

4.3.b) Sommario della tesi per il conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca in “Tecnologie Innovative per l’Informazione, l’Ingegneria delle Telecomunicazioni e Robotica” presso la Scuola Superiore Sant’Anna- Pisa (Italia)

Autore: Ing. Loconsole Claudio

Titolo: “Advances in human-machine interaction for Upper Limb Rehabilitation and Basic Life Support training”

Relatore: Prof. Ing. Ph.D. Antonio Frisoli

I principali temi trattati dal lavoro svolto nell’ambito della tesi di Dottorato, sono essenzialmente tre:

- 1) neuroriabilitazione assistita da robot di pazienti post-ictus e sviluppo di nuovi algoritmi per interfacce avanzate di interazione uomo-robot;
- 2) studio e sviluppo di sistemi basati sulle nuove tecnologie ICT per il training delle operazioni di rianimazione cardiopolmonare;
- 3) studio e sviluppo di nuove tecniche per il riconoscimento automatico di emozioni facciali a partire da immagini.

Per ciascuno di questi temi, verranno analizzati e discussi i punti richiesti dal bando:

- inquadramento del tema trattato e del lavoro svolto;
- contributo ai temi di cui al presente bando;
- innovatività dei risultati ottenuti;
- impatto etico e sociale dei risultati ottenuti;
- rilevanza scientifica dei risultati ottenuti ed eventuali pubblicazioni.

Al fine di inquadrare il tema trattato nel modo più esauriente possibile, è stato predisposto un ulteriore allegato denominato “**Allegato opzionale Bibliografia per l’inquadramento dei temi trattati nello stato dell’arte**”, che riporta le citazioni introdotte.

La neuroriabilitazione assistita da robot per pazienti post-ictus

L’emiparesi di arti superiori rappresenta una comune menomazione per i pazienti post-ictus [1], questi ultimi stimati in circa 795.000 persone solo negli Stati Uniti ogni anno [2].

I robot per la Neuroriabilitazione (quindi non solo destinati alla riabilitazione ortopedica, ma volti al recupero di alcune attività motorie degli arti paretici attraverso lo sfruttamento della plasticità cerebrale) possono essere impiegati con successo sin dalle prime fasi del recupero da ictus [3,4,5] in quanto sono in grado di superare alcuni dei limiti più importanti della tradizionale terapia assistita, come la mancanza di ripetibilità delle operazioni, la dipendenza dalla disponibilità di personale qualificato e la possibilità di fornire una terapia motoria molto intensa in condizioni controllate [6].

Ad ogni modo, in letteratura è risaputo che i movimenti effettuati durante la terapia sono efficaci se associati a movimenti orientati ad un particolare compito che coinvolge sforzo volitivo dal paziente, poiché il movimento passivo, di per sé, non è in grado di indurre l’apprendimento motorio. Inoltre, l’incoraggiamento del paziente a compiere movimenti self-initiated (cioè in cui la partenza del movimento è decisa autonomamente dal paziente) rappresenta un ulteriore requisito essenziale per conseguire un’efficace riorganizzazione corticale.

Per questo motivo, nell’ambito della Neuroriabilitazione sono stati proposti una serie di algoritmi di controllo che estendono il classico schema di “assistenza ad impedenza”, che può modulare l’assistenza fornita dal robot “quando e quanto necessaria” in base a parametri di prestazione o parametri biometrici misurati durante l’esecuzione dell’attività [7], come la forza [8], l’attività elettromiografica [9] o gli altri segnali cognitivi superiori. In accordo con questa linea di ricerca, ci sono stati alcuni primi tentativi di integrazione di tecniche non invasive di Brain Computer Interface (BCI) basati su segnali elettroencefalografici con terapie basate sulla Realtà Virtuale [10] e con terapie assistite da robot [11,12] in pazienti post-ictus cronici.

Per di più, l’interesse scientifico nell’uso delle tecniche di BCI è sostenuto dal fatto che sin dalle prime fasi del recupero post-ictus, ovvero quando il braccio è flaccido, è possibile inferire l’intenzione di movimento per guidare la terapia robotica da qualsiasi misurazione biometrica (altro es. è l’attività elettromiografica (EMG)).

Anche il senso della vista, allo stesso modo, che si preserva anche nei pazienti post-ictus, può essere utilizzato per attivare l’assistenza del robot nella terapia basata su compiti di raggiungimento di oggetti con gli arti superiori (tecnicamente reaching task).

Questo tipo di movimenti richiedono, infatti, una coordinazione visuo-motoria: una saccade (ovvero un tipico e

rapido movimento degli occhi eseguito per portare la zona di interesse a coincidere con la fovea) solitamente precede l'inizio del movimento, mentre la parte finale del percorso effettuato dalla mano per il raggiungimento di un oggetto, viene eseguita sotto la guida visiva del paziente stesso.

Nelle attività di selezione di un oggetto da raggiungere, poi, le prestazioni ottenute con lo sguardo sono risultate essere significativamente migliori (più veloci) di quelle ottenute con il puntamento della mano, in particolare in ambienti in cui gli oggetti sono collocati lontani dalla posizione dell'utente [13].

Tuttavia, la maggior parte delle applicazioni robotiche che fanno uso del controllo tramite occhi-sguardo, si concentrano su robot per l'assistenza (ad esempio [14]) e non per la terapia di riabilitazione. Inoltre, anche il sistema che si utilizza e lo scenario di impiego in cui l'esercizio è proposto, rappresentano importanti fattori per il recupero motorio.

Durante una tipica sessione di Neuroriabilitazione assistita da robot, il paziente riceve un feedback diretto delle sue prestazioni guardando le conseguenze delle proprie azioni su un display attraverso simulazioni di videogiochi o rappresentazioni del movimento eseguito [15]. La presentazione delle stesse attività riabilitative in uno scenario reale può, però, coinvolgere condizioni percettive di manipolazione di oggetti che non sono disponibili in uno scenario virtuale.

