

UTILIZZO DI SISTEMI ROBOTICI PER OPERAZIONI DI SOCCORSO TECNICO URGENTE IN AMBIENTI CON PRESENZA DI RISCHIO NUCLEARE, RADIOLOGICO, CHIMICO E BIOLOGICO

M. Mazza¹, S. Smaniotto², E. Pianese¹, V. Armentano¹, P. Blotta³

¹*C.N.VV.F. – D.C.E.S.T. – Controllo del rischio NR – Roma, 00100, Italia*

²*C.N.VV.F. - D.C.E.S.T. – Centro Operativo Antincendi – Roma, 00100, Italia*

³*C.N.VV.F. - D.C.E.S.T. – Controllo del rischio BC – Roma, 00100, Italia*

SOMMARIO

La presente pubblicazione, redatta da un apposito gruppo di lavoro istituito dal Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, ha l'obiettivo di definire le caratteristiche di sistemi robotici da utilizzare in operazioni di soccorso tecnico urgente in ambienti con presenza di rischio nucleare, radiologico, biologico e chimico (NRBC). Lo studio ha preso origine dalle caratteristiche di robots utilizzati in operazioni di soccorso (ad es. per la ricerca delle vittime a seguito del collasso del World Trade Center di New York nel periodo tra l'11 settembre ed il 2 ottobre 2001) evidenziando i limiti di questi sistemi in quanto nati esclusivamente per effettuare operazioni di ricerca delle vittime.

In particolare, gli eventi dell'11 settembre 2001 hanno comportato l'evoluzione degli scenari di soccorso tecnico urgente. Pertanto, un sistema robotico che possa essere considerato un utile ausilio per i soccorritori (ed in particolare per i Vigili del Fuoco) dovrebbe, altresì, essere in grado di compiere "tasks" più complessi come quello del triage medico delle vittime o il riconoscimento delle sostanze pericolose disperse, anche volontariamente, in ambiente (es. attentati terroristici con bombe non convenzionali e conseguente presenza di rischio NBCR- nucleare, biologico, chimico e radiologico) ovvero dovrebbe poter recuperare le sostanze e gli oggetti collocati in aree con presenza di sostanze pericolose ("hazardous areas").

I robots, come ogni macchina e molti alti prodotti, devono sottostare a diverse norme: alcune di queste sono di applicazione volontaria, altre obbligatoria. Le norme possono avere diversa natura: alcune di esse stabiliscono dei vincoli su come i vari prodotti devono essere costruiti o impiegati e quindi sulle caratteristiche che devono avere. Altre norme invece stabiliscono come le diverse caratteristiche devono essere misurate, presentate ed eventualmente certificate.

Ai robots si applicano tutte le norme relative alle macchine. Inoltre, dato che normalmente sono alimentati da energia elettrica, si applicano le normative relative ad apparecchiature elettriche. Un elenco di tutte le norme cui deve soddisfare un robot è, pertanto, difficilmente compilabile.

Oltre alle norme tecniche esistono anche norme legislative emanate dalla Comunità Europea e dai singoli stati soprattutto nel campo della sicurezza e prevenzione infortuni.

Gli autori hanno raccolto le principali norme tecniche specifiche per la robotica in modo da poter fare riferimento ad esse nella scelta del rescue robot più idoneo per le esigenze dei soccorritori Vigili del Fuoco.

Sono stati, inoltre, raccolti i dati tecnici dei più diffusi strumenti di rilevazione radiologica, chimica e biologica in dotazione al Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco al fine di poterne valutare il montaggio su "rescue robots" per l'individuazione delle zone di rischio.

INTRODUZIONE

Le analisi svolte relativamente agli interventi di soccorso tecnico urgente effettuati in occasione di grandi disastri naturali come terremoti, alluvioni, eruzioni vulcaniche, ecc. o causati dall'uomo (incendi, bombe, dispersione in ambiente di tossici e/o inquinanti, ecc.) hanno evidenziato diversi aspetti nei quali si potrebbe intervenire per migliorare l'efficacia delle operazioni: in particolare, risulta indispensabile aumentare la possibilità di salvare vite umane evitando, altresì, di esporre a seri rischi i soccorritori che intervengono subito dopo l'evento.

