire una indicazione il più possibile esente da falsi allarmi.

## I metodi elettromagnetici

I metodi elettromagnetici si basano sulla misura della interazione tra campi elettromagnetici ed eventuali ordigni presenti nel terreno. Tra i vari metodi se ne segnalano quattro: magnetometrici, ad induzione elettromagnetica, radar ed infrarossi.

### *Magnetometri*

Questo metodo di ricerca si basa sulla considerazione che la presenza di oggetti metallici nel terreno può dar luogo a distorsioni nel campo magnetico naturale terrestre. Si tratta quindi di rivelare piccole variazioni del campo magnetico locale, prodotte da oggetti metallici e di conseguenza è possibile rivelare solo mine contenenti parti metalliche. Si tratta in realtà di un vero e proprio metal-detector in grado di rivelare la presenza di ogni oggetto metallico presente nel terreno, dando quindi luogo ad un numero molto elevato di falsi allarmi. Si deve inoltre considerare, come sottolineato precedentemente, che le mine antiuomo possono contenere una quantità estremamente ridotta di parti metalliche e che, quindi, in relazione al loro contenuto, le mine possono facilmente essere scambiate con oggetti casualmente presenti nel suolo.

Ovviamente il segnale di variazione del campo magnetico ambientale è proporzionale sia al tipo di metallo (costante di permeabilità magnetica) che alla sua quantità.

### *Sensori ad Induzione Elettromagnetica*

Il problema della intensità del campo magnetico da rivelare può essere superata utilizzando, invece che il campo magnetico terrestre, come nei sensori precedenti, un campo magnetico prodotto da una bobina. Si tratta, dunque, di sistemi che, utilizzando la corrente alternata e sfruttando il principio della induzione elettromagnetica, consentono alla bobina di diventare così una sorgente di campo magnetico. Questo, interagendo con le parti metalliche di eventuali mine sepolte nel terreno, viene distorto ed attenuato. Queste variazioni possono essere misurate con un sensore di campo magnetico, come quelli appena descritti, e quindi l'eventuale mina può essere rivelata.

Questo metodo ha gli stessi inconvenienti già esposti precedentemente e cioè rivela ogni tipo di metallo presente nel terreno, dando luogo ad un numero considerevole di falsi allarmi.

Inoltre, l'intensità del campo magnetico utilizzato è molto alta, proprio per il modo in cui esso viene creato. Di conseguenza, la sensibilità è più alta e in sostanza si possono rivelare oggetti metallici più piccoli, con il rischio di un aumento dei falsi allarmi.

Il problema dei falsi allarmi non è secondario nel contesto dell'attività di sminamento umanitario; infatti, i numeri di mine da disinnescare è talmente alto che la rapidità dell'operazione è una componente essenziale per un efficace programma di bonifica.

### *Ground Probing Radar (GPR)*

La tecnica del radar viene usata in molte applicazioni per sondare la struttura del terreno. La radiazione elettromagnetica nella banda tra 100 e 1000 MHz (micro-onde) è in grado di penetrare nel terreno per parecchi metri (ciò dipende ovviamente dalla natura dello stesso e dalla sua densità); l'onda può essere riflessa dalle varie superfici di discontinuità presenti nel terreno, come per esempio la discontinuità tra due tipi di rocce, o come nel nostro caso tra





l'oggetto è minima, per cui è necessario ottimizzare ad esempio la frequenza della radiazione incidente, magari utilizzando radiazioni di frequenza più elevata, le quali hanno una minore penetrazione e possono quindi sondare efficacemente solo lo strato di terreno quasi superficiale. Va però considerato che le onde elettromagnetiche in queste bande di frequenza presentano un tasso di pericolosità, per la salute degli operatori, estremamente alto. Pertanto, bisogna tenerne conto nella progettazione di tali sistemi affinché siano in grado di consentire un efficace rivelamento degli ordigni con un basso rischio per il personale impiegato.