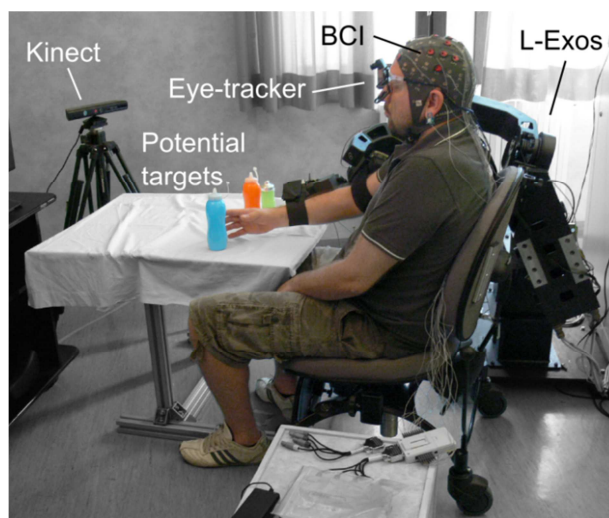


Figura 1: L'architettura del sistema di Neuroriabilitazione degli arti superiori assistita da robot

Proprio con questo scopo, nel lavoro di tesi si propone lo studio, la progettazione, lo sviluppo e la valutazione sperimentale di un'architettura attiva di controllo per un nuovo esoscheletro robotico dell'arto superiore, che fa uso di monitoraggio dello sguardo e di interfacce BCI per aiutare il paziente a raggiungere e afferrare oggetti reali, catturando la sua intenzione di movimento in modo continuo nel tempo.

Il Light Exoskeleton o L-Exos, un braccio robotico esoscheletrico per umani [16], è stato utilizzato per aiutare i pazienti ad eseguire il reaching task in un ambiente reale lungo traiettorie simili a quelle umane e generate on-line in base alle condizioni ambientali e allo stato del paziente (posizione dell'oggetto da raggiungere, postura e posizione del braccio del paziente) preservando sia la naturale coordinazione occhio-mano durante il raggiungimento/presa, che la capacità di self-initiation con controllo continuo di movimento.

In particolare, il sistema di Neuroriabilitazione ideato e sviluppato dall'autore e proposto nella tesi (Figura 1) si articola nelle seguenti parti:

- 1) Un sistema di head-mounted eye-tracking (a forma di occhiali da vista), permette all'utente di selezionare un oggetto del mondo reale solo con lo sguardo;
- 2) Attraverso una camera RGB-D (che fornisce informazioni anche sulla distanza di ciascun pixel dell'immagine), si modella il mondo circostante, si individua nello spazio l'oggetto selezionato con lo sguardo e si seguono i suoi eventuali movimenti (l'oggetto selezionato può essere fermo o movimentato ad esempio dal fisioterapista);
- 3) L'esoscheletro robotico, attraverso gli algoritmi di pianificazione della traiettoria proposti, supporta il braccio del paziente nel raggiungimento dell'oggetto desiderato e, se necessario, lo aiuta a seguirlo nello spazio (si dà anche la possibilità alla mano del paziente di seguire con la mano l'oggetto);
- 4) Infine, attraverso l'interfaccia BCI, si monitora in tempo reale l'attività cerebrale del paziente che viene

decodificata automaticamente per interpretare la voglia effettiva del paziente di movimentare il proprio braccio.

Infine, il sistema realizzato è stato sperimentalmente valutato sia con soggetti sani, che con pazienti post-ictus cronici in ambiente ospedaliero, presso il Dipartimento di Neuroriabilitazione dell'Ospedale di Pisa.

L'impatto etico e sociale di questo primo tema di ricerca è sicuramente forte, principalmente perché l'approccio proposto e sviluppato per la Neuroriabilitazione degli arti superiori permette di ottenere migliori risultati nel recupero motorio di pazienti emiparetici, ovvero di pazienti in cui il braccio paretico è completamente passivo e insensibile.

L'innovatività e la rilevanza scientifica dei risultati ottenuti, sono dimostrati dalle numerose pubblicazioni di carattere internazionale sia in atti di conferenze che in journal. In particolare, con riferimento all'appendice "Elenco delle pubblicazioni fatte e dei riconoscimenti ottenuti sull'argomento della tesi", le pubblicazioni:

- **2 e 4:** fanno riferimento agli algoritmi di pianificazione della traiettoria proposti per esoscheletri (di arti superiori) che simulano il movimento umano. Gli aspetti innovativi di maggiore rilevanza introdotti in queste due pubblicazioni sono:
 - la definizione di traiettorie a jerk limitato in cui tutti i giunti del robot sono sincronizzati tra loro in ogni istante di tempo, attraverso tecniche proposte dall'autore di questa tesi di dottorato che a loro volta prendono spunto dal concetto di sinergie muscolari umane (lo stato dell'arte precedente proponeva algoritmi di sincronizzazione in cui i giunti erano sincronizzati solo all'inizio e al termine della traiettoria);
 - l'introduzione del punto proxy nelle traiettorie di reaching e di tecniche veloci per il suo calcolo al fine di rendere le interazioni robot-paziente e robot-terapista più sicure e affidabili;
- **5:** fa riferimento all'impiego delle tecniche di eye-tracking (letteralmente monitoraggio dello sguardo) per guidare il robot esoscheletrico;
- **10 e riconoscimento n.2:** fa riferimento a tecniche di computer vision che introducono intelligenza artificiale nell'interazione uomo-robot in ambiente reale e la semplificano;
- **1, 6 e premio n.1:** fanno riferimento all'intero sistema sviluppato e ne presentano i risultati ottenuti dagli esperimenti condotti sia con soggetti sani che con pazienti post-ictus;
- **12:** fa riferimento all'attività di presa degli oggetti raggiunti con il supporto del L-Exos attraverso un esoscheletro per mano controllato per mezzo dell'attività muscolare della mano del braccio non paretico.

