

Università degli Studi di Pisa
Laurea Magistrale in Informatica Umanistica

Percezione nell'esperienza digitale
Prof. Massimo Bergamasco

BIOSENSORI PER L'INTERAZIONE

Studente: Giorgio Spugnesi

Anno Accademico 2011 - 2012

Introduzione (letteraria)

Case sedeva nell'attico con i dermatrodi assicurati alla fronte, osservando le particelle di polvere che danzavano alla luce diluita del sole che filtrava attraverso la griglia sopra la sua testa. Un countdown stava procedendo in un angolo del monitor. I cowboy non avevano a che fare con il simstim, pensò, poiché era fondamentalmente un giocattolo carnale. Sapeva che gli elettrodi da lui usati e la piccola tiara di plastica che penzolava da un deck simstim erano fondamentalmente la stessa cosa, e che la matrice del cyberspazio era in effetti una drastica semplificazione del sensorium umano, almeno in termini di presentazione, ma il simstim in sé gli pareva una moltiplicazione gratuita dell'input carnale. La produzione commerciale era rimaneggiata, naturalmente, cosicché se a Tally Isham¹ fosse venuto il mal di testa nel corso di un segmento, voi non l'avreste sentito.²

Sono sempre stato affascinato dai romanzi di William Gibson. Ascritti al genere della fantascienza, e in particolare alla corrente cyberpunk, hanno saputo predire con estrema lucidità e precisione non solo molte delle novità tecnologiche attuali ma anche una certa configurazione del mondo, delle relazioni sociali, del panorama economico e politico in modo quasi profetico.

In particolare la *Trilogia dello Sprawl*³, di cui il citato *Neuromancer* costituisce il primo capitolo, introduce concetti come l'*ubiquitous technology* o la rete di informazione globale (il cyberspazio) con tecnologie simili all'odierno cloud computing.

Nel romanzo, l'accesso alla rete globale, al cyberspazio, avviene attraverso dei *deck* (simili alle odierne consolle di gioco) controllate attraverso alcuni elettrodi collegati alla testa. In questo modo, la navigazione nel cyberspazio è controllata attraverso il pensiero e la sensazione di presenza è altissima.

Nella finzione, come nella realtà, ogni trovata tecnologica ha un suo risvolto ludico. Il *deck* diventa il *simstim* (contrazione di *simulated stimuli*), un dispositivo che permette di vivere pienamente esperienze di altri (in genere le “star” del *simstim*, come la citata Tally Isham) indossando un casco con elettrodi. In questo modo è possibile vivere le stesse sensuali ed eccitanti esperienze della star preferita acquistando un supporto ottico tipo CD.

Nel brano citato in apertura, Case, l'hacker protagonista del romanzo, si è appena connesso tramite *simstim* alla compagna di avventure Molly e sta vivendo, in diretta, quello che lei vive. Il mezzo è unidirezionale: può provare le stesse sensazioni ma non può intervenire sulla situazione né sul soggetto di cui vive le emozioni. Torneremo in seguito su questo concetto di unidirezionalità.

Dal fascino della finzione alla realtà, il passo è meno lungo di quanto si possa credere.

¹ Nel romanzo di W. Gibson (v. oltre), è una delle più famose star del *simstim*

² William Gibson, *Neuromancer*, Ace, New York, 1984 (trad. it. *Neuromante*, Editrice Nord, Milano, 1986, p. 54)

³ Oltre a *Neuromancer* ne fanno parte *Count Zero* e *Mona Lisa Overdrive*

Nella presente relazione analizzeremo i dispositivi che permettono di interagire con un ambiente virtuale attraverso stimoli biologici, in particolare attraverso le onde cerebrali e la risposta galvanica della pelle (*Galvanic Skin Response – GSR*).

Dispositivi di tracking

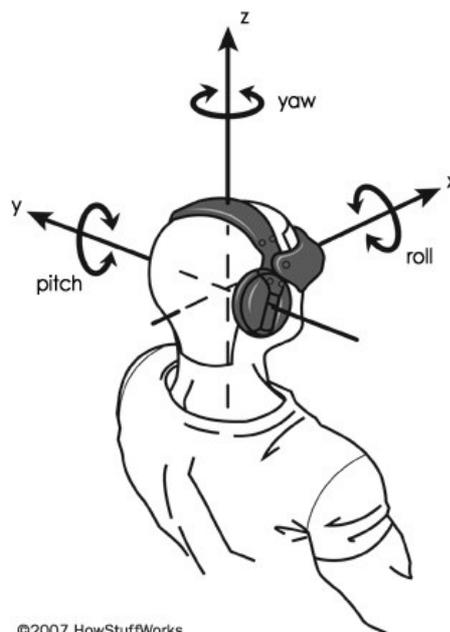
L'interazione con un ambiente virtuale avviene attraverso dispositivi detti tracker in grado di individuare la locazione spaziale e il movimento del soggetto e modificare l'ambiente di conseguenza.