Tra gli aspetti che risultano particolarmente significativi e che evidenziano i vantaggi che l'impiego di un robot può offrire alle operazioni di soccorso sono stati individuati:

1. la riduzione del rischio a cui sono sottoposti gli operatori;
2. l'ampliamento delle possibilità di esplorazione alla ricerca di eventuali vittime, dovuto all'impiego di dispositivi con caratteristiche di movimentazione specializzate rispetto a quelle del corpo umano;
3. la semplificazione di alcune attività di intervento relative all'inquadramento della situazione, come la generazione automatica di una mappa dell'ambiente da esplorare o la rilevazione automatica di vittime.

Lo sviluppo di un sistema robotico per il soccorso è un compito complesso che coinvolge numerosi settori di ricerca: meccanica, elettronica, robotica, informatica ed intelligenza artificiale.

1 CARATTERISTICHE GENERALI DEI ROBOTS

E' opportuno specificare che con sistema robotico si intende un insieme di componenti eterogenei formato da robot, strumenti di calcolo, sensori specializzati, PDA (personal digital assistant) e software la cui funzione complessiva è quella di eseguire uno o più compiti (tasks) utili: lavori ripetitivi o di precisione, movimentazione o manipolazione di sostanze pericolose, operazioni in spazi angusti, ecc. [1]. Quando i tasks sono finalizzati allo svolgimento di un'azione di soccorso si parla di *rescue robot* [2], il robot soccorritore destinato ad affiancare l'operatore umano nelle operazioni di soccorso più complesse. In Fig. 1 è riportato un esempio di robot utilizzato per l'espletamento di operazioni di soccorso.



Figura 1. Robot mod. Wheelbarrow Revolution della ditta REMOTEC testato per impieghi NRBCE

1.1 I robot per il soccorso

Lo sviluppo di un sistema robotico per il soccorso (rescue robot) inizia dalla specifica delle funzionalità che il sistema deve svolgere e dal suo livello di autonomia. In sostanza, è necessario specificare cosa il sistema deve essere in grado di fare ed in quale misura tale sistema deve essere controllato durante le operazioni, al fine di garantirne il corretto funzionamento. Relativamente al

primo punto, è necessario specificare se il robot utilizzato per operazioni di soccorso dovrà avere funzionalità di esplorazione (come individuare vittime e costruire la mappa di un ambiente inaccessibile), di intervento (ad esempio in caso di esplosione ed incendio) ovvero capacità composte. Relativamente al secondo punto occorre scegliere tra un funzionamento completamente teleoperato ed uno completamente automatico, tenendo presente la possibilità di avere livelli intermedi di autonomia. La scelta del livello di autonomia dipende anche dalla criticità della funzione che il sistema deve svolgere: per compiti delicati, come ad esempio l'estrazione di una vittima intrappolata nelle macerie, è opportuno un basso livello di autonomia in quanto errori nel funzionamento del sistema potrebbero avere conseguenze inaccettabili, mentre per semplici compiti di esplorazione è auspicabile un alto livello di autonomia in quanto permette di risparmiare risorse umane.

Benché al livello di ricerca scientifica se ne parli già dagli anni Novanta del secolo scorso[3], l'utilizzo di sistemi robotici per lo svolgimento di operazioni di soccorso (search and rescue operations) è stato sperimentato, per la prima volta, in occasione del disastro al World Trade Center di New York (11/9/2001) [4,5]. In quell'occasione, i robots sono stati utilizzati per:

- ricerca delle vittime dell'attentato;
- individuazione di percorsi in grado di rendere più agevole le operazioni di scavo delle macerie;
- ispezione delle strutture coinvolte nel crollo;
- individuazione e manipolazione di materiali pericolosi.

