

Impiego futuro di unità robotiche nella valutazione di scenari incidentali di tipo USAR e NBCR: Stato dell'arte del progetto europeo "TRADR - Long Term Human-Robot Teaming for Robot Assisted Disaster"

S. Corrao¹, T. Guerrieri², M. Giani³, F. Pirri³, E. Pianese⁴

¹C.N.VV.F.- Comando Provinciale VV.F. di Roma

²C.N.VV.F.- Direzione Centrale per le Risorse Logistiche e Strumentali – Innovazione Tecnologica & Energy Management

³Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

⁴C.N.VV.F.- Direzione Centrale per l'Emergenza e il Soccorso Tecnico – Colonne Mobili e Servizi Specializzati

SOMMARIO

I disastri naturali, quali terremoti, alluvioni, dissesti idrogeologici e eruzioni vulcaniche che si verificano con crescente frequenza in ogni parte del mondo, così come gli incidenti causati da attività antropiche, sia di origine industriale, che di natura non convenzionale e terroristica, fanno riflettere sulla necessità di migliorare le tecniche di intervento dei Vigili del Fuoco in tali scenari operativi. In particolare il "risk assessment" e il "risk management" relativo alle prime fasi emergenziali di tali eventi, l'analisi approfondita dei rischi connessi a tali eventi durante le fasi emergenziali, ha evidenziato, tra gli aspetti più critici e complessi della gestione delle operazioni di soccorso, i rischi a cui sono esposti i primi soccorritori. Alla luce di tali valutazioni e considerando la mole di conoscenze e le "lessons-learned" acquisite direttamente sul campo in anni di attività di soccorso tecnico urgente, sono stati evidenziati i punti critici delle fasi di intervento in scenari incidentali complessi, in termini di gestione di uomini e mezzi. Tali considerazioni hanno portato all'idea di un possibile impiego di unità robotiche in scenari di soccorso con fasi iniziali ad elevato rischio e grado di incertezza delle possibili evoluzioni dell'evento. L'obiettivo è quello di migliorare il grado di informazioni acquisite per la fase di "decision making" e l'efficienza delle operazioni di soccorso, avendo nel contempo maggior cura della salvaguardia della sicurezza dei primi soccorritori, in particolar modo del personale dei Vigili del Fuoco.

Gli scenari a cui ha fatto riferimento lo studio sono stati essenzialmente di tipo USAR e CBRN; i principali aspetti esaminati sono di seguito sintetizzati:

- capacità di ricostruire la scena del disastro tramite una mappatura dell'ambiente e degli eventi significativi, avendo informazioni aggiornate in tempo reale, che consentano di sfruttare al meglio le risorse disponibili e focalizzare l'intervento nelle zone di massima necessità;
- possibilità di usare unità robotiche terrestri e aeree (cosiddetti "rescue robots"), in ausilio agli operatori del soccorso, per l'acquisizione di maggiori informazioni inerenti lo scenario dell'incidente (es. per la rilevazione di sostanze pericolose attraverso sensoristica di bordo e individuazione di eventuali vittime) nelle situazioni in cui l'intervento del soccorritore potrebbe risultare troppo rischioso o comunque reso impossibile dalle particolari condizioni avverse dello scenario stesso;
- la possibilità di utilizzare sistemi integrati che consentano di monitorare in tempo reale le attività degli operatori, fornendo una visione dal vivo della zona dell'incidente in cui gli operatori stanno o devono svolgere l'attività di soccorso. I sistemi robotici autonomi, fornendo una visione completa e da remoto, della zona incidentata, possono garantire protezione e sicurezza e, al tempo stesso, una maggiore efficacia ed efficienza nello svolgimento delle attività degli operatori di soccorso.