I tracker sono solitamente composti da componenti di acquisizione (sensori) che registrano in tempo reale i valori di interesse e da componenti di elaborazione che ricevono i dati dei sensori e li processano per fornire i valori in un formato utilizzabile dai programmi.

A seconda delle tecnologie utilizzate i tracker possono essere meccanici, acustici, ottici, magnetici, inerziali, ...

Al tracker vengono richieste le seguenti caratteristiche: precisione, ripetibilità, alta frequenza di rilevazione, bassa latenza, leggerezza e scarso ingombro, robustezza, assenza di shadowing (punti non rilevabili).

Inoltre un buon tracker dovrebbe rilevare 6 gradi di libertà (Degree of Freedom – DoF) ovvero 3 posizioni (sugli assi x, y, e z dello spazio) e 3 orientazioni (definite yaw, pitch e roll, v. figura)



I tracker permettono, come già detto, l'interazione con l'ambiente virtuale attraverso il movimento del soggetto operante. Tuttavia esistono dispositivi che consentono un'interazione non cinetica ma dipendente da stimoli nervosi o comunque di natura fisiologica come le onde cerebrali o le variazioni di resistenza del corpo al passaggio di un flusso di corrente elettrica.

Tralascieremo quindi l'analisi dettagliata dei tracker di movimento e cercheremo di analizzare questo secondo tipo di dispositivi presentando quello che la tecnologia attuale offre, quali sono e quali potrebbero essere le applicazioni soprattutto in un'ottica di ambienti virtuali con cui interagire.

Brain Computer Interface (BCI)

Con la sigla BCI si designa una serie di dispositivi atti a far interagire il cervello umano (o animale) direttamente con un computer.

I BCI non sono evidentemente dei tracker e generalmente vengono utilizzati come dispositivi di interazione per persone con diversi gradi di disabilità permettendo loro di interagire con un computer per applicazioni che richiedono semplici input (scrivere un testo, chattare, ...).

Spesso gli ambienti virtuali vengono utilizzati per l'apprendimento dell'utilizzo e per il testing dei BCI ma questo non esclude che potrebbero esservi utilizzati in ambito videoludico, artistico o comunicativo.

La storia dei BCI comincia con la scoperta, nel 1924, dell'attività elettrica del cervello ad opera di Hans Berger e con la realizzazione dei primi dispositivi per l'elettroencefalografia (EEG). Dagli elettrodi in argento impiantati nel cranio del paziente ai moderni caschetti, la storia dei BCI ha visto un graduale passaggio verso tecniche sempre meno invasive e più semplici da applicare. Questi dispositivi tuttavia hanno lo svantaggio di produrre un segnale piuttosto debole a causa dell'assorbimento del cranio che disperde e confonde le onde elettromagnetiche create dall'attività neurale.

Un ulteriore passo avanti in termini di semplicità di utilizzo è stato compiuto utilizzando elettrodi asciutti al posto di quelli ad elettroliti che richiedono la preparazione della pelle attraverso un gel.

Alcuni dispositivi BCI sono basati su biofeedback e misurano cambiamenti dell'attività cerebrali in risposta ad un atto conscio di pensiero o concentrazione dell'utente. Richiedono quindi un lungo tempo di addestramento, anche solo per produrre un semplice segnale che controlli l'input su un computer.

Uno dei metodi che sembra dare i migliori risultati riguarda l'analisi dei segnali P300, attività cerebrali generate in risposta ad uno stimolo e rilevabili come picchi misurabili in un EEG circa

300ms dopo uno stimolo infrequente che interrompe una serie frequente di altri stimoli. Questi picchi sono generati involontariamente a seguito del riconoscimento di un dato oggetto e possono essere usati per rilevare la selezione di un elemento in una matrice le cui righe e colonne lampeggiano secondo uno schema predefinito.

Un esperimento condotto nel 2000 da Jessica Bayliss dell'Università di Rochester ha dimostrato che alcuni volontari dotati di caschetti erano in grado di controllare alcuni elementi di un ambiente virtuale attraverso la lettura dei segnali P300⁴.