Il ricorso a robots si rese necessario perché essi potevano andare a profondità maggiori rispetto alle tradizionali apparecchiature di ricerca (i robots generalmente raggiungevano 5-20 metri all'interno del mucchio di macerie contro i 2 metri massimi di una videocamera montata su di un palo), potevano entrare in cunicoli troppo piccoli per gli esseri umani o per i cani da ricerca ovvero prendere il loro posto in presenza di incendi o di elevato rischio di collasso strutturale. I robots svolsero tutti i loro tasks bene e, cosa che sembrò molto importante, essi furono accettati di buon grado dai soccorritori "umani". Tutti i robots furono teleoperati a causa dell'inattesa complessità dell'ambiente di lavoro, delle limitazioni dei sensori montati e dei problemi evidenziati dagli utilizzatori. In Fig. 2 è riportato uno dei robot utilizzati dal CRASAR (Center for Robot-Assisted Search and Rescue) dell'Università della South Florida in occasione delle operazioni a seguito dell'attentato al WTC di New York.



Figura 2. Robot Inuktun del CRASAR utilizzato durante le operazioni di soccorso al WTC

Dopo l'11/9/2001, molti ricercatori hanno cominciato ad interessarsi di utilizzo di sistemi robotici per le operazioni di soccorso. In particolare, l'esperienza maturata dal CRASAR in un ambito molto specifico del soccorso quale è stata quella che ha fatto seguito all'attentato al WTC, ha evidenziato la necessità di:

- estendere l'utilizzo di robots dal campo del Search & Rescue (ricerca e salvataggio) al campo del soccorso sanitario, del rischio NBCR (HazMat) e dell'analisi delle strutture con rischio di crollo;
- sviluppare sensori e procedure per consentire il triage sanitario delle vittime;

- mettere a punto procedure di soccorso che prevedono l'impiego di sistemi robotici.

In Italia, il laboratorio SIED (Sistemi intelligenti per l'Emergenza e la Difesa Civile) dell'Università di Roma "La Sapienza" ha studiato sistemi robotici autonomi per l'esplorazione di scenari a rischio [6] e ha realizzato un sistema di simulazione e robotico con lo scopo di mettere a punto uno strumento per gli operatori del soccorso in interventi ed in scenari caratterizzati da gravi disastri. (es. terremoto che ha coinvolto l'Umbria e le Marche nel 1997).

1.2 Norme legislative e tecniche

I robots, come ogni macchina e molti alti prodotti, devono sottostare a diverse norme: alcune di queste sono di applicazione volontaria, altre obbligatoria. Le norme possono avere diversa natura: alcune di esse stabiliscono dei vincoli su come i vari prodotti devono essere costruiti o impiegati e quindi sulle caratteristiche che devono avere. Altre norme invece stabiliscono come le diverse caratteristiche devono essere misurate, presentate ed eventualmente certificate. Per alcuni casi è prevista un'autocertificazione del costruttore, per altre è richiesto che la certificazione sia rilasciata da un ente autorizzato. In particolare, ai robot si applicano tutte le norme relative a macchine. Inoltre, dato che normalmente sono alimentati da energia elettrica, si applicano le normative relative ad apparecchiature elettriche. Un elenco di tutte le norme cui deve soddisfare un robot è, pertanto, difficilmente compilabile. Oltre alle norme tecniche esistono anche norme legislative emanate dalla Comunità Europea e dai singoli stati soprattutto nel campo della sicurezza e prevenzione degli infortuni.

Le principali norme tecniche specificate per la robotica sono riportate nella tab. 1. Esse possono essere suddivise in norme per la valutazione della compatibilità elettromagnetica (EMC) e norme di sicurezza.

Il funzionamento di ogni macchina (e quindi dei robots) con parti funzionanti ad energia elettrica è potenzialmente influenzata dalla presenza di disturbi di tipo elettromagnetico. Contemporaneamente questa macchina può essere fonte di disturbi per le macchine circostanti [7].

