

**Analisi e caratterizzazione di sistemi telerobotici in
diversi settori applicativi**



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA INFORMATICA

Tesi di Laurea di: Marco Cibelli

Matricola: 1151468

Relatore: Paolo Di Giamberardino

A.A. 2010/2011

Indice

1. Introduzione	3
2. Definizioni dei termini	4
3. Motivazioni della suddivisione della tabella	6
3.1.Tabella	7
4. Analisi della tabella	8
4.1.Commenti sulle colonne	8
4.2.Commenti sulle singole celle	9
5. Descrizione dei singoli progetti	12
5.1.Fotogallery	20
6. Conclusioni	25
Riferimenti bibliografici e sitografia dei progetti	26
Acronimi utilizzati	28

1. Introduzione

Guardandoci intorno, siamo circondati da oggetti tecnologici: da una semplice lampada da scrivania a un più sofisticato notebook. In realtà rimarremo stupiti andando a vedere come vengono realizzati gli oggetti più comuni nelle fabbriche. Questo è dovuto all'abbondante uso che si fa in industria dei robot da decine di anni ha questa parte. Tutte le automobili in produzione in questo momento vengono saldate, almeno in parte, da robot e probabilmente la confezione dello zucchero che abbiamo aperto l'ultima volta era stata saldata da un macchinario robotizzato.

In alcuni casi i robot sono indispensabili, ad esempio quando è troppo pericoloso per un essere umano lavorare in quell'ambiente; ed è qui che entra in campo la telerobotica. Non sempre l'intelligenza artificiale è in grado di far eseguire tutto al robot in automatico, ecco perché si preferisce comandarli a distanza grazie ad un operatore umano che prende le decisioni, e le fa eseguire dal robot.

La telerobotica al giorno d'oggi può fare cose impensabili agli albori della robotica. Come aumentare le capacità e la precisione dei chirurghi in operazioni di laparoscopia. Permette di avere una sorta di geologi interplanetari che raccolgono tantissimi dati e foto sulla Luna e su Marte. Aiuta gli artificieri nel rendere inerti pericolosi ordigni, che metterebbero al rischio la vita di questi ultimi.

A differenza della visione cinematografica a cui siamo stati abituati i robot non sono una minaccia per l'umanità, o macchine instabili che a un tratto cominciano a ribellarsi e diventando cattive prendono il sopravvento. Invece la robotica dà un valido contributo alla produttività delle industrie e non solo. Il robot è un lavoratore instancabile, esegue sempre i compiti assegnati, non si lamenta, non chiede le ferie. Forse anche per questo alcuni hanno paura che un robot prenda il loro posto, ma in realtà la robotica sposta soltanto il personale in altre aree come il controllo qualità; inoltre serve personale specializzato per la gestione e assistenza dei robot. La telerobotica confuta ulteriormente questi dubbi in quanto ci vuole sempre un operatore umano ai suoi comandi.

Gli obiettivi di questa tesi sono analizzare e caratterizzare i vari progetti di sistemi telerobotici che più si sono distinti e rappresentano lo stato dell'arte ad oggi.

Parole chiave: Telerobotica, controllo remoto, telepresenza, teleoperazione.

2. Definizioni dei termini

Prima di caratterizzare dei sistemi telerobotici è importante sottolineare due sottoinsiemi, che sono la teleoperazione e la telepresenza. Sono termini usati nella letteratura specialistica, ma non sono termini standardizzati, per questo è necessario adottare delle definizioni dall'inizio.

Teleoperazione: estensione delle capacità di manipolazione e sensoriali di una persona a un luogo remoto (necessita di sensori, attuatori, canali di comunicazione da e verso l'operatore).

Telepresenza: l'operatore sente di essere fisicamente presente sul sito remoto, i dispositivi remoti sono caratterizzati dalla stessa destrezza delle mani dell'operatore (richiede una maggiore qualità e tipologia di feedback, quali: visivi, sonori, interfacce aptiche, sedie mobili, ecc.).

Telerobotica: controllo di robot a distanza, combinazione di teleoperazione e telepresenza.[1]

Tenendo presente queste definizioni si osserva che:

Quando si parla di un progetto di telerobotica, non sempre si ha modo di collocarlo nell'ambito della teleoperazione o della telepresenza. Questo perché la telerobotica non è esattamente partizionata nei due ambiti, ma come da definizione, è la combinazione dei due. Quindi in generale, nei progetti di telerobotica troveremo caratteristiche e strumenti che permettono all'operatore di manipolare a distanza e inoltre lo facciano sentire fisicamente presente in remoto. L'operatore si sente come se si trovasse in quell'ambiente remoto o virtuale o solamente molto distante dalla sua realtà fisica. Questa condizione di 'telepresenza' condiziona fortemente l'attività sensoriale, cerebrale e neuromotoria della persona che opera. Si può comprendere chiaramente considerando in noto 'effetto finestra' che si ha quando si guardano dei video in un monitor. Tutti abbiamo visto un bel film attraverso la televisione e se eravamo interessati e concentrati dopo poco avevamo la sensazione di essere lì presenti con i protagonisti; e tutto quello al di fuori della finestra del monitor non era più percepito dal nostro cervello. Lo stesso succede con i progetti che adottano feedback visivi che fanno percepire all'operatore di esser presente lì, e partecipare in prima persona come se non ci fossero intermediari in mezzo.

Il feedback visivo è sicuramente il più diffuso, ma non è l'unico. Dato che possono fare la differenza tra teleoperazione e telepresenza, elenchiamone alcuni:

- **Visivo:** Lo troviamo quasi in ogni progetto, e spesso parte integrante di un sistema telerobotico. Attualmente, non si limita solo a restituire le immagini provenienti da remoto, poiché restituisce anche altre informazioni, come: visione nello spettro infrarosso, tridimensionalità, ampio campo visivo (anche 360° con telecamere

omnidirezionali), visione in terza persona grazie ad ambienti 3D ricostruiti al computer e sovrapposti alle immagini reali. Nei settori medici e militari è indispensabile un'ottima qualità video (alta risoluzione) e un ritorno breve per sistemi hard real-time.

- **Audio:** Permette all'operatore di sentire quello che sente il robot all'interno del sito remoto. È meno diffuso, perché è importante solo in alcuni sistemi. Ad esempio è indispensabile dove l'operatore deve reagire a suoni prodotti in remoto, tipo nel teleoperare un veicolo militare oppure ascoltare quello che succede nel punto dove è arrivato un robot sotto le macerie.
- **Aptico:** Deriva dal Greco *aptikós* (*ἄπτικός*) che significa *tattile*. Attualmente si trovano molti progetti di ricerca attivi nel costruire e inventare nuove interfacce aptiche che permettono di riceverne delle sensazioni tattili in risposta. Inizialmente erano solo joystick con ritorno di forza, display braille con i caratteri in rilievo, nuovissimi display touch aptici. Per il ritorno di forza si possono fare vari esempi: un chirurgo che stringe un'interfaccia a modi forbici, mentre stringe se sta tagliando qualcosa di duro avvertirà la stessa resistenza anche nelle manopole che sta impugnando. Poi ci sono anche progetti di manopole aptiche controllate da magneti, e mani robotizzate che muovono i polpastrelli dando la sensazione di afferrare oggetti reali, che in realtà sono virtuali o remoti.
- **Vestibolare:** Grazie a sedie mobili o cabine robotizzate che danno l'impressione degli scossoni che si avvertono guidando un veicolo, l'orecchio umano viene ingannato a percepire la gravità. In particolare viene sollecitato l'apparato vestibolare o dell'equilibrio.

