



Il futuro è adesso: la ricerca in bionica

Angelo Montanari
Dipartimento di Matematica e Informatica
Università degli Studi di Udine

Udine, 24 maggio 2012



La bionica

Che cos'è la **bionica**?

Uomo e macchina come sistema integrato (gli organismi cibernetici, i cosiddetti cyborg).

Non è una novità assoluta: i **pacemaker** artificiali, dispositivi che usano degli impulsi elettrici, emessi da elettrodi in contatto con i muscoli cardiaci, per regolare il battito cardiaco.

Un nuovo tipo di **protesi**: dal recupero (artificiale) di funzionalità perdute all'introduzione di nuove funzionalità.



Alcune applicazioni - 1

Fra i dispositivi correntemente in uso o in fase avanzata di sperimentazione, finalizzati al recupero di capacità percettive o motorie, vi sono:

- i dispositivi per la stimolazione riabilitativa per la terapia del dolore cronico,
- le protesi utilizzate per compensare anatomicamente i canali neurali,
- gli impianti per la neurostimolazione,
- gli impianti cocleari (orecchio bionico),
- gli impianti retinici.



Alcune applicazioni - 2

Un esempio: impianto di elettrodi per la **stimolazione cerebrale profonda**.

Inserimento di alcuni elettrodi, alimentati da una batteria impiantata sotto cute, nel cervello umano, al fine di stimolarne dei nuclei specifici.

Pur non essendovi un limite temporale predefinito alla durata dell'impianto, tali elettrodi possono essere eventualmente rimossi o spostati e la stimolazione può essere modulata in intensità e frequenza.

Ciò fa preferire sempre tale soluzione all'ablazione chirurgica di alcuni nuclei, che è per sua natura irreversibile.



Alcune applicazioni - 3

La tecnica di stimolazione cerebrale profonda mediante l'impianto chirurgico di elettrodi è stata utilizzata con successo per il **trattamento del tremore** che caratterizza diverse patologie, inclusi il morbo di Parkinson, il tremore essenziale, alcune forme di ictus, l'epilessia e la sindrome di Tourette.

Nel caso del **Parkinson**, la stimolazione cerebrale agisce sul nucleo subtalamico e consente di regolare il funzionamento di alcuni circuiti che connettono talamo, corteccia e gangli basali in modo da ridurre/eliminare il tremore. In un recente lavoro di Warwick e altri viene descritta un'applicazione delle reti neurali artificiali alla predizione dell'insorgenza del tremore in pazienti affetti dal morbo di Parkinson. L'obiettivo della soluzione proposta è di predire il verificarsi di un evento spurio, quale un tremore dovuto al Parkinson, prima che esso si manifesti. Nel tempo che intercorre tra la previsione dell'evento e la sua effettiva manifestazione viene generato un segnale elettrico in grado di impedire il verificarsi dell'evento.



Il problema dell'intruso

Un tratto comune a molti dei dispositivi sviluppati nell'ambito della bionica è quello di non essere sotto il controllo diretto (cosciente) del soggetto.

La loro integrazione nel corpo umano richiede un'**attività di training** che renda il soggetto consapevole dell'innesto e delle sue caratteristiche/potenzialità.

Un problema di tutti gli impianti cerebrali, per il quale non esiste una soluzione definitiva di carattere generale, è come evitare che il cervello reagisca all'innesto isolando l'"**intruso**" (uso di opportune sostanze e/o stimolazioni).

Altro problema (più sorprendente), con una significativa evidenza sperimentale, è l'insorgenza di **alterazioni comportamentali** (ad esempio, dispositivi per la stimolazione cerebrale profonda).