Il tipo e l'intensità dei disturbi elettromagnetici che possono influenzare il comportamento di una macchina e che possono verificarsi durante il suo uso possono essere parzialmente previsti dal costruttore ma in ogni caso è importante che l'acquirente sia informato sul cosiddetto grado di immunità del prodotto acquistato. La conoscenza del grado di immunità del prodotto e dei disturbi presenti nell'ambiente dove la macchina dovrà operare serviranno per decidere l'eventuale adozione di misure tese a migliorare l'ambiente di utilizzo o il prodotto stesso (robot nel caso in questione).

In base al D.L.vo 476 del 4.12.1992, ogni apparecchio elettrico ed elettronico immesso sul mercato italiano a far data dal 1.1.1996 deve essere provvisto della marcatura CE e deve essere realizzato in modo da non provocare interferenze elettromagnetiche dannose e da avere adeguato livello di immunità intrinseca contro i disturbi elettromagnetici.. Come norme di riferimento per la robotica si possono citare le norme UNI 10270 del 1994: Guida all'esecuzione e valutazione delle prove di compatibilità elettromagnetica su sistemi robotici di manipolazione industriale e le ISO/TR 11062 del 1994.

Le diverse normative di sicurezza in vigore si prefiggono lo scopo di garantire che le singole macchine (inclusi i robots) siano conformi a certi standard minimi di sicurezza. In particolare, nel caso dei robot i danni maggiori (ma non i soli) che si devono prevenire sono i danni conseguenti ad urti o comunque a contatti tra parti in movimento e persone (schiacciamento, cesoiamento, ecc.) . A questo proposito le norme danno alcune prescrizioni che tendono ad evitare questi pericoli con diverse modalità tra cui:

- introduzione di opportuni ripari fissi o mobili;
- predisposizione dell'unità di controllo in modo da:
 - limitare il rischio di movimenti accidentali o in istanti di tempo non prevedibili;
 - limitare o escludere il movimento quando alcuni ripari sono aperti;
 - assicurare che l'operatore abbia sempre il controllo della situazione;
- istruendo opportunamente il personale addetto.

Per quanto riguarda la norme specifiche esiste la norma UNI EN775 (ISO 10218) che fornisce dettagli e specifiche utili nell'applicare il contenuto della cosiddetta Direttiva Macchine al caso di manipolatori industriali. Tale norma tecnica armonizzata fornisce una guida sulla progettazione, costruzione, programmazione, funzionamento, riparazione e manutenzione dei robot industriali di manipolazione e dei sistemi robotici.