Questi feedback danno l'impressione di essere presenti sul posto, più un sistema ne usa più l'operatore si sente tele presente. Il limite maggiore alla quantità da integrare in un sistema tele robotico è l'ampiezza di banda a disposizione, ad es. nel progetto 04 per avere una visione ampia, occorrono almeno quattro monitor a risoluzione 1600 x 1200 pixels, durante i test è stato usato un rocchetto che collegava il veicolo con fibra ottica alla cabina di controllo, proprio per avere un'ampiezza di banda ottimale.

3. Motivazioni della suddivisione della tabella

La tabella è principalmente suddivisa in due parti: i progetti nati e/o destinati all'addestramento di personale (specialisti, studenti) e progetti già operativi, anche da anni, nei vari ambiti. Proprio questa varietà di ambiti (settori applicativi), anche molto diversi tra loro, ha motivato una suddivisione in più righe; una per ogni settore applicativo.

Suddivisione in settori applicativi:

- **Medico:** questo settore ha riscosso grande interesse e adesione nella comunità dei medici, visti i vantaggi di usare tele-robot in interventi di laparoscopia generica, grazie all'uso di endoscopi, che permettono al chirurgo di riavere l'abilità caratteristica della chirurgia "aperta", in più con maggiori dettagli, come ad esempio la visione stereoscopica offerta dal sistema chirurgico "da Vinci".
- **Industriale e Ambientale:** Sono in rapida crescita, grazie ai vantaggi che offrono ai dipendenti d'industrie che operano in condizioni difficili, proibitive o pericolose per gli esseri umani. Ad esempio: spostando l'operatore di un macchinario (es. scavatori) da una cabina nello stesso ambiente pericoloso, dove deve lavorare la macchina, a un ambiente remoto dove è seduto comodamente davanti ad una consolle; simile a quella che usava precedentemente, ma in un ambiente più salubre e sicuro.
- **Aerospaziale:** Qui la telerobotica ha avuto un ruolo essenziale dato che lo spazio aperto è letale per un essere vivente. Dai primi rover lunari russi (missione Lunokhod) a quelli più moderni e sofisticati, come i rover marziani (non controllabili in tempo reale dalla terra), ai vari bracci tele robotizzati sparsi sui satelliti in orbita, indispensabili per ridurre le pericolose e costose passeggiate spaziali.
- **Altro, Militare, Ludico:** questa categoria raccoglie tutti gli altri settori, in particolare spiccano i tanti progetti in ambito militare che da prima sono usati per addestramento e poi gradualmente più presenti sul campo di battaglia. Sempre controllati in remoto da soldati addestrati, ma i progetti più avanzati hanno sviluppato una vera intelligenza artificiale cognitiva, che permette ai mezzi di muoversi aggirando ostacoli, prendendo la rincorsa prima dei pendii, ecc. Poi si trovano anche sistemi di telerobotica per appassionati che sono distribuiti come Kit da montare.

Suddivisione in colonne:

È stata presa la decisione di partizionare la tabella in più colonne. Visto che molti sistemi telerobotici nascono nei laboratori e vengono usati già nella fase di realizzazione per addestrarsi a usare bene i controller per manovrare con precisione ed efficacia il robot. E visto che esistono sistemi telerobotici commercializzati, operativi e usati da anni nei settori industriali e aerospaziali, è stata ritenuta opportuna la partizione dei vari progetti in: Progetti operativi, progetti sia operativi che d'addestramento, progetti d'addestramento. La colonna di centro è stata introdotta in un secondo momento, notando che molti sistemi telerobotici si possono usare per l'addestramento di personale, che poi userà lo stesso robot, ma per operare un vero e proprio lavoro.

3.1 Tabella

Settori Applicativi	Progetti Operativi		Progetti sia Operativi che d'Addestramento		Progetti d'Addestramento	
	Telerobotica		Telerobotica		Telerobotica	
	Teleoperazione	Telepresenza	Teleoperazione	Telepresenza	Teleoperazione	Telepresenza
Medico	[P01]: Il sistema chirurgico da Vinci® prodotto da INTUITIVE SURGICAL		[P16]: CMAS telehealth program			[P02]: Five-Fingered Haptic Interface Robot (HIRO III)
Industriale e Ambientale	[P08]: Assisted Mining [P09]: Caisson Construction	[P14]: Pipeline Explorer	[P15]: PRAMB (Portable Robotic Arm Mobile Base)		[P03]: Remoted Bulldozer for Training and Human Factors Evaluation (ROBODOZER)	
Aerospaziale	[P10]: Dextre (Special Purpose Dexterous Manipulator (SPDM)) [P20]: Lunokhod 1 e 2		[P17]: Web Interface for Telescience (WITS)		[P18]: SBIR	[P19]: FIDO (Field Integrated Design and Operations)
Altro, Militare, Ludico	[P06]: Enhanced Teleoperation for EOD Robots (Mini SACR)	[P13]: Dragon Runner	[P04]: Teleoperation Booth System	[P05]: Enhanced Teleoperation (SACR)	[P11]: Teleoperation Mediated Through Magnetic Levitation	[P07]: Telepresence Robot Kit (TeRK) Per studenti e appassionati
			[P12]: Black Knight			

4. Analisi della tabella

La tabella riassume tutti i progetti in forma sintetica. Analizzare come si sono distribuiti i vari progetti, permette di capire dove la telerobotica è più diffusa, e dove ancora può crescere. Permettendo così di fare delle valutazioni e sottolineare le criticità.

4.1 Commenti sulle colonne

Nella prima colonna si nota una concentrazione di progetti più evoluti, robusti, complessi, efficienti e di grande utilità. Questi sono i progetti che più di tutti gli altri contribuiscono all'effettivo obiettivo della telerobotica, cioè: non sostituire completamente l'uomo ma allontanarlo da tutte quelle situazioni di pericolo e/o inaccessibilità. Addirittura vanno ad aumentare le abilità dell'operatore, e nella maggioranza dei casi lo proteggono da un lavoro ostile, se non proibitivo, che lo esporrebbe a rischi. Ad esempio lavorare nello spazio libero, oppure in una miniera di carbone può provocare danni alla salute anche a lungo termine.

Nella colonna di centro si sono aggregati quei progetti che possono essere usati con il duplice scopo, quello di addestrare l'operatore a fare bene un lavoro e quello di farlo davvero. Ci sono anche progetti troppo sperimentali perché siano considerati operativi, ma che non hanno scopi d'addestramento.

Nella colonna dei progetti d'addestramento ci sono progetti nati appositamente per sviluppare sistemi telerobotici per l'addestramento di personale, o per la preparazione e formazione degli studenti. C'è anche qualche progetto che studia, tramite sistemi telerobotici, le risposte psicofisiche di operatori in vari ambienti. Questo è utile ad avere un quadro generico di come reagiscono le persone in tele operazioni, dando la possibilità di simulare operazioni complesse in modo da pianificare e far esercitare il personale prima del vero intervento.

4.2 Commenti sulle singole celle

I commenti sulle singole celle della tabella sono ordinati leggendo da sinistra a destra e dall'alto verso il basso.

