

Dai biosegnali agli stati emotivi: un approccio semantico

Michele Ruta, Floriano Scioscia, Annarita Cinquepalmi, Silvia Cipriani, Eugenio Di Sciascio

Dipartimento di Ingegneria Elettrica e dell'Informazione (DEI) – Politecnico di Bari, Via Orabona 4, Bari, Italia

Conflitto di interessi: Gli autori dichiarano di non avere alcun conflitto di interessi.

Inviare la corrispondenza a: Michele Ruta, michele.ruta@poliba.it

Abstract

Obiettivo dell'Affective Computing è permettere il riconoscimento di stati emotivi umani attraverso procedure automatiche. Gli scenari applicativi spaziano dal perfezionamento dell'interazione uomo-macchina alla generazione di biofeedback al fine di migliorare lo stato cognitivo e il benessere dei soggetti e, al contempo, ridurre potenziali situazioni di rischio alle quali essi sono esposti.

Sebbene la letteratura sottolinei l'utilità dell'analisi dei biosegnali per il rilevamento e la classificazione delle emozioni, gli approcci esistenti risultano generalmente invasivi per il soggetto e caratterizzati da elaborazioni onerose. Si tratta infatti di architetture di calcolo convenzionali che supportano il processing di segnali biologici estratti mediante interfacce sensoriali particolarmente sofisticate. In particolare poi il processing punta all'estrazione di tratti caratteristici (o feature) dai segnali fisiologici mediante applicazione di tecniche di data mining e machine learning per la classificazione delle emozioni. Tali procedure hanno un particolare impatto sulle risorse computazionali. Ne deriva che l'applicabilità e l'efficacia di questo genere di soluzioni è limitata a contesti controllati di laboratorio, compromettendone il trasferimento a scenari reali.

Prendendo spunto da un tale stato dell'arte, questo lavoro descrive un innovativo sistema cyber-fisico indossabile basato su Wireless Body Area Network per il rilevamento e la classificazione delle emozioni. Esso si compone di:

1) Un'architettura multi-sensoriale in grado di misurare i biosegnali più rilevanti per l'identificazione delle emozioni e della loro evoluzione dinamica nel tempo.

2) Un sottosistema di calcolo che ospita un insieme di agenti software in grado di annotare i segnali fisici in un formalismo di alto livello per la rappresentazione della conoscenza basato sulle logiche descrittive ed esegue inferenze su base semantica per riconoscere in modo efficace le emozioni.

Tali peculiarità permettono di svincolare un tale sistema dalle caratteristiche fisiche dell'ambiente operativo, rendendolo minimamente intrusivo e anzi orientato ad un utilizzo quotidiano. Il sistema è anche in grado di tentare di migliorare lo stato emotivo degli utenti mediante individuazione di un segnale di retroazione (stimolazione fisica), utile ad orientare al benessere psico-fisico l'utente in modo completamente automatico.

La fattibilità dell'approccio proposto è stata valutata attraverso test condotti su un dataset sintetico di riferimento, dal punto di vista dell'efficacia del riconoscimento delle emozioni e della complessità computazionale, in vista dell'implementazione su un testbed interamente basato su dispositivi mobili.

Keywords: affective computing, knowledge representation, semantic-based matchmaking, ubiquitous computing

IL RICONOSCIMENTO AUTOMATICO DELLE EMOZIONI

Le emozioni sono risposte fisiologiche e cognitive che l'organismo fornisce a determinati stimoli esterni. La componente emotiva della personalità umana ha un ruolo fondamentale nei processi decisionali: "la ragione permette all'uomo di analizzare una situazione con lucidità, ma senza una spinta emotiva risulterebbe impossibile scegliere". Questo è quanto emerso dalla

pubblicazione nel 1997 del primo saggio di Rosalind Picard [1], che ha aperto la strada ad un nuovo ramo dell'Intelligenza Artificiale chiamato *Affective Computing*. A partire da tale assunto, si è perseguito l'obiettivo di realizzare sistemi automatici robusti in grado di esprimere una "tecnologia emotivamente intelligente" e, conseguentemente, di adattare il proprio comportamento, in base alle emozioni rilevate. Tale approccio permetterebbe di superare uno dei maggiori ostacoli allo sviluppo di efficaci agenti automatici interattivi, fisici o simulati (interfacce

uomo-macchina socialmente abili, Talking Heads [2], avatar [3], etc.). Il supporto del considerevole sviluppo delle tecnologie sensoristiche ha consentito di estendere progressivamente l'applicabilità di tale metodologia. L'intrinseca intangibilità di quanto trattato, tuttavia, ne implica una difficile comprensione, definizione e gestione.