Tab. 1 Principali normative tecniche per la robotica

Norma ISO Numero:anno	Norme UNI corrispondenti	Denominazione (UNI se esistenti, ISO altrimenti)
ISO 6210-1:1991		Cylinders for robot resistance welding guns – Part1 General requirements
ISO 8373:1994	UNI UN ISO 8373:1997	Robot industriali di manipolazione - vocabolario
ISO 8867-1:1988		Industrial asynchronous data link...
ISO 9283:1998	UNI EN ISO 9283:1999	Robot industriali di manipolazione – Criteri di prestazione e relativi metodi di prova
ISO 9409-1:1996	UNI EN ISO 9409-1:1998	Robot industriali di manipolazione – Interface meccaniche Flange
ISO 9409-2:1996	UNI EN ISO 9409-2:1998	Robot industriali di manipolazione – Interface meccaniche Alberi
ISO/IEC 9506-1:1991	UNI CEI EN 29506/1:1995	Sistemi di automazione industriale – Specifiche dei messaggi in ambiente industriale (MMS)- Definizione del servizio
ISO/IEC 9506-2:1990	UNI CEI EN 29506/2:1994	Sistemi di automazione industriale – Specifiche dei messaggi in ambiente industriale (MMS)- Specifica del protocollo
ISO/IEC 9506-3:1991	UNI CEI EN 29506/3:1994	Sistemi di automazione industriale – Specifiche dei messaggi in ambiente industriale (MMS)- norma associata
ISO 9787:1999	UNI EN ISO 9787:1999	Robot industriali di manipolazione – Sistemi di coordinate e nomenclature di movimenti
ISO 9946:1999	UNI EN ISO 9946:1999	Robot industriali di manipolazione – Presentazione delle caratteristiche.
ISO 10218:1992	UNI EN 775:1994	Robot industriali di manipolazione – Sicurezza
ISO/TR 10562:1995		Manipulating Industrial Robots-Intermediate Code of Robots
ISO/DIS 10656		Electric resistance welding – Transformers for welding guns with integrated transformers (robot guns)
ISO/TR 11032:1994		Manipulating Industrial Robots – Application Oriented Test Spot welding
ISO/TR 11062:1994	UNI 10270:1994	Guida all'esecuzione e valutazione di prove di EMC sui sistemi robotici di manipolazione industriale
ISO 11593:1996	UNI EN ISO 11593:1999	Robot industriali di manipolazione – Sistemi di scambio automatico e dispositivi di estremità – Vocabolario e presentazione delle caratteristiche
ISO/TR 13309:1995		Manipulating Industrial Robots – Informative guide on test equipment and metrology methods of operation for robot performance evaluation in accordance with ISO 9283
ISO/TR 13345:1994		Industrial Automation System – Specification of subsets of the Protocol for ISO/IEC 9506
ISO 14539:2000		Manipulating industrial robots: Object handling with grasp-type grippers – Vocabulary

2 CARATTERISTICHE DEI “RESCUE ROBOTS”

Non è facile definire le caratteristiche di un robot da utilizzare in operazioni di soccorso. In particolare, è indispensabile individuare preventivamente il task che deve svolgere e, in funzione di quest'ultimo, cercare di definire le specifiche del robot stesso. Inoltre, in talune circostanze (ad es. emergenze NBCR) il task è talmente specifico e complesso da richiedere un'approfondita valutazione anche delle apparecchiature (sensori e strumenti) che si hanno a disposizione.

2.1 Specifiche per i “rescue robots”

Il Laboratorio CRASAR dell'Università della South Florida propone alcune specifiche per “rescue robots” [8]. In particolare, un sistema robotico dovrebbe essere:

- facilmente trasportabile. Bisogna disporre di un apposito contenitore in cui deporre non solo il robot ma anche l'unità di controllo, le batterie di scorta ovvero il dispositivo di ricarica, le attrezzature necessarie per le riparazioni più semplici ed i pezzi di ricambio. L'intero sistema dovrebbe essere pronto “all'uso” in 5 minuti;
- non eccessivamente ingombrante e/o pesante in modo da poter essere trasportabile sugli aerei (es. robots azionati con motori elettrici sono più facili da caricare su un aereo rispetto a quelli azionati con motori a combustione interna);
- utilizzabile sia in condizioni di oscurità totale che di eccessiva presenza di luce. Si rammenta che questo non è soltanto un problema di illuminazione del display ma anche di numerosi

robots e delle unità di controllo degli stessi che hanno problemi di sovra-temperatura lavorando poche ore al sole;

- facilmente decontaminabile. Il robot deve essere accuratamente pulito prima di essere utilizzato in nuove operazioni;
- dotato di piattaforma software in grado di supportare l'interoperabilità e l'aggiunta di nuove funzionalità.

Inoltre, ciascun robot dovrebbe almeno:

- Essere dotato di seguenti componenti di base:
 - video camera a colori con zoom;
 - 2 canali radio (entrambi utilizzati per comunicazioni e per diagnosi di problemi del sistema);
 - sistema di illuminazione (preferibilmente LED in modo da ridurre la possibilità di innesco in atmosfera con presenza di miscele esplosive);
 - monitor a colori.
- Disporre di un punto di attacco per legare una corda di sicurezza (indispensabile nel caso di robot wireless).
- Essere impermeabile sia in caso di immersione in profonde pozze di acqua sia nel caso di lavaggio utilizzando acqua ad alta pressione.
- Preferibilmente, essere capace di movimentazione inversa (sottosopra - invertible robot) ovvero dotato di sistema in grado di ripristinare la posizione corretta in caso di "inversione" (self-righting robot, poco adatto agli ambienti molto angusti).
- Essere dotato di sistema in grado di misurare la temperatura ambientale (ai fini di garantire la sicurezza umana, delle strutture e la funzionalità dello stesso robot).
- Avere un MTBF (tasso di guasto per i componenti del sistema) di 96 ore (questo è il valore minimo accettabile per i robot militari).
- Essere costituito da componenti colorati in modo molto visibile. Ciò consente di individuare facilmente il robot, di verificare a vista la pulizia del sistema robotico e, non ultimo, di incutere meno timori nei sopravvissuti in caso di utilizzo (ad es., ad un robot nero nei buoi può risultare sconcertante per la persona da soccorrere che vede solo le luci e sente il rumore del movimento vicino a sé).
- Non presentare cavi volanti (essi dovrebbero essere agganciati alla superficie). Inoltre il robot dovrebbe fornire indicazioni sulla propria configurazione fisica (es. posizionamento delle videocamere, se gli end-effectors sono distesi, ecc.).
- Dovrebbe avere i collegamenti (elettrici, di comunicazione, ecc.) con possibilità di facile disconnessione/connessione per motivi di sicurezza ma anche in caso di errore umano.

L'unità di controllo del robot (OCU-operator control unit) dovrebbe:

- Essere predisposta in modo che due operatori possano vedere le immagini e sentire i suoni (alcuni studi hanno mostrato che con due operatori che lavorano insieme è 9 volte più probabile trovare eventuali vittime che non con un solo operatore).
- Registrare tempi, azioni, immagini dei luoghi, ecc. in modo da consentire la ricostruzione di ciò che il robot ha fatto o ha visto.
- Massimizzare l'area di visione.
- Consentire al sistema robotico di funzionare nelle seguenti condizioni operative:
 - in presenza di fumo, acqua, polvere e vapore acqueo sospeso in aria, fango, sporcizia, escrementi umani, agenti biologici, aggressivi chimici;
 - in condizioni ambientali estreme (caldo elevato, freddo estremo);
 - possibilmente in ambiente con presenza di atmosfere esplosive (è molto difficile avere un robot intrinsecamente sicuro ai fini dell'esplosione);
 - in presenza di sostanze radioattive.

Inoltre il robot dovrebbe anche essere dotato di sensori aventi caratteristiche che dipendono dalle specifiche del task che deve svolgere.

2.2 Specifiche per un robot per i Vigili del Fuoco

Un robot per le operazioni di soccorso dei Vigili del Fuoco potrebbe essere utilizzato per missioni di investigazione sulla stabilità delle strutture (necessità di uno zoom sul video), ovvero per le missioni di ricerca di persone coinvolte in disastri (necessità di un video a colori, disponibilità di un sensore del livello di ossigeno per la sicurezza umana), ovvero per le missioni HazMat (possibilità di montare strumentazione per la rilevazione NBCR wireless, possibilità di prelievo di campioni di liquidi e di terreni solidi in appositi contenitori richiudibili e trasportati dallo stesso mezzo, possibilità di prelievo di campioni di polvere su tampone con smear test e relativo ricovero del tampone in appositi contenitori richiudibili e trasportati dallo stesso mezzo).