- Nel settore medico, ricco di progetti diffusi in ospedali di tutto il mondo, si sono distinti:
 - Progetti operativi come il sistema chirurgico da Vinci®, che ha riscosso un notevole successo, viene spesso nominato e preso come esempio in molte pubblicazioni scientifiche che parlano di robotica medica e chirurgia mini invasiva [2]. Ci sono anche altri sistemi telerobotici come ZEUS e ROBODOC simili ma vengono usati in altri ambiti come l'ortopedia. È da notare che questi sistemi si possono usare anche per l'addestramento, ma dal punto di vista della telerobotica non cambia molto, perché sono usati allo stesso modo, invece di operare su pazienti veri si fa su manichini appositi ho su altri oggetti, semplicemente per far disimpacciare il chirurgo all'uso dei manipolatori.
 - Progetti operativi e d'addestramento come il progetto di telemedicina del CMAS che non solo forma il personale medico ma è stato usato anche con successo in interventi reali. In questa cella si collocano i progetti di telementoring più evoluti che non si usano solo nell'addestramento in qualche laboratorio remoto; ma sono vere tele operazioni assistite da una guida o mentore, in questo caso un chirurgo più esperto. La telemedicina sta crescendo molto, e con essa anche varie applicazioni come la tele analisi, teleassistenza e il tele monitoraggio; che vanno tutti in questa cella dato che sono quasi tutti progetti pilota, iniziative dei singoli ospedali.
 - Progetti d'addestramento come HIRO III che ha l'obiettivo di svolgere un addestramento alla palpazione, l'alternativa classica e addestrarsi con modelli e manichini che non possono dare la stessa sensazione e poi sono statici. Con l'uso d'interfacce aptiche il medico o studente può fare molte più esercitazioni. Non serve comprare un nuovo modello per ogni parte del corpo umano ma basterà accedere a un database con il modello virtuale su cui addestrarsi, quindi in remoto ci sarà un ambiente virtuale nessun manichino o paziente/cavia. È da notare che questo è un progetto di telepresenza, mentre i progetti di teleoperazione sono assenti. Questo è dovuto al fatto che in campo medico se addestri un operatore in laboratorio a utilizzare la console di un tele-robot, poi finalizzi questo addestramento solo se con la stessa console, quindi con la stessa abilità, vai ad eseguire un vero intervento

chirurgico. Quindi un progetto del genere si posizionerebbe nella prima colonna.

- Nel settore industriale e ambientale si distinguono:
 - Progetti operativi che sono indispensabili, dato che la loro mancanza esporrebbe gli operai di industrie a rischi e condizioni ambientali proibitive. Ci sono sistemi telerobotici che migliorano la sicurezza per i minatori. Altri sostituiscono i lavoratori con bracci escavatori telerobotizzati in lavori di scavi subacquei o in fondali sedimentari, all'interno di cassoni. Evitando i rischi di lavorare in questi ambienti claustrofobici e rischiosi; come testimoniano gli incidenti avvenuti, utilizzando la tecnica dei cassoni, in grandi opere come la Tour Eiffel. Si è distinto anche un progetto di tele-presenza che permette agli operatori di ispezionare le condotte di gas dall'interno, entrando in un punto solo della condotta e grazie alle ore di autonomia non si interrompe la fornitura del gas. Questo è solo una delle applicazioni di tele-presenza, che in generale permettono l'ispezione di condotte dove l'uomo non può arrivare. Ad esempio, anche nella riparazione di vecchie condotte fognare, dove senza la telerobotica si è costretti a interrompere il servizio per giorni, scavare da sopra il manto stradale e lungo tutta la condotta per poi sostituirla.
 - Progetti sia operativi che per l'addestramento come il progetto PRAMB che fa parte del settore ambientale, e non essendo stato commercializzato è rimasto al livello di prototipo ma funzionante e molto economico; caratteristica che potrebbe attrarre investitori disposti a commercializzarlo.
 - Progetti d'addestramento come ROBODOZER che è il sistema robotizzato più adatto a stare in questa cella, perché il suo obiettivo è quello di addestrare il personale e anche fare un monitoraggio delle prestazioni con gli operai direttamente operanti sulla macchina. Questo dovrebbe essere preso d'esempio dall'industria dato che può ottimizzare i costi, aumentare la produttività dei singoli e migliorare la qualità di vita degli operai grazie ad una migliore ergonomia.
- Nel settore aerospaziale, sempre all'avanguardia, si differenziano:
 - Progetti operativi pionieri nella telerobotica come il NASA Telerobotics Program [3], attivo fino al 1998, poi separatosi nei vari sotto-programmi. Le conseguenze di queste innovazioni nel campo hanno dato la possibilità di progettare sistemi telerobotici assai più complessi come il Dextre oppure ufficialmente chiamato SPDM Special Purpose Dexterous Manipulator. È sicuramente un ottimo esempio di quanto possa essere avanzata la telerobotica applicata all'astronautica. Non è di certo l'unico progetto operativo, ad esempio ci sono i rover, ma quelli marziani non sono tele-guidati da terra per via del ritardo di dieci minuti per la comunicazione dei segnali, vengono tele-operati solo in situazioni di emergenza. In realtà si pianifica una missione e il rover la eseguirà in

autonomo. Però i primi rover, quelli lunari, erano tele operati quasi in tempo reale; parliamo dei Lunokhod 1 e 2. Questa cella potrebbe essere la più piena dato che le agenzie aerospaziali hanno sviluppato tantissimi progetti pioneristici, che poi sono confluiti in altri settori quando sono stati commercializzati.

- Progetti sia operativi che per l'addestramento come il WITS che è preso come esempio per la sua capacità sia di pianificare la vera missione del rover sia permettere a chiunque via web di simulare la propria missione. Notevole anche la longevità considerato il fatto che, riscrivendo l'interfaccia con linguaggi più aggiornati e introducendo delle novità, sostanzialmente la piattaforma per programmare le attuali missioni dei rover discende dalla WITS. Naturalmente in questa cella vanno anche i vari progetti sperimentali mai diventati operativi, per vari motivi come ad esempio quelli economici. Tra i tanti si ricordano il Lunokhod 3 mai spedito in cielo, lo Space Shuttle Buran prodotto dal programma spaziale sovietico e consegnato nel 1988 ma mai entrato in funzione, e stato solo tele pilotato senza equipaggio ha bordo, il progetto è stato poi abbandonato.
- Progetti d'addestramento come gli attuali progetti di simulazione di telerobotica per le prossime missioni lunari e il ritorno dell'uomo sul nostro satellite naturale. Questi progetti segnano la tendenza sempre più in aumento di usare ambienti remoti virtuali, che da vantaggi economici e pratici in quanto prima di spendere soldi nel realizzare prototipi si progetta tutto in ambiente virtuale poi si realizza il progetto migliore. Poi nella cella compare anche FIDO che è una prova sul campo che addestrò gli scienziati e gli ingegneri alla missione MER.
- Negli altri settori, risalta soprattutto la componente militare nei differenti:
 - Progetti operativi come i tele-robot che assistono gli artificieri. Oppure i robot che perlustrano la zona prima delle truppe d'assalto.
 - Progetti sia operativi che per l'addestramento che sono tutti e tre progetti militari sviluppati ancora in fase di perfezionamento, vengono però usati dai soldati nelle basi di addestramento, per testarne l'efficienza e fare la differenza quando saranno utilizzati operativamente.
 - Progetti d'addestramento come un sistema telerobotico master/slave mediante interfaccia aptica, utilizzato per misure psicofisiche. Trovano posto in questo settore anche i progetti ludici e un progetto molto interessante e adatto alla colonna dell'addestramento, è il Telepresence Robot Kit per studenti e appassionati che vogliono destreggiarsi un po' con la telepresenza.