Il training delle operazioni di rianimazione cardiopolmonare

La cardiopatia ischemica è la principale causa di morte nel mondo [17]. In Europa, le malattie cardiovascolari rappresentano circa il 40% di tutte le morti di persone con età inferiore ai 75 anni [18]. L'arresto cardiaco improvviso, poi, è responsabile di più del 60% di morti di adulti causati da malattie coronariche [19]. Il trattamento raccomandato per l'arresto cardiaco è la rianimazione cardiopolmonare immediata (compressione del torace combinata alla respirazione artificiale) e defibrillazione elettrica tempestiva.

La rianimazione Cardio-Polmonare (RCP) dipende dalla catena della sopravvivenza, un processo di intervento suddividibile in quattro fasi. Tale processo, se seguito in modo efficiente, permette di migliorare i tassi di sopravvivenza [20].

Affinché la catena sia efficace, però, la rapidità di esecuzione di ogni fase è critica. Il soccorritore e gli operatori sanitari dovrebbero essere in grado di riconoscere un arresto cardiaco, chiedere aiuto e di eseguire il Basic Life Support (BLS).

Il problema principale, però, è che l'Instructor Led Training (ILT) di BLS convenzionale richiede molto tempo, è costoso e pone diversi limiti. Inoltre, tutti i corsi ILT richiedono la presenza di un istruttore di rianimazione qualificato e decine di ore per il completamento del programma di apprendimento. Questi corsi, poi, hanno lo scopo di trasmettere grandi quantità di informazioni e di impartire una notevole abilità con limitata quantità di tempo di pratica.

Alcuni studi, però, hanno sottolineato che l'auto-istruzione attraverso sessioni video interattive e l'utilizzo di manichini personali, possono permettere l'acquisizione di abilità con lo stesso grado di efficacia del caso di un corso con istruttore.

Le linee guida dell'European Resuscitation Council del 2010 suggeriscono, al fine di mantenere alta la qualità della RCP, di fornire feedback ai soccorritori. E' stato dimostrato, infatti, che l'uso di dispositivi di feedback durante la RCP, rappresenta un importante aiuto per i soccorritori e migliora il loro operato [21].

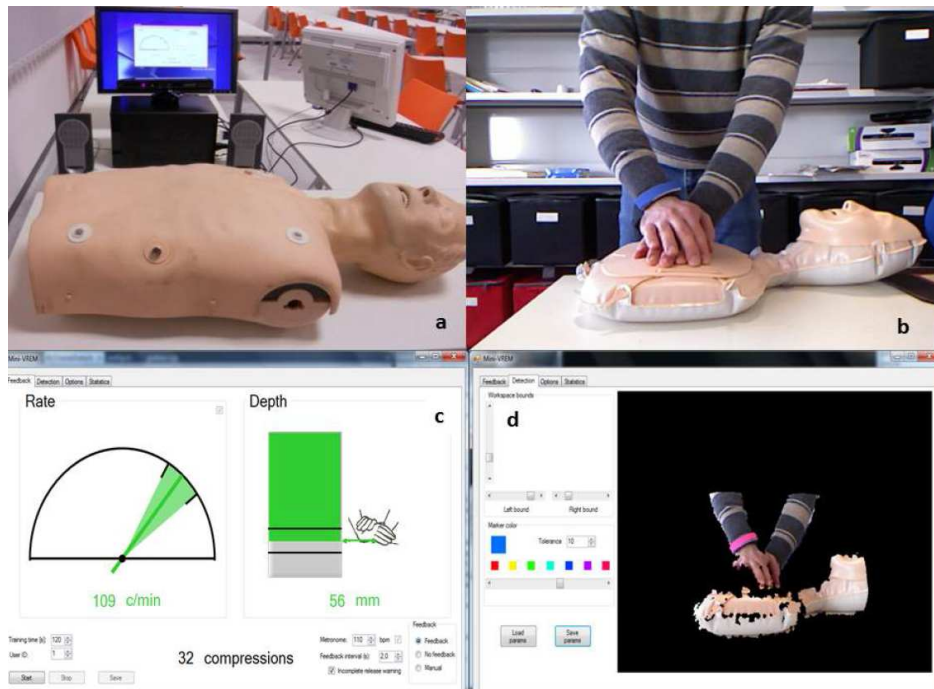


Figura 2: Il sistema sviluppato per l'apprendimento delle operazioni di RCP di qualità

Inoltre, i dati memorizzati nelle apparecchiature di soccorso possono essere utilizzati per monitorare la qualità delle prestazioni RCP e fornire successivamente un feedback ai soccorritori professionisti durante le sessioni di debriefing. Un articolo recente ha suggerito l'attuazione di un programma di RCP di qualità che utilizza dispositivi che forniscono feedback delle operazioni di RCP in tempo reale combinati con attività di debriefing post-evento. In particolare, questo approccio ha dimostrato di essere il più efficace tra i metodi che cercano di migliorare la qualità della RCP rispetto alle prassi attuali [22]. Nel 2010 le linee guida dell'European Resuscitation Council (ERC) di rianimazione hanno definito RCP di qualità, la RCP ininterrotta per tutta la durata dell'emergenza con una profondità di compressione di 50-60 mm e una velocità di 100-120 compressioni al minuto [23].