#### *Sensori infrarossi per lo sminamento*

La radiazione infrarossa può essere utilizzata per rivelare delle mappe termiche. È noto che i corpi, in funzione della loro temperatura, emettono radiazione elettromagnetica. Per temperature attorno a quella ambiente la frequenza di

emissione avviene nell'infrarosso. Utilizzando quindi dei rivelatori in grado di misurare l'intensità della radiazione è possibile realizzare delle vere e proprie mappe di temperatura. Questa tecnica è utilizzata in molti campi, dal rilevamento ambientale alla medicina e allo stesso modo può anche essere utilizzata per individuare la presenza di oggetti in un terreno.

un oggetto sepolto ed il terreno che lo circonda. Queste onde riflesse possono inoltre essere definite spazialmente e possono quindi segnalare presenza, forma e luogo di eventuali oggetti sepolti.

Ci sono comunque due problemi che limitano l'efficienza di questo metodo. Il primo è che le mine sono a piccola profondità (circa 20 cm) o quasi in superficie e che le stesse possono essere di dimensioni troppo piccole per dare un segnale efficace.

La scarsa profondità delle mine fa sì che la quantità di radiazione che viene a contatto con

emissione avviene nell'infrarosso. Utilizzando quindi dei rivelatori in grado di misurare l'intensità della radiazione è possibile realizzare delle vere e proprie mappe di temperatura. Questa tecnica è utilizzata in molti campi, dal rilevamento ambientale alla medicina e allo stesso modo può anche essere utilizzata per individuare la presenza di oggetti in un terreno.

In pratica si utilizzano rivelatori infrarossi nelle bande 3-5  $\mu\text{m}$  oppure 9-14  $\mu\text{m}$ .

La capacità di penetrazione nel terreno di questo metodo è abbastanza limitata, però è sufficiente nel caso delle mine sepolte a pochi

centimetri dalla superficie.

Pertanto, se il materiale di cui è composto l'ordigno ha una capacità termica differente da quella del terreno circostante, esso reagirà in maniera diversa alle fonti di calore esterne, come ad esempio alla luce solare. L'efficienza migliore è chiaramente ottenuta per mine metalliche, in quanto il metallo sicuramente si riscalda di più del terreno.

L'efficienza del metodo è molto variabile e dipende da molti fattori quali ad esempio la composizione del suolo, la presenza o meno di rocce ad alto contenuto metallico, la presenza di vegetazione e non ultima l'esposizione alla luce solare. Per dare un esempio, nei laboratori del DRES, in Canada, sono state ottenute efficienze di riconoscimento dal 20 al 100%.

## Le tecniche nucleari

Da un punto di vista atomico, l'azoto è uno dei principali componenti delle sostanze esplosive. La percentuale in peso dell'azoto varia dal 10% nella polvere nera al 18% nella nitroglicerina e nel TNT (Trinitrotoluene ovvero Tritolo), fino a valori oltre il 30% in esplosivi come il C3 ed il C4. L'azoto può quindi essere considerato un tracciante per la presenza di esplosivi e quindi di ordigni esplosivi nel terreno.

La fisica nucleare offre un'interessante

possibilità alla rivelazione di atomi di azoto nel terreno. È noto infatti che questi atomi hanno la proprietà di assorbire neutroni e l'assorbimento di neutroni porta il nucleo atomico ad uno stato energetico eccitato, da cui transita allo stato fondamentale attraverso l'emissione di un raggio "g" di energia ben precisa. Questa tecnica viene impiegata da tempo, e con un certo successo, negli aeroporti per la rivelazione di esplosivi nei bagagli. Lo sforzo tecnologico necessario consiste nel ridurre le dimensioni del sistema in modo da poter operare in un terreno minato, dove ovviamente ingombri e pesi devono essere ottimizzati.

La strumentazione necessaria per questa indagine è visibile nello schema di figura 1. Il sistema si compone di una sorgente di neutroni, ad esempio l'isotopo 252 del Californio ( $^{252}\text{Cf}$ ), del materiale moderatore necessario per termalizzarne l'energia (ad esempio boro), e di un rivelatore di raggi "g", come ad esempio uno scintillatore. Tutti i componenti sono componenti convenzionali, che si trovano nelle apparecchiature di fisica nucleare e dei quali esiste un'ampia conoscenza.