5. Descrizione dei singoli progetti

[P01]: **da Vinci** prodotto da INTUITIVE SURGICAL [01.1] ha l'obiettivo di conservare i vantaggi, per il paziente, della chirurgia endoscopica restituendo al chirurgo l'abilità caratteristica della chirurgia "aperta". In particolare il recupero della coordinazione occhio-mano, della profondità grazie alla visione stereoscopica, della naturalezza dei movimenti, dei gradi di libertà nella parte terminale degli strumenti. Il sistema robotico è costituito da un master console e da un slave robot. Il chirurgo seduto controlla i bracci provvisti degli strumenti endoscopici guardando attraverso un dispositivo di visione tridimensionale; il sistema entra in funzione solo se la testa del chirurgo è posizionata nell'apposito alloggiamento. Le "manopole" azionate dal chirurgo costituiscono un manipolatore seriale che funziona da dispositivo di input ad alta risoluzione; la teleoperazione così permette di eliminare il tremore dai movimenti del chirurgo (filtraggi) e di applicare un fattore di scala, garantendo una grande precisione e qualità del gesto. Le immagini della sede di intervento vengono trasmesse al chirurgo attraverso due monitor ad alta definizione che mostrano un'immagine a ciascun occhio del chirurgo. L'interfaccia alla console (switch e pulsanti azionabili con i piedi) permette al chirurgo di controllare la posizione dell'endoscopio, di riposizionare il master, mettere a fuoco. Il controllore (periodo 10^{-3} secondi) è in grado di leggere 48 encoder e 96 canali di ingresso in tempo reale mentre controlla fino a 48 uscite. Il cuore del controllore è un'architettura parallela DSP in virgola mobile con picchi di potenza computazionale fino a 384 Mflops. Nel 2000 il da Vinci ha avuto l'approvazione FDA (Food and Drug Administration) per interventi di laparoscopia generale [01.2]. Da allora si è diffuso sempre più, e nel 2009 è stata realizzata una nuova versione con 3D alla risoluzione di 1080i e altre importanti innovazioni. Al 30 giugno 2010, ci sono stati 1.571 sistemi installati in tutto il mondo; di cui 1.160 negli Stati Uniti d'America, 276 in Europa e 135 nel resto del mondo [01.3].

[P02]: **HIRO III** è un'interfaccia aptica realizzata per dare la sensazione del tatto a utenti collegati in remoto a un DB con un modello virtuale. Dato che la tecnologia della realtà virtuale (VR) si è diffusa in molti campi. Per esempio, il VR può essere utilizzato nei sistemi di formazione per i tecnici specializzati come i chirurghi nel settore medico. Questo laboratorio ritiene necessario, nell'interazione tra l'essere umano e ambiente di realtà virtuale, l'interfaccia aptica che ha sviluppato con le seguenti caratteristiche: funzionamento in sicurezza, ampio spazio della zona di lavoro, rappresentazione di ogni forza direzione e peso degli oggetti virtuali nei punti di contatto con i polpastrelli [02.1].

[P03]: **ROBODOZER** è un bulldozer Caterpillar guidato da remoto, interfacciato al sistema ROBOCON. L'obiettivo sarà quello di utilizzare la piattaforma come un sistema di movimento terra per formare gli operatori e di sperimentare con fattori e parametri umani per ottimizzare le prestazioni umane. L'obiettivo finale è quello di confrontare le prestazioni di un operatore umano seduto nella stessa macchina e quella di un operatore remoto posizionato su sedia mobile (motion-platform chair) e con semplice video e dati di ritorno [03.1].

[P04]: **Teleoperation Booth System** realizzato dal NREC che ha sviluppato un sistema di teleoperazione che consente agli operatori di guidare a distanza un veicolo senza equipaggio di terra (UGV) in modo più efficace su un terreno complesso. Il sistema di teleoperazione ha quattro componenti:

Un sistema di sensori montati sul veicolo (Crusher). Che includono video ad alta risoluzione, sistema di telecamere a matrice e di un microfono per i suoni nell'ambiente. La telecamera a matrice è composta da cinque telecamere, ognuna con una risoluzione di 1600 x 1200 pixel. Queste telecamere danno all'operatore 202 gradi di campo visivo.

Un collegamento in fibra ottica di dati tra il Crusher e la stazione dell'operatore. Un chilometro di cavo in fibra ottica è stato montato su uno spooler dietro il veicolo. In condizioni di funzionamento ordinario, un collegamento dati wireless potrebbe essere utilizzato al posto del cavo di fibra ottica. Tuttavia, il cavo in fibra ottica è stato utilizzato durante il test per garantire una maggiore larghezza di banda.

Un sistema di controllo software fornisce l'elaborazione in tempo reale d'immagini dal sistema di telecamere. Corregge le immagini video e controlla il frame rate, la risoluzione, il campo di vista, e altri parametri video.

Una cabina di regia che dà un feedback visivo e vestibolare al conducente [04.1].

[P05]: **Enhanced Teleoperation (SACR)** realizzato sempre dal NREC che ha sviluppato un sistema video3D in tempo reale per migliorare la percezione della situazione di guida in teleoperazione e guida indiretta. SACR (Soldier Awareness through Colorized Ranging) fonde immagini video e LADAR in tempo reale per creare video 3D altamente realistico. I guidatori possono ingrandire e spostare quest'ampio angolo di visione 3D dell'ambiente intorno al veicolo. Essi possono spostare il punto di vista della telecamera virtuale in diversi punti di tutto il veicolo, tra cui una vista dall'alto per vedere meglio l'ambiente circostante. Il guidatore all'interno dei veicoli così è in grado di "vedere" attraverso la carena. Il guidatore da remoto può anche avere una vista dall'esterno del veicolo, come se proseguisse a piedi o in aereo dietro al mezzo. Sui monitor possono essere sovrapposte mappe e l'immagine prese da un archivio. Questi miglioramenti danno ai guidatori una migliore visualizzazione dell'ambiente circostante un veicolo, migliorano la loro consapevolezza dei territori rendendo la

guida più sicura, più facile e più veloce. In prove sul campo, gli operatori hanno eseguito dal 20% al 50% in più di una serie di compiti di guida rispetto agli attuali sistemi di video 2D [05.1].

[P06]: **Enhanced Teleoperation for EOD Robots** (Mini SACR) è sviluppato dal NREC che ha pensato bene di miniaturizzare SACR il sistema che fonde i dati video, che arrivano da una macchina fotografica panoramica montata su un anello e un sensore per la scansione LADAR. Che insieme forniscono video 3D realistico e immagini video panoramica dei dintorni di un robot EOD. Mini SACR compensa automaticamente le dimensioni ridotte, le vibrazioni, il basso punto di vista tipico dei robot EOD. Gli operatori possono ingrandire e spostare la visione in diversi punti di vista dell'immagine 3D, tra cui una vista dall'alto. Mini SACR consente inoltre ai robot di navigare autonomamente in un percorso che è selezionato dall'operatore. Un operatore può fare clic su un obiettivo e avere il piano di guida del robot partendo dalla sua posizione. Il robot poi si guida lungo il percorso. L'operatore rimane in attesa così da poter prendere il controllo in qualsiasi momento [06.1].

[P07]: **TeRK** è un progetto della Carnegie Mellon University, che dà la possibilità a studenti universitari e pre-universitari di avere una variegata scelta di modelli robot a prezzi accessibili, e con un kit che rende facile il montaggio e grazie alla **Teleop Interface** il robot cerca in automatico una rete wireless per collegarsi a internet così da poter tele operare da un semplice browser [07.1].

[P08]: **Assisted Mining** è un sistema sviluppato dal NREC, e altri, che consiste nel applicare sensori robotici per sistemi semi-automatici di estrazione continua dei cantieri sotterranei (tipo miniere di carbone). I sensori montati sulle apparecchiature sono in grado di misurare con precisione la posizione della macchina, l'orientamento e il movimento. Questo aiuterà gli operatori in piedi a distanza di sicurezza a controllare con precisione la macchina [08.1].

[P09]: **Caisson Construction** (Cassone di costruzione) progetto e commissionato dalla Kajima Corporation per la creazione del sostegno delle fondamenta del ponte sulla baia di Nagasaki. Consiste in una serie di sensori fotografici in grado di dare una mappatura 3D del fondale anche se in presenza di polvere e detriti, permette agli operatori di lavorare in remoto (quindi in sicurezza, non all'interno del cassone), e manovrare con precisione i tre bracci scavatori all'interno del cassone [09.1].