Pertanto, un sistema robotico “ideale” per i Vigili del Fuoco, oltre ad avere le caratteristiche già evidenziate nel precedente paragrafo 2.1, richiede anche una minima conoscenza preventiva delle possibilità di utilizzazione, al fine di valutare i limiti prestazionali del sistema stesso. In particolare, un robot da utilizzare per missioni HazMat implica l’utilizzo di apparecchiature e sensori per il rilevamento che devono essere compatibili con la piattaforma robotica e, soprattutto, devono essere in grado di fornire all’operatore, che è collocato ad una certa distanza dalla zona di intervento (“hot zone”), tutte le informazioni necessarie per la caratterizzazione dello scenario. Bisogna, perciò, conoscere i limiti di funzionamento della strumentazione NBCR a disposizione al fine di ottenere una mappatura completa dello scenario delle operazioni. In appendice si riportano le caratteristiche dei principali strumenti NBCR in dotazione ai Vigili del Fuoco. Non sono state riportate le caratteristiche degli strumenti utilizzati per il rischio radiologico poiché per questa categoria di strumenti sono in esecuzione prove di trasmissione wireless dei dati registrati. Inoltre, i robots per il soccorso sono progettati per cooperare con gli operatori di soccorso assistendoli durante le loro missioni. Per questo motivo l’affidabilità della comunicazione tra robot e operatore rappresenta un fattore cruciale in questo tipo di missioni. In molte situazioni, tuttavia, il robot dovrebbe presentare un certo grado di autonomia per poter operare in maniera efficiente anche durante i periodi di black-out di comunicazione.

CONCLUSIONI

Gli scenari di emergenza offrono un’ampia varietà di compiti per cui risulta possibile la sperimentazione robotica. In particolare, poter disporre di un sistema robotico da utilizzare per le operazioni dei Vigili del Fuoco che comportano la presenza di rischio NBCR consentirebbe di svolgere in sicurezza alcune operazioni molto pericolose e complesse di soccorso tecnico urgente e di ottenere un notevole risparmio di risorse umane impiegate. D’altra parte, molte sono le difficoltà che si incontrano per definire le specifiche di un “rescue robot” in grado di soddisfare tutte le esigenze operative che caratterizzano gli scenari di emergenza che coinvolgono i Vigili del Fuoco.

RIFERIMENTI

1. Nardi, D., Biagetti, A., Grisetti G., Iocchi L., Lo Cascio S., Il robot per il soccorso, Obiettivo Sicurezza, Luglio 2003, pp. 58-63.
2. Murphy, R., Robot Rescue for Homeland Security, Communication of the ACM, March 2004/47.
3. Blitch, J.G., Artificial Intelligence Technologies for Robot Assisted Urban Search and Rescue, Expert Systems with Applications, vol. II, n. 2., pp. 109-124, 1996
4. Murphy, R., Rescue Robot at the World Trade Center, IEEE Robotics and Automation, June 2004.
5. Murphy, R., Casper, J., Human-robot interaction during the robot assisted urban and rescue response at the WTC, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, June 2003
6. Bahadori, S., Calisi, D., Censi, A., Farinelli, A., Grisetti, G., Iocchi, L. & Nardi, D., Autonomous Systems for Search and Rescue, Rescue Robotics Book, 2005.
7. CEI 110-24 (settembre 1995): Guida all’applicazione del decreto legislativo sulla Compatibilità Elettromagnetica (EMC).
8. CRASAR web site, <http://crasar.csee.usf.edu/industry/nsf.htm>