Come per tutti i metodi finora elencati anche questo non è selettivo per le mine, ma in realtà, essendo un rivelatore di azoto, è sensibile a tutto ciò che lo contiene, in particolare, anche al terreno e alla vegetazione. È necessario perciò, prima di ogni operazione,

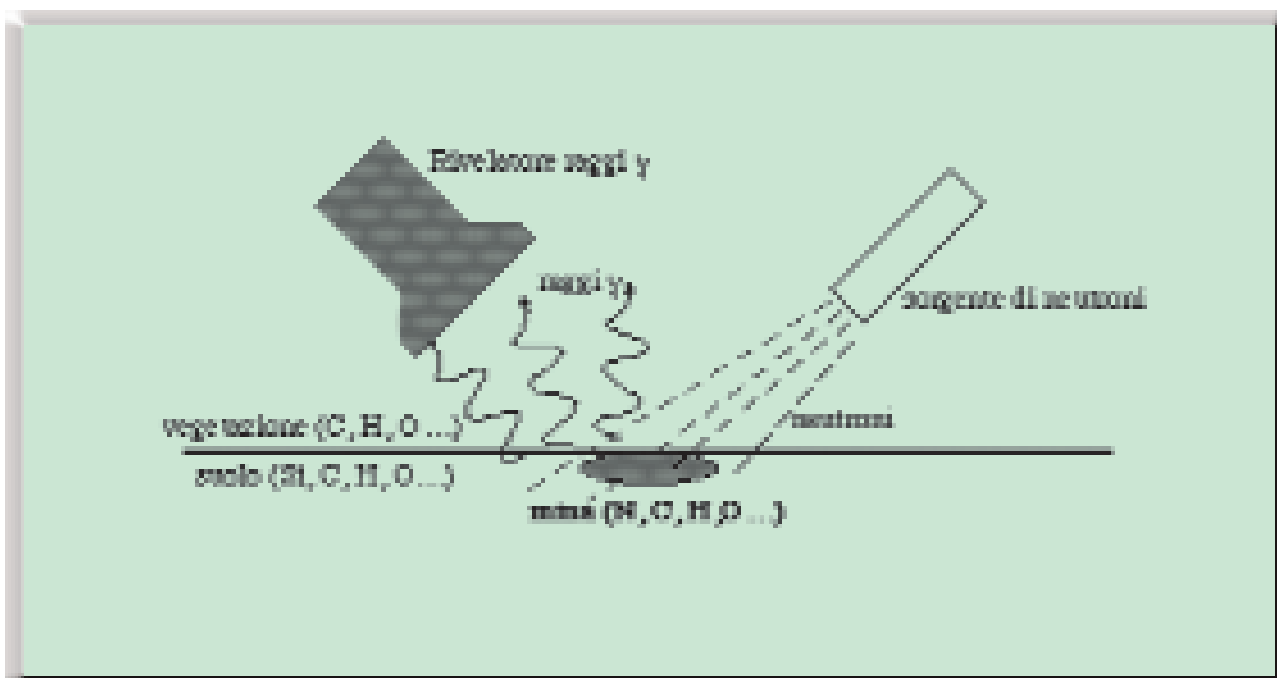


Figura 1

effettuare una misura di riferimento del terreno in cui si opera, in modo da rivelare la presenza di eventuali mine tramite la misura di presenza di azoto in eccesso rispetto a quello naturalmente presente nell'ambiente circostante.

## I sensori chimici e i metodi di rivelazione chimica

I metodi di indagine chimica si basano sul principio per cui ogni composto chimico, sia in fase solida che liquida, produce una certa quantità di composti volatili. In molti casi questi composti sono rivelabili dall'olfatto e danno luogo a quello che comunemente viene chiamato odore. Anche le mine possiedono quindi un loro particolare odore, che può essere generato sia dall'esplosivo stesso che dai materiali plastici che costituiscono l'involucro dell'ordigno. La rivelazione mediante riconoscimento dell'odore è attualmente eseguita utilizzando uno dei più potenti sistemi olfattivi noti: quello dei cani. Gli inconvenienti del metodo sono facilmente intuibili: il tempo necessario all'addestramento dell'animale, il limitato tempo di attenzione dell'animale stesso e non ultima la possibilità, tutt'altro che remota, della perdita sul campo dell'animale.