In questo contesto si inserisce il progetto internazionale TRADR, che ha come obiettivi:

- lo sviluppo di sistemi robotici che consentano la mappatura delle aree colpite mediante scansioni laser e telecamere ad alta definizione e siano in grado di operare (UGV) prelevando campioni fisici tramite un braccio meccanico;
- lo sviluppo di sistemi di comunicazione evoluti uomo-robot e uomo-multi robot;
- l'implementazione di sistemi cognitivi basati sull'apprendimento di comportamenti adeguati alla situazione in cui il sistema opera e lo scambio di informazioni tra robot e team uomo-robot;

- la sinergia di azione tra le unità robotiche ed umane, per garantire una maggiore efficienza durante le operazioni di soccorso.

Nell'ambito del progetto TRADR, di indubbia valenza tecnico-scientifica ed innovativa, il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco ha messo a disposizione la propria esperienza e professionalità, finalizzando il progetto e inserendolo in un contesto concreto e operativo. In tal senso sono stati effettuati veri e propri test campali dei prototipi sviluppati in scenari simulati presso il campo macerie del Comando Prov.le VV.F. di Prato e nelle zone colpite dal sisma in Emilia (2012) per le attività di valutazione della stabilità degli edifici pregevoli per arte e storia danneggiati dopo le scosse del terremoto. Tale attività ha consentito ai ricercatori di comprendere in maniera più esaustiva le potenzialità dei sistemi progettati e di verificarne l'impiego "in team" in condizioni reali con gli "end-user" dei Vigili del Fuoco.

Il progetto TRADR utilizza e sperimenta sul campo la metodologia di progettazione "usercentric", che implica una stretta cooperazione con gli utenti finali e una stretta integrazione della tecnologia. Inoltre affronta la conseguente sfida della ricostruzione graduale ed integrata della zona di pericolo, in ambienti in continua evoluzione, mediante diverse sortite, durante le quali i robot possano conoscere l'area in cui operano ed eseguire al meglio i compiti della squadra uomo-robot.

Nell'ambito del progetto sono stati simulati e sperimentati diversi casi di risposta ad un'emergenza a seguito di un'incidente di larga scala industriale (esercitazioni effettuate nel centro di addestramento industriale dei vigili del fuoco di Dortmund), nei quali squadre miste composte da soccorritori umani e robot, sia di terra che di aria, hanno collaborato per esplorare l'area pericolosa, raccolto informazioni e prelevato campioni per le seguenti analisi secondo le procedure operative di soccorso in tali contesti.

La presente pubblicazione, redatta a valle del progetto europeo "TRADR – Long Term Human-Robot Teaming for Robot Assisted Disaster" (EU FP7 Programme for Information and Communication Technologies: Cognitive Systems & Robotics, Grant no. 60963, 2013/11 - 2017/12) di cui il Corpo Nazionale è beneficiario di progetto insieme ad altri Partners, tra i quali l'Università degli Studi "La Sapienza" di Roma e i Vigili del Fuoco di Dortmund, descrive i risultati finora ottenuti, facendo riferimento a diverse esercitazioni, alle sessioni di valutazione e disseminazioni tenutesi in Italia e in Europa.

1. INTRODUZIONE

Inizialmente lo studio si è concentrato principalmente sull'interazione di gruppi autonomi di droni o robot tra loro, per poi soffermarsi sul crescente interesse per gli aspetti tipici del comportamento umano. Infatti, a differenza dei sistemi autonomi che sono progettati per sostituirsi all'azione dell'uomo, nel progetto TRADR, continuazione del progetto ICT UE del 7° PQ NIFTI [3], si è preferito sostenere la filosofia che persone, droni e robot possano lavorare insieme in un team con una continua "interazione uomo-macchina". [1], [2]. Il cuore della metodologia di questa progettazione è un approccio "user-centric"[4], [5], applicato per sviluppare un complesso sistema di collaborazione robot-uomo in diversi scenari di ricerca e soccorso SAR. Di seguito saranno descritti le componenti del ciclo di sviluppo del concetto "user-centric", in particolare per gli aspetti riguardanti il riconoscimento dello scenario e l'interazione/collaborazione uomo-robot. Poi, riassumiamo la sua applicazione in NIFTI e le esperienze raccolte lungo la strada per la messa in campo di un team congiunto uomo-robot per scenari di tipo SAR. Per completare il quadro diamo un breve panoramica tecnica del sistema complesso che abbiamo sviluppato utilizzando questa metodologia.