Nonostante i benefici riguardanti la sopravvivenza e la qualità della sopravvivenza in caso di RCP di alta qualità siano stati ben documentati [26,27], è stato dimostrato che:

- quando testata su manichini, la qualità della RCP eseguita da persone non esperte e da professionisti del settore sanitario tende a peggiorare in modo significativo nel giro di pochi mesi dopo l'allenamento [24,25] (mancanza di ritenzione delle abilità acquisite con l'apprendimento e l'allenamento);
- la qualità della RCP, è spesso scarsa in ambito clinico

Nonostante siano diversi i sistemi sviluppati per l'apprendimento delle operazioni di RCP di alta qualità, tali dispositivi si sono dimostrati pericolosi e costosi (ciò limita la loro diffusione), oltre che caratterizzati da alcune importanti limitazioni.

A tal fine, il lavoro di tesi proposto, ha l'obiettivo di risolvere questo "gap" tecnologico, proponendo e testando sperimentalmente metodologie basate su telecamere RGB-D (ovvero telecamere che forniscono anche informazioni sulla terza dimensione, in questo caso si è utilizzata un economico dispositivo Microsoft Kinect) da implementare in sistemi non invasivi che permettono di monitorare e guidare propriamente un utente nell'apprendimento delle operazioni caratteristiche della RCP di qualità (Figura 2).

Il test sperimentale del sistema proposto (prospective, randomised cross-over design experiment), poi, è stato effettuato contemporaneamente presso il Dipartimento di Terapia Intensiva dell'Ospedale Maggiore di Bologna e presso il Laboratorio PERCRO a Pisa tra novembre e dicembre 2011 su 80 partecipanti (40 professionisti del settore sanitario e 40 persone non esperte). I risultati di questo test sperimentale hanno dimostrato che il sistema proposto contribuisce a migliorare la qualità della RCP sia in termini di profondità, che di velocità. Inoltre, grazie

alla caratteristica di randomness dello studio è stato possibile dimostrare che coloro che utilizzano il nostro sistema, riescono a “ritenere” l’abilità di effettuare la RCP di qualità senza ricevere feedback anche a distanza di tempo dalla prima prova con il nostro sistema. L’innovatività e la rilevanza scientifica dei risultati ottenuti, sono dimostrati dalle diverse pubblicazioni di carattere internazionale sia in atti di conferenze che in journal. In particolare, con riferimento all’appendice “Elenco delle pubblicazioni fatte e dei riconoscimenti ottenuti sull’argomento della tesi”, le pubblicazioni:

- **3, 8, 11 e il riconoscimento n.3:** fanno riferimento proprio alla proposizione delle metodologie su descritte e alla loro validità in ambito scientifico e tecnologico.

Il riconoscimento automatico di emozioni facciali a partire da immagini

Le espressioni facciali giocano un ruolo cruciale nella comunicazione e l’interazione tra gli esseri umani. In assenza di altre informazioni (come ad esempio l’interazione vocale), le espressioni facciali possono trasmettere emozioni, opinioni e indizi per quanto riguarda gli stati cognitivi [28].

Un metodo di estrazione delle feature facciali in tempo reale completamente automatico che ha lo scopo di riconoscere le emozioni facciali permette di aumentare il realismo della comunicazione tra uomo e macchina. Diversi sono già i campi di ricerca interessati a sviluppare sistemi automatici per il riconoscimento delle emozioni facciali. Essi vanno dall’Interazione Uomo-Robot cognitiva alle telecomunicazioni, alle scienze del comportamento.

Ad oggi sono stati sviluppati molti sistemi di riconoscimento facciale in tempo reale per il rilevamento delle feature facciali (ad esempio [29]). Molti sono anche gli studi psicologici condotti per decodificare queste informazioni utilizzando solo le espressioni facciali, come il Facial Action Coding System (FACS) sviluppato da Ekman [30].

Come riporta l’indagine [31], nei sistemi esistenti di riconoscimento di espressione facciale possiamo distinguere tre fasi tipiche [32]: la fase di riconoscimento facciale; la fase di estrazione delle feature facciali; la fase di training di un classificatore.

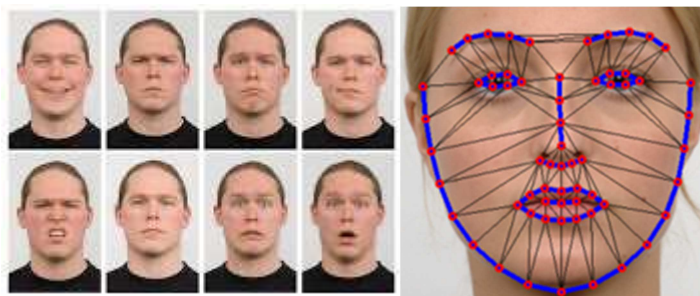


Figura 3. Esempio delle emozioni facciali riconosciute (per la validazione e’ stato utilizzato un database standard internazionale) a sinistra ed esempio di riconoscimento automatico delle feature facciali su un soggetto

Secondo la stessa indagine, la seconda fase (ovvero quella di estrazione di feature facciali) influenza fortemente il costo computazionale e l’accuratezza dell’intero sistema. Ne consegue che la scelta del tipo di feature da estrarre ed i metodi corrispondenti da utilizzare per l’estrazione risulta fondamentale.

I metodi comunemente utilizzati per l’estrazione di feature possono essere suddivisi in metodi geometrici (cioè caratteristiche sono estratti da forma o posizioni dei punti salienti come la bocca o gli occhi [33]) e metodi basati sull’aspetto (per es. le Gabor wavelet [34]). Le feature geometriche sono selezionate a partire dalle posizioni dei landmark di parti essenziali del volto (cioè gli occhi, le sopracciglia e la bocca). I metodi che permettono di estrarre questo tipo di feature sono semplici e caratterizzati da un basso costo computazionale. La loro accuratezza, però, è estremamente dipendente dalle prestazioni di riconoscimento facciale. Esempi di metodologie di classificazione delle emozioni che utilizzano caratteristiche geometriche estrazione sono [35, 36, 37, 38, 38, 39, 40]. Tuttavia, un alto grado di precisione sulla rilevazione dell’emozione di solito richiede una calibrazione con una faccia neutra ([40,37,36,35]), un aumento del costo computazionale ([37,38]), con un decremento del numero di emozioni rilevate ([36,38]) o di una griglia di posizionamento manuale dei nodi [40].