Nelle prime fasi della ricerca sull'Affective Computing, l'analisi è stata prevalentemente basata su metodologie per il trattamento del linguaggio naturale in forma testuale. Più di recente, studi condotti circa le espressioni facciali, l'elaborazione della voce, l'analisi dei movimenti e dei biosegnali hanno evidenziato l'esistenza di manifestazioni fisiche oggettivamente misurabili, per ogni particolare emozione. In particolare, i biosegnali rappresentano un promettente scenario di ricerca, perché presentano:

- **vantaggi intrinseci:** sono liberi da maschere sociali e la possibilità di misura per mezzo di sensori non invasivi li rende appropriati per una vasta gamma di applicazioni;
- **vantaggi metodologici:** forniscono informazioni più ricche e dinamiche rispetto ai metodi tradizionali di ricerca nella psicologia delle emozioni, che utilizzano soltanto interviste, questionari e opinioni di esperti per rilevare le sensazioni soggettive, maggiormente influenzabili dall'individuo e non misurabili in tempo reale.

Di contro, è importante considerare i seguenti aspetti critici ad essi legati, quali:

- presenza di "artefatti" di misura derivanti dai diversi tipi di sistemi di rilevazione di biosegnali;
- invasività per l'uomo di alcuni sensori con conseguente difficile applicabilità del loro utilizzo;
- variabilità temporale nella manifestazione dei cambiamenti fisiologici;
- possibili significative differenze individuali dovute alla natura fisiologica e al contesto in cui vive il soggetto.

Gli ambiti di ricerca filosofici, neurologici e antropologici hanno sviluppato differenti teorie di supporto all'interpretazione delle emozioni, riconducibili a tre principali tipologie:

- **Approccio categoriale** [4], modello più comunemente usato nel riconoscimento automatico delle emozioni. Esso classifica ogni esperienza emotiva con una delle sei *emozioni universali di base* (felicità, tristezza, sorpresa, paura, ira e disgusto).
- **Approccio dimensionale** [5], che classifica le emozioni lungo due dimensioni: *valenza*, che indica la qualità dell'emozione provata (sensazione di piacevolezza-sgradevolezza); *eccitazione (arousal)*, che

esprime il grado di attivazione dello stato emotivo (per esempio, l'intensità di tristezza). Le variazioni di valenza ed eccitazione segnano il passaggio da un'emozione ad un'altra.

- **Teoria dell'appraisal** [6]: si basa sulla teorizzazione della valutazione cognitiva della situazione in cui il soggetto si trova. L'appraisal è un fenomeno conseguente alla percezione e consiste in una valutazione automatica sulla presenza o assenza di un determinato oggetto/fenomeno e sulla sua positività/negatività.

Il presente lavoro ha per obiettivo la proposta di un innovativo approccio per l'interpretazione delle informazioni affettive. Esso si basa sull'applicazione di tecniche di ragionamento automatizzato basato sulla rappresentazione della conoscenza, volte al riconoscimento automatico delle emozioni, mediante il monitoraggio di segnali fisiologici in modo non invasivo. Più in dettaglio, i parametri vitali di riferimento di soggetti sollecitati da stimoli emotigeni vengono estratti e annotati automaticamente mediante un linguaggio dalla semantica ricca e non ambigua. Un successivo processo di *matchmaking*, attraverso algoritmi non-standard di inferenza logica, permette di risalire allo stato emotivo dell'utente. L'approccio proposto è stato validato mediante l'implementazione e valutazione sperimentale di un sistema prototipale.

I paragrafi successivi sono dedicati rispettivamente a: un esame degli elementi principali dello stato dell'arte utili a comprendere l'approccio proposto; la descrizione del framework di riferimento e delle metodologie studiate per il riconoscimento delle emozioni; un caso di studio illustrativo tratto dalle esperienze condotte con l'implementazione prototipale sviluppata; le osservazioni conclusive.