Un altro esperimento, di Eduardo Miranda, all'Università di Plymouth in Gran Bretagna ha permesso ad alcuni disabili di esprimersi musicalmente attraverso l'attività cerebrale letta da un dispositivo EEG collegato ad un "encefalofono"⁵

I dispositivi BCI hanno avuto ed hanno largo uso in contesti medici ma anche in questo caso il passo dall'applicazione scientifica a quella dell'entertainment è stato abbastanza breve ed oggi con poche centinaia di euro è possibile entrare in possesso di un caschetto BCI⁶ per utilizzi ludici, artistici o creativi.

Galvanic Skin Response (GSR)

La conduttanza cutanea si basa sulla variazione della resistenza elettrica della pelle provocata da diversi stimoli emozionali. Tale variazione deriva sostanzialmente dallo stato di umidità della pelle stessa dovuto all'azione delle ghiandole sudoripare sottostanti. Stimoli emozionali esterni (un rumore, una parola ascoltata) o interni (l'immaginazione di scene paurose) provocano una caduta della resistenza della pelle ad un debole flusso di corrente, misurabile attraverso due elettrodi collegati generalmente alle dita o al palmo della mano.

Questa risposta transitoria ha una forma d'onda caratteristica con un tempo di salita di circa 1-2 secondi ed un tempo di discesa più lungo. Il tempo necessario affinché il valore della resistenza elettrica ritorni al livello pre-stimolo è circa 20 secondi. Questo effetto dipende anche dalla temperatura ambiente e tende a scomparire se essa supera i 30 gradi.

Sebbene la relazione tra conduttanza (o al contrario resistenza) alla corrente e stato di eccitazione sia misurabile, non esistono strumenti per identificare la specifica emozione: paura, rabbia, eccitazione sessuale provocano tutte GSR simili.

La misurazione della GSR, essendo facilmente rilevabile con una strumentazione minima, è stata

4 <http://www.rochester.edu/pr/releases/cs/bayliss.html> (visitato il 03/09/2012)

5 <http://cmr.soc.plymouth.ac.uk/press.htm> (visitato il 03/09/2012)

6 Ad esempio quello prodotto da Emotiv (<http://www.emotiv.com/>)

usata fin dai primi del '900 negli studi psichici, nelle terapie basate su biofeedback ma soprattutto nella cosiddetta “macchina della verità” applicata, anche se con scarsa attendibilità, in ambito investigativo e giudiziario.

Salvo rari casi⁷, non esistono applicazioni della GSR come strumento di interazione con ambienti reali o virtuali. Questo tuttavia non esclude che l'informazione rilevata attraverso gli elettrodi non possa essere usata come integrazione alle altre informazioni fornite dal soggetto e possa generare modificazioni dell'ambiente in base allo stato di eccitazione o di rilassamento del soggetto stesso.

Ad esempio, in ambito videoludico, lo stato di eccitazione o di paura del giocatore potrebbe riflettersi sul comportamento dell'avatar oppure, in ambito artistico, potrebbe dare luogo a configurazioni grafiche o sonore sempre variabili. Inoltre, nelle applicazioni della realtà virtuale alla cura delle fobie, la GSR potrebbe fornire un interessante feedback sulle reazioni dell'utente.

Un po' di pratica...

Data la semplicità tecnica nella realizzazione di un dispositivo GSR, descriverò come sia possibile interagire con un computer attraverso due semplici elettrodi e fare in modo che lo stato di eccitazione del soggetto influenzi un piccolo mondo virtuale.

Per fare questo, verrà utilizzata la piattaforma di prototipizzazione Arduino associata a due elettrodi autocostruiti e ad un semplice ambiente sviluppato nel linguaggio Processing.

Progetti per la costruzione dei sensori e la lettura della GSR tramite Arduino se ne trovano a sufficienza in rete; ho cercato di mettere insieme varie esperienze e finalizzarle all'interazione con un computer.