L'olfatto del cane è sicuramente uno dei sistemi di rivelazione chimica più sensibili esistenti. Da alcuni anni però la ricerca nel campo della sensoristica chimica ha portato a notevoli incrementi di prestazioni di questi dispositivi.

Analizziamo ora la struttura generica di un sensore chimico a stato solido. Ma prima ricordiamo che un sensore generico rappresenta l'interfaccia tra l'elettronica e l'ambiente e, in linea di principio, può essere descritto da due componenti: un trasduttore che trasforma la grandezza da misurare in una grandezza intermedia e un dispositivo di base che trasforma la grandezza intermedia in una grandezza elettrica.

Anche nel caso di un sensore chimico è possibile individuare due componenti. Il primo possiamo chiamarlo "Materia Chimicamente Interattiva" (MCI). Questa è formata da un materiale in grado di catturare "selettivamente" molecole dall'ambiente al quale è esposto

(ambiente liquido o gassoso). In conseguenza del formarsi di questi legami alcune caratteristiche della MCI variano. Quelle che variano rappresentano le grandezze intermedie; proviamo a citarne alcune: innanzitutto la massa della MCI (in quanto il legame di molecole risulta immediatamente in una variazione della massa totale della MCI), la carica elettrica (nel caso in cui il legame comporti un trasferimento di carica), il coefficiente di rifrazione (se le proprietà ottiche della MCI vengono modificate dalle molecole legate). Per ognuna delle grandezze intermedie esiste una serie di dispositivi di base in grado di trasformarle nella variazione di una grandezza elettrica.

Molto spesso sono le limitazioni del dispositivo di base che limitano le prestazioni generali di un sensore soprattutto in termini di sensibilità, risoluzione e *range* di applicazione.

## Le matrici di sensori chimici: il Naso Elettronico

La domanda di sensori dalle prestazioni sempre più spinte ha portato recentemente a considerare strutture sensoriali complesse formate da singoli sensori organizzati in matrici.

I sensori, ed in particolar modo quelli chimici, sono generalmente dispositivi dotati di scarsa selettività. Questo significa che la risposta del sensore non dipende esclusivamente dalla specie chimica per la quale è realizzato ma è influenzata, in misura variabile, anche da altre specie chimiche eventualmente presenti.

Questa proprietà rappresenta un inconveniente in applicazioni in cui si richiede di misurare la concentrazione di una particolare specie chimica in ambienti in cui altre specie siano presenti.

Uno degli obiettivi principali della ricerca attuale sui sensori chimici è proprio quello di ottenere dei dispositivi basati su meccanismi di interazione sensore-ambiente di alta selettività.

Una delle possibilità per la realizzazione di sensori dotati di tali caratteristiche consiste nell'utilizzo della *chimica supramolecolare* per progettare composti chimici e realizzare membrane selettive. Questa strada, seppur promettente, è ancora lontana dall'essere operativa e molecole riconoscitrici sono state realizzate solo per un numero limitato di sostanze.

Alla scarsa selettività si può comunque ovviare, per alcune applicazioni, utilizzando matrici di sensori.

Le matrici di sensori sono costituite da un certo numero di sensori accoppiati ad una procedura di matematica e di analisi dei dati. Le matrici non sono da intendersi come strutture di arrangiamento spaziale dei sensori (come accade per le matrici di sensori ottici) ma solo come strutture matematiche in cui i singoli sensori sono componenti di un sistema multi-dimensionale.

ognuna ad un definito livello di concentrazione. In senso lato possiamo chiamare le strutture chimiche col termine generico di *odori*.

Tali applicazioni rendono possibile la realizzazione di sistemi olfattivi artificiali che consentono, oltre che di riprodurre la funzionalità dell'olfatto naturale, di estendere e raffinare la capacità di identificazione dello stesso, includendo classi di molecole non percepibili dai recettori naturali (come ad esempio il CO).

La figura 2 mostra lo schema di principio di questo tipo di applicazioni.