STATO DELL'ARTE

L'identificazione dello stato emotivo di un soggetto mediante biosegnali si è recentemente diffusa grazie allo sviluppo e alla disponibilità a basso costo di sensori pervasivi ma non invasivi, in grado di offrire prestazioni affidabili e misure continue [1]. I biosegnali più significativi oggetto di analisi sono:

Attività elettrica cerebrale: rilevata tramite la tecnica dell'elettroencefalogramma (EEG). Permette la distinzione tra stimoli a valenza emozionale positiva o negativa e tra i differenti livelli di eccitazione.

Attività elettrica cardiaca: mediante elettrocardiogramma (ECG) si registra l'attività elettrica del cuore nel ciclo cardiaco. Un basso valore della variabilità della frequenza cardiaca (HRV) può indicare

uno stato di rilassamento, mentre un aumento può indicare uno stato di frustrazione o stress.

Attività elettrica muscolare facciale: l'elettromiografia (EMG) rileva l'attività elettrica dei muscoli coinvolti nell'espressione di uno stato emotivo, quali gli zigomatici ed i frontali. Ad esempio, il muscolo zigomatico è in elevata tensione quando si è in stato di stress o frustrazione [8].

Attività elettrodermica (Galvanic Skin Response, GSR): indica la variazione delle proprietà elettriche della pelle causate dall'attività delle ghiandole sudoripare. Molti studi hanno messo in luce come l'intensità misurata della variazione in conduttività abbia un legame pressoché lineare con l'arousal delle emozioni [9].

Temperatura cutanea: dipende dal flusso di sangue sottostante e viene regolata dal sistema nervoso simpatico, che riduce il flusso di sangue quando le fibre muscolari sono attivate. Ekman e Levenson [10] hanno mostrato incrementi medi della temperatura tra 0,1°C e 0,2°C durante il manifestarsi di emozioni come l'ira ed una diminuzione tra 0,01°C e 0,08°C quando si prova paura.

Respirazione: misurata in n° di atti respiratori/minuto, tramite un sensore di espansione avvolto attorno al torace, calcola la frequenza respiratoria sinusale. Solitamente, decresce con il rilassamento, mentre eventi sorprendenti o situazioni di tensione possono dare luogo ad una momentanea sospensione del respiro. Emozioni negative, infine, provocano l'irregolarità della respirazione.

Un nodo cruciale in tutto l'ambito di ricerca dell'Affective Computing è rappresentato dalla scarsità di *dataset* e banche dati esistenti. In particolare, per lo scopo perseguito in questo lavoro (analisi degli stati emotivi attraverso lo studio di segnali fisiologici) si è giunti a valutare come *dataset* pubblicamente disponibili e adottabili MANHOB-HCI [11], DEAP [12] e DECAF [13]. Un'analisi di dettaglio ha fatto emergere una serie di problemi dovuti ad incongruenza degli stessi dati (compilazione non rigorosa dei questionari di autovalutazione delle emozioni) e assenza di informazioni di caratterizzazione (bassa numerosità dei soggetti).

Per quanto concerne la classificazione per il riconoscimento di emozioni attraverso l'analisi di segnali fisiologici, in letteratura sono principalmente utilizzate tecniche di machine learning, sistemi basati su regole e ragionamento deduttivo [14] [15]. La scelta di quest'ultimo approccio si presenta come un metodo alternativo a quelli classici di machine learning. Permette una più efficace modellazione delle informazioni che descrivono il complesso fenomeno delle emozioni e degli stati affettivi, superando la

classificazione semplicistica fornita dai sistemi di machine learning, che producono in output etichette opache e non catturano le relazioni esistenti tra i biosegnali e le osservazioni dei vari sensori.