[P10]: **Dextre** è (secondo la Canadian Space Agency) il robot spaziale più sofisticato mai costruito, è il braccio tuttofare dello spazio. Il ruolo di Dextre è quello di eseguire lavori di manutenzione e di riparazione, come la sostituzione delle batterie e la sostituzione di telecamere all'esterno della ISS. Dextre riduce la quantità di passeggiate spaziali rischiose, dando così agli astronauti più tempo per la scienza, l'obiettivo principale della ISS. È interessante sapere (dal punto di vista della telerobotica) che Dextre è stato originariamente progettato per essere utilizzato dagli astronauti all'interno della Stazione Spaziale Internazionale. Tuttavia, pochi mesi dopo il lancio nel 2008, la NASA ha chiesto all'agenzia spaziale canadese se poteva essere gestito dai centri di controllo missione sulla Terra per dare all'equipaggio sulla ISS più tempo per altre attività. L'Agenzia spaziale canadese a poi rivisto il software di Dextre e lavorato con la NASA per elaborare una serie di test (chiamati On-Orbit Checkout Requirements) per garantire che il Dextre può essere tranquillamente azionato da terra. Oggi, Dextre è programmato dai progettisti di robotica canadesi presso la sede dell'Agenzia Spaziale Canadese a Saint-Hubert, Quebec, che preparano tutte le attività del robot tuttofare. Dextre è gestito dal controller di robotica sia al NASA Johnson Space Centre di Houston e dal quartier generale della Canadian Space Agency's a Saint-Hubert [10.1]. Dal sito della NASA si osserva un interessante tabella comparativa tra le tre parti che compongono il MSS (Mobile Servicing System)[10.2]. Cioè la base mobile, il Canadarm2 o Remote Manipulator System, lo SPDM soprannominato Dextre.

Technical Detail	Remote Manipulator System	Dexterous Manipulator	Base System
Arm Length	17.6 meters (57.7 feet)	3.5 meters (11.48 feet) linear stroke	5.7 meters x 4.5 meters x 2.9 meters (18.7 feet x 14.76 feet x 9.5 feet)
Mass (approx.)	1,800 kilograms (3,968 pounds)	1,662 kilograms (3,664 pounds)	1,450 kilograms (3,196.7 pounds)
Mass Handling / Transportation Capacity	116,000 kilograms (255,736 pounds)	600 kilograms (1,322.77 pounds)	20,900 kilograms (46,076.61 pounds)
Degrees of Freedom	7	15	Fixed
Peak Power (operational)	2,000 W	2,000 W	825 W
Avg. Power (keep alive)	435 W	600 W	365 W
Applied Tip Load Range	0-1,000 N	0-111 N	N/A
Stopping Distance (under max. load)	0.6 meters (1.96 feet)	0.15 meters (5.9 inches)	N/A

Nella stessa pagina c'è anche un interessante comparazione con il braccio robotico dello shuttle [10.3].

[P11]: **Teleoperation Mediated Through Magnetic Levitation** (o in italiano: Teleoperazione mediante levitazione magnetica) è un sistema di tele operazione che sta cominciando a realizzare misure psicofisiche su operatori umani che svolgono compiti reali, virtuali e reali in remoto con l'uso di un manipolatore aptico 3D, controllato mediante levitazione magnetica di Lorentz [11.1].

[P12]: **Black Knight** è veicolo militare teleoperabile, utilizzabile giorno e notte per operazioni troppo rischiose. Caratteristica diversa da altri veicoli simili è che Black

Knight può essere telecomandato da un altro veicolo (ad esempio, dalla stazione del comandante di un Bradley Fighting Vehicle) o dai soldati dislocati nella zona. In oltre a un'interfaccia facile da usare per la teleoperazione [12.1].

NREC ha sviluppato un controller per il veicolo Black Knight che permette la teleoperazione, la percezione e l'integrazione di sistemi di sicurezza. Il modulo di controllo comprende un Laser Radar (LADAR), telecamere stereo ad alta sensibilità, fotocamera per immagini termiche FLIR, e GPS. Con il suo collegamento wireless dei dati, la suite di sensori supporta sia la guida completamente autonoma sia assistita (o semi-autonoma) [12.2].

[P13]: **Dragon Runner** è stato sviluppato come alternativa a basso costo, compatta e robusta al contrario dei troppo pesanti, ingombranti, lenti e costosi robot già presenti sul mercato. È controllato a distanza grazie a un collegamento wireless, il controller è un palmare collegato a uno zaino con le antenne per la comunicazione. Comprende anche una telecamera a infrarossi per usi notturni. Dragon Runner è stato utilizzato nell'operazione Iraqi Freedom [13.1].

[P14]: **Pipeline Explorer** è in grado di ispezionare lunghe condotte di gas, entrando da un unico punto e grazie alla durata delle batterie. È in grado di inviare in tempo reale immagini all'operatore del controller da remoto (con un collegamento wireless). Il NREC l'ha progettato, realizzato e distribuito, e lo definisce il primo robot controllato a distanza senza cavi per l'ispezione nel sottosuolo di condotte per la distribuzione del gas naturale. Explorer rappresenta lo stato dell'arte nei sistemi di ispezione a controllo remoto per gasdotti in bassa ed alta pressione. Il modulo locomotore ospita una mini videocamera ad occhio di pesce illuminata. La fotocamera dispone di un campo visivo di 190° e fornisce immagini a colori ad alta risoluzione dell'interno del tubo. Il modulo ospita anche attuatori dual drive progettati per consentire il dispiegamento e la scomparsa delle tre gambe dotate di ruote motrici modellate su misura. Il robot può sostenere velocità fino a quattro pollici al secondo. Tuttavia, la velocità di ispezione è solitamente più lenta. Explorer ha vinto un premio nel 2006 per essere uno degli sviluppi più originali e innovativi dell'anno [14.1].

[P15]: **PRAMB (Portable Robotic Arm Mobile Base)** è un programma con l'obiettivo di fornire una suite di robot mobili capace di bonifica di ordigni esplosivi (EOD) e di primo intervento. Caratteristica predominante è l'ottimizzazione dei costi in generale, cioè: in dollari, in tempi di manutenzione, e in tempi d'implementazione e di recupero. Il braccio robotico sarà in grado di dare una percezione di telepresenza efficace a mantenere l'operatore umano lontano dal pericolo. Dal sito del programma non sembra sia stato commercializzato per questo, non è stato messo tra i progetti

operativi, ma nella colonna centrale e nel settore ambientale (non essendo in grado di competere con i sistemi simili del settore militare) [15.1].

[P16]: **CMAS telehealth program** è un programma di telemedicina che comprende telementoring (tele guida) e telerobotica per la fornitura di servizi di formazione clinica all'interno di aree remote del Canada. Il CMAS (Centre for Minimal Access Surgery) ha eseguito 22 casi di telerobotica con il North Bay General Hospital e più di 35 casi di telementoring con il North Bay General Hospital nel Ontario e il Complexe Hospitalier in Quebec. L'espansione dell'iniziativa di telemedicina ora include centri nel Nord Ontario e i territori del Nord Ovest [16.1].

[P17]: **Web Interface for Telescience (WITS)** è un'applicazione sviluppata (in Java [17.1]) dalla Nasa insieme agli esperti della Sun Microsystems, con la quale è possibile interagire con il robot Sojourner (1997 Mars Pathfinder mission), seguirlo, ricevere dati e guardare le immagini del lontano pianeta in tempo quasi reale, per la precisione con un ritardo di circa dieci minuti e 40 secondi, il tempo che i segnali impiegano per percorrere la distanza Marte - Terra. Dati e immagini sono continuati ad arrivare anche nei giorni seguenti la missione, sui desktop di milioni di case, grazie a una versione più semplificata del WITS, non più accessibile sul sito

www.sun.com/mars(missing). "Le capacità interattive di questa tecnologia consentono di fare della missione su Marte una grande esperienza educativa per i ragazzi, che possono sperimentare il controllo direttamente dal loro computer", sostiene Paul Backes, responsabile tecnico del WITS alla Nasa di Pasadena.

