

**POLITECNICO DI MILANO**  
Facoltà di Ingegneria dell'Informazione  
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica



**Un sistema basato sul riconoscimento visivo per il  
supporto alla valutazione neuromotoria**

**Relatore: Prof.ssa Franca Garzotto**

**Correlatore: Ing. Mirko Gelsomini**

**Tesi di Laurea di:**

**Luca Mattioli**

**matricola 802423**

**Anno Accademico 2013 - 2014**

*“Ogni bambino, alla nascita, ha un potenziale di intelligenza superiore a quello mai usato da Leonardo da Vinci”*

Glenn Doman

# Sommario

Un bambino i cui prerequisiti funzionali all'apprendimento non siano sufficientemente sviluppati viene identificato come affetto da **Disturbi Specifici dell'Apprendimento** e incontra numerose difficoltà nell'ambito scolastico, avendo così bisogno di un sostegno educativo.

Questo mancato sviluppo deriva da una non sufficiente stimolazione sensoriale negli anni della maturazione senso-neuro-motoria del bambino (cioè entro i primi 6 anni di vita).

Una tra le risposte più efficaci al problema si è dimostrata essere la somministrazione di stimoli sensoriali compensativi.

A questo scopo è nata l'associazione "**Movi-Mente ASD**" che propone agli iscritti un preciso protocollo di lavoro neuromotorio.

Parte integrante del protocollo è il **Profilo di Valutazione Neuromotoria** che, tramite una vera e propria valutazione dei soggetti, serve a comprendere i livelli di sviluppo dei prerequisiti funzionali all'apprendimento.

L'obiettivo di questa tesi è quello di dimostrare, tramite l'implementazione di un prototipo funzionante, che è possibile lo sviluppo e la realizzazione di un sistema automatico in grado di supportare gli educatori nella valutazione neuromotoria.

# Abstract

A child whose functional learning prerequisites are not sufficiently developed is identified as suffering from **Learning Disability** and encounters many difficulties in school and needs an educational support.

This lack of development comes from an inadequate sensory stimulation in the years of the child neuro-sensory-motor maturation (within the first 6 years of life).

One of the most effective responses to the problem is to give compensatory sensory stimulation to the children.

To this purpose the association “**Movi-Mente ASD**” was born: it offers courses in which participants follow a precise protocol of neuromotor work.

An integral part of the protocol is the **Neuromotor Rating** which, through a proper evaluation of the subjects, has the purpose of understanding the level of development of the functional prerequisites to learning.

The goal of this thesis is to demonstrate, through the implementation of a working prototype, that it is possible to develop and implement an automated system that helps the educators in the neuromotor rating.



# Indice

<b>Sommario</b>	<b>I</b>
<b>Abstract</b>	<b>II</b>
<b>Indice</b>	<b>VIII</b>
<b>Elenco delle figure</b>	<b>XII</b>
<b>Introduzione</b>	<b>2</b>
Obiettivo della tesi . . . . .	3
Approccio al problema e soluzioni . . . . .	3
Struttura della tesi . . . . .	4
<b>1 Stato dell'arte tecnologico</b>	<b>6</b>
1.1 Dispositivi . . . . .	6
1.1.1 Dispositivi touchless . . . . .	6
Microsoft Kinect . . . . .	9
Kinect One . . . . .	13
Xtion . . . . .	17
EyeToy . . . . .	18
PlayStation Eye . . . . .	19
PlayStation Camera . . . . .	20

	Altri dispositivi touchless . . . . .	20
1.1.2	Dispositivi tangibile . . . . .	22
	Mouse . . . . .	23
	Wii Remote . . . . .	25
	Airwriter . . . . .	25
	Myoelectric Armband . . . . .	26
	Moven . . . . .	27
	Beast Technology Sensor . . . . .	28
	Sensori di monitoraggio dell'attività sportiva . . . . .	28
1.2	Applicazioni . . . . .	29
	1.2.1 Simi VidBack . . . . .	31
	1.2.2 Dartfish Simulcam e StroMotion . . . . .	32
	1.2.3 Hawk-Eye . . . . .	33
	1.2.4 ProZone . . . . .	33
<b>2</b>	<b>Contesto sociale</b>	<b>35</b>
2.1	DSA . . . . .	35
	2.1.1 Dislessia . . . . .	36
	2.1.2 Disgrafia . . . . .	37
	2.1.3 Disortografia . . . . .	38
	2.1.4 Disturbo specifico della computazione . . . . .	39
	2.1.5 Discalculia . . . . .	39
	2.1.6 Cause principali . . . . .	40
	Decremento demografico . . . . .	41
	Effetto “Mamma Sharing” . . . . .	42
	Spazi inadeguati . . . . .	43
	Genitori lavoratori . . . . .	44
2.2	Movi-Mente . . . . .	45

2.2.1	Temple Fay . . . . .	47
2.2.2	Moshé Feldenkrais . . . . .	49
2.2.3	Giacomo Rizzolatti . . . . .	50
2.2.4	Jigoro Kano . . . . .	52
2.2.5	Obiettivi dell'associazione . . . . .	53
2.2.6	Esercizi proposti . . . . .	55
	Rotolamento . . . . .	55
	Striscio . . . . .	56
	Corsa . . . . .	58
	Capovolta . . . . .	59
	Prensioni di forza e brachiazioni . . . . .	60
2.2.7	Destinatari . . . . .	63
2.2.8	Modalità operative . . . . .	63
2.2.9	Ricerca scientifica . . . . .	64
2.3	Profilo di Valutazione Neuromotoria . . . . .	65
<b>3</b>	<b>Requisiti e design</b>	<b>69</b>
3.1	Stakeholders . . . . .	69
3.2	Goals . . . . .	70
3.3	Requisiti funzionali . . . . .	70
<b>4</b>	<b>Implementazione</b>	<b>72</b>
4.1	Idee iniziali . . . . .	72
4.2	Scelta del dispositivo . . . . .	75
4.3	Installazione e registrazioni . . . . .	76
4.4	Microsoft SDK . . . . .	78
4.5	OpenNI . . . . .	79
4.6	FAAST . . . . .	80



4.7	Nuovo approccio . . . . .	81
4.8	Confronto fra immagini . . . . .	83
4.8.1	OpenCV . . . . .	84
4.8.2	PSNR . . . . .	84
4.8.3	SSIM . . . . .	85
4.9	Problemi riscontrati . . . . .	87
4.10	Miglioramenti: Fase 1 . . . . .	88
4.11	Miglioramenti: Fase 2 . . . . .	89
4.11.1	Background subtraction . . . . .	90
4.11.2	Implementazione della background subtraction . . . . .	91
4.12	Miglioramenti: Fase 3 . . . . .	92
4.12.1	EmguCV . . . . .	94
4.12.2	Blob detection . . . . .	94
4.12.3	Implementazione della blob detection . . . . .	95
4.13	Ultime modifiche . . . . .	96
4.14	Realizzazione delle immagini campione . . . . .	97
<b>5</b>	<b>Interfaccia</b>	<b>100</b>
5.1	Diagramma di flusso . . . . .	101
5.2	Interfaccia . . . . .	102
5.2.1	Messaggi . . . . .	103
5.2.2	Pulsanti . . . . .	104
5.2.3	Gestione lista bambini . . . . .	105
5.2.4	Lista bambini . . . . .	106
5.2.5	Lista risultati . . . . .	106
5.2.6	Stream Kinect . . . . .	107
5.3	Funzionalità . . . . .	107
5.4	Utilizzo . . . . .	108

<b>6</b>	<b>Testing</b>	<b>110</b>
6.1	Sessioni di testing . . . . .	110
6.1.1	Prima sessione . . . . .	111
	Risultati . . . . .	112
	Modifiche . . . . .	112
6.1.2	Seconda sessione . . . . .	113
	Risultati . . . . .	114
	Modifiche . . . . .	114
6.1.3	Terza sessione . . . . .	115
	Risultati . . . . .	115
	Modifiche . . . . .	116
6.1.4	Quarta sessione . . . . .	116
	Risultati . . . . .	117
	Modifiche . . . . .	117
6.2	Risultati . . . . .	117
<b>7</b>	<b>Conclusioni e sviluppi futuri</b>	<b>121</b>
7.1	Conclusioni e sviluppi futuri . . . . .	121
7.2	Sensore alternativo . . . . .	122
7.3	Aggiunta immagini campione . . . . .	123
7.4	Machine learning . . . . .	124
7.5	Strategia di valutazione . . . . .	124
7.6	Aumento della precisione . . . . .	125
	<b>Bibliografia</b>	<b>129</b>
	<b>Ringraziamenti</b>	<b>130</b>

# Elenco delle figure

1.1	Microsoft Kinect. . . . .	9
1.2	Componenti del Kinect. . . . .	10
1.3	Campo d'azione verticale del Kinect. . . . .	11
1.4	Campo d'azione orizzontale del Kinect in modalità normale. . . . .	12
1.5	Riconoscimento e tracciamento dei giocatori. . . . .	13
1.6	Disegno delle giunture tracciate dal Kinect. . . . .	13
1.7	Kinect One. . . . .	13
1.8	Esempio dell'applicazione base del Kinect One. . . . .	14
1.9	Opened Kinect One. . . . .	15
1.10	Mappa dell'orientamento degli arti e dello sforzo muscolare. . . . .	16
1.11	Disegno delle giunture tracciate dal Kinect One. . . . .	16
1.12	Xtion. . . . .	17
1.13	EyeToy. . . . .	18
1.14	PlayStation Eye. . . . .	19
1.15	PlayStation Camera. . . . .	20
1.16	Tobii EyeX. . . . .	21
1.17	LightIO Mouse. . . . .	21
1.18	Leap Motion. . . . .	21
1.19	Primo prototipo di mouse. . . . .	24
1.20	Schema di un mouse meccanico. . . . .	24

1.21	LED di un mouse ottico. . . . .	24
1.22	Wii Remote. . . . .	25
1.23	Airwriter. . . . .	26
1.24	Myoelectric Armband. . . . .	26
1.25	La tuta Moven della Xsens. . . . .	27
1.26	Beast Technology Sensor. . . . .	28
1.27	Sensore per il monitoraggio del battito cardiaco. . . . .	28
1.28	Analisi di un allenamento con Simi VidBack. . . . .	31
1.29	Immagini elaborate con Simulcam. . . . .	32
1.30	Immagine elaborata con StroMotion. . . . .	32
1.31	Telecamera per l'analisi di Hawk-Eye nel tennis. . . . .	33
1.32	Esempio dell'applicativo ProZone. . . . .	34
2.1	Logo dell'associazione "Movi-Mente ASD". . . . .	45
2.2	Temple Fay. . . . .	47
2.3	Moshé Feldenkrais. . . . .	49
2.4	Giacomo Rizzolatti. . . . .	50
2.5	Jigoro Kano. . . . .	52
2.6	Bambina mentre rotola. . . . .	55
2.7	Esecuzione dello striscio. . . . .	56
2.8	Gara di corsa. . . . .	58
2.9	Disegno di una capovolta. . . . .	59
2.10	Riflesso di prensione. . . . .	60
2.11	Esercitazione militare di brachiazioni. . . . .	62
4.1	Usain Bolt mentre corre. . . . .	73
4.2	Esercitazione militare di striscio. . . . .	74
4.3	Microsoft Kinect. . . . .	75

4.4	Staffa da soffitto per proiettori. . . . .	76
4.5	Il Kinect montato al soffitto della palestra. . . . .	76
4.6	L'applicazione Kinect Studio. . . . .	77
4.7	Esempio di una registrazione effettuata in Kinect Studio. . . . .	78
4.8	Logo di OpenNI. . . . .	79
4.9	L'interfaccia di FAAST mentre riconosce uno scheletro. . . . .	80
4.10	Bambino riconosciuto da OpenNI. . . . .	81
4.11	Apice del movimento corretto di due bambini differenti. . . . .	82
4.12	Movimento scorretto. . . . .	82
4.13	Logo della libreria OpenCV. . . . .	84
4.14	Frame dove il bambino non è stato riconosciuto. . . . .	87
4.15	Vista del percorso obbligato dei bambini. . . . .	89
4.16	Esempio di background subtraction. . . . .	91
4.17	Bambino rilevato con la funzione MOG. . . . .	91
4.18	Sagoma di un bambino rilevata dai dati di profondità. . . . .	93
4.19	Logo di EmguCV. . . . .	94
4.20	Confronto fra un'immagine grezza e una elaborata. . . . .	96
4.21	Prime immagini campione. . . . .	98
4.22	Immagini ottenute come media fra tutte quelle trovate. . . . .	99
4.23	Immagini di riferimento. . . . .	99
5.1	Diagramma di flusso dell'applicazione. . . . .	101
5.2	Aree dell'applicazione. . . . .	102
5.3	Applicazione in attesa. . . . .	103
5.4	Pulsante di avvio. . . . .	103
5.5	Messaggio di configurazione. . . . .	104
5.6	Messaggio di ricerca. . . . .	104
5.7	Messaggio durante la valutazione. . . . .	104

5.8	Pulsanti di reset e di evaluate. . . . .	104
5.9	Sezione della lista dei bambini. . . . .	105
5.10	Sezione dei risultati. . . . .	106
5.11	Stream dei dati del Kinect. . . . .	107
5.12	Apertura applicazione senza Kinect collegato. . . . .	108
6.1	Grafico delle valutazioni degli educatori. . . . .	118
6.2	Grafico delle valutazioni dell'applicazione. . . . .	118
6.3	Confronto fra le valutazioni. . . . .	119
6.4	Immagine campione utilizzata. . . . .	120
6.5	Sagoma di un educatore. . . . .	120
7.1	Kinect One. . . . .	122
7.2	Immagine campione utilizzata. . . . .	124
7.3	Immagine campione di un'altra fisiologia. . . . .	124



# Introduzione

Negli ultimi settant'anni si sono verificati grandi cambiamenti nella società italiana che hanno portato ad una radicale modifica delle abitudini e dell'educazione motoria dei bambini. Di conseguenza, si è verificato un preoccupante calo degli stimoli sensoriali negli anni della maturazione senso-neuro-motoria del bambino (cioè entro i primi 6 anni di vita) che influisce direttamente sullo sviluppo dei prerequisiti funzionali all'apprendimento (convergenza visiva, motilità oculare, indipendenza visiva, ecc.).