UTILIZZO DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE PER IL RICONOSCIMENTO DELLE EMOZIONI

L'iniziativa nota come Semantic Web [16] ha permesso di trasformare il World Wide Web da una collezione di documenti fruibili dall'uomo ad una collezione di dati *machine-understandable*, fornendo un framework per descrivere in modo standard risorse, proprietà e relazioni. L'annotazione delle risorse si basa su formalismi logici propri della *Rappresentazione della Conoscenza (Knowledge Representation)*, branca dell'Intelligenza Artificiale che definisce e studia modelli e linguaggi che permettono di formalizzare la conoscenza sul mondo in una forma elaborabile da un sistema informatico e applicare su di essa procedure di inferenza automatizzata. Con il termine di inferenza si fa riferimento alla capacità di dedurre conoscenza implicita a partire da quella contenuta esplicitamente in una *base di conoscenza (Knowledge Base, KB)*. Ogni KB si basa su una *ontologia*, una concettualizzazione esplicita e formale con la quale è possibile strutturare la conoscenza relativa ad un certo dominio. Tale conoscenza può essere successivamente utilizzata da agenti software e sistemi intelligenti.

Al fine di costruire un framework evoluto di riconoscimento delle emozioni a partire da biosegnali, hanno particolare rilevanza alcune procedure di inferenza non standard per il *matchmaking semantico*, inteso come il processo di ricerca atto ad individuare le risorse, descritte secondo un formalismo logico e soddisfacibili rispetto ad una ontologia condivisa, che meglio soddisfano una richiesta. Le suddette procedure permettono di ordinare e classificare i risultati per rilevanza, sulla base della semantica delle descrizioni.

Obiettivo dell'approccio proposto è realizzare un sistema in grado di monitorare alcuni parametri fisiologici dell'utente, annotare automaticamente i biosegnali su base semantica – rispetto ad una ontologia di dominio modellata per lo scopo – ed infine classificare mediante *matchmaking* le emozioni provate dal soggetto rispetto ad un modello di riferimento costruito con i medesimi formalismi di rappresentazione della conoscenza. La Figura 1 illustra l'architettura complessiva del framework proposto, mostrando i relativi componenti. I segnali fisiologici

ottenuti in risposta a stimoli emotigeni sono raccolti da una *Wireless Body Area Network (WBAN)* e utilizzati come ingressi del sistema. Una WBAN è una micro-rete di telecomunicazione che permette il collegamento wireless a corto raggio di sensori impiantabili e/o indossabili.

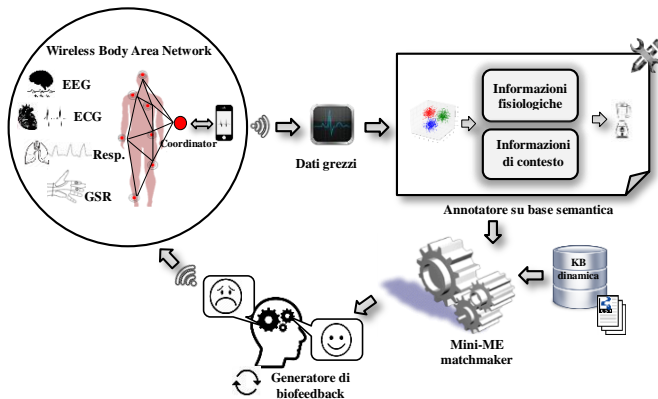


Fig. 1 – Architettura del framework

Nell'approccio proposto, la WBAN costituita da sensori indossabili non invasivi invia i dati acquisiti ad uno smartphone di cui è dotato il soggetto, che funge da dispositivo coordinatore eseguendo in mobilità tutte le successive elaborazioni. Attraverso opportune tecniche di analisi dei biosegnali, tali flussi di dati, prima di essere forniti in input al modello, vengono sottoposti ad una fase di estrazione delle *feature* più significative per ciascuna categoria di segnale acquisito.

A partire da tali *feature* numeriche, l'“Annotatore su base semantica” assegna un significato ai flussi di dati, attraverso la costruzione di annotazioni, che uniscono alle caratteristiche fisiologiche eventuali informazioni contestuali sul soggetto. L'utilizzo delle procedure di inferenza non-standard permette di confrontare tali descrizioni semantiche con una base di conoscenza di descrizioni delle emozioni di riferimento modellate, in una estensione dell'approccio categoriale classico. L'output prodotto dal *matchmaker Mini-ME* [17] classifica l'emozione del soggetto come quella più vicina allo stato rilevato attraverso i biosegnali. Il sistema infine elabora, dopo un'analisi di dettaglio di emozioni e comportamenti, l'azione più adatta per migliorare lo stato emotivo degli utenti attraverso un impulso elettrico in feedback, così da orientare le risposte in modo completamente automatico.