Già nei primi mesi gli studenti delle scuole superiori di cinque città degli Stati Uniti e della Finlandia stanno utilizzando l'applicazione WITS in una serie di prove simulate su Rocky 7, il rover prototipo: collaborando via Internet, guidano il veicolo simulato, per fargli scavare il terreno, usando gli strumenti scientifici di cui i rover della Nasa sono dotati [17.2]. Per il pubblico in generale il WITS è stato utilizzato nella missione Mars Pathfinder principalmente come strumento di sensibilizzazione del pubblico e fonte per la valutazione della missione agli scienziati del JPL. Quello ha disposizione del pubblico era un duplicato del sistema WITS che gli scienziati hanno usato al JPL, compresa una copia del database. Come si evince dallo schema di Paul G. Backes nell'articolo dell'architettura del sistema a pagina 3 figura1. Secondo gli autori oltre 330.000 utenti hanno visitato il sito pubblico WITS da luglio a dicembre 1997 [17.3].

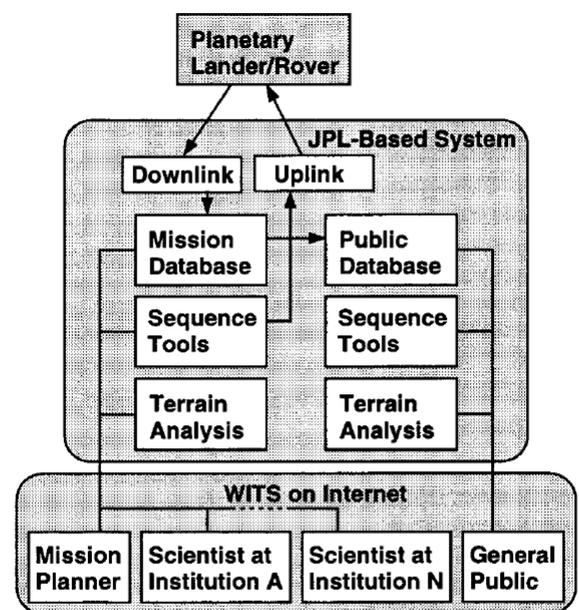


Figure 1: WITS System Architecture

[P18]: **SBIR** Simulation-Based Lunar Telerobotics Design, Acquisition and Training Platform for Virtual Exploration. È un progetto partito seguendo le indicazioni del Presidente George W. Bush del gennaio 2004, dove ha enunciato una nuova visione per l'esplorazione dello spazio che prevede una tabella di marcia per tornare con l'uomo sulla Luna entro il 2020 e si prepara per l'esplorazione umana di Marte. Un anno dopo, il primo NASA Robotic & Human Lunar Exploration Roadmap Meeting si è svolto a Houston e la NASA e altri hanno presentato strategie e opzioni per l'esplorazione robotica e umana della luna come un banco di prova per le missioni su Marte. In ogni scenario, dopo la Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO), la missione del 2008 che ha individuato siti candidati, una serie di teleoperatori lander e rover robotici sarà utilizzata per la preparazione dei siti lunari [18.1].

[P19]: **FIDO** (Field Integrated Design and Operations) preparazione e formazione per la missione Mars Exploration Rover (MER). È una prova sul campo che preparò gli scienziati e gli ingegneri della NASA con un rover prototipo qui sulla Terra. I test sul campo con FIDO consentirono al team di formulare ipotesi circa l'ambiente geologico e utilizzare il rover per testarli. Si esercitarono a prendere decisioni in modo rapido ed efficiente in maniera da poter imparare il più possibile su Marte quando i rover atterrarono [19.1].

La versione aggiornata di WITS è stata utilizzata in una prova sul campo di dieci giorni nel mese di agosto 2002. Il rover è stato in un luogo segreto in un deserto dell'Arizona ed è stata comandata dal JPL, da una cinquantina di scienziati della missione MER. La prova sul campo serviva anche a introdurre gli scienziati a operazioni più complesse sui rover, per testare la missione MER, le operazioni sui processi scientifici, e per testare le capacità dell'aggiornato del WITS e gli strumenti del SAP [19.2].

SAP (Science Activity Planner) è il nome aggiornato della piattaforma WITS utilizzato nell'ambito della missione MER. Questi strumenti hanno portato all'ultima evoluzione del software scientifico per creare il piano di attività per ogni giorno operativo dei rover, che è stato chiamato Maestro. Esso è sviluppato utilizzando Eclipse Rich Client Platform, che fornisce un framework completo per lo sviluppo di applicazioni per l'utente finale. Questo approccio ha avuto così tanto successo che ha generato la formazione di un consorzio di team di sviluppo in NASA chiamato Ensemble, che si propone di integrare molte o tutte le applicazioni che supportano le operazioni della sonda sulla superficie di Marte [19.3].

[P20]: **Lunokhod 1 e 2** sono i primi rover ad essere atterrati su un altro corpo celeste con successo. Lunokhod 1 fu portato sulla Luna dalla sonda sovietica Luna 17 (1970), aveva la curiosa forma di una vasca ricoperta da un coperchio convesso. Aveva 8 ruote indipendenti, era lungo circa 2.3 metri. L'equipaggiamento della sonda prevedeva un'antenna conica, una a elica direzionale, quattro videocamere e un braccio

estensibile per testare la consistenza e le proprietà del suolo lunare. A bordo trovavano posto uno spettrometro a raggi X, un telescopio a raggi X e un rilevatore di raggi cosmici. L'energia veniva fornita da una batteria che era ricaricata durante il giorno lunare da pannelli solari. Durante la notte lunare, il pannello solare era richiuso e un generatore di calore al polonio-210 riscaldava gli strumenti portandoli a una temperatura adatta al loro funzionamento [20.1]. Gli scienziati che svilupparono il progetto erano dei pionieri della telerobotica, perché dovettero risolvere problemi che prima di allora non aveva risolto nessun altro. Facendo supposizioni sulla consistenza della superficie lunare realizzarono e testarono delle ruote adatte a un terreno inesplorato, avevano il timore che sprofondasse non appena sceso dal lander. Invece andò tutto bene, quasi, purtroppo le forti accelerazioni del lancio e dell'allunaggio spostarono le telecamere posizionate per le tele operazioni da terra. Gli operatori nonostante un intensivo addestramento non potevano vedere cosa c'era oltre una decina di metri; inoltre dovevano anticipare le loro reazioni sul joystick per ovviare al ritardo dovuto soprattutto alle tecnologie di comunicazione non ancora performanti e dal tempo medio che impiega un segnale a raggiungere la Luna, circa 1,28 secondi [20.2]. Il Lunokhod 2, portato dalla sonda Luna 21, fu il secondo rover robotico a scendere sulla superficie della Luna nel 1973. Lunokhod 2 è stato dotato di tre telecamere, una montata in alto sul rover per la navigazione, che poteva restituire immagini ad alta risoluzione a frequenze diverse (3.2, 5.7, 10.9 o 21,1 secondi per fotogramma non FPS). Queste immagini sono state utilizzate da un team di cinque uomini per il controllo dalla Terra che hanno inviato i comandi di guida al rover in tempo reale. La potenza era fornita sempre da un pannello solare sulla parte interna del coperchio a cerniera, che carica le batterie quando è aperto [20.3].