Un bambino i cui prerequisiti non siano sufficientemente sviluppati viene identificato come affetto da **Disturbi Specifici dell'Apprendimento** e incontra numerose difficoltà nell'ambito scolastico, avendo così bisogno di un sostegno educativo.

Una tra le risposte più efficaci al problema si è dimostrata essere la somministrazione ai bambini di stimoli sensoriali compensativi.

A questo scopo è nata l'associazione "**Movi-Mente ASD**" che propone agli iscritti un preciso protocollo di lavoro neuromotorio.

Tale associazione presta una particolare attenzione educativa alla crescita del bambino in età prescolare, privilegiando un percorso di crescita idoneo alla sua specifica età, basato sul movimento. L'attività motoria non ricopre più, quindi, solo un ruolo secondario nella vita del bambino, ma deve divenire elemento fondante dell'esperienza esistenziale di ogni individuo, tassello



---

indispensabile per l'apprendimento e le conquiste cognitive superiori, fondamentali per il futuro inserimento nella scuola primaria.

Le attività proposte dall'associazione prevedono una serie di strategie ludiche ed educative per arrivare a eseguire in maniera quantitativamente e qualitativamente crescente alcuni esercizi di base: rotolamento, striscio, corsa, capovolta, prensioni di forza e brachiazioni.

L'opportunità di ripetere costantemente questi esercizi con una frequenza, una durata e un'intensità sempre maggiori, permette di allenare il movimento e di costruire "un'immagine mentale" del movimento stesso, o schema motorio, che in seguito sarà appreso ed eseguito automaticamente.

Parte integrante del protocollo è il **Profilo di Valutazione Neuromotoria** che, tramite una vera e propria valutazione dei soggetti, serve a valutare i livelli di sviluppo dei prerequisiti funzionali all'apprendimento.

## **Obiettivo della tesi**

L'obiettivo di questa tesi è quello di dimostrare, tramite l'implementazione di un prototipo funzionante, che è possibile lo sviluppo e la realizzazione di un sistema automatico in grado di sostituire gli educatori nella valutazione neuromotoria.

## **Approccio al problema e soluzioni**

Un aspetto fondamentale per la valutazione neuromotoria è che i soggetti non devono essere consapevoli di essere valutati in modo da svolgere l'esercizio nel modo più naturale possibile. Infatti un soggetto consapevole di essere

---

sotto osservazione tende a modificare i propri comportamenti rischiando di falsare i risultati della valutazione.

Per questo motivo fin da subito si è scelto di utilizzare per il sistema un dispositivo di tipo *touchless* che consente di effettuare le valutazioni senza disturbare l'esecuzione degli esercizi.

In particolare si è scelto di utilizzare il Kinect pensando di poter utilizzare la funzionalità di riconoscimento e tracciamento degli scheletri.

Viste le difficoltà nell'implementare un sistema basato sul tracciamento degli scheletri si è deciso di implementare le funzioni di valutazione con una logica di image analysis sui dati di profondità del Kinect.

L'intero processo di soluzione del problema è avvenuto in fasi progressive di ricerca e di sperimentazione di possibili soluzioni fino alla realizzazione del prototipo finale.

## Struttura della tesi

Questo documento è strutturato come segue:

- Nel capitolo 1 viene presentato un quadro dettagliato delle tecnologie e degli applicativi già esistenti nell'ambito del riconoscimento e dell'analisi di movimenti e di prestazioni sportive.
- Nel capitolo 2 viene presentato il contesto sociale, le cause e una possibile soluzione al continuo aumento nella società moderna del numero di bambini con **DSA** (*Disturbi Specifici dell'Apprendimento*). Quindi verrà mostrato e contestualizzato il problema specifico al quale questo lavoro di tesi cerca di trovare una soluzione.

- 
- Nel capitolo 3 sono presentati gli stakeholders, i goals e i requisiti che il sistema deve soddisfare.
  - Nel capitolo 4 sono descritte le fasi di studio e di ricerca della soluzione tecnologica migliore per soddisfare i requisiti richiesti, partendo da una prima possibile direzione di ricerca, fino alla definizione delle tecnologie effettivamente utilizzabili e funzionanti.
  - Nel capitolo 5 viene mostrata l'interfaccia dell'applicazione, sono spiegate le funzionalità implementate e viene illustrato come utilizzarle.
  - Nel capitolo 6 è spiegata la fase di testing dell'applicazione e sono mostrati gli errori rilevati durante i test e le conseguenti modifiche per risolvere gli stessi.
  - Nel capitolo 7 sono presentate le conclusioni e le possibili future direzioni di ricerca e di miglioramento del sistema realizzato.

# Capitolo 1

## Stato dell'arte tecnologico

In questo capitolo si parlerà delle tecnologie e degli applicativi già esistenti nell'ambito del riconoscimento e dell'analisi di movimenti e di prestazioni sportive, in particolare saranno presentati più in dettaglio i dispositivi e i sistemi più rilevanti ai fini della tesi.

### 1.1 Dispositivi

Dal punto di vista tecnologico esistono già molti dispositivi che possono essere utilizzati allo scopo di acquisire dati utili al riconoscimento e all'eventuale valutazione dei movimenti. Tali dispositivi possono essere suddivisi in due categorie principali: **touchless** e **tangible**.

#### 1.1.1 Dispositivi touchless

Con il termine *touchless* si intende una modalità di interazione che non prevede un contatto diretto col dispositivo. Questo tipo di interazione può risultare molto utile nel caso si voglia monitorare un certo ambiente riducendo al minimo l'influenza che il dispositivo potrebbe avere sull'ambiente

stesso. Per esempio nel caso in cui si volesse monitorare un animale nel suo ambiente naturale senza che questo modifichi i suoi comportamenti a causa del contatto con un oggetto estraneo (come i collari GPS utilizzati in alcune ricerche naturalistiche) si potrebbero utilizzare delle telecamere e tracciare i movimenti dell'animale tramite un'accurata analisi delle immagini. L'esempio precedente mette in luce un chiaro limite di questa tecnologia che è la limitatezza del raggio d'azione dei dispositivi. Se infatti per monitorare gli spostamenti di un animale è sufficiente un solo collare GPS per avere i dati sulla posizione ovunque esso si trovi, se si volessero invece utilizzare delle telecamere si avrebbero i dati sulla posizione solo quando effettivamente l'animale viene ripreso da una telecamera. Questo potrebbe non essere un problema nel caso in cui l'area nella quale l'animale si può muovere sia veramente limitata (come una gabbia o un cortile o il recinto di uno zoo), ma non sarebbe una soluzione attuabile in un ambiente molto vasto (come un parco naturale) poiché non è pensabile riuscire a ricoprire tutta l'area con delle telecamere. Se poi si scegliesse comunque di utilizzare le telecamere, si riuscirebbe ad installare il sistema nell'ambiente con un disturbo minimo per gli animali da monitorare, mentre con un sistema basato su collari GPS si dovrebbe catturarli, e si dovrebbe utilizzare un singolo collare per ogni soggetto. Un altro fatto da considerare è che un sistema basato sulle telecamere, ma in generale un sistema touchless, è abbastanza facile da convertire ad uno scopo diverso da quello per il quale è stato progettato. Infatti, sempre riferendosi all'esempio precedente, se si volesse scegliere di monitorare animali diversi lo si potrebbe fare semplicemente cambiando il tipo di elaborazione delle immagini, e se si volesse dismettere l'intero sistema le telecamere potrebbero essere facilmente ridestinate ad altri usi (come i servizi di sorveglianza). Questa maggiore adattabilità a scopi diversi, che

è una caratteristica di quasi tutti i dispositivi touchless, unita ad un costo generalmente contenuto, poiché di solito sono dispositivi nati a scopi commerciali e quindi per la grande distribuzione, rende questi sistemi ideali per numerosi ambiti di ricerca, dalla domotica alla robotica, dove i ricercatori trovano più comodo ed economico riadattare sensori già esistenti piuttosto che svilupparne di nuovi partendo da zero.

Un altro vantaggio di questo tipo di tecnologia è la bassa usura derivante dal suo utilizzo, infatti, non essendoci nessun contatto fisico, il logoramento del dispositivo derivante dall'attrito è pressoché nullo. Inoltre, non dovendo essere a contatto col soggetto da studiare, ma potendo scegliere il luogo dove posizionarli, generalmente queste periferiche sono più semplici da alimentare e possono avere un peso e delle dimensioni maggiori (o quantomeno soggette a meno vincoli) rispetto ai dispositivi tangibile.

I dati utili forniti dai sistemi touchless derivano da un'accurata elaborazione di tutti i dati provenienti dall'intera area d'azione del sistema, ed è questo che rende facilmente adattabili questi dispositivi. Infatti i dati che si ricevono (che possono essere informazioni di profondità, mappatura 3D, immagini a colori, suoni, ecc.) sono dati grezzi che dipendono solo dai sensori utilizzati e non dallo scopo vero e proprio del dispositivo, ed è quindi sufficiente cambiare il tipo di elaborazione su questi dati per cambiare lo scopo dell'intero sistema. Chiaramente questo tipo di funzionamento necessita di molte risorse dedicate esclusivamente all'elaborazione dei dati.

Rientrano in questa categoria di dispositivi i microfoni, le telecamere e i sensori specifici per gestire il motion capture, uno dei più conosciuti e utilizzati dei quali è il Microsoft Kinect, per quanto numerose altre compagnie abbiano iniziato a sviluppare delle periferiche analoghe. Di seguito verranno presentati alcuni fra i dispositivi touchless più conosciuti e diffusi.

## Microsoft Kinect



**Fig. 1.1:** *Microsoft Kinect.*

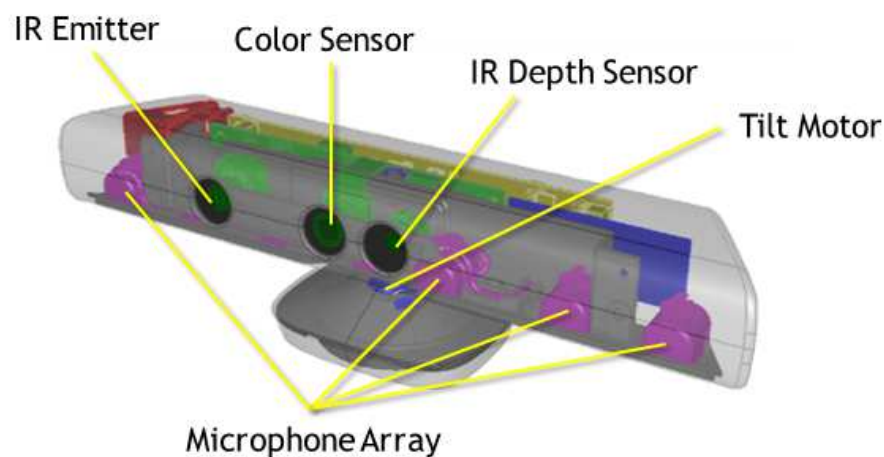
Il **Kinect** (fig: 4.3) è un dispositivo Microsoft, sviluppato inizialmente per Xbox 360 e successivamente rilasciato anche per PC, che racchiude in sé una telecamera RGB, un doppio sensore di profondità a raggi infrarossi, composto da uno scanner laser a infrarossi e da una telecamera sensibile alla stessa banda, un accelerometro sui 3 assi ed un array di microfoni. Questa periferica permette all'utente di interagire con la console (o con il PC) senza l'uso di alcun tipo di controller da impugnare, ma solo tramite i movimenti del corpo, i comandi vocali ed eventualmente gli oggetti presenti nell'ambiente. Il progetto Kinect è stato annunciato per la prima volta nel giugno 2009 e nel novembre dell'anno seguente è stata resa disponibile al pubblico la versione per Xbox 360. Microsoft ha poi rilasciato la versione per Windows nel febbraio 2012. Dal momento del rilascio sono state vendute oltre 24 milioni di periferiche, rendendo il Kinect il dispositivo di elettronica consumer che ha venduto meglio nel minor tempo.

I driver ufficiali rilasciati da Microsoft sono per i sistemi operativi Windows, ma esistono anche versioni non ufficiali che consentono l'utilizzo della peri-

ferica anche per Mac OS X e per Linux. Per gli sviluppatori è stato reso disponibile un SDK ufficiale supportato dai linguaggi C#, C++ e Visual Basic, ma esistono anche librerie open source, la più conosciuta delle quali è OpenNI (Open Natural Interaction), che consente di sviluppare applicazioni generiche che possono funzionare anche con altre periferiche oltre al Kinect, come lo Xtion della Asus o il sensore Capri della PrimeSense.

Le principali funzioni del Kinect sono il riconoscimento di gesti e movimenti, il riconoscimento facciale, il tracciamento degli scheletri e il riconoscimento dei comandi vocali. Queste capacità sono nate principalmente per scopi video-ludici e quindi sono limitate a quest'ambito, però è anche possibile accedere direttamente ai dati grezzi derivanti dai sensori e quindi, tramite le giuste elaborazioni, ampliare notevolmente la sfera degli utilizzi possibili della periferica.