CASO DI STUDIO

Il caso di studio illustrato evidenzia l'innovatività della proposta incentrata nel riconoscimento dello stato emotivo mediante informazioni dotate di una semantica ricca e non ambigua. Per validare

l'approccio proposto, il framework è stato implementato in un sistema prototipale su Personal Computer. I biosegnali rilevati sono: EEG, ECG, temperatura cutanea, attività elettrodermica, respirazione ed EMG facciale. Al fine di lavorare solo sul contenuto informativo significativo del segnale, i biosegnali hanno subito una fase di pretrattamento con ricampionamento e rimozione degli artefatti. Prima di procedere con la fase di estrazione delle *feature* sono stati eliminati il *pre- e post-trial baseline* (segnali misurati “a riposo” rispettivamente prima e dopo la somministrazione degli stimoli emotigeni) applicando un filtro passa-basso con frequenza di taglio pari a 50 Hz. Inoltre il segnale ECG rilevato su 3 canali è stato pre-elaborato applicando la legge di Einthoven [18], al fine di ottenere il tracciato cardiaco completo. La successiva fase di estrazione delle *feature* tramite MATLAB (versione R2009a, The MathWorks, Inc.) con l'ausilio delle librerie *open source* BioSig¹ e EEGLAB². La scelta delle *feature* più significative da estrarre è stata ottenuta considerando una metanalisi di 134 studi sperimentali sull'attività del sistema nervoso autonomo in ambito emozionale [19]. A partire dalle *feature* estratte i biosegnali sono stati annotati automaticamente, come individui di una Knowledge Base. La costruzione delle istanze della KB ed i servizi d'inferenza sono stati eseguiti in riferimento ad una *Affective Computing Ontology*, appositamente modellata nell'ambito della ricerca per la rappresentazione del dominio. La costruzione della KB è compiuta in due fasi separate: l'ontologia è stata progettata considerando per ogni emozione l'insieme delle *feature* e la loro variazione d'intensità; l'insieme delle istanze di emozioni è costruita automaticamente annotando le *feature* estratte dai biosegnali dei soggetti osservati. In particolare, le tre fasi principali eseguite in cascata per la costruzione della descrizione semantica di un'istanza della KB sono state:

1. associazione alla forma d'onda della *feature* del biosegnale;
2. associazione di una semantica ai valori numerici attraverso la creazione di un congiunto logico;
3. composizione dell'annotazione semantica come AND di congiunti.

In particolare il primo passo riguarda la lettura in sequenza di ogni campo riferito alla serie temporale di un soggetto e l'associazione di una label, corrispondente alla *feature* estratta. Il seguente esempio dovrebbe chiarire in modo esplicito quanto si

¹ Technical University of Graz (Austria), The BioSig Project, <http://biosig.sourceforge.net/>

² Institute for Neural Computation, University of California San Diego, EEGLAB, <http://sccn.ucsd.edu/eeglab/>

è affermato. Si consideri la feature Heart Rate (HR) relativa al segnale elettrocardiografico. Se questa assume un valore inferiore a 60 bpm, la label associata è "bradicardia"; se il valore assunto è tra 60 e 100 bpm la label associata è "normal_HR", altrimenti "tachicardia". Alcuni esempi sono riportati in Tabella 1. La descrizione dell'individuo è composta dalla congiunzione delle caratteristiche fisiologiche dell'utente, rappresentate dalle etichette generate in maniera automatica.

Feature	Intervallo	Etichetta
Heart Rate (HR)	<60 bpm	Bradicardia
	60-100 bpm	Normale_HR
	>100 bpm	Tachicardia
Finger Temperature (FT)	18-23	Low_FT
	23-29	Normal_FT
	26-32	High_FT
Respiration Rate (RR)	5-10	Low_RR
	7-23	Normal_RR
	15-24	High_RR

Tab. 1 – Esempi di range e feature modellate

Ogni congiunto è stato generato valutando il valore assunto da ciascuna feature. Parte dell'annotazione del soggetto monitorato è composta come in Tabella 2.