2. LA PROGETTAZIONE USER-CENTRIC IN APPLICAZIONI ANTROPICHE

La metodologia user-centric è un approccio generale per lo sviluppo sia incrementale che interattivo della Human Robotics System (HRSS). Con il termine Human Robotics System si intendono avanzate tecnologie robotiche per amplificare la produttività umana e ridurre rischio di pericolosità di una missione, migliorando l'efficacia delle squadre uomo-robot. La metodologia si compone di quattro fasi principali: (1) intuizioni e analisi dei requisiti dell'utente finale; (2) definizione, sviluppo e analisi comparativa delle tecnologie dei componenti del sistema; (3) l'integrazione a livello di sistema e sperimentazione e, infine, (4) la valutazione del sistema da parte degli utenti finali (vedi Figura 1). Una fase preliminare precede l'inizio del ciclo iterativo. Questa fase definisce l'ambito umanitario dell'applicazione, gli obiettivi, le tappe fondamentali per il raggiungimento degli obiettivi, gli scenari di vita reale sia per la sperimentazione del sistema e sia per la valutazione finale dell'utente e, infine, la tabella di marcia. Le tappe si concentrano su questioni che sorgono durante le sperimentazioni di cooperazione uomo-robot. La sperimentazione identifica un ciclo natura/risorsa per raggiungere un equilibrio tra operatività e le richieste di cooperazione.

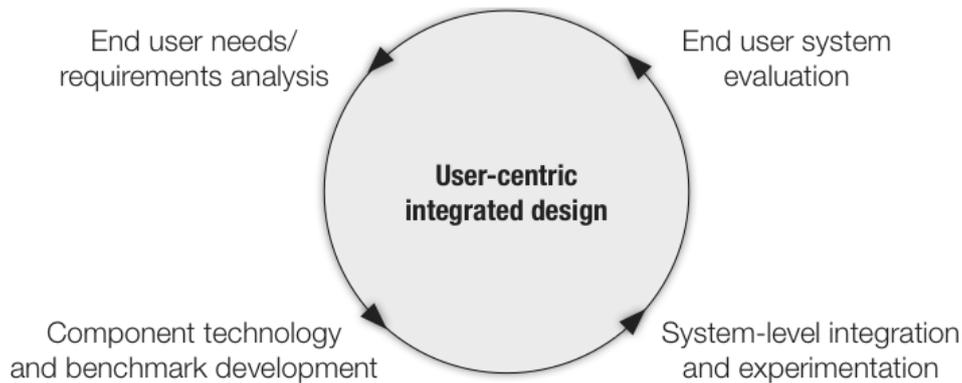


Figura 1. Ciclo iterativo ed incrementale della progettazione user-centric.

Il piano d'azione specifica i casi di applicazione per testare determinate teorie. I casi di applicazioni incrementano sia gli obiettivi che la complessità dello scenario. Ogni caso d'uso testa diverse proposte di cooperazione mista uomo-robot. Ad ogni ciclo di sviluppo, la prima fase identifica il fattore umano Human Robotic System (HRS), sia per l'interazione che per la collaborazione con l'uomo. Sulla base di ipotesi formulate in accordo con le analisi dei fattori umani, tutti i componenti del prototipo HRS sono sviluppati ed integrati.

Di seguito, nella quarta fase, le richieste (degli end-user) sono sistematicamente verificate attraverso percorsi cognitivi con esperti in comportamenti umano. Questa verifica evidenzia le discrepanze tra le richieste e le capacità del prototipo HRS. Inoltre fornisce ulteriori conoscenze per gli end-user, le quali verranno poi aggiunte nel successivo processo di sviluppo. Ogni fase fornisce una sperimentazione molto vicina alla vita reale. Alla fine di ogni ciclo, la valutazione dei risultati viene inserito nello studio, possibilmente con un aggiustamento del piano d'azione.