### Specifiche tecniche

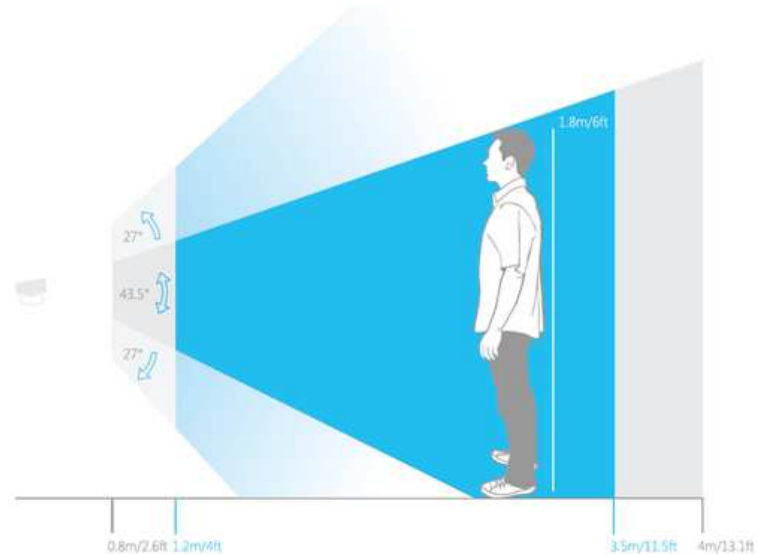


**Fig. 1.2:** *Componenti del Kinect.*

Di seguito sono elencate le specifiche tecniche del Kinect per Xbox 360:

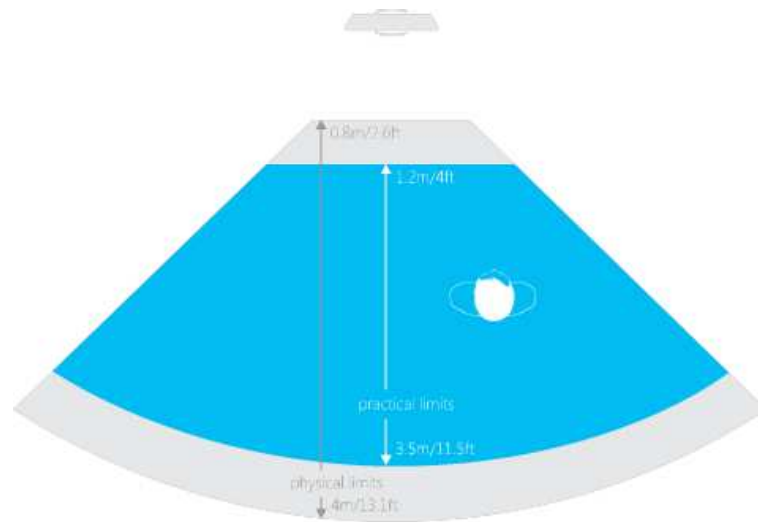


- Campo visivo verticale:  $43.5^\circ$  (fig: 1.3)
- Intervallo di inclinazione motorizzato: da  $-27^\circ$  a  $+27^\circ$  (fig: 1.3)



**Fig. 1.3:** Campo d'azione verticale del Kinect.

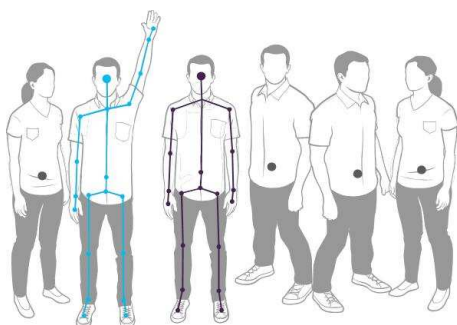
- Campo visivo orizzontale:  $57^\circ$  (fig: 1.4)
- Raggio d'azione del sensore profondità: da  $1.2\text{m}$  a  $3.5\text{m}$  in modalità normale, da  $0.8\text{m}$  a  $2.5\text{m}$  in modalità ravvicinata (fig: 1.4)



**Fig. 1.4:** Campo d'azione orizzontale del Kinect in modalità normale.

- Risoluzione e frames al secondo del sensore profondità:
  - 80x60 30fps
  - 320x240 30fps
  - 640x480 30fps
- Risoluzione e frames al secondo del sensore colori:
  - 640x480 a 30fps
  - 1280x960 a 12fps
- Risoluzione e frames al secondo del sensore infrarossi:
  - 640x480 a 30fps
  - 1280x960 a 12fps
- Audio: array di 4 microfoni con un convertitore da analogico a digitale (ADC) a 24-bit e un sistema di elaborazione del segnale con cancellazione dell'eco e soppressione del rumore

- Sistema di tracciamento dello scheletro: possono essere tracciate fino a 6 persone, inclusi due giocatori attivi per ognuno dei quali vengono tracciati 20 punti che compongono lo scheletro (fig: 1.5 e fig: 1.6)



**Fig. 1.5:** Riconoscimento e tracciamento dei giocatori.



**Fig. 1.6:** Disegno delle giunture tracciate dal Kinect.

## Kinect One



**Fig. 1.7:** Kinect One.

Il **Kinect One** (fig: 7.1), o *Kinect 2.0*, è la nuova periferica della Microsoft sviluppata per Xbox One; come la nuova console sostituisce la Xbox 360, il nuovo sensore sostituisce il Microsoft Kinect. Il nuovo dispositivo migliora il modello originale in ogni caratteristica, infatti è stato ingrandito il campo

visivo, sono stati utilizzati sensori con una risoluzione maggiore che quindi hanno aumentato la qualità e l'accuratezza dei dati, è stato aumentato il numero di giunture tracciate di uno scheletro portandole da 20 a 25 ed è stato portato a 6 il numero di giocatori attivi (e quindi di scheletri tracciati) contemporaneamente. Inoltre sono state aggiunte le funzionalità di rilevazione del battito cardiaco (tramite le vibrazioni del viso), dello sforzo muscolare (tramite l'analisi della postura del corpo) e dell'orientamento degli arti. Un'altra importante miglioria è stata l'aggiunta del riconoscimento delle espressioni del viso e quindi degli stati d'animo.

L'uscita sul mercato della versione del Kinect One per Windows è prevista per l'estate 2014.

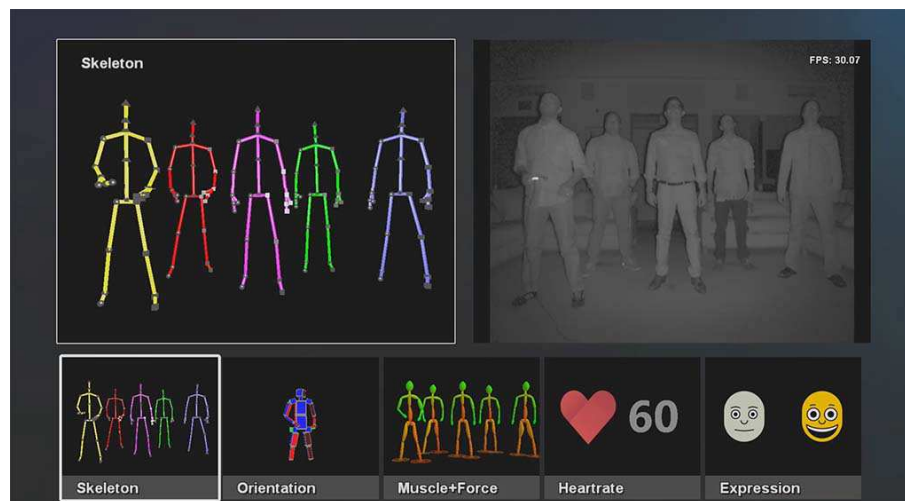


Fig. 1.8: Esempio dell'applicazione base del Kinect One.

## Specifiche tecniche

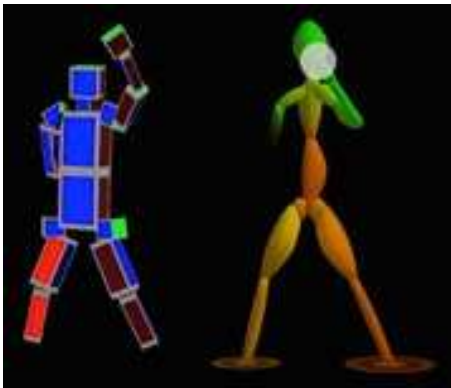


**Fig. 1.9:** *Opened Kinect One.*

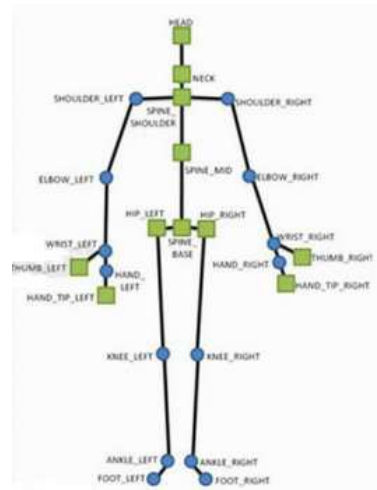
Il nuovo dispositivo Kinect One utilizza molto della tecnologia del suo predecessore, ma è migliorato in ogni aspetto. Di seguito sono elencate le principali migliorie nelle specifiche tecniche:

- Campo visivo verticale: 60°
- Campo visivo orizzontale: 70°
- Intervallo di inclinazione motorizzato: nessun motore per aggiustare l'inclinazione
- Risoluzione del sensore profondità: 512x424
- Risoluzione e frames al secondo del sensore colori: 1920x1080 a 30fps
- Risoluzione del sensore infrarossi: 512x424
- Sistema di tracciamento dello scheletro:
  - possono essere tracciati fino a 6 giocatori attivi

- per ogni giocatore vengono rilevati 25 punti che compongono lo scheletro (fig: 1.11)
- riconoscimento della rotazione degli arti (fig: 1.10)
- tracciamento della testa parallelo al tracciamento del corpo
- tracciamento delle dita: la mano viene modellata come una “pinza” dove il pollice da una parte e il resto delle dita dall'altra sono i *becchi*
- tracciamento delle espressioni facciali e riconoscimento del viso
- mappatura dello sforzo muscolare (fig: 1.10)



**Fig. 1.10:** Mappa dell'orientamento degli arti e dello sforzo muscolare.



**Fig. 1.11:** Disegno delle giunture tracciate dal Kinect One.

- Altre funzionalità:
  - monitoraggio del battito cardiaco
  - riconoscimento vocale
  - tracciamento dei joypad

**Xtion****Fig. 1.12:** *Xtion.*

Io **Xtion** (fig: 1.12) è un dispositivo Asus pensato per sviluppare applicazioni motion sensing in ambito non solo ludico ma anche commerciale, industriale, educativo e medico (come la riabilitazione fisica).

Il funzionamento e le componenti utilizzate sono molto simili a quelle del Microsoft Kinect, tanto che tramite la libreria OpenNI è possibile scrivere applicazioni completamente compatibili con entrambi i sensori. Anche se le prestazioni di questa periferica sono leggermente migliori di quelle del Microsoft Kinect, non ha avuto lo stesso successo commerciale: cosa principalmente dovuta al fatto che non è accoppiata ad una console come il sensore Microsoft.

**Specifiche tecniche**

Di seguito sono elencate le specifiche tecniche:

- Campo visivo verticale: 45°

- Campo visivo orizzontale: 58°
- Intervallo di inclinazione motorizzato: nessun motore per aggiustare l'inclinazione
- Raggio d'azione del sensore profondità: da 0.8m a 3.5m
- Risoluzione e frames al secondo del sensore profondità:
  - 320x240 60fps
  - 640x480 30fps
- Risoluzione del sensore colori: 1280x1024
- Funzionalità:
  - riconoscimento dei gesti
  - tracciamento del corpo
  - riconoscimento della voce

### EyeToy



**Fig. 1.13:** *EyeToy.*

La **EyeToy** (fig: 1.13) è l'accessorio per il motion capture per la PlayStation 2. È nata come una sorta di webcam a colori per la computer vision e il



riconoscimento di gesti tramite l'elaborazione delle immagini acquisite dalla camera. Questo dispositivo, uscito nel 2003, è uno dei primi tentativi di interazione con i videogiochi utilizzando i movimenti e quindi il corpo dei giocatori stessi. La periferica montava anche un microfono per l'interazione tramite suoni. Essendo però sostanzialmente una webcam, senza alcun tipo di sensore di profondità o ad infrarossi, per funzionare correttamente necessita di un ambiente ben illuminato.

**PlayStation Eye**

**Fig. 1.14:** *PlayStation Eye.*

La **PlayStation Eye** (fig: 1.14), uscita nel 2007, è il successore della EyeToy per PlayStation 3. Questa periferica è di fatto ancora una webcam con microfono incorporato, viene però migliorato il funzionamento in ambienti poco illuminati e la risoluzione delle immagini rilevate.

## PlayStation Camera



**Fig. 1.15:** *PlayStation Camera.*

La **PlayStation Camera** ((fig: 1.15)), uscita nel 2013 e venduta assieme alla PlayStation 4, è l'ultimo dispositivo per il motion sensing della Sony. Questa periferica cambia notevolmente rispetto alle precedenti in quanto il singolo microfono viene sostituito con un array di 4 microfoni in modo da rilevare anche la direzione dei suoni e la singola telecamera viene sostituita da 2 camere ad alta definizione in modo da poter rilevare anche le profondità tramite operazioni di triangolazione sulle immagini acquisite simultaneamente.

### Altri dispositivi touchless

Naturalmente esistono molti altri dispositivi touchless, spesso però non sono di semplice impiego pratico o hanno dei costi eccessivi rispetto alle funzionalità che offrono. Inoltre non sempre si riescono a convertire ad altri usi se non quelli per cui sono stati progettati. Di seguito un breve elenco di alcuni dispositivi touchless:

**Tobii EyeX** Dispositivo di controllo del cursore del computer tramite il tracciamento dei movimenti dell'occhio (fig: 1.16).