Feature	Valore	Annotazione Semantica
HR	150	∇hasHR.Tachycardia
RR	15	∇hasRespiration_Rate.Normal_Respiration_Rate
FT	15	∇hasFT.Low_FT
EMG_frown	6µV	∇hasEMGfrown.EMG_frown_High
EMG_smile	0.6µV	∇hasEMGSmile.EMG_Smile_Low

Tab. 2 – Input e output della fase di annotazione semantica

Dalla rappresentazione semantica si evince che il soggetto ha un elevato volume di sangue pompato dal cuore, temperatura cutanea bassa, battito cardiaco accelerato, etc.

Il passo successivo di classificazione di un dato soggetto è effettuato con il matchmaking semantico. Esso si basa sulle procedure di inferenza non-standard di *Concept Abduction* e *Concept Contraction*, implementate nel ragionatore Mini-ME, progettato per elaborazioni efficienti anche su dispositivi mobili [20]. Le emozioni che il sistema è in grado di riconoscere sono: *Divertimento*, *Ira*, *Ansia*, *Contentezza*, *Disgusto*, *Imbarazzo*, *Paura*, *Felicità*, *Gioia*, *Orgoglio*, *Sollievo*, *Tristezza*.

Nel caso di studio, un soggetto è stato sottoposto alla visione di un video filmato che tipicamente provoca l'emozione *Paura*. Nel processo di matchmaking, le richieste sono rappresentate dalle 12 differenti annotazioni delle emozioni, mentre la risorsa da porre

a confronto con la richiesta è la descrizione del profilo fisiologico dell'individuo da valutare.

Le azioni compiute dal matchmaker per valutare il grado di rispondenza tra gli stati emotivi in KB e quelli provati dall'utente sono:

1. selezione della prima emozione (richiesta) tra quelle contenute nella KB;
2. verifica della compatibilità tra richiesta e risorsa;
3. applicazione dei servizi di inferenza *Concept Abduction* e *Concept Contraction*;
4. calcolo del valore di distanza semantica tra richiesta e risorsa.

I valori di distanza semantica (in scala percentuale) risultanti dal confronto fra l'annotazione di ciascuna emozione e il soggetto sono: *Paura* (57), *Tristezza* (58), *Gioia* (58), *Imbarazzo* (59), *Orgoglio* (60), *Ansia* (60), *Divertimento* (61), *Felicità* (61), *Rabbia* (63), *Disgusto* (64), *Sollievo* (65), *Contentezza* (69). Il valore di distanza più basso è quello relativo all'emozione *Paura*: essa, infatti, è caratterizzata da un aumento del battito cardiaco e una diminuzione della temperatura cutanea oltre che da un respiro ansimante e intermittente; rispetto all'emozione denominata *Ira* che si manifesta con un aumento del battito cardiaco e della temperatura della pelle, il respiro è invece costante e veloce. L'individuo inoltre ha la feature *EMG_frown* alta, mentre la feature *EMG_smile* è alta nell'emozione di *Contentezza*, perché quando si ha paura vi è la tendenza generalizzata a sollevare le sopracciglia e a spalancare gli occhi, invece in una emozione positiva gli angoli della bocca sono generalmente rivolti verso l'alto e gli occhi sono diritti senza modificazioni di rilievo rispetto ad una posizione "di riposo"; in caso di ira si tende infine ad aggrottare la fronte e ad avere le labbra strette.

CONCLUSIONI

L'approccio proposto mira all'estrazione e annotazione di informazioni a partire da biosegnali e a riconoscere le emozioni mediante un confronto automatico su base semantica. L'innovatività del metodo proposto è incentrata sul riconoscimento dello stato emotivo mediante tecniche per la rappresentazione della conoscenza e di procedure di ragionamento non-standard per il matchmaking semantico. Criteri per l'analisi dei biosegnali sono stati studiati ed applicati per estrarre le feature maggiormente significative per ogni classe di segnale fisiologico e sono stati individuati metodi per annotarli automaticamente. La costruzione delle istanze della KB ed i servizi d'inferenza sono stati eseguiti in riferimento ad un'ontologia opportunamente creata per la rappresentazione del