APPENDICE

Sistemi di rilevazione chimica

Rilevazione chimica					
	Peso	Autonomia batterie	Campo di azione (quali/quantitativo)	Limiti operativi (temperatura, umidità, atmosfere esplosive)	Possibilità trasmissione dati a distanza (fibra ottica/wireless)
PID ppb RAE/P GM-7240 (RAE SYST EM)	450 g. con batteria Lunghezza 21,8 cm Larghezza 7,62 cm Spessore 5,8 cm	5/7 giorni spento 10 ore con funzionamento continuo	Rilevatore portatile di composti organici (VOC) al livello di ppb e datalogger 102 fattori di correzione	L'apparecchio è classificato a Sicurezza Intrinseca per uso in luoghi di classe 1, UL e cUL Classe 1, Divisione I, gruppi A,B,C,D. (USA e CANADA) – EEx ia IIC T4 (EUROPA). Lo strumento non è stato provato in un'atmosfera esplosiva di aria/gas che abbia una concentrazione di ossigeno superiore al 21%. Intereferenze EM: Nessun effetto quando esposto a interferenza di 0.43 mW/cm ² RF un trasmettitore da 5 Watt a 305 mm. Temperatura: -10 +40 °C Umidità relativa: 0-95% (senza condensa)	Letture ricavabile con telecamera Allarme acustico (90 dB) e visivo (led rosso lampeggiante) (oltre 2 miglia-1 miglio = Possibilità di trasferimento dati wireless 1609,3 metri)
IMS Chem Pro 100 (Environics)	Peso 600 g. senza batteria Peso batteria 170 g. Altezza 22.9 cm Larghezza 10.2 cm Profondità 5.1 cm	8/10 ore funzionamento normale	Progettato per rilevare agenti di guerra chimica (CWAs) e composti/materiali tossici industriali (TICs/TIMs) (vapori) 16 canali di misura	Tenuta pioggia/acqua (impermeabile) Temp.: -30 +55°C MIL-STD-461E (10kHz-18GHz) (interferenza elettromagnetica)	Allarme acustico/visivo
GDA2	Peso 4.2 kg senza batterie 395x112x210 mm		Rilevatore portatile di sostanze pericolose e CWAs (pid, ims-4canali, EC, 2 mos)		Trasmissione dati a distanza in fase di studio Allarme acustico/visivo
Analizzatore Multigas Draeger X-AM 7000 (in dotazione al Comando di torino)	Peso 600 g. senza batteria Peso batteria 490g. (3.0Ah, 730 g. (6.0Ah) 150 x 140 x 75 mm	3.5/7 ore a seconda della batteria	Misuratore multi gas e datalogger Sensori: Sensore IR per CH ₄ Sensore Catalitico (Metano/Etano/Propano/Butano/Sensore EX) Sensore Elettrochimico Biossido di Zolfo (SO ₂) Sensore Elettrochimico Fosfine (PH ₃) Sensore Elettrochimico Ossidi Nitrosi (NO)	Temp.: -20 +55°C Press.: 0.7 1.3 atm Umidità: 10-95% Enclosure rating: IP 67 ATEX II 2G EEx ia d IIC T4; -20<Ta<60°C I M2 EEx ia d I EC-Ytype Examination Certificate BVS 03 ATEX E 371 X Compatibilità elettromagnetica (Direttiva 89/336/EEC)	Trasmissione dati a distanza in fase di studio Allarme acustico/ottico > 100dB a 30 cm di distanza

SISTEMI DI RILEVAZIONE BIOLOGICA

Rilevazione biologica					
	Peso	Autonomia batterie	Campo di azione (quali/ quantitativo)	Limiti operativi (temperatura, umidità, atmosfere esplosive)	Possibilità trasmissione dati a distanza (fibra ottica/ wireless)
Bio Capture 650 Hand-Held Air Sampler MESOSY STEM	<p>Peso 7.5 lbs</p> <p>Misura: 7 x 6 x 14 pollici</p>	2 ore	<p>Campionatore (aerosol/solido)</p> <p>operatine Flow Rate: 200 LPM</p> <p>Particle Collection Size: 0.5-10 microns</p> <p>Liquid Sample Volume: 5 ml</p> <p>Sampling Time: 5,15,30,60,minutes</p> <p>Electrical 12 VDC, 26 watts</p>	<p>Temp.: 2 54°C</p> <p>Press.: 0.7 1.3 atm</p> <p>Umidità: 10-95% in assenza di condensa</p> <p>Shock/Drop: 36" drop on all faces and edges</p> <p>Non-operating Vibration: 5-55 Hz: 0.7g at 5-15 Hz; 1.2g at 16-25 Hz; 3g at 26-55 Hz</p> <p>Operating Altitude: 15,000ft</p> <p>Rain: Water tightness; 1.8" per Hour in 20 mph wind for 30 minutes</p> <p>Fungus: Material don't support growth</p> <p>Salt Fog: Materials certified not to corrode</p>	
Stick primo allarme					