**Fig. 1.16:** *Tobii EyeX.*

**LightIO Mouse e Tastiera** Mouse e tastiera touchless basate sugli infrarossi (fig: 1.17).



**Fig. 1.17:** *LightIO Mouse.*

**Leap Motion** Dispositivo che riconosce i movimenti delle dita degli utenti grazie agli infrarossi (fig: 1.18).



**Fig. 1.18:** *Leap Motion.*

### 1.1.2 Dispositivi tangibile

Con il termine *tangible* si intende, al contrario di *touchless*, una modalità di interazione col dispositivo che implica un contatto fisico di qualche tipo. Questi tipi di dispositivi sono abbastanza complementari a quelli che si basano sul paradigma *touchless*, sia dal punto di vista delle caratteristiche tecniche e sia per quanto riguarda il funzionamento vero e proprio.

Mentre i dispositivi *touchless* funzionano tramite l'analisi dei dati rilevati su una certa area esterna al dispositivo stesso, le periferiche *tangible* generalmente rilevano i dati relativi ai cambiamenti delle condizioni (come la posizione) della periferica o dell'ambiente a diretto contatto.

Solitamente i dati ricevuti da questi apparecchi sono informazioni associabili a caratteristiche fisiche dell'ambiente e quindi sono dati più facilmente analizzabili rispetto alla mole di informazioni dei dispositivi *touchless*. Un esempio classico di dispositivo *tangible* è il mouse, al movimento del quale su una superficie fisica d'appoggio è direttamente associato il movimento del cursore sul computer. Questo però rende il dispositivo di difficile utilizzo in un ambito differente da quello per il quale è stato progettato: ad esempio non si può facilmente utilizzare il mouse per altri scopi diversi dal movimento del cursore.

Questi dispositivi generalmente hanno forme e dimensioni adattabili alla superficie di contatto e questo può rendere più difficile la progettazione e l'ingegnerizzazione di tali periferiche, in quanto i vincoli possono essere molteplici. Il vincolo del contatto diretto, inoltre, rende necessario nella maggior parte dei casi l'utilizzo di un sistema di comunicazione senza fili per la trasmissione dei dati. Questo permette sicuramente una maggior libertà di movimento spaziale non avendo i vincoli dei fili (si pensi per esempio ai segnalatori GPS che possono funzionare virtualmente ovunque sulla superficie terrestre) però

rende più difficile l'alimentazione del dispositivo stesso che deve essere dotato di batterie che comunque necessiteranno di essere ricaricate o sostituite.

Un'altra questione importante è l'usura del dispositivo derivante dal contatto fisico diretto: si considerino per esempio i sensori per il monitoraggio dell'attività sportiva, i quali non solo vengono a contatto col sudore, ma devono anche resistere a condizioni ambientali particolari, come il troppo caldo o troppo freddo nel caso di un sensore di monitoraggio della corsa per un atleta che si allena sia d'estate che d'inverno.

Come già accennato precedentemente, questo paradigma di funzionamento è più invasivo rispetto al paradigma touchless, in quanto la presenza di un oggetto estraneo a contatto con l'ambiente da monitorare potrebbe alterare l'ambiente stesso: per esempio un atleta potrebbe trovare scomodo o difficile correre con un dispositivo attaccato al suo corpo.

Fanno parte di questa categoria anche i dispositivi “wearable” (letteralmente “indossabili”), ossia vestiti ed accessori che integrano sensori e altre avanzate tecnologie elettroniche. Esempio di periferiche indossabili sono i **Google Glasses** o gli smart watch.

Di seguito nell'elaborato verranno presentati alcuni dispositivi tangibile.

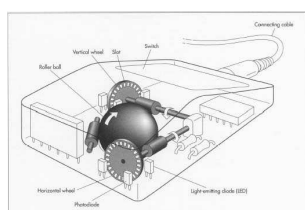
### **Mouse**

Il **mouse** è probabilmente il dispositivo tangibile più conosciuto e diffuso. Utilizzato come periferica di input, è in grado di inviare in ingresso al sistema un comando da parte dell'utente, in modo tale che ad un suo movimento su una base solida piana ne corrisponda uno analogo da parte di un indicatore sullo schermo detto puntatore. È inoltre dotato di uno o più tasti ai quali possono essere assegnate varie funzioni.

Il primo prototipo di mouse (fig: 1.19) viene realizzato nel 1967 da Douglas Engelbart, ma i primi tentavi di realizzazione di un comodo sistema di input in ambito militare risalgono al 1947 con il “trackball”. Il primo computer ad utilizzare il mouse come sistema di input è lo Xerox Alto nel 1973 e da allora questo dispositivo ha conosciuto il suo successo parallelamente al successo dei personal computer. Le tecnologie utilizzate nei mouse hanno essenzialmente tre finalità: rilevare il movimento del mouse, inviare il dato al dispositivo a cui il mouse è collegato e permettere l’attivazione di funzioni tramite i tasti.



**Fig. 1.19:** *Primo prototipo di mouse.*

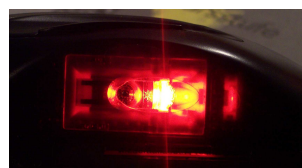


**Fig. 1.20:** *Schema di un mouse meccanico.*

I primi mouse erano di tipo meccanico (fig: 1.20): in essi una pallina a contatto con la superficie di appoggio del dispositivo metteva in movimento due encoder (uno per l’asse X e uno per l’asse Y) che trasferivano

le informazioni sugli spostamenti della periferica al computer.

In seguito si è passati a sistemi ottici di rilevazione del movimento nei quali erano presenti un LED (fig: 1.21) e un fotodiodo per rilevare il movimento relativo rispetto alla



**Fig. 1.21:** *LED di un mouse ottico.*

superficie di appoggio. Un’evoluzione di questi sistemi ottici è stata la sostituzione dei LED con dei laser per l’illuminazione del piano d’appoggio.

Inizialmente il dispositivo era collegato al computer tramite un filo, ma ulteriori sviluppi della tecnologia hanno portato a realizzare mouse senza

fili.

### Wii Remote



**Fig. 1.22:** *Wii Remote.*

Il **Wii Remote** (fig: 1.22), o *Wii-mote*, è il controller principale per la console Wii della Nintendo. La principale caratteristica del dispositivo è il motion sensing, che consente al giocatore di interagire con le ap-

plicazioni grazie al riconoscimento dei gesti e delle posizioni in tre dimensioni tramite l'uso di accelerometri e sensori ottici. Un'altra caratteristica importante è la possibilità di espandere il controller tramite moduli aggiuntivi.

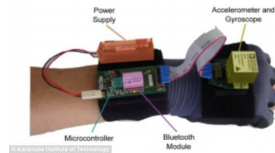
Il Wii remote è stato progettato per l'utilizzo ad una sola mano, con una forma completamente originale rispetto ai controller tradizionali delle altre console, per rendere più semplice ed intuitivo per i giocatori (esperti e neofiti) il nuovo paradigma di interazione tramite gesti e movimenti. La comunicazione con la console avviene tramite segnali radio Bluetooth che funzionano fino a 10 metri di distanza dalla piattaforma consentendo una notevole mobilità e libertà di movimento ai giocatori.

La Nintendo Wii è risultata essere la console casalinga più venduta tra quelle della settima generazione e di tutte le precedenti di Nintendo, nonché di una di quelle più diffuse al mondo.

### Airwriter

**Airwriter** (fig: 1.23) è un dispositivo tecnologico che permette agli utenti di scrivere su un altro dispositivo semplicemente mimando nell'aria il gesto di

scrivere. Airwrite è stato realizzato nella forma di un guanto contenente sensori che registrano i movimenti della mano.



**Fig. 1.23:** *Airwriter.*

Il dispositivo riconosce il tracciato della mano e delle dita nell'aria mentre si scrive ed invia al computer tutte le informazioni che vengono decodificate e tradotte in caratteri e parole.

Il sistema riesce a riconoscere e distinguere le lettere maiuscole e oltre 8000 parole. Essendo solo un prototipo, per ora, si ha circa l'11% di errore, anche se il sistema, tramite adattamento e l'autocorrezione, riesce a ridurre gli errori al 3%.

### Myoelectric Armband



**Fig. 1.24:** *Myoelectric Armband.*

**Myoelectric Armband** (fig: 1.24) è uno strumento che consente il controllo di altri dispositivi tramite bluetooth usando i gesti delle dita e della mano. Indossato come una fascia sull'avambraccio, rileva i mo-

vimenti dei muscoli e li traduce in gesti per l'interazione col computer. Il numero di gesti e di movimenti riconosciuti è molto elevato, anche in considerazione del fatto che possono essere utilizzati congiuntamente due dispositivi (uno per braccio). La grande comodità di un sistema del genere è che lascia le mani completamente libere, anche perché il riconoscimento dei gesti può essere abilitato o disabilitato con un comando specifico in modo da evitare di trasmettere per errore. I campi di applicazione sono molteplici, dall'azione come telecomando per il controllo dei contenuti multimediali ad applicazioni



video-ludiche più impegnative, passando per la guida dei dispositivi senza pilota.

### Moven

La tuta **Moven** della Xsens (fig: 1.25) è uno strumento per il motion capture (MoCap) utilizzato nei campi dell'intrattenimento, militare, sportivo o medico. La nuova tecnologia è adeguata per l'utilizzo in animazioni (film e giochi), nell'addestramento e nella simulazione, nonché nelle ricerche di biomeccanica e in altre aree. Il dispositivo si basa sull'analisi real-time e la cattura inerziale dei movimenti del corpo umano senza alcun vincolo derivante dall'impiego di telecamere o emettitori.



**Fig. 1.25:** La tuta Moven della Xsens.

In ambito medico viene usata per la valutazione funzionale dei pazienti, soprattutto pre e post trattamento (chirurgico, farmaceutico, riabilitativo, uso di ortesi o protesi, ecc.). In ambito sportivo l'uso è analogo, ma la valutazione è del gesto sportivo. Nell'ambito dello spettacolo questa tecnica è usata negli effetti speciali

di molti film per riprodurre movimenti realistici e allo stesso modo la motion capture viene usata anche in ambito video-ludico per ricreare con precisione e realismo il movimento dei personaggi virtuali del gioco. Un esempio di utilizzo di questa tecnica in ambito cinematografico è il personaggio "Ted" nell'omonimo film di Seth MacFarlane.

### Beast Technology Sensor



**Fig. 1.26:** *Beast Technology Sensor.*

Il **Beast Technology Sensor** (fig: 1.26) è un sensore per la valutazione delle prestazioni sportive degli atleti durante gli allenamenti. Nato dall'idea di tre giovani ingegneri e supportato dalla fondazione del Po-

litecnico di Milano, questo dispositivo si basa sui dati raccolti da sensori ad alta precisione e inviati in tempo reale a tablet e smartphone per l'analisi. La periferica, che può essere applicata ai pesi, ai macchinari o all'atleta stesso, si concentra sulle vibrazioni delle fasce muscolari e sulla stabilità dei movimenti, permettendo di monitorare lo stato di affaticamento del corpo, in modo da prevenire gli infortuni. I parametri valutati sono la forza, la velocità e l'esplosività dei movimenti.

La FIGC (Federazione Italiana Giuoco Calcio) ha già adottato questo sistema per monitorare gli allenamenti della nazionale italiana in vista del campionato mondiale di calcio 2014 che si è svolto in Brasile.

### Sensori di monitoraggio dell'attività sportiva



**Fig. 1.27:** *Sensore per il monitoraggio del battito cardiaco.*

Di sistemi per il monitoraggio delle condizioni fisiche, specialmente del battito cardiaco, durante gli allenamenti domestici, negli ultimi anni ne sono stati messi in vendita di tutti i tipi e costi. Questo lo si deve specialmente all'avvento degli smartphone,

che hanno permesso di avere dei piccoli centri di raccolta e analisi dati sem-

pre a disposizione, anche durante gli allenamenti. Il funzionamento di questi dispositivi è molto semplice in quanto rilevano dei dati, come il battito cardiaco o il numero di passi, e li trasmettono ad uno smartphone che li analizza e li mostra in un formato comprensibile all'utente, come grafici e statistiche, grazie ai quali egli può mantenere costantemente controllati i suoi progressi e le sue condizioni fisiche.

Esistono anche dei sistemi più complessi utilizzati in ambito riabilitativo, i quali, generalmente applicati a tutori o protesi, forniscono i dati sul recupero del paziente e sulla correttezza degli esercizi di riabilitazione.

## **1.2 Applicazioni**

Anche il panorama degli applicativi per l'analisi delle immagini con lo scopo di riconoscere e valutare una situazione o un movimento è molto vasto. L'utilizzo di sistemi del genere avviene specialmente nell'ambito del riconoscimento di movimenti a scopi video-ludici, della sicurezza domestica, della sicurezza e del monitoraggio di tratti stradali e della valutazione delle prestazioni sportive.

Alcuni di questi sistemi potrebbero essere facilmente sostituiti da applicativi funzionanti tramite l'analisi dei dati derivanti da dispositivi tangibile applicati direttamente sull'area di interesse. Per esempio un sistema di conteggio del traffico stradale (che, tramite l'analisi delle immagini di una videocamera, conta i mezzi e magari li classifica anche in base alla tipologia) che passano in un determinato tratto stradale, potrebbe essere sostituito qualora ogni mezzo avesse a bordo un qualche sensore (anche un GPS) che comunichi con il sistema di conteggio. Un altro esempio sono i sistemi attuali per il rilevamento delle intrusioni basati su rilevatori di movimento che sono equivalenti ad un

sistema di rilevamento delle intrusioni basato sull'analisi delle immagini delle telecamere di sorveglianza.