La metodologia user-centric permette ai ricercatori di studiare il comportamento umano in differenti situazioni ambientali, di determinare su cosa l'uomo fissa l'attenzione e come può variare il suo obiettivo cognitivo, in base al modello ambientale proposto all'Human Robotic System. La stretta collaborazione con gli end-user fornisce ai ricercatori anche come e quali importanti informazioni riguardanti l'ambiente devono essere comunicate agli end-user. Questo impedisce il sovraccarico di informazioni e filtra le informazioni irrilevanti.

I risultati di questa metodologia devono essere molto efficaci per convalidare potenziale, l'usabilità, l'efficacia e l'affidabilità dei HRS. Durante la prima fase del ciclo, gli utenti finali valutano, sulla base sia della loro esperienza sia della complessità dello scenario, quali funzionalità l'HRS dovrebbe fornire loro come supporto operativo in campo. Gli utenti finali collaborano anche con i ricercatori al fine di specificare sia il tipo di utilizzo operativo che la valutazione dello scenario. Al termine di questa fase, i feedback sia degli sviluppatori che degli utenti finali vengono utilizzati per aggiornare e perfezionare i requisiti tecnici, chiudendo così il ciclo. Alla fine, il processo prevede di raccogliere ulteriori spunti per l'utente finale ed estendere le funzionalità dei prototipi per implementare le criticità e i prerequisiti. La natura ciclica della metodologia tende intrinsecamente ad aumentare il grado di affidabilità dei HRS.

3. CASI STUDIO

La metodologia user-centric è stata applicata per sviluppare l'HRS inizialmente nell'ambito del progetto ICT UE del 7 ° PQ NIFTI [3], per poi estenderla nel progetto "TRADR – Long Term Human-Robot Teaming for Robot Assisted Disaster" (EU FP7 Programme for Information and Communication Technologies: Cognitive Systems & Robotics, Grant no. 60963, 2013/11 - 2017/12). NIFTI –TRADR ha adottato l'obiettivo di portare il fattore umano nelle architetture cognitive contemporaneamente allo sviluppo di robot in grado di collaborare tra loro e con team di umani in situazioni complesse in risposta a disastri naturali ed antropici. Le organizzazioni di soccorso, partner end-user nel progetto TRADR hanno fornito i dati di input per le specifiche del sistema, partecipando ogni anno ad esercitazioni e valutazioni che portato feedback per ulteriori cicli di iterazione del processo di sviluppo.



(a) Scuola di Formazione Operativa CNVVF, Montelibretti, Italia



(b) Duomo di Mirandola dopo il terremoto del 2012, Italia



(c) Campo macerie, Comando VVF di Prato, Italia



(d) Ex ospedale crollato, Pisa, Italia



(e) T-Eval exercise 2015, sito industriale abbandonato a Dortmund



Figura 2. Casi di studio

NifTI/TRADR ha organizzato il suo processo di ricerca e sviluppo partendo da una serie di scenari che gradualmente sono aumentati in complessità, sia operativa che intesa come collaborazione uomo-robot, come per esempio la dimensione, il numero, la composizione e distribuzione geografica delle squadre. Gli scenari sono stati progettati in stretta collaborazione tra gli sviluppatori e le squadre USAR delle organizzazioni di soccorso degli utenti finali. Ciò al fine di assicurare che negli scenari si potesse raggiungere un equilibrio tra rilevanza pratica, fattibilità, e necessario riscontro scientifico. I robot utilizzati nelle HRS sono stati diversi veicoli di terra (UGV) ed aerei senza equipaggio (UAV) (vedi Figura 3). Abbiamo iniziato il processo di sviluppo partendo dalla complessità di un appartamento per poi passare a quella bidimensionale di un terreno in uno scenario di incidente all'interno di un tunnel (vedere Figura 2 (a)).