Lo scopo del lavoro di ricerca condotto, quindi, è quello di proporre un metodo di estrazione di feature

geometriche (Figura 3) che, però, fornisca allo stesso tempo: prestazioni paragonabili ai metodi basati sull'aspetto, automazione del processo senza intervento manuale e basso costo computazionale in modo da essere un processo tempo reale. Nel dettaglio, si è dimostrato, attraverso un'ampia parte sperimentale che il sistema proposto permette di ottenere performance migliori di quelle degli altri metodi esistenti (allo stato dell'arte) ed è in grado di risolvere i seguenti quattro principali problemi legati al riconoscimento delle emozioni facciali [32]:

- tempo reale: la comunicazione tra gli esseri umani è un vero e proprio processo tempo reale, con un ordine di circa 40 millisecondi [29];
- capacità di riconoscimento di diverse emozioni su persone con diverse caratteristiche antropometriche facciali;
- capacità di riconoscimento delle emozioni facciali senza necessità di calibrazione con faccia neutrale dello stesso soggetto;
- capacità di auto calibrazione automatica senza intervento manuale.

Tale studio risulta alla base di un percorso di ricerca che vede il riconoscimento delle emozioni un passo fondamentale nella diagnosi di molte malattie neurologiche come: la sindrome di Asperger, l'autismo, la schizofrenia, la sclerosi laterale amiotrofica, la malattia di Urbach-Wiethe, la depressione, il disturbo bipolare e l'Alzheimer [41]. Attraverso una valutazione oggettiva e/o soggettiva delle emozioni riconosciute, infatti, diventa possibile diagnosticare in anticipo questo tipo di disturbi neurologici.

L'innovatività e la rilevanza scientifica dei risultati ottenuti, sono dimostrati dalle pubblicazioni riportate in appendice "Elenco delle pubblicazioni fatte e dei riconoscimenti ottenuti sull'argomento della tesi", con il **numero 9 e il numero 14**. Esse riportano, rispettivamente:

- il lavoro preliminare eseguito sui volti umani per identificare i landmark facciali (ovvero i punti salienti del volto) ed eseguire misurazioni automatiche delle distanze biometriche facciali. Tale lavoro preliminare ha dimostrato la possibilità di evitare l'uso di marker fisici sul volto (invasivi) per identificare i punti salienti del volto con correttezza;
- le feature proposte e la loro validazione scientifica.

Conclusioni

I contributi forniti dal lavoro di tesi svolto nell'ambito di tutti e tre i temi trattati concernono implicazioni nell'ambito della:

1. ricerca (intelligenza artificiale, interazione uomo-macchina, robotica);
2. salute (rapporto terapeuta-paziente, miglioramento del servizio sanitario offerto).

In particolare, nel campo della ricerca, l'intelligenza artificiale e la robotica sono state integrate al fine di fornire un nuovo scenario di Neuroriabilitazione di pazienti che hanno subito un ictus. Anche se ancora non pubblicati a causa della lunghezza temporale del protocollo clinico, i risultati delle sperimentazioni su pazienti stanno dimostrando l'efficacia del metodo/scenario proposto e l'accettazione di tale sistema da parte dei pazienti stessi. Questo tema incide anche nel campo della salute, grazie al miglioramento del servizio sanitario offerto.

Sempre nel campo dell'interazione uomo-macchina, si è dimostrato che le tecnologie ICT ad oggi disponibili permettono di ottenere degli ottimi risultati se applicati al campo dell'apprendimento delle operazioni di rianimazione cardio-polmonare da parte di personale sia professionista (in ambito medico) che non. Inoltre, grazie al minore costo del setup e del metodo proposto (quasi nullo se paragonato ai corsi con istruttori specializzati), diventa possibile diffondere tale pratica anche tra il grande pubblico (attraverso serious game) sensibilizzando tutti alle operazioni da seguire in caso di infarto. L'obiettivo di lungo periodo è proprio quello di eliminare, grazie alla conoscenza e alla pratica, la paura dei non professionisti ad intervenire tempestivamente in caso di infarto. Infatti, come menzionato precedentemente, la tempestività dell'intervento risulta essere fondamentale, poiché per ogni minuto di ritardo nell'intervento, la probabilità di sopravvivenza si riduce del 10%, così come si riduce la qualità della sopravvivenza (provocando dunque maggiori danni a livello cerebrale). Anche questo tema incide sul campo della salute, migliorando ed economizzando il servizio sanitario offerto.

Infine, anche l'ultimo tema proposto porta con se' delle implicazioni a livello di interazione uomo-macchina e potenzialmente anche a livello della salute. Per il primo ambito, grazie al riconoscimento delle emozioni dell'utente diventa possibile per la macchina interagire con l'utente stesso ad un livello più elevato. Nel caso, poi, di applicazioni specifiche, diventa possibile regolare l'interfaccia uomo-macchina in base all'effettivo stato emozionale dell'utente. Infine, per quanto riguarda il secondo ambito, quello della salute, si offre un potenziale supporto automatico, che fa uso degli strumenti ICT, per la diagnosi precoce di malattie neurologiche rendendo possibile un intervento tempestivo e migliorando così il servizio sanitario offerto all'intera popolazione.