Attualmente il funzionamento di questi sistemi di analisi avviene principalmente tramite l'estrazione degli elementi di interesse con un processo di rimozione dello sfondo e blob detection, che vanno a discriminare gli oggetti in movimento in un certo ambiente. Con la giusta elaborazione è possibile ricavare informazioni sulla velocità, sulle dimensioni e sulla traiettoria di tali oggetti in movimento. Inoltre queste tecniche sono applicabili facilmente su qualsiasi formato video e quindi non richiedono strumenti tecnologici particolari o complessi e costosi.

Di seguito verrà approfondito l'uso di tali sistemi di analisi del movimento nell'ambito dello sport.

Il ruolo che le tecnologie per le comunicazioni e l'informatica hanno nell'ambito dell'allenamento sportivo è cresciuto notevolmente negli ultimi tempi in numerose aree, incluso il monitoraggio delle prestazioni. Infatti, le nuove tecnologie video sono già da lungo tempo utilizzate dagli allenatori per la registrazione e lo studio delle sessioni di allenamento e delle competizioni per migliorare le modalità degli allenamenti stessi e per capire come migliorare le prestazioni degli atleti.

L'idea è, quindi, quella di riuscire a realizzare una piattaforma di video analisi per gli allenatori che possa fornire delle informazioni utili che possano essere capite facilmente dagli atleti. Infatti le informazioni fornite da un sistema di video analisi potrebbero dare agli allenatori e agli atleti la possibilità di raggiungere un vantaggio competitivo sui loro avversari. Chiaramente esistono molti fattori che influenzano i cicli di allenamento, come l'esperienza degli allenatori e anche i moderni sistemi biomeccanici di training, ma già avere un sistema di allenamento tramite l'analisi video potrebbe migliorare



### 1.2.2 Dartfish Simulcam e StroMotion



**Fig. 1.29:** Immagini elaborate con Simulcam.

**Dartfish Simulcam e StroMotion** sono software che consentono la sovrapposizione di filmati, in modo da poter confrontare direttamente differenti prestazioni di uno stesso atleta o di due diversi sportivi, e la realizzazione di traiettorie per riuscire ad individuare e a capire l'evoluzione della prestazione sportiva.

Il primo serve per presentare in ogni istante di tempo la posizione relativa, le velocità e le posture di due competitori su uno stesso filmato (fig: 1.29): questo mette in luce il contrasto e il confronto fra le loro posizioni, i loro stili e le traiettorie.

Il secondo crea un motteggio video nel quale vengono illustrate le traiettorie che descrivono l'evoluzione dei movimenti, la tecnica, l'esecuzione e le tattiche di un atleta nello spazio e nel tempo (fig: 1.30).

Questi programmi funzionano insieme fornendo degli ottimi strumenti di analisi delle prestazioni sportive.



**Fig. 1.30:** Immagine elaborata con StroMotion.

### 1.2.3 Hawk-Eye



**Fig. 1.31:** *Telecamera per l'analisi di Hawk-Eye nel tennis.*

**Hawk-Eye** rappresenta il più avanzato sistema tecnologico per l'allenamento nel cricket e nel tennis. Il sistema permette ai giocatori di analizzare istantaneamente le loro prestazioni tramite il tracciamento delle palle e un avanzato sistema di analisi delle prestazioni biomeccaniche. Il software fornisce l'accesso alle informazioni relative ai propri movimenti che un tempo erano accessibili solo agli atleti professionisti seguiti da allenatori esperti. L'applicativo, nato inizialmente con lo scopo di analizzare le decisioni nel cricket, si è evoluto fino a diventare un utilissimo strumento di supporto agli allenamenti nel cricket e nel tennis, ma è in fase di sviluppo anche il supporto ad altri sport.

### 1.2.4 ProZone

**ProZone** si colloca nell'ambito del football americano e del calcio. Il sistema fornisce una dettagliata analisi delle prestazioni di una squadra e della squadra avversaria durante un incontro. L'analisi viene effettuata tramite una profilatura dei singoli giocatori e dell'intera squadra. Vengono valutate informazioni relative agli schemi adottati, ai cambi dei giocatori, e alle prestazioni vere e proprie, cioè relative alla velocità dei giocatori, alla resistenza e al numero di errori (fig: 1.32). Dall'analisi di questi dati si possono capire i punti di forza e le debolezze della propria squadra, ma anche quelli delle

squadre avversarie permettendo agli allenatori di studiare strategie specifiche per affrontare ogni incontro.

Attualmente questo sistema è diffuso in oltre 300 club diversi di football americano e di calcio.

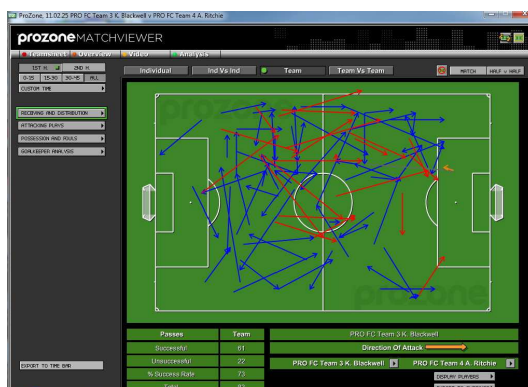


Fig. 1.32: Esempio dell'applicativo ProZone.



# Capitolo 2

## Contesto sociale

In questo capitolo si parlerà del contesto sociale, delle cause e di una possibile soluzione al continuo aumento nella società moderna del numero di bambini con **DSA** (*Disturbi Specifici dell'Apprendimento*). Quindi verrà mostrato e contestualizzato il problema specifico al quale questo lavoro di tesi cerca di trovare una soluzione.

### 2.1 DSA

I **Disturbi Specifici dell'Apprendimento** (*DSA*) sono disturbi nell'apprendimento di alcune abilità specifiche, a causa di un non adeguato sviluppo dei prerequisiti strumentali didattici, come la convergenza visiva o la motilità oculare, che non permettono una completa autosufficienza nell'apprendimento, poiché impediscono l'acquisizione delle attività fondamentali che servono per la trasmissione della conoscenza, come, ad esempio, la lettura, la scrittura e il far di conto.

I disturbi specifici di apprendimento più solitamente riscontrati sono:

- dislessia

- disgrafia
- disortografia
- disturbo specifico della scrittura
- discalculia

### 2.1.1 Dislessia

La **dislessia** non è una malattia o un problema mentale. La sua principale manifestazione consiste nella difficoltà che hanno i soggetti colpiti a leggere velocemente e correttamente ad alta voce, ma dato che leggere è un complesso processo mentale, la dislessia ha svariate espressioni e forme.

Questa sindrome sembra strettamente legata alla morfologia stessa del cervello, e secondo la definizione più recente “la dislessia è una disabilità dell’apprendimento di origine neurobiologica. Essa è caratterizzata dalla difficoltà a effettuare una lettura accurata e/o fluente e da scarse abilità nella scrittura (ortografia). Queste difficoltà derivano tipicamente da un deficit nella componente fonologica del linguaggio, che è spesso inatteso in rapporto alle altre abilità cognitive e alla garanzia di un’adeguata istruzione scolastica. Conseguenze secondarie possono includere i problemi di comprensione nella lettura e una ridotta pratica nella lettura che può impedire una crescita del vocabolario e della conoscenza generale”.

Se questo problema non viene identificato nei primi anni della scuola primaria, tramite la valutazione di una persona esperta nel campo dei disturbi dell’apprendimento, le conseguenze possono risultare di una certa gravità. Durante la scuola dell’infanzia è possibile effettuare una valutazione dei prerequisiti per l’abilità di lettura, in modo da poter intervenire precocemente e quindi rafforzare quelle competenze che si riscontrano essere carenti.

Un soggetto dislessico sottoposto a un metodo d'apprendimento usuale, riuscirà solo con un grande dispendio di energia e concentrazione a ottenere risultati che per i suoi compagni e per l'insegnante sono quasi banali, questo porta il bambino a vivere una serie di insuccessi a catena senza che ne riesca a comprendere il motivo, e generalmente i risultati insoddisfacenti in ambito scolastico vengono attribuiti allo scarso impegno, al disinteresse verso le varie attività e alla distrazione.

Questi alunni, oltre a sostenere il peso della propria apparente incapacità, se ne sentono anche responsabili e colpevoli, e l'insuccesso prolungato genera una scarsa autostima che scaturisce in un disagio psicologico che, nel tempo, può strutturarsi e dare origine a un'elevata demotivazione all'apprendimento e a manifestazioni emotivo-affettive particolari quali la forte inibizione, l'aggressività, gli atteggiamenti istrionici di disturbo alla classe e, in alcuni casi, la depressione.

### 2.1.2 Disgrafia

La **disgrafia** è un disturbo specifico della scrittura, caratterizzata dalla difficoltà a riprodurre segni alfabetici e numerici.

Alcune delle caratteristiche tipiche di questo disturbo sono:

- impugnatura della penna in modo scorretto
- ridotta capacità di utilizzo dello spazio a disposizione per scrivere
- scarso rispetto dei margini del foglio
- scarso rispetto delle linee guida di scrittura
- pressione irregolare della mano sul foglio
- difficoltà nella copia autonoma di figure geometriche

- difficoltà nella copia di parole o frasi (specialmente dalla lavagna)
- ritmi di scrittura alterati

Le abilità di base coinvolte sono: la coordinazione nel movimento, l'orientamento e l'organizzazione spazio-temporale, la coordinazione oculo-manuale, la consapevolezza dello schema corporeo, la memoria sequenziale, il linguaggio, il senso del ritmo, il processo di simbolizzazione (rallentato) e la capacità di discriminazione suoni-segni.

### 2.1.3 Disortografia

La **disortografia** è un disturbo specifico della scrittura che porta a non rispettare le regole di trasformazione del linguaggio parlato in linguaggio scritto e non è imputabile alla mancanza di esperienza o a deficit motori o sensoriali. I sintomi principali possono essere: omissioni di grafemi o di parti di parola, sostituzioni di grafemi e inversioni di grafemi.

La disortografia è la difficoltà a tradurre correttamente i suoni che compongono le parole in simboli grafici; essa si presenta con errori sistematici che possono essere così distinti:

**confusione tra fonemi simili** : il soggetto confonde cioè i suoni alfabetici che si assomigliano, ad esempio F e V, T e D, B e P, L e R

**confusione tra grafemi simili** : il soggetto ha difficoltà a riconoscere i segni alfabetici che presentano somiglianza nella forma, ad esempio: b e p

**omissioni** : il soggetto tralascia alcune parti della parola, ad esempio la doppia consonante (palla-pala), la vocale intermedia (fuoco-foco), la consonante intermedia (cartolina-catolina)

**inversioni** : questo tipo di errore riguarda le inversioni nella sequenza dei suoni all'interno della parole, ad esempio: sefamoro-semaforo

Le abilità di base coinvolte sono: le capacità di linguaggio, capacità di percezione e discriminazione visiva e uditiva, organizzazione e integrazione spazio-temporale, simbolizzazione grafica.

#### 2.1.4 Disturbo specifico della compitazione

Il **disturbo specifico della compitazione** consiste in una difficoltà nel suddividere in sillabe le parole, di solito associata a problemi di disgrafia ma non fonetici.

La principale caratteristica di questo problema è un disturbo specifico e significativo nello sviluppo delle abilità di compitazione. In assenza di una storia di disturbi specifici della lettura, è un disturbo che non è dovuto unicamente ad un'età mentale immatura, a problemi di vista, o inadeguato livello scolastico. Le abilità di pronunciare e scrivere correttamente le parole sono entrambe compromesse.

#### 2.1.5 Discalculia

La **discalculia** si può definire come un disturbo delle abilità numeriche e aritmetiche. Riguardo alla discalculia si distinguono due profili, caratterizzati da:

1. debolezza nella strutturazione cognitiva delle componenti numeriche
2. compromissioni a livello procedurale e di calcolo

La prima tipologia di discalculia è da intendersi come una sorta di “cecità ai numeri”, ovvero, in altri termini, come l'incapacità del soggetto di comprendere le numerosità e, di conseguenza, di manipolarle. Nei bambini con

questo profilo di discalculia si evidenziano significative difficoltà fin dai primi anni di vita nell'esecuzione dei compiti più semplici: riconoscimento di quantità, conteggi, subitizing, comparazioni, ecc. Ovviamente, tutte queste difficoltà che compromettono i meccanismi cognitivi di base costituiscono un impedimento all'acquisizione delle abilità matematiche superiori.

Il secondo profilo di discalculia si riferisce invece in modo specifico alla compromissione del processo di acquisizione delle procedure e degli algoritmi del calcolo.

### 2.1.6 Cause principali

La principale causa dei DSA è la mancanza di uno sviluppo adeguato di tutti i prerequisiti neuromotori all'apprendimento, quali, ad esempio:

**convergenza visiva** : è il movimento di rotazione dei bulbi oculari per modificare l'assetto degli assi visivi degli occhi sul piano orizzontale in modo da formare un angolo con il vertice su un oggetto osservato a distanza finita

**motilità oculare** : è la capacità di modificare in modo reversibile la posizione degli occhi

**indipendenza visiva** : è la capacità di rispondere contemporaneamente a due stimolazioni sensoriali diverse, visiva e uditiva

**coordinazione occhio-mano** : è la capacità di riuscire a coordinare i movimenti della mano con l'occhio.

Il mancato sviluppo di questi requisiti deriva principalmente dalla mancanza di una adeguata stimolazione sensoriale negli anni della maturazione neuro-senso-motoria (cioè entro i 6 anni di vita).