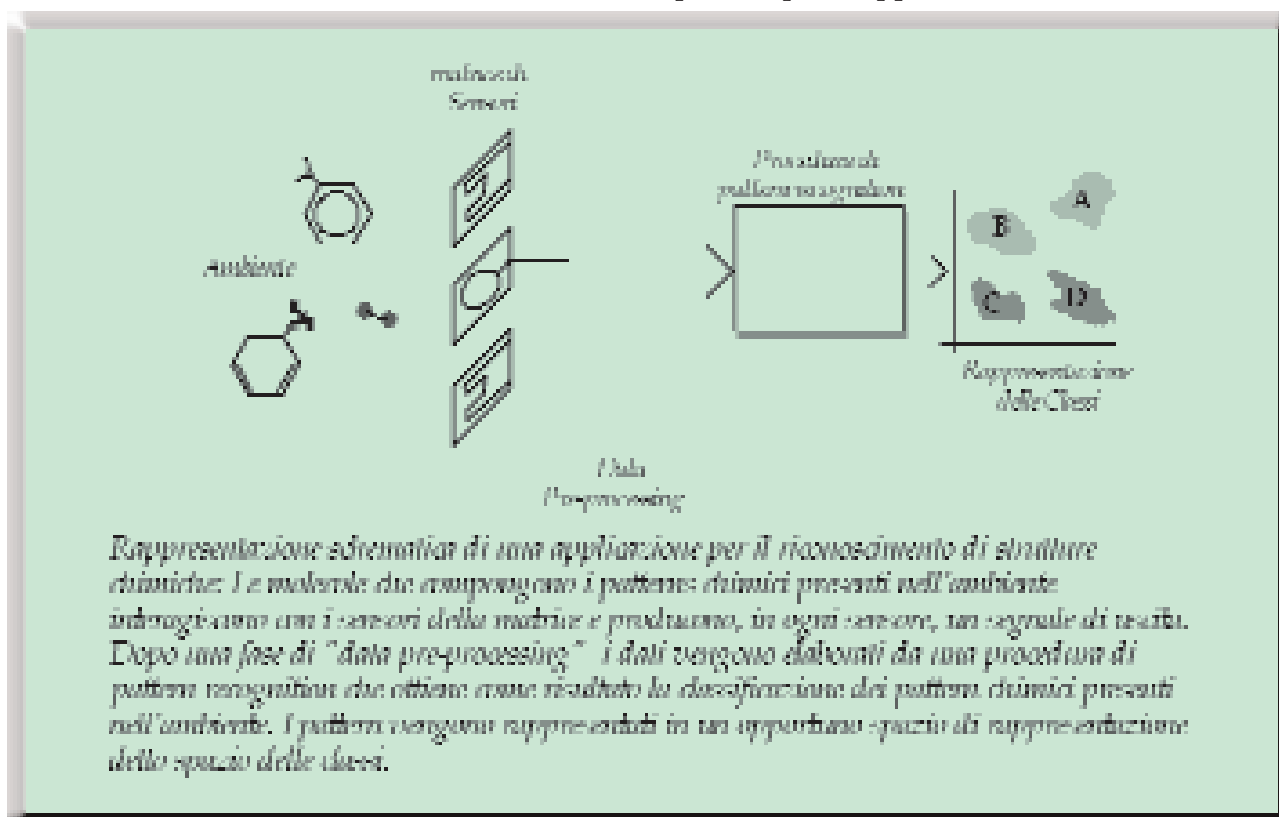


Figura 2

Con le matrici di sensori, sfruttando le proprietà statistico-matematiche, è possibile, nonostante la scarsa selettività dei singoli elementi, ottenere complessivamente soddisfacenti prestazioni dal punto di vista della risoluzione, della sensibilità e dell'accuratezza.

Un'importante classe di applicazioni basate sull'utilizzo di matrici di sensori sono quelle che vanno sotto il nome di "naso elettronico" (*electronic nose*).

Queste applicazioni mirano ad utilizzare matrici di sensori per il riconoscimento di "strutture chimiche" presenti nell'ambiente sotto misura. Per strutture chimiche si intende la presenza contemporanea, in un dato ambiente, di un numero di specie chimiche

Questi sistemi, seppur ancora in fase di sperimentazione, sono destinati ad entrare sul mercato nel prossimo futuro.

Per una possibile applicazione dei sensori chimici alla rivelazione di ordigni come le mine antiuomo, un'altra esigenza importante da soddisfare è costituita dal tempo di risposta. Molti dei sensori sopra esposti, infatti, basano la loro risposta sull'instaurarsi di un equilibrio chimico tra le molecole di una certa specie presenti nell'aria e quelle "adsorbite" sul sensore.