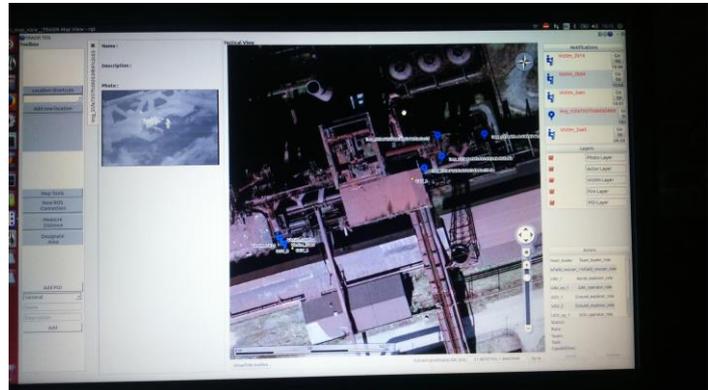
Figura 3. Piattaforme robotiche dell'Human Robotic System.

Il processo gradualmente ha aumentato la complessità dello scenario fino ad un ambiente costituito da parti semidistrutte di edifici e detriti di parti crollate a seguito di un terremoto (vedi Figura 2 (b)). L'aumento della complessità ha portato alla necessità di sviluppare le capacità di osservazione sempre più (da 2D a 3D), e ad aumentare progressivamente i gradi di autonomia (pianificazione del percorso 3D, la morfologia adattivo). Il aumento della complessità anche portato a cambiamenti significativi all'interno la struttura organizzativa della collaborazione uomo-robot e multi robot-uomo come sperimentato ultimamente nella T-Eval exercise del 2015 svoltasi in un sito industriale abbandonato a Dortmund, Germania (vedi Figura 2 (e)). Infatti, durante il ciclo, tale struttura è diventata più realistica. Inizialmente, la struttura organizzativa era inesistente. Nello scenario dell'incidente in tunnel, un solo operatore in posizione remota teleguidava l'UGV per creare una mappa 2D popolata di oggetti riconosciuti in automatico dal robot. In questo scenario, ci si è concentrati nell'integrazione d'insieme dei vari componenti della funzionalità del robot (il controllo, la mappatura, la visione), unitamente ad un'interfaccia grafica orientata all'utente finale per il controllo da remoto. Abbiamo anche affrontato problemi molto comuni come la rete e i problemi hardware del robot (ad esempio, bassa larghezza di banda, cattiva connessione, cortocircuito della batteria, tempo di funzionamento), nonché una vasta gamma di problemi con il fattore umano. In questa fase del ciclo dello sviluppo iterativo, l'HRS era molto lontano dall'essere utilizzato nella vita reale. I risultati ottenuti dalle valutazioni sul campo hanno suggerito di passare da un singolo robot con un solo operatore ad un team uomo-robot in piena regola per testare il comportamento della tecnologia. E' stata estesa l'HRS ad una squadra di operatori umani operanti a distanza da un posto avanzato insieme all'uso del microcopter UAV. Sono state implementate anche le condizioni ambientali rendendole più complesse con l'aggiunta di fumo, luci tremolanti a simulare incendi e detriti. Infine si è passati alla configurazione di una squadra uomo-robot. I membri del team hanno incaricato gli utenti finali a vari ruoli, come per esempio il comandante della missione, l'operatore UGV e UAV, lo specialista della missione. Il controllo, la visione e la mappatura 3D robot-centrica dell'ambiente hanno sicuramente migliorato i movimenti all'interno degli edifici nei quali le squadre hanno operato. L'accesso a questa visione robot-centrica della situazione al contorno è stato fornito ai membri del team di umani attraverso un approccio integrato dell'interfaccia utente, facilitando viste multiple e i punti di vista tattico operativi. Dopo la valutazione sperimentale di questa configurazione, l'HRS è stata sviluppata con l'aggiunta di un soccorritore in campo, l'aumento di dimensioni e distribuzione geografica della squadra. Questo incremento ha sollevato la questione di costruire e mantenere distribuito a tutti la visione aggiornata della situazione. Nel luglio 2012, è stato sperimentato l'HRS nella zona rossa dell'antica città di Mirandola, in Nord Italia, colpita dal terremoto del maggio 2012, durante l'attività di valutazione dei danni di edifici storici e manufatti culturali (le due principali chiese del centro della città) operata dal Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco (vedi Figura 2 (c)) [6]. L'aspetto cruciale in questo contesto è stata la necessità di poter disporre in maniera integrata e distribuita a tutti la situazione corrente. Ciò significa che più robot devono essere inviati nella zona di intervento, sia contemporaneamente che uno di seguito all'altro. Diversi tipi di robot giocano ruoli complementari in questo processo. Hanno bisogno di ricostruire la situazione reale in maniera graduale e persistente nel corso di più sortite, al fine di consentire al team di coordinare le azioni ed eseguire al meglio