Il calo di questi stimoli sensoriali è direttamente collegato alla drastica diminuzione delle attività motorie dei bambini avvenuta principalmente negli ultimi 70 anni a causa dei grossi cambiamenti della società italiana, in particolare sono stati individuati alcuni aspetti principali all'origine di questo fenomeno:

- decremento demografico
- effetto “mamma sharing”
- spazi inadeguati
- genitori lavoratori

### **Decremento demografico**

Negli ultimi 70 anni in Italia si è verificato un costante calo del numero medio di bambini per nucleo familiare, e quindi una sostanziale diminuzione del numero di nascite annuo che comporta una riduzione del numero di bambini. Secondo i dati ISTAT, nel 1946 il numero medio di bambini per ogni nucleo familiare era di 3,01, mentre nel 2013 questo numero è sceso a 1,31 considerando solo le famiglie italiane (1,41 considerando anche le famiglie di stranieri). Inoltre, se si dovessero escludere dal conteggio i bambini con una differenza di età troppo grande (oltre i 5 anni), questo numero scenderebbe ulteriormente portando di fatto ad avere un singolo figlio per famiglia, o, se si preferisce, 2 “figli unici”.

Nelle famiglie dove ci sono solo “figli unici”, gli stimoli dati ai bambini, fino all'ingresso nella scuola dell'infanzia, provengono principalmente solo da adulti (genitori, nonni, zii) i quali interagiscono quasi unicamente per le necessità primarie e non per fornire stimoli aggiuntivi.

Nelle famiglie dove invece ci sono due o più bambini piccoli, questi interagiscono attivamente fra loro in modo continuo e intenso, giocando, litigando e in generale trascorrendo il tempo insieme. Queste interazioni forniscono una gran quantità di stimoli sensoriali continui che portano ad un completo sviluppo degli prerequisiti all'apprendimento.

Invece nelle famiglie dove un figlio non ha un fratello (con una piccola differenza di età) con cui interagire, si perdono moltissimi di questi stimoli che andrebbero recuperati in altri modi.

Inoltre si deve considerare che generalmente al crescere del numero di figli di una famiglia, diminuisce l'apprensione e la preoccupazione per i figli, in quanto aumenta l'esperienza e la confidenza dei genitori, e questo porta a concedere ai bambini una sempre maggior libertà di movimento e autonomia (spesso facendo gestire i figli più piccoli dai fratelli più grandi). Questa maggior libertà di muoversi, esplorare e provare, comporta un gran numero di stimolazioni che i bambini iperprotetti dai genitori molto apprensivi, generalmente non ricevono.

### **Effetto “Mamma Sharing”**

Una pratica molto diffusa un tempo, ma che sta lentamente scomparendo al crescere della diffidenza e della paura nei confronti degli altri, è il fenomeno del “Mamma Sharing”, cioè l'organizzazione e la divisione dei compiti relativi ad un certo numero di figli (come il trasporto a scuola, al centro sportivo, ai corsi pomeridiani, ecc.) fra i genitori degli stessi (generalmente le mamme). La disponibilità dei genitori a prendersi carico alternativamente dei figli di altri e, ovviamente, ad affidarli ad altri genitori, aumenterebbe notevolmente le possibilità per i bambini di interagire coi coetanei. Queste interazioni, generalmente di tipo ludico-motorio, sono un contributo importantissimo per



lo sviluppo dei prerequisiti.

Questo concetto di “Mamma Sharing” non è solo relativo alla gestione degli impegni dei figli, ma è relativo anche alla gestione del tempo di gioco degli stessi. Infatti, una volta, era molto frequente che una mamma si prendesse carico per un pomeriggio intero della sorveglianza di molti bambini per conto di amici, parenti e vicini, e a lei era affidato, oltre al ruolo di guardiano della sicurezza dei bambini stessi, anche il compito di educatrice, nel senso che se c’era da impartire una lezione (o una punizione) ad un bambino, la mamma di turno era autorizzata dalle altre non presenti. Oggi è difficile trovare un genitore che si prenda la responsabilità di gestire anche i figli di altri, non solo perché è caduta la fiducia nel prossimo e quindi difficilmente questi bambini gli verrebbero affidati, ma anche perché se un genitore provasse ad impartire una lezione (o una punizione) ad un figlio non suo, rischierebbe di incorrere nelle ire e nelle ritorsioni (anche legali) dei genitori di quel bambino.

Come già detto, per un bambino la perdita di queste interazioni (e quindi di stimoli) coi coetanei, costituisce un possibile problema per lo sviluppo dei prerequisiti all’apprendimento.

### **Spazi inadeguati**

Un’altra possibile fonte di stimoli, per i bambini, potrebbe essere la semplice libertà di movimento e d’azione all’interno della casa. Sfortunatamente la maggior parte delle famiglie non ha questa possibilità, e inoltre, a differenza di una volta, oggi spesso viene preclusa anche la possibilità di muoversi e di giocare nei cortili e nei giardinetti condominiali dai regolamenti dei condomini.

A questo si aggiunge una sempre crescente, e spesso infondata, paura per i giardini e le aree di gioco pubbliche, che spingono i genitori a vietare ai figli

di frequentarle liberamente, riducendo ulteriormente le fonti di stimoli e di interazione con altri bambini.

### **Genitori lavoratori**

Un altro problema delle moderne famiglie, è la scelta, spesso obbligata, di entrambi i genitori di lavorare a tempo pieno, perdendo la figura della mamma casalinga. Questa scelta però porta ad una notevole riduzione nel tempo da dedicare ai figli che quindi vengono fatti intrattenere dalla tecnologia (videogiochi, televisione, ecc.). Questo, non solo provoca una diminuzione diretta delle interazioni con gli adulti, ma riduce anche le possibili interazioni con altri bambini, infatti la possibilità di poter “parcheggiare” comodamente il figlio davanti ad un dispositivo di intrattenimento, spinge alla diminuzione della ricerca di altri mezzi di intrattenimento (cioè altri bambini), anche se gli stimoli derivanti da questi mezzi tecnologici sono praticamente nulli se confrontati con quelli di un’interazione con degli altri bambini.

## 2.2 Movi-Mente



Fig. 2.1: Logo dell'associazione "Movi-Mente ASD".

Se la causa profonda dell'aumento del numero di bambini con DSA è da ricercarsi nella mancanza di stimoli sensoriali, la soluzione più evidente è quella di supplire a questa carenza somministrando ai bambini gli stimoli sensoriali che gli mancano.

Partendo da questo concetto, viene ideato il progetto educativo e neuromotorio "Movi-Mente" che propone un percorso di attività educative e motorie specifiche per fornire quegli stimoli fondamentali per lo sviluppo dei prerequisiti all'apprendimento dei bambini in età prescolare. Tale progetto nasce nella palestra di Judo "Le Sorgive" di Solferino (MN) nel 2005, da questo contesto sportivo deriva il suo primo nominativo *JudoGiocando*, tuttavia tale pratica motoria può essere adatta per qualsiasi ambiente educativo, tanto che altre associazioni sportive non nell'ambito del Judo e alcune scuole dell'infanzia hanno aderito all'iniziativa.

Il progetto trae le sue origini dalla collaborazione a livello teorico e pratico di pedagogisti, psicologi e logopedisti professionisti con il titolare della palestra. Insieme hanno contribuito all'impianto teorico e all'organizzazione pratica di un corso su misura per bambini dai 3 ai 6 anni che presentasse, a livello

ludico, degli esercizi motori funzionali allo sviluppo motorio e intellettuale dei soggetti, e a tutta la validazione scientifica di tali pratiche.

Nel progetto viene prestata una particolare attenzione educativa per la crescita del bambino in età prescolare, privilegiando un percorso di crescita idoneo alla sua specifica età, basato sul movimento. L'attività motoria non ricopre più, quindi, solo un ruolo secondario nella vita del bambino, ma deve divenire elemento fondante dell'esperienza esistenziale di ogni individuo, tassello indispensabile per l'apprendimento e le conquiste cognitive superiori, fondamentali per il futuro inserimento nella scuola primaria.

Nel 2013 viene costituita l'associazione "**Movi-Mente ASD**" (fig: 2.1), che ha come obiettivo la salvaguardia, lo sviluppo e la diffusione del progetto.

Le idee e le teorie su cui si basa l'associazione, derivano dal pensiero di quattro grandi personaggi negli ambiti della fisioterapia, della riabilitazione, delle neuroscienze, dell'educazione e dello sport:

- Temple Fay
- Moshé Feldenkrais
- Giacomo Rizzolatti
- Jigoro Kano

### 2.2.1 Temple Fay



**Fig. 2.2:** *Temple Fay.*

Temple Fay (fig: 2.2) è stato un neurologo statunitense, professore e dirigente del dipartimento di neurochirurgia alla Temple University Medical School che si è interessato dell'aspetto filogenetico dello sviluppo del movimento, sperimentando l'utilizzazione dei riflessi patologici per ottenere l'attivazione della funzione desiderata. Egli ha chiamato questi riflessi "unlocking reflexes" perché si usavano per rompere il ciclo ipertonìa-immobilità. Il trattamento si basa quindi sull'uso di questi riflessi o risposte automatiche presenti nel paziente, indicanti il livello d'integrazione funzionale da cui iniziare. Analizzando e comparando lo sviluppo locomotore dei bambini e degli ani-

mali, nel corso dell'evoluzione della specie, possiamo selezionare vari livelli: un livello spinale di locomozione ondulatoria, simile a quello dei pesci; un livello bulbare di locomozione anfibia nell'acqua; un livello mesencefalico di locomozione anfibia a terra.

Esistono poi tre successivi livelli sottocorticali e corticali cioè:

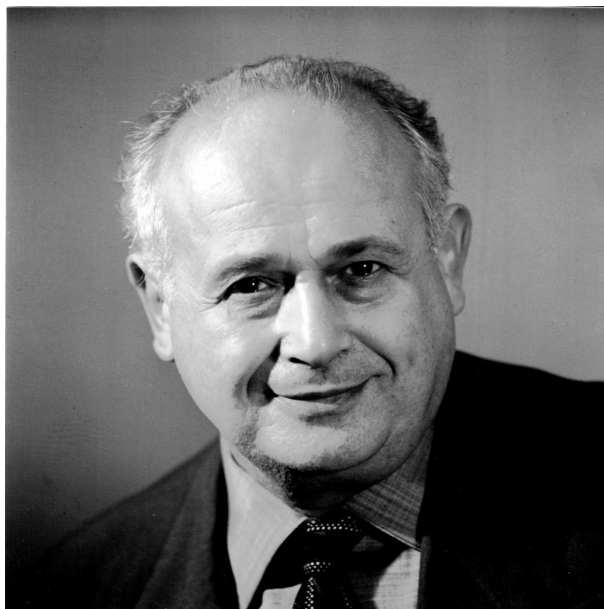
- la locomozione quadrupedica
- la locomozione a stazione eretta simile a quella dei primati
- la locomozione eretta tipicamente umana

Il trattamento ha per scopo una ricapitolazione filo-ontogenetica che può essere attivata ai livelli di sviluppo consentiti dal danno cerebrale, allo scopo di raggiungere gradatamente il livello corticale.

Per ottenere ciò, Fay inizia con la postura supina, rotazione di capo e tronco o una semplice torsione seguita da strisciamento con schema omolaterale di braccio e gamba sullo stesso lato, poi schema controlaterale di braccio e gamba sul lato opposto. Oltre che ricorrere all'evocazione passiva-attiva, attiva assistita e attiva di schemi di locomozione, Temple Fay usa i movimenti riflessi per allentare la spasticità.

Il pattern dello strisciare, eseguito passivamente e ritmicamente, oltre a ridurre la spasticità migliora la coordinazione dei movimenti. Infatti, questi schemi di movimento sono utili per la coordinazione, i movimenti reciproci, la concentrazione e il ritmo.

### 2.2.2 Moshé Feldenkrais



**Fig. 2.3:** *Moshé Feldenkrais.*

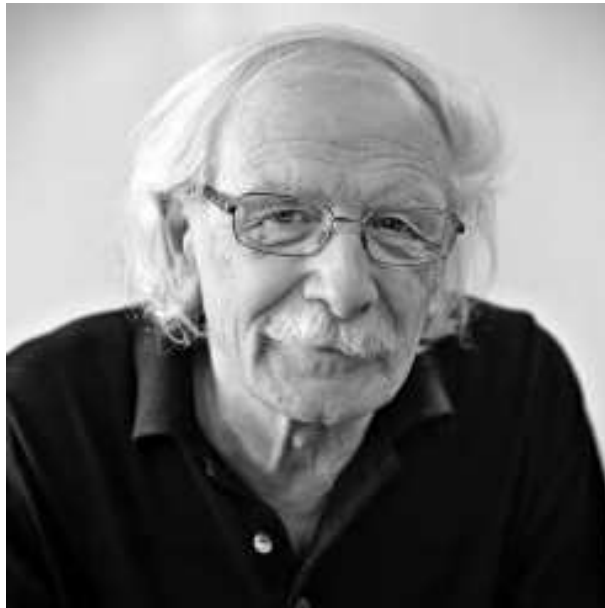
Moshé Feldenkrais (fig: 2.3) è stato un fisico e ingegnere israeliano che, in seguito a una lesione a un ginocchio, utilizzò le sue conoscenze in fisica, cibernetica e biomeccanica, per sviluppare un metodo di auto-educazione e riabilitazione attraverso il movimento.

Questo metodo si basa essenzialmente sul prendere consapevolezza dei propri movimenti e dei propri schemi motori e quindi, attraverso il movimento, di espandere la consapevolezza di sé nell'ambiente. È composto da sequenze di semplici movimenti che coinvolgono ogni parte del corpo, dall'ascolto profondo delle sensazioni che essi suscitano, dallo sviluppo di nuovi modi di muoversi, atteggiarsi e percepirsi.

Il metodo parte dall'intuizione di Feldenkrais che tutte le abitudini motorie e tutte le posture degli uomini, sono influenzate direttamente dalle convenzioni sociali che si imparano tramite l'osservazione (anticipando la scoperta dei

*neuroni specchio*). Quindi Feldenkrais ritiene che per arrivare a capire quali siano i reali movimenti naturali per gli uomini, si debba osservare i neonati perché essi sono privi di qualsiasi inquinamento sociale.