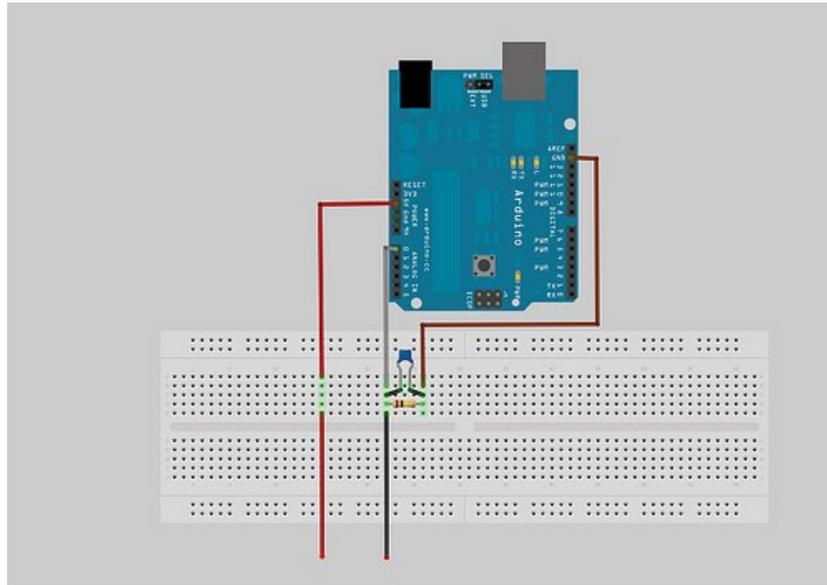
Arduino⁸ è una scheda che incorpora un microcontrollore ATmega328; può leggere l'ambiente attraverso una grande varietà di sensori analogici e digitali e può interagire con esso attraverso moltissimi attuatori. Questo ha fatto sì che si affermasse come ambiente di prototipizzazione in svariati campi, sia in ambito hobbistico che professionale. Inoltre è un prodotto open source completamente ideato e progettato in Italia.

La costruzione degli elettrodi è relativamente semplice: si tratta di due strisce di carta di alluminio (quella adoperata anche in cucina) da avvolgere intorno alle dita, connesse tramite un filo elettrico ad Arduino. Per ridurre il rumore e rendere la lettura dei valori più accurata è stato introdotto un filtro passa basso composto da un condensatore da 0.1uF e una resistenza da 150K ohm.

7 Si veda, ad esempio, <http://bio-medical.com/news/2009/11/biofeedback-raceway-controlled-by-gsr/> (visitato il 03/09/2012)

8 <http://www.arduino.cc> (visitato il 03/09/2012)

Lo schema del dispositivo è riportato nella figura⁹.



Uno dei due elettrodi fornirà una leggera tensione mentre l'altro, connesso all'input analogico della scheda, andrà a leggere il valore della corrente trasmessa attraverso la pelle.

Per quanto riguarda il codice, Arduino dovrà ricevere istruzioni per la lettura, ad intervalli di tempo, della resistenza elettrica tra i due sensori. Per rendere la misurazione più accurata e meno soggetta a rumore, è stato applicato un criterio di smooth facendo una media su più letture nell'ambito dell'intervallo di tempo.

Questo il codice caricato nel processore di Arduino.

```
// GSR sensor variables
int sensorPin = 0; // select the input pin for the GSR
int sensorValue; // variable to store the value coming from the sensor

// Time variables
unsigned long time;
int millisForGSR;
int curMillisForGSR;
int preMillisForGSR;

int buffer[10];
float output;

void setup() {
  Serial.begin(9600); // Prepare serial port
  millisForGSR = 1000; // How often do we get a GSR reading
  curMillisForGSR = 0;
  preMillisForGSR = -1;
  for(int i = 0; i < 10; i++) {
    buffer[i] = 0;
  }
}
```

⁹ <http://www.flickr.com/photos/steelianos/5038847141/> (visitato il 03/09/2012)

```

void loop() {
    time = millis();
    curMillisForGSR = time / millisForGSR;
    if(curMillisForGSR != preMillisForGSR) {
        sensorValue = analogRead(sensorPin); // Read GSR sensor
        for(int i=0; i<10; i++) {
            buffer[i] = sensorValue;
        }
        buffer[9] = sensorValue; // Add the new value
        float sum = 0;
        for(int i=0; i<10; i++) {
            sum += buffer[i];
        }
        output = sum / 10; // Average value
        Serial.write(output); // Send corrected value over Serial port
        preMillisForGSR = curMillisForGSR;
    }
}

```

I valori letti tramite Arduino vengono poi inviati, tramite USB, ad un computer per la loro elaborazione.

A questo punto occorre creare un ambiente che possa modificarsi in base allo stato di eccitazione del soggetto connesso agli elettrodi. L'ambiente di sviluppo di Processing offre numerosi esempi di elementi grafici in movimento. Ho pensato quindi di collegare i dati rilevati dai sensori ad una animazione di figure fluide denominata Metaball. Ho quindi modificato il codice dell'esempio perché i valori di GSR determinino le dimensioni delle figure. In questo modo, un soggetto tranquillo vedrà muoversi figure piccole che aumenteranno di dimensioni in corrispondenza del proprio stato di agitazione.