dominio. Il framework è stato successivamente validato mediante la realizzazione di un tool software prototipale. Alla luce dei risultati ottenuti è emerso che le tecniche di matchmaking semantico applicate all'Affective Computing possono permettere di riconoscere lo stato emotivo dei soggetti in modo sufficientemente accurato. Attualmente è in corso l'implementazione dell'infrastruttura WBAN completa, in particolare è in corso l'ottimizzazione degli algoritmi per l'esecuzione su sistemi mobili. Un importante sviluppo futuro mira alla definizione e implementazione di capacità di funzionamento adattivo, in modo da identificare fattori correttivi da fornire mediante stimoli in feedback e orientare le risposte in modo completamente automatico per migliorare lo stato cognitivo e di benessere del soggetto.

BIBLIOGRAFIA

1. Picard R.W., *Affective computing*, MIT press, Cambridge, 1997.
2. Ezzat T., Poggio T., *MikeTalk: A Talking Facial Display Based on Morphing Visemes*, Computer Animation Conference, IEEE, 1998.
3. Kolko, B.E., *Representing bodies in virtual space: The rhetoric of avatar design*, The Information Society, 15(3):177-186, 1999.
4. Ekman P., *Emotion in the human face*, Pergamon Press, 1892.
5. Ekman P., Friesen. W.V., Hager. J.C., *Facial action coding system*, Human Face, 2002.
6. Scherer K., Schorr A., Johnstone T., *Appraisal processes in emotion: Theory, methods, research*, Oxford University Press, 2001.
7. Barreto A., *Non-intrusive physiological monitoring for affective sensing of computer users*, in Human-Computer Interaction, New Developments, INTECH Open Access Publisher, 2008.
8. Fillion D.L., Dawson M.E., Schell A.M., *The psychological significance of human startle eyeblink modification: a review*, Biol Psychol, 47:1-43, 1998.
9. Kim K., Bang S., Kim S., *Emotion recognition system using short-term monitoring of physiological signals*, Medical and biological engineering and computing, 42:419-427, 2004.
10. Levenson R. Ekman P., Friesen W., *Voluntary facial action generates emotion-specific autonomic nervous system activity*, Psychophysiology, 27: 363-384, 1990.
11. Soleymani M., Lichtenauer J., Pun T., Pantic M., *A multimodal database for affect recognition and implicit tagging*, Affective Computing, IEEE Transactions on. 3(1): 42-55, 2012.
12. Koelstra S., Mühl C., Soleymani M., Lee J.S., Yazdani A., Ebrahimi T., Patras I., *Deap: A database for emotion analysis; using physiological signals*, Affective Computing, IEEE Transactions on 3(1): 18-31, 2012.
13. Abadi M.K., Subramanian R., Kia S.M., Avesani P., Patras I., Sebe N., *DECAF: MEG-based Multimodal Database for decoding affective physiological responses*, Affective Computing, IEEE Transactions on, 6(3): 209-222, 2015.
14. Rani P., Liu C., Sarkar N., Vanman E., *An empirical study of machine learning techniques for affect recognition in human-robot interaction*, Pattern Analysis & Applications, 9: 58-69, 2006.
15. Sasikumar M., Ramani S., Raman S.M., Anjaneyulu K.S.R., Chandrasekar R., *Rule Based Expert Systems – A Practical Introduction*, Narosa Publishers, 2007.
16. Berners-Lee T., Hendler J., Lassila O., *The semantic web*, 284:28-37, 2001.
17. Scioscia F., Ruta M., Loseto G., Gramegna F., Ieva S., Pinto A., Di Sciascio E., *A mobile matchmaker for the Ubiquitous Semantic Web*, International Journal on Semantic Web and Information Systems, 10(4): 77-100, 2014.
18. Hampton J.R., *ECG in Practice*, 2nd ed., Churchill Livingstone, 1992.
19. Kreibig S.D., *Autonomic nervous system activity in emotion: a review*, Biol Psychol, 84(3): 394-421, 2010.
20. Ruta M., Scioscia F., Di Sciascio E., *Enabling the Semantic Web of Things: framework and architecture*, 2012 IEEE Sixth International Conference on Semantic Computing, 2012.