### 2.2.3 Giacomo Rizzolatti



**Fig. 2.4:** *Giacomo Rizzolatti.*

Giacomo Rizzolatti (fig: 2.4) è un neuroscienziato italiano che lavora presso l'Università degli Studi di Parma. È il coordinatore del gruppo di scienziati che nel 1992 ha scoperto l'esistenza dei **neuroni specchio**, cellule motorie del cervello umano e animale che si attivano sia durante l'esecuzione di movimenti finalizzati, sia osservando simili movimenti eseguiti da altri individui. Attraverso studi di risonanza magnetica, si è potuto constatare che i medesimi neuroni attivati dall'esecutore durante l'azione, vengono attivati anche nell'osservatore della medesima azione. Ulteriori indagini estese agli esseri umani, hanno confermato le attività neuronali sulla base di studi di neuroim-



magine; hanno inoltre condotto a concludere che tali neuroni vengono attivati anche nei portatori di amputazioni o plegie degli arti, nel caso di movimenti degli arti, ed in soggetti ipovedenti o ciechi: per esempio il rumore dell'acqua versata da una brocca in un bicchiere attiva, nell'individuo cieco, i medesimi neuroni che sono attivati in chi esegue l'azione.

Gli esperimenti sul comportamento dei soggetti, hanno confermato che i neuroni specchio sono presenti in aree del cervello molto ampie. Di volta in volta hanno presentato un'architettura e un'organizzazione cellulare diverse, semplice o sofisticata a seconda dei fenomeni emotivi che provocavano la reazione neurale. Perciò la scoperta dei neuroni specchio e lo studio della loro natura profonda permette di fare un salto nella conoscenza del cervello, di gettare le basi unitarie per indagare sui processi neurali responsabili dei rapporti fra le persone. In pratica si sta scoprendo il complesso meccanismo biologico alla base del comportamento sociale, in quanto è stata confermata la teoria dell'apprendimento di gesti e posture grazie alla sola osservazione. Ciò mette in mostra la responsabilità sociale a livello biologico di ogni individuo, in quanto, esprimendo uno stato d'animo negativo o positivo, un individuo modifica anche l'umore e le percezioni di tutti coloro che vengono in contatto con lui, i quali si predispongono ad imitarlo in modo automatico e inconsapevole.

### 2.2.4 Jigoro Kano



**Fig. 2.5:** *Jigoro Kano.*

Jigoro Kano (fig: 2.5) è il fondatore del **Judo**, prima arte marziale giapponese ad ottenere un ampio riconoscimento internazionale, e la prima a diventare uno sport olimpico ufficiale.

I valori fondanti del Judo sono: “il migliore uso dell’energia”, cioè l’ottenere la massima efficacia d’azione con il minor sforzo possibile, e “tutti insieme per crescere e progredire”, cioè l’aiuto reciproco per il miglioramento comune.

Da questi due aforismi si comprende come imparando a gestire la propria fisicità si possa crescere nel processo empatico, intuizione che predice sia

l'importanza dei collegamenti tra Corpo e Mente sia la funzione "empatica" dei neuroni specchio.

### 2.2.5 Obiettivi dell'associazione

L'attività motoria riveste un ruolo importante per l'incremento di diverse capacità funzionali alla crescita e allo sviluppo della persona, sia sul piano motorio che su quello intellettuale. Il progetto rivolge particolare attenzione a quest'ultimo aspetto, nel tentativo di incentivare l'aumento dei prerequisiti neuro-motori funzionali all'acquisizioni di competenze strumentali didattiche, come la scrittura. Infatti questa sembrerebbe una funzione prettamente cognitiva, ma è a tutti gli effetti un atto motorio che richiede certi prerequisiti, come: il controllo di capo e spalle, la convergenza visiva, la dominanza emisferica, la corretta presa di mano, la coordinazione occhio-mano, ecc.

Le attività proposte dall'associazione prevedono una serie di strategie ludiche ed educative per arrivare a eseguire in maniera quantitativamente e qualitativamente crescente cinque esercizi di base (spiegati nel dettaglio più avanti nel documento):

1. rotolamento
2. striscio
3. corsa
4. capovolta
5. prensioni di forza e brachiazioni

L'opportunità di ripetere costantemente questi esercizi con una frequenza, una durata e un'intensità sempre maggiori, permette di allenare il movimento e di costruire "un'immagine mentale" del movimento, o *schema motorio*,

che in seguito sarà appreso ed eseguito automaticamente.

La forza di tali attività è fondata soprattutto sulle afferenze derivanti dal complesso locomotorio che giungono al **Sistema Nervoso Centrale** (SNC). Tutto ciò, comporta un adeguamento, una differenziazione, una specializzazione e una coordinazione delle cellule nervose a livello midollare, del tronco cerebrale, del cervelletto, ecc., fino alle aree corrispondenti della corteccia cerebrale.

Le cellule motorie, di coordinazione, del SNC, visive, uditive, vestibolari, ecc., prontamente stimolate hanno a disposizione un'enorme quantità di sinapsi, che evolvendo potranno aumentare i collegamenti con le altre cellule per raggiungere una sempre più perfetta "organizzazione neurologica".

Le attività di ciascuna area del SNC influenzano l'attività di tutte le altre aree funzionali e ne vengono a loro volta influenzate. Quindi alla stimolazione di base determinata da un preciso esercizio motorio, si unisce una stimolazione ausiliaria proveniente dalle altre parti del corpo. Queste aree si "uniscono" facilitando la risposta locomotoria e una stimolazione profonda, la quale raggiunge le aree corticali da vie afferenti principali e periferiche (o secondarie). Ad esempio, nella corsa, oltre alle afferenze dei recettori muscolari e articolari, si "sommano" anche quelle provenienti dai recettori visivi e vestibolari. Si tratta quindi di una stimolazione propriocettiva profonda che contribuisce a una corretta organizzazione cerebrale.

Attraverso questi esercizi, avviene una stimolazione sensoriale che, a livello sottocorticale, produce una riorganizzazione delle connessioni sinaptiche di aree comuni adibite a funzioni diverse. Si è osservato come questi esercizi siano funzionali all'acquisizione di quei prerequisiti indispensabili alle competenze cognitive superiori (scrittura, lettura, ecc.).

È importante sottolineare che l'attività motoria proposta non ha scopi tera-

peutici e riabilitativi, infatti viene somministrata indifferentemente a tutti i bambini iscritti al corso, che siano ritenuti “normali” o deficitari in qualche aspetto. Comunque l’effetto è per tutti un miglioramento e un potenziamento delle abilità motorie e dei prerequisiti all’apprendimento, e se un bambino parte da una condizione ritenuta non “sufficiente” potrà avanzare fino a quella che è considerata la “normalità”, mentre un bambino senza difficoltà potrà raggiungere dei livelli di eccellenza.

### 2.2.6 Esercizi proposti

Di seguito saranno spiegati nel dettaglio i cinque esercizi fondamentali del protocollo di lavoro ideato dall’associazione:

#### Rotolamento



**Fig. 2.6:** *Bambina mentre rotola.*

Il rotolamento è il passaggio da una posizione prona, passando per quella su un fianco, a quella supina, dopodiché si riesegue la sequenza a ritroso e cioè da supino, poi sul fianco opposto e poi nuovamente prono (posizione iniziale).

Il rotolamento rappresenta un movimento di massa eseguito lungo l’asse corporeo, comporta pochissima attività antigravitaria e poco equilibrio, essendo la superficie di appoggio estremamente vasta ed il baricentro mantenuto nel punto più basso possibile.

Nell’esecuzione del rotolamento la maggiore difficoltà riscontrata nei bambini è l’abilità a seguire una determinata direzione nello spazio, questo a causa dell’impossibilità di mantenere un orientamento nello spazio, dato dalla difficoltà nel dare continuità alle mire visive.

Il rotolamento è propedeutico alle capriole e permette un significativo miglioramento di:

- movimento oculare esplorativo sul piano orizzontale
- propriocezione
- sensorialità tattile
- postura
- equilibrio
- controllo postura
- tono muscolare generale

### Striscio



**Fig. 2.7:** *Esecuzione dello striscio.*

Lo striscio non è un movimento semplice e richiede una fase preparatoria: dalla posizione prona il bambino porta le braccia, con avambracci

flessi, vicino al tronco mentre le mani vengono posizionate a livello delle spalle, lievemente più esterne, invece le gambe sono leggermente flesse. Nell'esecuzione dello schema dello striscio il soggetto esegue lo spostamento in avanti, coordinando in modo crociato gli arti superiori a quelli inferiori: braccio sinistro flesso in avanti e gamba destra flessa (con ginocchio posizionato esternamente) permettono un movimento in avanti riproducibile in modo opposto con braccio destro e gamba sinistra.

Per strisciare occorre anche una notevole capacità funzionale di raddrizzamento ben coordinata con le competenze di tipo fasico e posturale, inoltre,

grazie alla resistenza opposta dalla superficie sulla quale il bambino compie i movimenti, la stimolazione interesserà la totalità del suo corpo e lo sviluppo muscolare. L'esercizio stimola ed allena la mobilità degli arti e della colonna vertebrale attiva che permette al bambino di spingersi in avanti in posizione prona utilizzando le braccia e le gambe.

I risultati più interessanti ottenuti attraverso la stimolazione offerta dallo strisciamento sono:

- miglioramento nel controllo del capo e la sua rotazione
- differenziazione dell'attività muscolare del tronco
- attività differenziata degli arti inferiori
- stimolo sensoriale (tatto) su tutto il corpo
- stimolazione visiva
- miglioramento del linguaggio
- miglioramento dell'attenzione al compito
- maturazione o recupero dominanza emisferica
- progresso della convergenza visiva
- miglioramento del coordinamento occhio-umano
- perfezionamento del cammino
- miglioramento della corsa in schema crociato
- aumento di tono muscolare (lettura e scrittura)
- raggiungimento del coordinamento motorio di base

Se viene eseguito correttamente lo striscio permette il raggiungimento veloce del coordinamento motorio necessario allo svolgimento delle normali attività fisiche. La corsa scoordinata è uno dei segnali del mancato raggiungimento di un buono sviluppo motorio.

### Corsa



**Fig. 2.8:** *Gara di corsa.*

La corsa è un'attività motoria superiore, in quanto richiede al bambino l'attivazione di schemi senso-motori più elaborati, dal punto di vista della sequenzialità e della velocità delle

azioni.

La corsa in schema crociato consiste in un complesso di movimenti di avanzamento, eseguiti alternando il sollevamento contemporaneo di braccio sinistro e gamba destra seguiti da braccio destro e gamba sinistra, con il busto leggermente proteso in avanti. Questo è uno schema articolato che richiede la presenza di alcuni prerequisiti: equilibrio, coordinazione motoria e visiva, convergenza visiva, orientamento spaziale e tono muscolare.

L'esecuzione richiede che il bambino riesca a mantenere ritmo, velocità e direzione prestando attenzione per rimanere nel percorso e per non urtare i compagni. Se ciò non avviene, può essere un indicatore della mancanza di attenzione visiva coordinata con la corsa.

Studi hanno constatato come bambini con problemi di grafia non abbiano maturato la corsa in perfetto schema crociato.

La corsa viene proposta allo scopo di:

- migliorare l'equilibrio



- favorire la sensorialità tattile
- incrementare il coordinamento visivo
- incrementare il coordinamento motorio
- aumentare la motilità oculare
- acquisire o potenziare la convergenza visiva
- potenziare il tono muscolare
- favorire l'orientamento nello spazio
- migliorare il mantenimento dell'attenzione visiva
- migliorare la respirazione

### Capovolta



**Fig. 2.9:** *Disegno di una capovolta.*

La capovolta è uno sbilanciamento del corpo in avanti, con conseguente rotolamento sui segmenti corporei: nuca, parte alta del dorso, zona lombare, bacino, segue il ricomponimento degli arti e del corpo e ritorno nella posizione iniziale.

Poiché la capovolta nasce da una perdita di equilibrio del corpo, ovviamente controllata, si può insegnare tale schema attraverso procedimenti gradualmente, da seduti, in ginocchio, da un tappetino rialzato e infine in piedi. Questo tipo di gradualità permette al bambino di acquisire il controllo del gesto, del proprio corpo e dei propri movimenti, fino a comprendere l'esatta esecuzione. È proprio la perdita di posizione e la conquista di una nuova che permette

al bambino di controllare il proprio corpo.

La capovolta risulta utile per i seguenti scopi:

- aumento equilibrio
- favorisce la sensorialità tattile
- aumento dell'orientamento nello spazio
- miglioramento del coordinamento motorio
- miglioramento della postura
- aumento tono muscolare
- miglioramento del cammino
- apprendimento o miglioramento della corsa in schema crociato
- miglioramento dell'uso della visione
- incremento della motilità esplorativa oculare
- acquisizione dell'indipendenza oculare
- esperienza tattile sul corpo

### Prensioni di forza e brachiazioni



**Fig. 2.10:** *Riflesso di prensione.*

La prensione di forza, ossia la reazione inizialmente istintiva alla pressione sul palmo della mano che porta il bambino a serrare le dita, viene sfruttata al fine di allenare l'opposizione pollice-indice e quindi la presa

delle mani.

Allenare la prensione di forza è determinante per il raggiungimento dell'automatismo di tale gesto al fine di evitare che l'attenzione del bambino venga posta solo sull'azione da compiere e non sull'utilizzo dell'oggetto, ad esempio tenere in mano una penna. Il raggiungimento di un'adeguata capacità di prensione da parte del bambino in questa sua fase di sviluppo e di apprendimento, lo metterà nelle condizioni di trasformare un semplice riflesso prensorio in un più controllato uso dell'arto, per infine raggiungere la completa mobilità del polso che con il tempo gli permetterà persino di migliorare la grafia.