le proprie operazioni. Dopo questa esperienza in campo, è stato testato uno scenario di terremoto con più livelli da esplorare, nel quale il continuo coordinamento della squadra e il mantenimento delle comunicazioni sono state di fondamentale importanza per un'efficiente risposta a questo tipo di calamità. Gli esperimenti con questo team multi-umano e multi-robot sono state eseguite in due siti di addestramento dei Vigili del Fuoco: nel campo macerie nell'area di formazione USAR del Comando Provinciale di Prato (vedi Figura 2 (b)) e in un'area abbandonata di un ex ospedale distrutto, nei pressi di Pisa, in Italia (vedi Figura 2 (d)).



(a) Informazioni georeferenziate



(b) Interfaccia tablet

Figura 4. Interfacce grafiche utente

4. RISULTATI

L'HRS raccoglie la situazione dell'ambiente circostante tramite l'approccio robot-centrico, dai dati grezzi provenienti dai diversi sensori del robot. Questa interpretazione della situazione è basata su una mappa 3D dell'ambiente [7]. Al fine di colmare il divario tra l'approccio robot-centrico e umano-centrico per comprendere la situazione dell'ambiente, questa rappresentazione viene estesa con la percezione visiva [8], [9], la decomposizione topologica senza sorveglianza e guidata dall'utilizzatore "user-driven" [10], [11], la mappatura funzionale [12], nuvole di punti categorizzazione, basato sulla segmentazione [13] e l'analisi di attraversamento di eventuali ostacoli "traversability" [14].

La HRS distribuisce in cima a queste rappresentazioni, vari livelli di ragionamento e pianificazione autonoma. I livelli inferiori includono l'adattamento morfologico [15], la pianificazione della traiettoria e il monitoraggio di controllo [16], per le attività di attraversamento di un terreno complesso, vengono adottate diverse strategie di pianificazione di percorso e superamento ostacoli.

Tutte queste funzioni autonome di basso livello sono gestite da un controllo cognitivo ad alto livello. Il controllo coordina gli interventi dell'operatore umano e l'attività a basso livello del robot, dietro analisi d'iniziativa di pianificazione. Infatti, implementa varie funzionalità operative (per es. ibrida tra il sistema autonomo e tele-operato), disponibili durante l'esecuzione di un'operazione. L'operatore umano può controllare manualmente alcune attività funzionali del robot, ad esempio, il controllo del moto di esplorare un posizione interessante o la fuga da ambienti difficili, o sospendere la navigazione autonoma del robot.

L'operatore può anche modificare la sequenza di controllo saltando alcuni compiti oppure inserendo delle nuove operazioni. Il controllo integra un modello di compito a interruzione tipo "switch" [17]. Il vantaggio principale di un tale modello è quello di consentire al sistema di gestire opportunamente, per esempio, eventuali guasti della comunicazione di rete. In tal caso, il sistema flessibile decide se concentrarsi sul compito a portata di mano o passare, per esempio, alla connessione Wi-Fi, per recuperare e completare il compito precedente.