Elenco delle pubblicazioni fatte e dei riconoscimenti ottenuti sugli argomenti della tesi

Pubblicazioni su journal

- 1) “A new BCI, gaze and Kinect-based active guidance mode for upper limb robot-aided neurorehabilitation in real world tasks ”, A. Frisoli, **C. Loconsole**, D. Leonardis, F. Bannò, M. Barsotti, M. Bergamasco, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part C: Applications and Reviews 2012 (Impact Factor 2011: 2.02, Research Gate)
- 2) “A new bounded jerk on-line trajectory planning for mimicking human movements in robot-aided neurorehabilitation”, A. Frisoli, **C. Loconsole**, R. Bartalucci, M. Bergamasco Robotics and Autonomous Systems, 2012 (Impact Factor 2011: 1.056, ©Thomson Reuters Journal Citation Reports 2012)
- 3) “Motion detection technology as a tool for cardiopulmonary resuscitation (CPR) quality training: a randomised crossover manikin pilot study”, F. Semeraro, A. Frisoli, **C. Loconsole**, F. Bannò, G. Tamaro, G. Imbriaco, L. Marchetti, E. L. Cerchiari, Resuscitation, 2012 (Impact Factor 2011: 3.601, ©Thomson Reuters Journal Citation Reports 2012)
- 4) “ On multi-user perspectives in passive stereographic virtual environment”, P. Tripicchio, **C. Loconsole**, A. Piarulli, E. Ruffaldi, F. Tecchia, M. Bergamasco, Computer Animation and Virtual Worlds 2012

Pubblicazioni in conferenze peer-review

- 4) “An online trajectory planning method for visually guided assisted reaching through a rehabilitation robot”, **C. Loconsole**, R. Bartalucci, A. Frisoli, M. Bergamasco, International Conference on Robotics and Automation, May 9-13 2011– Shanghai (China)
- 5) “A new gaze-tracking guidance mode for upper limb robot-aided neurorehabilitation”, **C. Loconsole**, R. Bartalucci, A. Frisoli, M. Bergamasco, World Haptics Conference, June 22-24 2011– Istanbul (Turkey)
- 6) “Preliminary results of BRAVO Project, Brain Computer Interface for Robotic Enhanced Rehabilitation”, M. Bergamasco, A. Frisoli, M. Fontana, **C. Loconsole**, D. Leonardis, M. Troncossi, M. M. Fomashi, V. Parenti-Castelli, International conference on Rehabilitation Robotics, ICORR 2011, June 29- July 1 2011, Zurich, Switzerland
- 7) ” Hand and Arm Ownership Illusion through Virtual Reality Physical Interaction and Vibrotactile Stimulations”, M. A. Padilla, S. Pabon, A. Frisoli, E. Sotgiu, **C. Loconsole**, M. Bergamasco, Eurohaptics, July 8th – 10th, 2010 – Amsterdam (Holland), url:
- 8) ” Mini-VREM (Virtual Reality Enhanced Mannequin) project: motion detection technology as a tool for cardiopulmonary resuscitation (CPR) quality improvement”, F. Semeraro, A. Frisoli, **C. Loconsole**, F. Bannò, L. Marchetti, E.L. Cerchiari, La Medicina Incontra la Realtà Virtuale:

Applicazioni in Italia della Realtà Virtuale in Medicina e Chirurgia, Bologna, (Italy) November 3rd, 2011

9) "A new marker-less 3D Kinect-based system for facial anthropometric measurements",
C. Loconsole, N. Barbosa, A. Frisoli, V. Costa Orvalho, VII Conference on Articulated Motion and Deformable Objects, AMDO 2012, Andratx, Mallorca, Spain. July 11st – 13rd 2012

10) "A new Kinect-based guidance mode for upper limb robot-aided neurorehabilitation",
C. Loconsole, F. Bannò, A. Frisoli, M. Bergamasco, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) 2012, Vilamoura, Algarve, Portugal, October 7th-12nd 2012
BEST STUDENT PAPER FINALIST

11) "Mini-VREM (Virtual Reality Enhanced Mannequin) project: a prospective, randomised crossover design study on healthcare professionals and lay rescuers", F. Semeraro, A. Frisoli, **C. Loconsole**, F. Bannò, G. Tammaro, G. Imbriaco, L. Marchetti, E. Cerchiari, Decennale MIMOS – Movimento Italiano Modellazione e Simulazione, Roma, 9-11 Ottobre 2012

12) "EMG-based robotic-assisted system for bilateral hand training of grasping",
C. Loconsole, D. Leonardis, M. Barsotti, A. Frisoli, M. Solazzi, M. Bergamasco, M. Troncossi, M. M. Fomashi, C. Mazzotti, V. Parenti Castelli, World Haptics Conference, April 14-17 2013– Daejeon (Korea)

13) "Real-Time Emotion Recognition: a Novel Method for Geometrical Facial Features Extraction", **C. Loconsole**, C. Runa, G. Augusto, A. Frisoli, V. Orvalho, IEEE - VISIGRAPP - the 9th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications

Premi e riconoscimenti

1) Loconsole, Claudio: Primo classificato al concorso mondiale "Simulink Student Challenge"
Data: 1 Dicembre 2011

2) Semeraro, F.; Frisoli, A.; Loconsole, C.; Marchetti, L.; Cerchiari, E.L.
Future of Health Award 2012

3) Loconsole, Claudio: "Best student paper finalist" per la pubblicazione
Loconsole, C.; Banno', F.; Frisoli, A.; Bergamasco, M.; "A new Kinect-based guidance mode for upper limb robot-aided neurorehabilitation", Intelligent Robots and Systems (IROS), 2012 IEEE/RSJ International Conference on, Ottobre 7-12, 2012, Vilamoura (Portugal).
Data: 11 Ottobre 2012

4) Semeraro, F.; Frisoli, A.; Loconsole, C.; Bannò, F.; Marchetti, L.; Cerchiari, E.L.
Menzione special al concorso "Digit@lia for talent challenge"
Data: 24 Ottobre 2012