Questo il codice in esecuzione sul computer.

```

import processing.serial.*;

Serial serialPort;

int numBlobs = 3;
float temp;

int[] blobPx = { 0, 90, 30 };
int[] blobPy = { 0, 120, 45 };

int[] blobDx = { 1, 1, 1 };
int[] blobDy = { 1, 1, 1 };

PGraphics pg;
int[][] vy,vx;

void setup() {
    size(800, 600);
    pg = createGraphics(160, 90, P2D);
    vy = new int[numBlobs][pg.height];
    vx = new int[numBlobs][pg.width];
    temp = 1;
    serialPort = new Serial(this, Serial.list()[3], 9600);
}

```

```

}

void draw() {
  for (int i=0; i<numBlobs; ++i) {
    blogPx[i]+=blogDx[i];
    blogPy[i]+=blogDy[i];

    if (blogPx[i] < 0) {
      blogDx[i] = 1;
    }
    if (blogPx[i] > pg.width) {
      blogDx[i] = -1;
    }
    if (blogPy[i] < 0) {
      blogDy[i] = 1;
    }
    if (blogPy[i] > pg.height) {
      blogDy[i]=-1;
    }

    for (int x = 0; x < pg.width; x++) {
      vx[i][x] = int(sq(blogPx[i]-x));
    }

    for (int y = 0; y < pg.height; y++) {
      vy[i][y] = int(sq(blogPy[i]-y));
    }
  }

  pg.beginDraw();
  pg.loadPixels();
  for (int y = 0; y < pg.height; y++) {
    for (int x = 0; x < pg.width; x++) {
      int m = 1;
      for (int i = 0; i < numBlobs; i++) {
        int tmp = serialPort.read();
        if(tmp != -1) {
          println(tmp);
          temp = tmp * 600;
        }
        m += temp/(vy[i][y] + vx[i][x]+1);
      }
      pg.pixels[x+y*pg.width] = color(0, m+x, (x+m+y)/2);
    }
  }
  pg.updatePixels();
  pg.endDraw();

  image(pg, 0, 0, width, height);
}

```

Risultati

Il dispositivo descritto, per quanto estremamente rudimentale, consente una corretta lettura dei valori di GSR. Tuttavia la variazione di tali valori è difficilmente utilizzabile, soprattutto per

modificazioni repentine di un ambiente. Gli esperimenti condotti inoltre non hanno rilevato significative oscillazioni dei valori forse perché effettuati in mancanza di forti stimoli che potessero modificare in modo sostanziale lo stato di eccitazione del soggetto.

Un utilizzo in contesti videoludici o creativi, oltre ad una strumentazione più accurata, necessiterebbe di più precisi modelli matematici in modo da poter sfruttare opportunamente i valori letti, ad esempio facendo sì che le variazioni siano interpretate in modo esponenziale.

Inoltre, uno dei limiti maggiori è dato dalla impossibilità di determinare la tipologia dell'eccitazione: in un videogioco sarebbe ad esempio impossibile distinguere, nel giocatore, uno stato di paura per la situazione che affronta da uno di eccitazione per i risultati che sta conseguendo.

Conclusioni

L'utilizzo di biosensori per l'interazione uomo - computer, e in particolare uomo - ambiente virtuale, rappresenta un'interessante frontiera di ricerca. La direzione intrapresa spinge sempre di più verso dispositivi di facile utilizzo e alla portata dell'utilizzatore consumer. L'evoluzione di tali dispositivi è sicuramente legata alla ricerca sul funzionamento del cervello; si potrebbe, anzi, dire che tra la ricerca medica e lo sviluppo dei dispositivi vi sia una reciproca interazione: nuove conoscenze sul funzionamento del cervello portano alla creazione di strumenti più precisi e, al contempo, questi strumenti consentono una maggiore comprensione dei meccanismi di pensiero.

Non è quindi fuori luogo immaginare un futuro, abbastanza prossimo, nel quale potremo interagire con le macchine sfruttando il pensiero (o meglio l'attività cerebrale).

Tuttavia, gli esperimenti condotti fino ad oggi hanno sempre visto una interazione unidirezionale: lo stimolo cerebrale modifica l'ambiente virtuale ma non viceversa. E' vero che ogni modifica dell'ambiente comporta una reazione nel soggetto ma questa deriva dalla percezione del soggetto stesso e non è indotta dal dispositivo di interazione. In pratica non risulta possibile provocare stimoli sensoriali direttamente a livello cerebrale attraverso gli elettrodi del dispositivo. Non si possono provare sensazioni se non passando attraverso i sensi.

Tornando alla citazione di apertura, nel romanzo di Gibson l'unidirezionalità avviene dall'ambiente virtuale verso il cervello (e i sensi) mentre, allo stato attuale delle cose, avviene nella direzione opposta, dal cervello all'ambiente virtuale. Non si può però escludere a priori che, in futuro, potremmo disporre anche noi di una consolle *simstim*.