La HRS fornisce un'interfaccia utente multi-vista per avere diverse modalità per acquisire informazioni a beneficio della squadra uomo-robot e a sostenere ruoli diversi nella squadra. L'interfaccia fornisce diverse modalità di comunicazione, tra cui voce, testo e dialogo. Il senso della vista include la visualizzazione di informazioni dai vari robot (UGV, UAV) per comprendere lo scenario. È stato, altresì, implementato un pannello di comando (OCU) per supportare l'attività di esplorazione da parte dell'operatore, nonché per

facilitare la comunicazione [18]. Al di là del comando remoto, il sistema estende il setup squadra uomo-robot includendo un operatore sul campo “in-field rescuer”. Tale membro della squadra aggiuntiva è dotato di un'interfaccia, che contribuisce in modo asincrono a fornire informazioni geo-referenziate utili ai fini tattico ed operativo per l'operazione di soccorso (vedi Figura 4).

La HRS integra ulteriormente i modelli visivi computazionali che si potrebbero presentare durante una attività di ricerca in teatro operativo. Questi modelli sono stati assunti dai dati raccolti tramite sperimentazione con i Vigili del Fuoco, che in scenari complessi, per esempio CBRN o HAZMAT, hanno indossato la “Gaze Machine”, un dispositivo che raccoglieva dati video ed audio durante una operazione di soccorso [19].

5. SVILUPPI FUTURI

Attualmente il sistema “user centric” sta dando dei buoni risultati nell'ambito del progetto TRADR [20]. La nostra esperienza sul campo ha evidenziato che qualsiasi incidente abbastanza gravi da richiedere l'impiego di una HRS probabilmente potrebbe comportare una sequenza di missioni su diverse ore, giorni o addirittura mesi.

Pertanto, sulla base della ricerca e dell'esperienza del progetto NIFTI, TRADR ha come scopo quello di sviluppare un HRS che permetta alla squadra uomo-robot di sviluppare gradualmente la comprensione della zona del disastro a seguito di più missioni sincrone e/o asincrone, per migliorare la comprensione da parte dei membri del team su come operare nella zona incidentale migliorando il lavoro di squadra [21].

Questo sistema, al momento sperimentato in situazioni post-emergenziali, può essere affinato al fine di fare intervenire direttamente uomini e robot in scenari complessi – seguito chiamata diretta - dove le squadre potrebbero essere esposte in modo non giustificato a rilasci di agenti NBCR, ad esempio in scenari con incidenti industriali.

Rimane il fatto che il robot in soccorso tecnico urgente potrebbe fornire un contributo anche in scenari di ricerca di persone coinvolte, e seguito individuazione del target – persona sotto macerie o contaminata e non deambulante – potrebbe comunicare con gli operatori per l'estricazione e salvataggio puntuale, grazie alla georeferenziazione del target, senza che questi siano esposti a rischi.

Tale comunicazione uomo-robot, con gli approcci e le metodologie prima citate, diventa fondamentale sia in fase di pianificazione dei percorsi per accedere ad un sito industriale, sia per la creazione di corridoi facilitati per i soccorritori e infine per la fruizione di immagini e quindi dati utili in fase post-incidente e di investigazione per capire l'origine dell'evento.

La capacità, infine, di raccogliere dati da remoto può facilitare le operazione di coordinamento e soccorso presso un posto di comando avanzato per l'incidente garantendo una maggiore integrazione e interoperabilità tra gli Enti preposti al soccorso, i quali devono accedere nel sito coinvolto, mettere in sicurezza lo scenario e pianificare le fasi di ripristino delle condizioni iniziali prima dell'incidente, secondo i loro ambiti di competenza.

RIFERIMENTI

- [1] M. Sierhuis et al., “Human-agent teamwork and adjustable autonomy in practice,” in Proceedings of the International Symposium on AI, Robotics and Automation in Space, 2003.
- [2] M. Johnson, J. Bradshaw, P. Feltoich, R. Hoffman, C. Jonker, B. van Riemsdijk, and M. Sierhuis, “Beyond cooperative robotics: The central role of interdependence in coactive design,” IEEE Intelligent Systems, pp. 81–88, May/June 2011.
- [3] “NIFTi (Natural Human-robot Cooperation in Dynamic Environments),” 2013. [Online]. Available: <http://www.nifti.eu>
- [4] G. Kruijff et al., “Designing, developing, and deploying systems to support human-robot teams in disaster response,” Advanced Robotics, vol. 28, no. 23, pp. 1547–1570, 2014.