Allegato opzionale Bibliografia per l'inquadramento dei temi trattati nello stato dell'arte

- [1] S. Beckelhimer, A. Dalton, C. Richter, V. Hermann, and S. Page, "Computer-based rhythm and timing training in severe, stroke-induced arm hemiparesis," *Amer. J. Occupat. Ther.*, vol. 65, no. 1, pp. 96–100, 2011.
- [2] D. Lloyd-Jones, R. Adams, T. Brown, M. Carnethon, S. Dai, G. De Simone, T. Ferguson, E. Ford, K. Furie, C. Gillespie et al., "Executive summary: Heart disease and stroke statistics—2010 update: A report from the American Heart Association," *Circulation*, vol. 121, no. 7, pp. 948–954, 2010.
- [3] H. Krebs, B. Volpe, D. Williams, J. Celestino, S. Charles, D. Lynch, and N. Hogan, "Robot-aided neurorehabilitation: A robot for wrist rehabilitation," *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 15, no. 3, pp. 327–335, Sep. 2007.
- [4] A. Frisoli, L. Borelli, A. Montagner, S. Marcheschi, C. Procopio, F. Salsedo, M. Bergamasco, M. Carboncini, M. Tolaini, and B. Rossi, "Arm rehabilitation with a robotic exoskeleton in virtual reality," in *Proc. IEEE 10th Int. Conf. Rehabil. Robot.*, Jun. 2007, pp. 631–642.
- [5] A. Frisoli, C. Procopio, C. Chisari, I. Creatini, L. Bonfiglio, M. Bergamasco, B. Rossi, and M. Carboncini, "Positive effects of robotic exoskeleton training of upper limb reaching movements after stroke," *J. NeuroEng. Rehabil.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–6, 2012.
- [6] G. Prange, M. Jannink, C. Groothuis-Oudshoorn, H. Hermens, and M. IJzerman, "Systematic review of the effect of robot-aided therapy on recovery of the hemiparetic arm after stroke," *J. Rehabil. Res. Devel.*, vol. 43, no. 2, pp. 171–184.
- [7] L. Marchal-Crespo and D. Reinkensmeyer, "Review of control strategies for robotic movement training after neurologic injury," *J. NeuroEng. Rehabil.*, vol. 6, no. 1, p. 20, 2009.
- [8] A. Frisoli, E. Sotgiu, C. Procopio, M. Bergamasco, B. Rossi, and C. Chisari, "Design and implementation of a training strategy in chronic stroke with an arm robotic exoskeleton," in *Proc. IEEE Int. Conf. Rehabil. Robot.*, Jun. 29–Jul. 1, 2011, pp. 1–8.
- [9] K. Kiguchi, T. Tanaka, and T. Fukuda, "Neuro-fuzzy control of a robotic exoskeleton with EMG signals," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 12, no. 4, pp. 481–490, Aug. 2004.
- [10] S. Bermudez i Badia, H. Samaha, A. Morgade, and P. Verschure, "Exploring the synergies of a hybrid BCI-VR neurorehabilitation system," in *Proc. Int. Conf. Virt. Rehabil.*, Jun. 2011, pp. 1–8.
- [11] M. Bergamasco, A. Frisoli, M. Fontana, C. Loconsole, D. Leonardis, M. Troncosi, M. Fomashi, and V. Parenti-Castelli, "Preliminary results of bravo project: Brain computer interfaces for robotic enhanced action in visuo-motor tasks," in *Proc. IEEE Int. Conf. Rehabil. Robot.*, Jun. 29–Jul. 1, 2011, pp. 1–7.
- [12] M. Gomez-Rodriguez, M. Grosse-Wentrup, J. Hill, A. Gharabaghi, B. Scholkopf, and J. Peters, "Towards brain-robot interfaces in stroke rehabilitation," in *Proc. IEEE Int. Conf. Rehabil. Robot.*, Jun. 29–Jul. 1, 2011, pp. 1–6.
- [13] V. Tanriverdi and R. Jacob, "Interacting with eye movements in virtual environments," in *Proc. SIGCHI Conf. Human Factors Comput. Syst.*, 2000, pp. 265–272.
- [14] Z. Bien, M. Chung, P. Chang, D. Kwon, D. Kim, J. Han, J. Kim, D. Kim, H. Park, and S. Kang et al., "Integration of a rehabilitation robotic system (kares ii) with human-friendly man-machine interaction units," *Autonom. Robot.*, vol. 16, no. 2, pp. 165–191, 2004.
- [15] H. Sveistrup, J. McComas, M. Thornton, S. Marshall, H. Finestone, A. McCormick, K. Babulic, and A. Mayhew, "Experimental studies of virtual reality-delivered compared to conventional exercise programs for rehabilitation," *CyberPsychol. Behav.*, vol. 6, no. 3, pp. 245–249, 2003.
- [16] A. Frisoli, F. Salsedo, M. Bergamasco, B. Rossi, and M. Carboncini, "A force-feedback exoskeleton for upper-limb rehabilitation in virtual reality," *Appl. Bion. Biomech.*, vol. 6, no. 2, pp. 115–126, 2009.
- [17] C. Murray and A. Lopez, "Mortality by cause for eight regions of the world: Global burden of disease study," *The Lancet*, vol. 349, no. 9061, pp. 1269–1276, 1997.
- [18] S. Sans, H. Kesteloot, and D. Kromhout, "The burden of cardiovascular diseases mortality in europe," *European Heart Journal*, vol. 18, no. 8, pp. 1231–1248, 1997.
- [19] Z. Zheng, J. Croft, W. Giles, and G. Mensah, "Sudden cardiac death in the united states, 1989 to 1998," *Circulation*, vol. 104, no. 18, pp. 2158–2163, 2001.