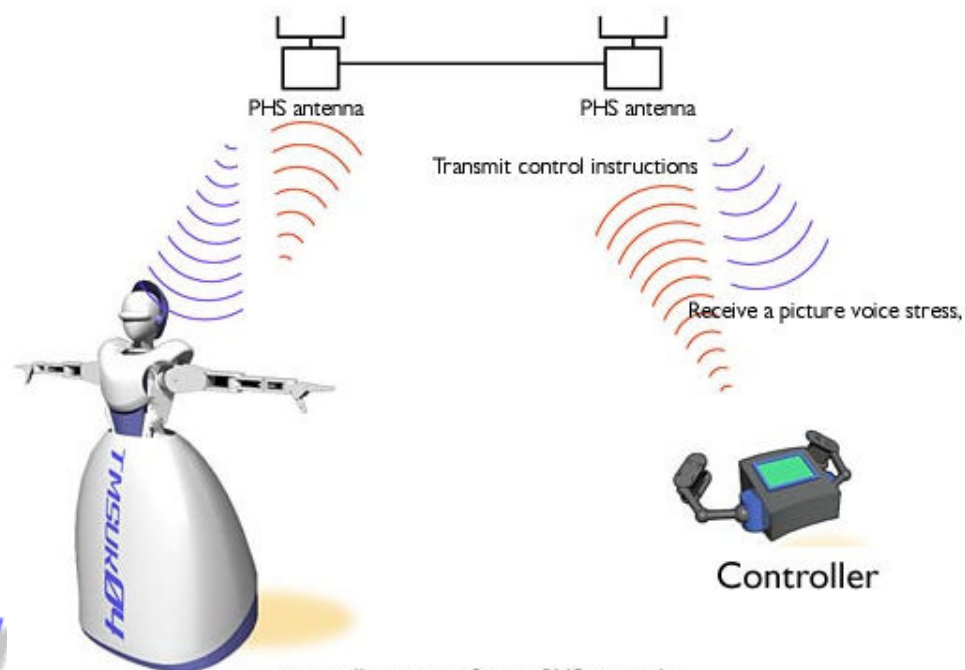
Modalità di interazione

Esistono due modalità diverse di interazione:

- **interazione non invasiva**, che riguarda sistemi autonomi da impiegare in ambienti popolati da esseri umani (settore della robotica).
- **interazione invasiva**, che richiede l'impianto chirurgico di elettrodi (settore della bionica).
- **modalità intermedia**: interfacce cervello-computer sono usualmente realizzate per mezzo di dispositivi artificiali (non biologici) di superficie, e pertanto non invasivi, collegati al sistema nervoso centrale.

Interazione non invasiva: TMSUK 04 by TMSUK Inc. (Japan)

Un robot dall'aspetto umano, capace di eseguire compiti domestici



Humanoid Type Hyper Remote Control Robot.

TMSUK04



Interazione invasiva - 1

Impianto chirurgico di chip per la **localizzazione** delle persone o per la **memorizzazione** di informazioni di interesse (ad esempio, dati anagrafici, sanitari, finanziari).

E' questo il caso dell'impianto di dispositivi di identificazione di frequenza radio (Radio Frequency Identification Device, abbreviato **RFID**), che trasmettono via radio una sequenza di impulsi che rappresentano uno specifico codice.

Un tale dispositivo può, ad esempio, essere utilizzato per inserire nel soggetto il codice PIN di una carta di credito; se attivo, un tale codice può essere controllato da un calcolatore.

Interazione invasiva - 2

Impianto di chip nel proprio corpo, non per il recupero di funzionalità, ma per il loro **potenziamento** (un sesto senso che contribuisce alla definizione di una diversa mappa dell'ambiente).

"In order to assess the usefulness, compatibility and long term operability of a microelectrode array into the median nerve, an electrode has been surgically implanted in the left arm of Prof. K. Warwick, as healthy volunteer."

(K. Warwick et al., *The application of implant technology for cybernetic systems, Arch Neurol.* 2003; 60:1369-1373)





Interfacce cervello-computer

A cavallo tra le modalità non invasive e quelle invasive si collocano le **interfacce cervello-computer**.

In termini del tutto generali, possiamo affermare che l'obiettivo di tali interfacce è di stabilire una connessione tra il cervello e una macchina (un computer) con finalità di comunicazione e controllo.

A seconda del verso della trasmissione del segnale, è possibile distinguere fra

- interfacce di output;
- interfacce di input;
- interfacce bidirezionali.



Interazioni brain-actuated

Le interfacce cervello-computer supportano le cosiddette interazioni brain-actuated.

Per quanto riguarda le interfacce di output, negli ultimi anni sono stati ottenuti diversi risultati che mostrano la possibilità di

- **analizzare** on-line l'attività del cervello umano;
- **tradurre** gli stati cerebrali/mentali in azioni quali muovere un robot o selezionare una lettera in una tastiera virtuale.



Due possibili modalità

Le interfacce cervello-computer si possono realizzare con:

- **approcci invasivi** (impianti di elettrodi per via chirurgica);
- **approcci non invasivi** (uso combinato di elettrodi di superficie che registrano segnali di elettroencefalogrammi e di classificatori di natura statistica che riconducono tali segnali a stati cerebrali/mentali diversi).