- [5] —, “Experience in system design for human-robot teaming in urban search and rescue,” in *Field and Service Robotics*, ser. Springer Tracts in Advanced Robotics, K. Yoshida and S. Tadokoro, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2014, vol. 92, pp. 111–125.
- [6] G. J. M. Kruijff et al., “Rescue robots at earthquake-hit mirandola, italy: a field report,” in *SSRR*, 2012, pp. 1–8.
- [7] F. Pomerleau, F. Colas, R. Siegwart, and S. Magnenat, “Comparing ICP variants on real-world data sets,” *Autonomous Robots*, vol. 34, no. 3, pp. 133–148, 2013.
- [8] D. Hurych, K. Zimmermann, and T. Svoboda, “Fast learnable object tracking and detection in high-resolution omnidirectional images,” in *VISAPP*, March 2011.
- [9] K. Zimmermann, D. Hurych, and T. Svoboda, “Non-rigid object detection with local interleaved sequential alignment (LISA),” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 36, no. 4, pp. 731–743, April 2014.
- [10] M. Liu, F. Colas, and R. Siegwart, “Regional topological segmentation based on mutual information graphs,” in *ICRA*, 2011, pp. 3269–3274.
- [11] M. Liu, F. Colas, F. Pomerleau, and R. Siegwart, “A Markov semisupervised clustering approach and its application in topological map extraction,” in *IROS*, 2012, pp. 4743–4748.
- [12] N. Goerke and S. Braun, “Building semantic annotated maps by mobile robots,” in *TAROS*, 2009, pp. 149–156.
- [13] M. Menna, M. Gianni, F. Ferri, and F. Pirri, “Real-time autonomous 3D navigation for tracked vehicles in rescue environments,” in *IROS*, Chicago, USA, 2014.
- [14] F. Ferri, M. Gianni, M. Menna, and F. Pirri, “Point cloud segmentation and 3D path planning for tracked vehicles in cluttered and dynamic environments,” in *Proceedings of the 3rd IROS Workshop on Robots in Clutter: Perception and Interaction in Clutter*, Chicago, USA, 2014.
- [15] K. Zimmermann, P. Zuzanek, M. Reinstein, and V. Hlavac, “Adaptive traversability of unknown complex terrain with obstacles for mobile robots,” in *ICRA*, 2014.
- [16] M. Gianni, F. Ferri, M. Menna, and F. Pirri, “Adaptive robust 3d trajectory tracking for actively articulated tracked vehicles AATVs,” *Journal of Field Robotics*, pp. –, 2014, accepted for publication.
- [17] M. Gianni, G. Kruijff, and F. Pirri, “A stimulus-response framework for robot control,” *ACM Transaction on Interactive Intelligent Systems*, vol. 4, no. 4, 2014.
- [18] B. Larochelle and G. Kruijff, “Multi-view operator control unit to improve situation awareness in user missions,” in *RO-MAN*, 2012, pp. 1103–1108.
- [19] H. Khambhaita et al., “Help me to help you: how to learn intentions, actions and plans,” in *AAAI 2011 Spring Symposium “Help Me Help You: Bridging the Gaps in Human-Agent Collaboration”*, 2011, pp. 30–35.
- [20] “TRADR (Long-Term Human-Robot Teaming for Robot-Assisted Disaster Response),” 2014. [Online]. Available: <http://www.tradr-project.eu>
- [21] I. Kruijff-Korbayov et al., “Tradr project: Long-term human-robot teaming for robot assisted disaster response,” in press in the *Zeitschrift fuer Kuenstliche Intelligenz*, pp. –, 2015