La misura di tale equilibrio determina la risposta del sensore stesso, la cui dinamica è poco veloce proprio perché questi processi sono normalmente lenti.

## Data Fusion

Tutte le tecniche illustrate in questa breve rassegna, considerate isolatamente, si sono rivelate insufficienti a garantire un'efficace azione di identificazione degli ordigni esplosivi. Ricordiamo ancora una volta che a tale scopo è necessario che i metodi impiegati siano rapidi ed esenti da false rivelazioni. Pertanto, la strategia migliore per l'uso dei sistemi a disposizione sembra essere quella basata sull'uso contemporaneo di più tecniche, in maniera che ognuna di queste possa contribuire con il suo carattere specifico all'identificazione sicura e rapida della mina.

Si possono immaginare, quindi, delle apparecchiature in grado di rivelare la presenza di metalli nel terreno, tramite tecniche magnetiche, di individuare la presenza in eccesso di molecole azotate nell'area circostante, tramite tecniche nucleari e di identificare l'odore tipico di una mina, tramite un naso elettronico. Tutte queste tecniche possono quindi concorrere sinergicamente, tramite una procedura chiamata *Data Fusion*, cioè fusione dei dati, idonea a condurre al risultato voluto dell'indagine.

Il *Data Fusion* non è di per sé una disciplina scientifica (almeno per ora), ma può essere considerato come una collezione di tecniche e di algoritmi che permettono di simulare i processi cognitivi umani, i quali integrano, in maniera continua, informazioni diverse, allo scopo di valutare un ambiente complesso.

Gli input ad un tale sistema possono essere: dati forniti dai sensori, dati introdotti da un operatore umano o dati a priori estratti da una qualsiasi base di dati. Nel caso delle mine, può essere preso in considerazione un database geografico che contiene informazioni sulla natura e la conformazione del terreno.

I primi sviluppi delle tecniche di *Data Fusion* si sono avuti all'inizio degli anni '80, proprio in campo militare, per la gestione dei campi di battaglia e sono stati in seguito applicati ad altri settori come ad esempio quello della robotica.

Sono state individuate tre differenti modalità di realizzare la fusione di dati multisensoriali.

La *fusione competitiva*, in cui ogni sensore

fornisce dati che possono essere usati per aumentare o al contrario per ridurre di importanza le informazioni degli altri sensori. La fusione competitiva è normalmente utilizzata con sensori che producono lo stesso tipo di dati. Questo tipo di approccio è quindi da scartarsi nel caso trattato in questo articolo in cui, invece, i sensori sono strutturalmente e concettualmente diversi tra loro.

La *fusione complementare*, in cui i sensori sono utilizzati in modo da valorizzare i vantaggi e ridurre gli svantaggi reciproci.

La *fusione indipendente*, che considera ogni sensore indipendente dagli altri. Quest'ultimo è il metodo di approccio più semplice che in prima approssimazione può essere utilizzato per il *mine detection*.

## Conclusione

Come abbiamo potuto notare, tra i vari metodi presentati, alcuni rappresentano l'adattamento di metodologie sperimentali già ampiamente note ed applicate in svariati campi.

Questi metodi sono basati per lo più sull'applicazione della radiazione elettromagnetica, sia essa in forma di campi a radiofrequenza, a microonde o a radiazione infrarossa. Tali tecniche hanno lo scopo di operare un assemblaggio di tecnologie già disponibili commercialmente, sia come generatori, sia come rivelatori, sia come componenti dei circuiti elettronici.

Diversa è invece la situazione per le altre due tecniche trattate: le tecniche nucleari e i sensori chimici.

Le tecniche nucleari si basano su processi noti, ma sfruttano una tecnologia collaudata solo a livello di laboratori di ricerca, in cui si adottano notevoli precauzioni, soprattutto per quanto riguarda il controllo e la limitazione delle emissioni radioattive. Per realizzare un sistema di identificazione portatile e non inquinante, è necessaria una ricerca innanzitutto sugli effetti che l'irraggiamento comporta sul terreno. Non va dimenticato, infatti, che lo scopo principale dello sminamento umanitario è proprio quello di conservare integro il territorio e le sue caratteristiche. Oltre alle influenze sul territorio bisogna tener presente la sicu-

rezza del personale impiegato che, essendo a contatto per parecchie ore al giorno con tali apparecchiature, si trova virtualmente esposto al rischio di una contaminazione e di un accumulo di radioattività.