5.1 Fotogallery

[P01]:

Figura 1



Sistema complessivo

Figura 2



Dual console

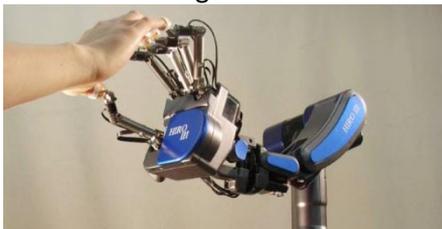
Figura 3



Slave robot

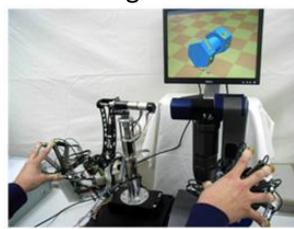
[P02]:

Figura 1



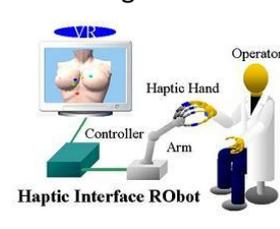
Interfaccia aptica

Figura 2



Bimanual HIRO system

Figura 3



Schema di controllo

[P03]:

Figura 1



Bulldozer in azione

[P04]:

Figura 1

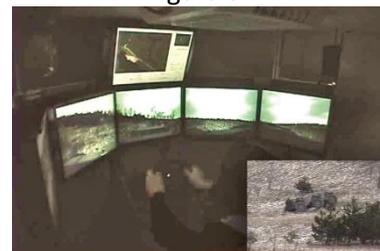


Figura 2



Cabina mobile su rimorchio

Figura 3



Sistema di teleoperazione

[P05]:

Figura 1



Sistema su veicolo 6X6

Figura 2



Visione 3D

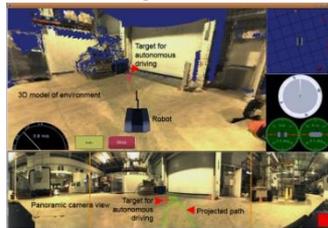
Figura 3



Laser range

[P06]:

Figura 1



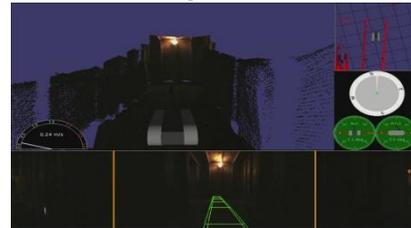
Interfaccia 3D operatore

Figura 2



Sensori

Figura 3



Opera con poca illuminazione

[P07]:

Figura 1



Sistema complessivo

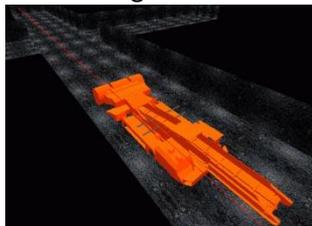
Figura 2



Studenti utilizzano TeRK

[P08]:

Figura 1



Sistema disegnato in CAD

Figura 2



Fresa escavatrice

Figura 3



Interfaccia grafica

[P09]:

Figura 1



Sistema di monitoraggio 3D

Figura 2



Interfaccia grafica

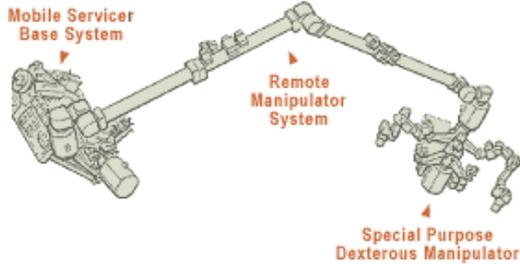
Figura 3



Fresa provata fuori dall'acqua

[P10]:

Figura 1



Le tre parti principali del MSS

Figura 2



Dextre

Figura 3



Dextre separato dal Canadarm2

[P11]:

Figura 1



Master con interfaccia optica in uso

Figura 2

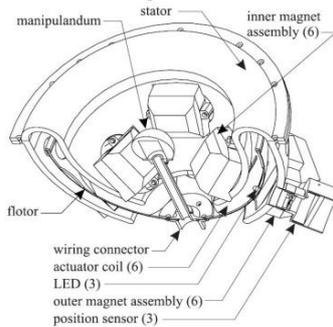


Figura 3



Robot slave

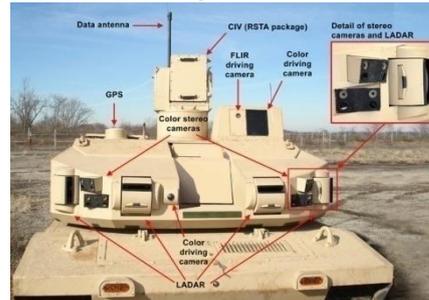
[P12]:

Figura 1



Stazione di controllo

Figura 2



Sistema di sensori sul veicolo

[P13]:

Figura 1



Configurazione classica

Figura 2



Zaino e controller

Figura 3



Configurazione alternativa

[P14]:

Figura 1



Explorer sopra una curva

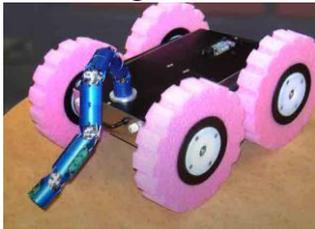
Figura 2



Disteso

[P15]:

Figura 1



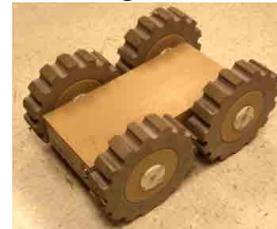
Versione con braccio snake

Figura 2



Interno prototipo

Figura 3



Un'altra versione

[P16]:

Figura 1



Sistema all'opera

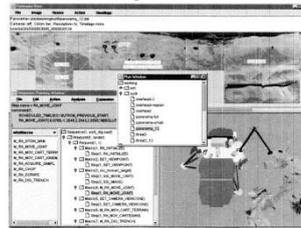
[P17]:

Figura 1



Interfaccia web

Figura 2



Programmazione attività

[P18]:

Figura 1



Teleoperazione mediante joystick

Figura 2



Rover in VR

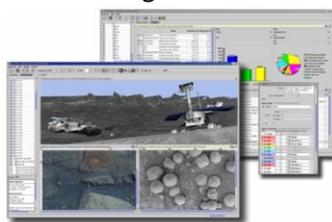
Figura 3



Prototipo rover

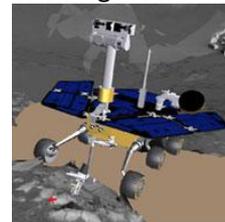
[P19]:

Figura 1



Interfaccia SAP/Maestro

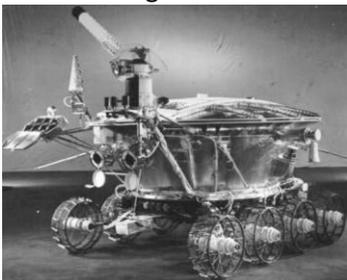
Figura 2



Simulazione analisi roccia rover Spirit

[P20]:

Figura 1



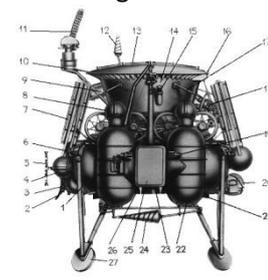
Lunokhod 1

Figura 2



Controller Lunokhod

Figura 3



Lunokhod su lander

6. Conclusioni

In questo testo è stata presa in esame una rappresentanza dei miglior sistemi telerobotici. La realizzazione di una tabella ha reso chiara le caratterizzazioni di questo ambiente tecnologico in continua espansione. L'analisi della tabella ha evidenziato le enormi potenzialità dei progetti, che possono risolvere e migliorare problemi difficilmente solvibili con altre tecniche. Da subito sono affiorate come rilevanti le varie interfacce tra l'uomo e il robot controllato da remoto. Questo avviene mediante i vari tipi di feedback, e sarà proprio la varietà di questi ultimi a rendere la telepresenza un'esperienza sempre più coinvolgente. Per realizzare ciò si dovrà fare uno sforzo per svilupparne di nuovi e migliorarne la qualità di altri. Direttamente correlato alla qualità del feedback c'è la necessità di un'adeguata banda passante. L'operatore potrà reagire prontamente e nel modo corretto solo se i dati che ritornano dai sensori sono di qualità, precisi, e in tempo utile. Questo dipende dal canale di downlink, se non c'è abbastanza banda non sarà possibile garantire il controllo dell'operatore che si troverà a dover aspettare i dati. Un'altra situazione dove non si può assicurare il corretto funzionamento tra operatore e robot, è nella telerobotica via WEB. Dato che i protocolli standard non promettono la certezza nell'inoltrare tutte le richieste. Si potrebbe ovviare a questo con un VPN, che non è comunque al livello dei canali dedicati (molto costosi) come quello che usa la NASA per le sue sonde; ma neanche questo è infallibile come testimoniano vari contatti persi con le sonde.

Nella telerobotica aerospaziale poi diventa rilevante anche la distanza tra operatore e robot. Dato che i segnali elettromagnetici possono viaggiare al massimo alla velocità della luce, i tempi di propagazione vanno da circa 1,3 secondi perché un segnale raggiunga la Luna a più di 10 minuti per raggiungere Marte. Ovviamente questo è un limite fisico che non può essere infranto, per questo la teleoperazione nello spazio diventa sempre più una tele-programmazione delle azioni da far compiere alla sonda. Proprio per questo è sempre più utilizzato un ambiente virtuale che può risiedere su di un server remoto, ma comunque nella stessa LAN e al massimo risponde in qualche centesimo di secondo. Gli ambienti virtuali danno anche ulteriori vantaggi anche nella progettazione meccanica del robot, in quanto non si è costretti a riprogettare un nuovo prototipo per ogni nuovo scenario ma si possono riutilizzare pezzi già adatti o partire da un modello di base. Ultimamente grazie a piattaforme di sviluppo open source è messo a disposizione di tutti l'ambiente per ideare, sviluppare, progettare, testare e perché non anche giocare con il proprio tele-robot; come ad esempio un rover lunare.

Questo e altri segnali preannunciano una maggior partecipazione di tutti, non solo scienziati e ingegneri, alla tele robotica del domani che sarà più intelligente, sensoriale, diffusa e anche di massa. Così non ci saranno più persone inconsapevoli dei benefici dei robot e in genere della telerobotica.

Riferimenti bibliografici e sitografia dei progetti

- [01.1]<http://www.intuitivesurgical.com/>
- [01.2]<http://www.dis.uniroma1.it/~labrob/people/vendittelli/didattica/RobMed/MatDid0708/daVinci.pdf>
- [01.3]<http://www.intuitivesurgical.com/company/faqs.html#20>

- [02.1]Università giapponese di Gifu [Kawasaki & Mouri Lab](http://www.kawasaki-lab.com/) -> Research of Haptic Interface.
<http://robo.mech.gifu-u.ac.jp/en/Research/Haptic/index.html>

- [03.1]http://www.ri.cmu.edu/research_project_detail.html?project_id=66&menu_id=261

- [04.1]NREC <http://www.rec.ri.cmu.edu/projects/teleop/description/>

- [05.1]NREC <http://www.rec.ri.cmu.edu/projects/sacr/>

- [06.1]NREC http://www.rec.ri.cmu.edu/projects/mini_sacr/description/

- [07.1]<http://www.terk.ri.cmu.edu/about/>

- [08.1]<http://www.rec.ri.cmu.edu/projects/joy/>

- [09.1]<http://www.rec.ri.cmu.edu/projects/kajima/description/>

- [10.1]<http://www.asc-csa.gc.ca/eng/iss/dextre> <http://www.ctv.ca/mar/static/dextre/>
- [10.2]http://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/elements/mss.html
- [10.3]http://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/elements/subsystems.html

- [11.1]http://www.ri.cmu.edu/publication_view.html?pub_id=5121 vedi pdf

- [12.1]http://www.rec.ri.cmu.edu/projects/black_knight/application/
- [12.2]http://www.rec.ri.cmu.edu/projects/black_knight/description/

- [13.1]<http://www.rec.ri.cmu.edu/projects/dragonrunner/>

- [14.1]<http://www.rec.ri.cmu.edu/projects/explorer/>

- [15.1]<http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/user/gwp/www/robots/PRAMB/PRAMB.html>
<http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/user/gwp/www/robots/EODR-VLC/Yoder.html>

- [16.1]<http://www.cmas.ca/telehealth.aspx>

- [17.1] Perché Java? <http://www.mokabyte.it/1997/07/java-mars.htm>
- [17.2] Archivio Corriere della Sera
http://archiviostorico.corriere.it/1997/luglio/05/cosmo_sul_computer_casa_co_0_9707_052330.shtml
- [17.3] The Web Interface for Telescience P. G. Backes, G. K. Tharp, and K. S. Tso. <http://trs-new.jpl.nasa.gov/dspace/bitstream/2014/21706/1/97-0089.pdf>
 (vedi anche) <http://telerobot.mech.uwa.edu.au/Information/Dalton%20thesis.pdf> Pag. 9
- [18.1] Fase 1: <http://www.digitalspace.com/projects/lunar-telerobotics/proposal/index.html>
 Fase 2: <http://www.digitalspace.com/proposals/9853nb/proposal9853-nb.html>
- [19.1] <http://marsprogram.jpl.nasa.gov/mer/fido/index.html>
- [19.2] <http://trs-new.jpl.nasa.gov/dspace/bitstream/2014/6281/1/03-0046.pdf>
- [19.3] <http://www-robotics.jpl.nasa.gov/facilities/facility.cfm?Facility=9>
- [20.1] http://en.wikipedia.org/wiki/Lunokhod_1
- [20.2] Documentario dalla Discovery channel sul Lunokhod
<http://science.discovery.com/tv/tank/tank.html>
<http://science.discovery.com/videos/tank-on-the-moon-improving-the-lunokhod.html>
- [20.3] <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/masterCatalog.do?sc=1973-001A>

Bibliografie:

- [1] M. Vendittelli Robotica Medica (Università di Roma “La Sapienza”) – Teleoperazione
<http://www.dis.uniroma1.it/~labrob/people/vendittelli/didattica/RobMed/MatDid0708/Teleop.pdf>
- [2] Surgical Robotics: Systems Applications and Visions Di Jacob Rosen, Blake Hannaford, Richard M. Satava ISBN-10: 1441911251
- [3] NASA Telerobotics Program
http://ranier.hq.nasa.gov/telerobotics_page/telerobotics.shtml

Acronimi utilizzati

GPS	Global Positioning System
HIRO	Haptic Interface Robot
ISS	International Space Station
JPL	Jet Propulsion Laboratory
LADAR	Light Detection And Ranging
LAN	Local Area Network
LRO	Lunar Reconnaissance Orbiter
MER	Mars Exploration Rover
MSS	Mobile Servicing System
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NREC	National Robotics Engineering Center
PRAMB	Portable Robotic Arm Mobile Base
SACR	Soldier Awareness through Colorized Ranging
SAP	Science Activity Planner
SBIR	Small Business Innovation Research
SPDM	Special Purpose Dexterous Manipulator
TeRK	Telepresence Robot Kit
UGV	Unmanned Ground Vehicle
VPN	Virtual Private Network
VR	Virtual Reality
WITS	Web Interface for Telescience