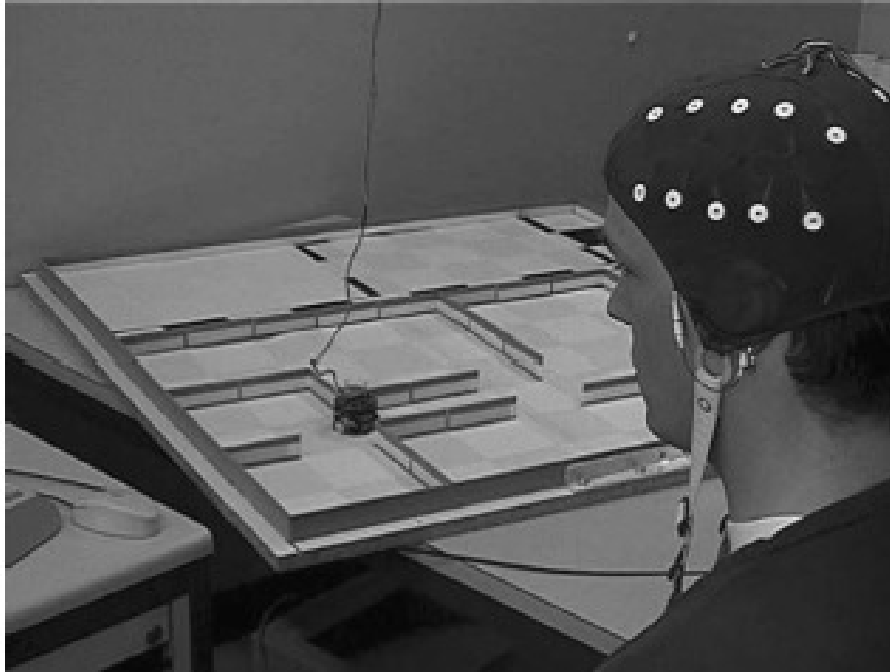
Un'interazione diretta cervello-macchina

Attraverso **segnali di elettroencefalogramma**, una persona, adeguatamente istruita, può esprimere delle intenzioni o eseguire dei compiti elementari a livello puramente cerebrale.

Le interfacce cervello-computer consentono di acquisire tali informazioni senza alcun coinvolgimento del sistema nervoso periferico e/o del sistema muscolare del soggetto.

Le interfacce cervello-computer di output consentono di stabilire un'interazione diretta (**intenzionale**) tra cervello e macchina.

Controllo di robot tramite segnali EEG (elettroencefalogrammi)



L'utente controlla il movimento del robot

José del R. Millan, Frederic Renkens, Josep Mourino, Wulfram Gerstner,
Brain-Actuated Interaction, Artificial Intelligence, Volume 159 (1-2):
241 – 259, 2004.

Scrittura su una tastiera virtuale tramite segnali EEG



L'utente scrive su una tastiera virtuale



Questioni di tecno-etica

Si pongono, come già nel caso della robotica, alcune questioni di **tecno-etica**.

L'uso di protesi bioniche non per il recupero di funzionalità, ma finalizzate al potenziamento di capacità fisiche e/o cognitive può compromettere l'**identità** o la **dignità** della persona?

Come garantire l'**uguaglianza** rispetto all'accesso alle risorse (bioniche)?



Riferimenti bibliografici

- J. del R. Millan, F. Renkens, J. Mourino, W. Gerstner, Brain-Actuated Interaction, *The Journal of Artificial Intelligence, Artificial Intelligence*, Volume 159, Issue 1-2, 2004, pp. 241 – 259.
- D. J. McFarland, J. R. Wolpaw, Brain-Computer Interfaces for Communication and Control, *Communication of the ACM*, 54 (5): 60-66, 2011.
- Filippo Tempia, Attività cerebrale e rappresentazioni mentali, in: *Istanze epistemologiche e ontologiche delle Scienze Informatiche e Biologiche*, a cura di G. Cicchese, A. Pettorossi, S. Crespi Reghizzi, V. Senni, Citta Nuova, 2011.
- A. Montanari, Scienza e immortalità terrena, in: *La sfida postumanista. Colloqui sul significato della tecnica*, a cura di L. Grion, Il Mulino, 2012 (in stampa).