L'altra categoria di sensori, che è stata trattata compiutamente, è quella dei sensori chimici. Cioè quei dispositivi che consentono, tra l'altro, anche la rivelazione dell'"odore chimico" emesso dagli ordigni esplosivi.

Abbiamo visto come il paradigma di questi sistemi è costituito dagli animali (principalmente i cani) che già ora vengono impiegati con successo nell'opera di ricerca ed individuazione di tali ordigni.

Se per i metodi elettromagnetici è possibile già da ora realizzare dei sistemi operativi e se per le tecniche nucleari i problemi da risolvere sono essenzialmente quelli di garantire la sicurezza per l'ambiente e per gli operatori, nel caso dei sensori chimici c'è ancora molta strada da percorrere nel settore della ricerca e sviluppo, prima che si possa realizzare un sistema basato su di essi e reso operativo sul campo.

Si tratta di una sfida che nasce dalla volontà di competere con la natura, la quale ha realiz-

zato e progettato dei sensori chimici così efficienti (come l'olfatto dei cani) da poter sentire il labile odore di una mina.

La ricerca nel settore dei sensori chimici è un'attività che già ora coinvolge molti ricercatori, sia in ambito accademico che industriale, in tutti i Paesi del mondo.

Dalle caratteristiche dei sensori chimici enunciate nei capitoli precedenti risulta chiaro come, per realizzare un sensore chimico, siano necessarie competenze specifiche in settori apparentemente molto diversi tra loro come la fisica, l'elettronica, la chimica, la biologia e la matematica. Lo sviluppo delle conoscenze sui sensori è oggetto di continue attenzioni e lo sminamento umanitario è visto oggi come uno dei campi applicativi di maggior interesse.

A conclusione di questa rassegna delle tematiche inerenti questo problema, si vuole sottolineare come l'Italia e l'Europa possiedano le potenzialità per contribuire positivamente alla soluzione di questo problema, e come sia necessario raccogliere ed orientare tutte quelle risorse che possano risultare necessarie per la soluzione di un problema di portata sociale, economica ed umanitaria

### NOTE BIOGRAFICHE

Il Ten. Col. g. SPE Mario TARANTINO, nato a Sternatia (LE) nel 1963 e residente in Roma ha frequentato l'Accademia Militare di Modena (164° Corso) e, dopo il corso di studi presso la Scuola di Applicazione di Torino, ha ricoperto l'incarico di Comandante di Compagnia presso il Reggimento Genio Ferrovieri.

Dopo il periodo di comando di Compagnia, è stato impiegato presso i seguenti Enti/Istituti:

- Scuola del Genio;
- Ispettorato del Genio;
- Ispettorato delle Armi dell'Esercito;
- Stato Maggiore dell'Esercito - Reparto Logistico, presso l'Ufficio Progetto Sviluppo e Approvvigionamento Sistemi, dove tuttora presta servizio.

#### Titoli di Studio:

- Laurea in Ingegneria civile - Trasporti (1989);
- Laurea in "Scienze Strategiche" (1999);

#### Corsi frequentati:

- Corso Superiore di Specializzazione nel Servizio Infrastrutturale per Ufficiali del Genio (1993 - 1994);
- 121° Corso di Stato Maggiore (1994 - 1995);
- 2° Corso ISSMI (1999 - 2000);
- Corso per Consigliere giuridico nelle Forze Armate.

#### Impieghi in missioni multinazionali all'estero:

- Bosnia (Sarajevo) - Quartier Generale SFOR, cellula genio (1996 - 1997);
- Kosovo (Pristina) - Quartier Generale KFOR, cellula genio (2000).

#### Lingue conosciute e accertate:

- Inglese;
- Francese;
- Spagnolo;
- Portoghese.

Ha pubblicato dei libri ed è collaboratore di alcune riviste militari.