- [20] R. Koster, M. Sayre, M. Botha, D. Cave, M. Cudnik, A. Handley, T. Hatanaka, M. Hazinski, I. Jacobs, K. Monsieurs et al., \Part 5: Adult basic life support: 2010 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations," *Resuscitation*, vol. 81, no. 1, pp. e48{e70, 2010. 220
- [21] D. Hostler, S. Everson-Stewart, T. Rea, I. Stiell, C. Callaway, P. Kudenchuk, G. Sears, S. Emerson, and G. Nichol, Effect of real-time feedback during cardiopulmonary resuscitation outside hospital: prospective, cluster-randomised trial," *BMJ: British Medical Journal*, vol. 342, 2011.
- [22] P. Gavin, D. Robin, Q. Sarah, W. Sarah, G. Fang, A. Ben, and C. Matthew, "The effect of real-time cpr feedback and post event debriefing on patient and processes focused outcomes: A cohort study: trial protocol," *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, vol. 19, 2011.
- [23] R. Koster, M. Baubin, L. Bossaert, A. Caballero, P. Cassan, M. Castren, C. Granja, A. Handley, K. Monsieurs, G. Perkins et al., "European resuscitation council guidelines for resuscitation 2010 section 2. adult basic life support and use of automated external defibrillators," *Resuscitation*, vol. 81, no. 10, p. 1277, 2010
- [24] J. Stross, \Maintaining competency in advanced cardiac life support skills," *JAMA: the journal of the American Medical Association*, vol. 249, no. 24, pp. 3339-3341, 1983.
- [25] E. Su, T. Schmidt, N. Mann, and A. Zechnich, "A randomized controlled trial to assess decay in acquired knowledge among paramedics completing a pediatric resuscitation course," *Academic Emergency Medicine*, vol. 7, no. 7, pp. 779-786, 2000.
- [26] B. Abella, J. Alvarado, H. Myklebust, D. Edelson, A. Barry, N. O'Hearn, T. Hoek, and L. Becker, Quality of cardiopulmonary resuscitation during in-hospital cardiac arrest," *JAMA: the journal of the American Medical Association*, vol. 293, no. 3, pp. 305-310, 2005.
- [27] L. Wik, J. Kramer-Johansen, H. Myklebust, H. Sreb, L. Svensson, B. Fellows, and P. Steen, \Quality of cardiopulmonary resuscitation during out-of-hospital cardiac arrest," *JAMA: the journal of the American Medical Association*, vol. 293, no. 3, pp. 299-304, 2005.
- [28] K. Ko and K. Sim, "Development of a facial emotion recognition method based on combining aam with dbn," in *Cyberworlds (CW), 2010 International Conference on*. IEEE, 2010, pp. 87–91.
- [29] M. Bartlett, G. Littlewort, I. Fasel, and J. Movellan, "Real time face detection and facial expression recognition: Development and applications to human computer interaction." in *Computer Vision and Pattern Recognition Workshop, 2003. CVPRW'03. Conference on*, vol. 5. IEEE, 2003, pp. 53–53.
- [30] P. Ekman and W. Friesen, *Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement*. Palo Alto: Consulting Psychologists Press, 1978.
- [31] A. Jamshidnezhad and M. Nordin, "Challenging of facial expressions classification systems: Survey, critical considerations and direction of future work," *Research Journal of Applied Sciences*, vol. 4, 2012.
- [32] V. Bettadapura, "Face expression recognition and analysis: The state of the art," *Emotion*, pp. 1–27, 2009
- [33] A. Kapoor, Y. Qi, and R. W. Picard, "Fully automatic upper facial action recognition," in *Proceedings of the IEEE International Workshop on Analysis and Modeling of Faces and Gestures, ser. AMFG '03*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2003, pp. 195–.
- [34] R. Fischer, "Automatic Facial Expression Analysis and Emotional Classification by," October, 2004.
- [35] Y. Cheon and D. Kim, "Natural facial expression recognition using differential-aam and manifold learning," *Pattern Recognition*, vol. 42, no. 7, pp. 1340 – 1350, 2009.
- [36] R. Niese, A. Al-Hamadi, A. Farag, H. Neumann, and B. Michaelis, "Facial expression recognition based on geometric and optical flow features in colour image sequences," *Computer Vision, IET*, vol. 6, no. 2, pp. 79 –89, march 2012.
- [37] L. Gang, L. Xiao-hua, Z. Ji-liu, and G. Xiao-gang, "Geometric feature based facial expression recognition using multiclass support vector machines," in *Granular Computing, 2009, GRC '09. IEEE International Conference on*, aug. 2009, pp. 318 –321.
- [38] Z. Hammal, L. Couvreur, A. Caplier, and M. Rombaut, "Facial expression classification: An approach based on the fusion of facial deformations using the transferable belief model," *International Journal of Approximate Reasoning*, vol. 46, no. 3, pp. 542 – 567, 2007
- [39] H. Seyedarabi, A. Aghagolzadeh, and S. Khanmohammadi, "Recognition of six basic facial expressions by feature-points tracking using rbf neural network and fuzzy inference system," in *Multimedia and Expo, 2004. ICME '04. 2004 IEEE International Conference on*, vol. 2, june 2004, pp. 1219 –1222 Vol.2.

[40] I. Kotsia and I. Pitas, "Facial expression recognition in image sequences using geometric deformation features and support vector machines," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 16, no. 1, pp. 172–187, jan. 2007.

[41] Christian G. Kohler, MD, Travis H. Turner, BS, Raquel E. Gur, Ruben C. Gur et. Al, "Recognition of Facial Emotions in Neuropsychiatric Disorders", *CNS Spectrum*, vol. 9, no. 4, pp. 267-274, 2004