Uno degli esercizi che si è dimostrato particolarmente proficuo per aumentare la prensilità delle mani, interessando la muscolatura delle braccia, delle spalle e del tronco, è stato quello di porre il bambino in una posizione sospesa incitandolo a restare aggrappato il più possibile.

La prensione della mano diventa quindi possibile se il braccio possiede un buon tono muscolare, ma soprattutto quando i muscoli della schiena riescono a ben stabilizzare tronco e spalle. La corretta maturazione del tono muscolare e la prensione di forza saranno fondamentali nella grafia funzionale.

La prensione di forza viene proposta ai fini di:

- potenziare il tono muscolare
- favorire la sensorialità tattile
- specializzare e potenziare i muscoli di schiena, tronco e spalle
- rafforzare la presa di mano
- migliorare la coordinazione manuale

- migliorare la capacità manuale
- migliorare la respirazione, in quanto la posizione adottata con la presa favorisce in maniera non eccessiva l'aumento del volume del torace e ciò permette di immettere maggiore quantità di ossigeno, alimento nutritivo principale del cervello



**Fig. 2.11:** *Esercitazione militare di brachiazioni.*

Con il termine brachiazione ci si riferisce a una modalità di locomozione eseguita dal bambino alla scala orizzontale, partendo da un'estremità, avanzando alternando la presa di una mano a un piolo mentre l'altra mano aggancia il piolo successivo e così via.

Questo esercizio richiede forza nella presa di entrambe le mani, poiché per pochi secondi il peso del corpo viene sorretto da una sola mano. Inoltre tutto il corpo viene chiamato ad eseguire lo spostamento, mentre una mano è impegnata nella presa, il cervello organizza i movimenti di tronco, bacino, arti inferiori che seguono la spalla, il braccio e la mano opposta per appendersi al piolo successivo.

Tutto questo schema locomotorio richiede oltre a un buon grado di coordinazione motoria generale, anche coordinazione oculo-manuale, in quanto l'occhio deve "puntare" al piolo che la mano deve agganciare. Sia nella fase preparatoria sia in quella esecutiva la visione contribuisce all'organizzazione motoria dell'esercizio.

Una volta acquisita l'abilità di spostarsi sulla scala orizzontale con le brachiazioni in avanti, si può passare a eseguirle all'indietro, lateralmente e girando

su se stessi.

Le brachiazioni sono utili per:

- potenziare il tono muscolare
- specializzare e potenziare i muscoli di schiena, tronco e spalle
- incrementare la coordinazione motoria in sospensione
- rafforzare la presa di mano
- migliorare la coordinazione manuale
- migliorare la capacità manuale
- migliorare la coordinazione occhio-mano
- migliorare l'indipendenza delle braccia

### **2.2.7 Destinatari**

I principali destinatari del progetto sono i bambini di età compresa tra i 3 ed i 6 anni e quelli del primo ciclo della scuola primaria (classi prima e seconda). Il progetto prevede inoltre momenti di divulgazione e d'informazione per condividere gli obiettivi pedagogici e sensibilizzare il pubblico all'importanza di un'adeguata educazione motoria dei propri figli.

### **2.2.8 Modalità operative**

Dal punto di vista pratico ogni esercizio viene proposto sotto forma di gioco. Il carattere ludico di ogni esercizio viene accompagnato da un forte elemento educativo, che tiene conto dell'età di ogni bambino e si adatta alle capacità, abilità, propensioni e difficoltà di ognuno.

È da rilevare che la preconditione assolutamente necessaria perché questo possa avvenire è l'accettazione e la condivisione di regole chiare ed esplicite. L'attenzione alle regole diventa molto importante in quanto esse servono ad organizzare modi e tempi per l'esecuzione degli esercizi e ad offrire un "ordine mentale" che dà ai bambini la sicurezza di un ambiente strutturato, adatto alle loro esigenze.

"**Regole, Riti e Ritmi**" diventano una sorta di slogan che riveste una forte valenza educativa che accompagna ogni gesto dell'educatore nelle proposte educative con i bambini, quindi l'ora della lezione viene scandita da "riti" iniziali e finali che segnano, appunto, il momento dell'inizio e della fine delle attività, mentre l'educatore diventa l'interprete di una strategia operativa che stimoli i bambini in modo divertente.

### 2.2.9 Ricerca scientifica

Dati gli obiettivi del progetto si è avviata la sperimentazione dell'attività, al fine di documentare scientificamente la valenza del movimento per l'organizzazione neurologica del bambino, preposta allo sviluppo dei coordinamenti motori di base e alle funzioni cognitive superiori (lettura, scrittura, calcolo). La ricerca avviata dall'associazione, in collaborazione con il *Centro di Analisi Statistica* di Trento, ha permesso di ottenere dati scientificamente rilevanti circa lo sviluppo neuromotorio dei bambini coinvolti nel progetto. Le rilevazioni sono possibili grazie allo strumento di valutazione: il **Profilo di Valutazione Neuromotoria** che permette di verificare statisticamente il livello di sviluppo delle funzioni motorie osservabili nell'organizzazione neurologica del bambino.

Il gruppo di bambini partecipanti al progetto viene valutato in due momenti: all'inizio e alla fine del corso.

Una volta effettuate le valutazioni vengono inviate al Centro di Analisi Statistica di Trento per l'elaborazione statistica.

In risposta si ottengono due fondamentali risultati per il proprio gruppo:

**il confronto intra-gruppo** ossia l'osservazione dei bambini all'ingresso e alla fine del programma

**il confronto inter-gruppi** ossia il confronto con i profili della banca-dati (l'intera popolazione di tutti bambini sottoposti alla valutazione)

La raccolta di questi dati è stata resa possibile dal fatto che altre associazioni sportive ed enti pubblici e privati, entusiasmata dalla portata educativa del progetto, vi hanno aderito. L'obiettivo che si vuole raggiungere, è quello di aumentare lo studio scientifico dello sviluppo del bambino e degli aspetti neuromotori correlati alla crescita motoria e cognitivo-intellettuale.

## **2.3 Profilo di Valutazione Neuromotoria**

Il profilo per la valutazione neuromotoria è lo strumento utilizzato per valutare il livello di sviluppo delle funzioni indispensabili per i futuri apprendimenti scolastici (i prerequisiti funzionali all'apprendimento). Esse sono indicatori del livello di organizzazione neurologica del bambino e sono facilmente osservabili. Inoltre, la valutazione di queste funzioni permette di individuare eventuali mancanze ed offrire tempestivamente una strategia educativa che possa permettere di ridurre tale asimmetria tra il livello osservato del bambino e il livello atteso per la sua età neurologica.

L'assenza di letteratura esistente, test, questionari e scale di valutazioni che potessero mettere in luce tali questioni, ha stimolato la costruzione di questo strumento.

La scelta dei domini (item) per il profilo sono ricaduti su funzioni osservabili dall'occhio del ricercatore, sia attraverso l'osservazione diretta dell'esecuzione degli esercizi che devono essere proposti al bambino, sia mediante la video-registrazione di tali attività.

I quindici item individuati, corrispondono alle funzioni neuromotorie quali:

1. dominanza dell'occhio
2. convergenza visiva
3. motilità oculare
4. indipendenza visiva
5. dominanza della mano
6. striscio
7. carponi
8. cammino
9. corsa
10. capovolta
11. rotolamento
12. opposizione pollice-indice
13. prensione di forza
14. brachiazioni
15. balzi a piè pari



I primi cinque domini vengono valutati direttamente con ogni bambino facendogli compiere delle precise azioni. Gli altri item vengono valutati sia mediante osservazione sul campo sia mediante videoregistrazioni delle attività.

L'uso del materiale audio-visivo ha una duplice valenza, durante l'ora dell'attività neuromotoria si possono registrare tutti i bambini nell'esecuzione del gesto motorio senza che i soggetti siano condizionati dal ricercatore. Così facendo non si influenza il movimento del bambino che, inconsapevole di essere valutato, si diverte con i compagni. Altro pregio delle videoregistrazioni riguarda il ricercatore che in un secondo momento e in una sede meno caotica, può valutare senza distrazioni dovute all'ambiente.

Per la maggioranza degli item si è attribuita una scala di valutazione che descrivesse, con punteggi da 1 a 3, i livelli di acquisizione della capacità presa in esame, dove: 1 indica che la funzione o la capacità non è stata ancora acquisita, 2 che la funzione o la capacità è stata acquisita in parte, o non è stata ancora consolidata, e 3 che la funzione o capacità è stata acquisita.

I problemi relativi alla valutazione neuromotoria sono sostanzialmente tre:

**soggettività delle valutazioni** essendo attualmente le valutazioni realizzate dagli educatori basandosi esclusivamente sulla propria esperienza, queste hanno un carattere fortemente soggettivo, che può essere influenzato da molti fattori diversi

**formazione dei valutatori** questa fase fondamentale risulta essere un processo complesso che richiede molto tempo e attenzione. Inoltre spesso gli educatori hanno paura a prendersi la responsabilità di eseguire le valutazioni dei bambini che seguono

**tempo impiegato per la valutazione** attualmente l'osservazione diretta

e quella dei filmati registrati durante i corsi, richiede circa due ore di tempo per ciascun bambino

# Capitolo 3

## Requisiti e design

L'obiettivo dell'associazione è quello di creare un sistema funzionante che riesca ad eseguire la valutazione neuromotoria dei bambini partecipanti ai corsi e risolva i problemi già citati. In vista della ricerca e dello sviluppo di un sistema di questo tipo, si è pensato di realizzare un primo prototipo di valutazione di un singolo item fra quelli del profilo di valutazione, in modo da dimostrare la fattibilità di un sistema di valutazione automatica che sia completo e che possa supportare la valutazione manuale degli educatori.

In questo capitolo sono illustrati gli stakeholders, i goals e i requisiti che il prototipo deve soddisfare.

### 3.1 Stakeholders

Gli stakeholders con i quali ci si è dovuto rapportare per questo lavoro di tesi sono pedagogisti, psicologi e logopedisti professionisti che si occupano della valutazione neuromotoria. In particolare ci si è confrontati con gli educatori dell'associazione “**Movi-Mente ASD**”.

Tramite un continuo dialogo con gli stakeholders si è arrivati a definire i requisiti e le caratteristiche dell'applicazione.

## 3.2 Goals

Analizzando il problema e le esigenze dell'associazione sono emerse le seguenti caratteristiche che l'applicazione deve avere:

**semplicità di utilizzo** in quanto gli utilizzatori saranno educatori che potrebbero non essere esperti di informatica

**tempo di elaborazione dei dati ragionevole** in quanto deve servire a migliorare il tempo attualmente impiegato dai valutatori

**oggettività dei dati** i dati acquisiti devono essere corretti, omogenei e oggettivi, per migliorare l'affidabilità e la "scientificità" dei valori raccolti

**possibilità di archiviazione** i dati devono essere strutturati in modo da poterli trasferire semplicemente nei fogli di calcolo o nelle basi di dati per l'elaborazione statistica degli stessi

## 3.3 Requisiti funzionali

Le funzionalità richieste sono:

**elaborazione di una valutazione per ogni soggetto** poiché lo scopo principale dell'applicazione è quello di fornire un supporto ai valutatori professionisti

**valutazione di una molteplicità di soggetti per ogni sessione di valutazione** poiché se si potesse valutare un unico soggetto per ogni sessione di valutazione il sistema risulterebbe poco pratico da utilizzare

**visualizzazione dei risultati** poichè i valori delle valutazioni devono essere mostrati agli educatori

**salvataggio dei risultati** poichè i valori devono essere salvati in un documento per poter essere facilmente archiviati o riutilizzati per altre analisi

# Capitolo 4

## Implementazione

In questo capitolo vengono descritte le fasi di studio e di ricerca della soluzione tecnologica migliore per raggiungere il soddisfacimento dei requisiti richiesti, partendo dalle prime idee riguardanti una possibile direzione di ricerca, fino alla definizione delle tecnologie effettivamente utilizzabili e funzionanti.

Tutto il processo di studio e di implementazione dell'applicazione è avvenuto in fasi progressive di ricerca e di sperimentazione di possibili soluzioni fino al completamento del prototipo finale.

### 4.1 Idee iniziali

Ricordando che il problema principale è lo studio e l'analisi di uno degli item del profilo di valutazione neuromotoria, inizialmente si riteneva possibile procedere tramite un sistema di motion capture o di tracciamento degli occhi. In particolare, poiché molti item sono dei movimenti, si pensava di poter procedere con l'elaborazione dei dati sugli scheletri riconosciuti automaticamente da sistemi già esistenti di gesture recognition. Con questa idea

abbiamo iniziato a pensare a quale item della valutazione neuromotoria si sarebbe prestato meglio ad uno studio di questo tipo.



**Fig. 4.1:** *Usain Bolt mentre corre.*

All'inizio abbiamo pensato alla *corsa* (fig: 4.1) essendo un movimento facilmente riconoscibile da sistemi molto noti come il Kinect e facilmente riproducibile da chiunque in qualunque ambiente. Un altro motivo che spingeva verso questa scelta è la presenza di questo movimento in

moltissimi contesti esterni a Movi-Mente e quindi si pensava ad una possibile applicazione del sistema automatico di valutazione neuromotoria in altri ambienti e metodi esterni all'associazione (per esempio si poteva applicare il sistema a giochi già esistenti o utilizzarlo in terapie già praticate).

Dopo le primissime ricerche e sperimentazioni sono però emerse alcune criticità che ci hanno fatto abbandonare questo item e riprendere la ricerca del movimento da analizzare. Ciò che ci ha spinto a cambiare gesto tecnico è stata fondamentale la difficoltà di riuscire a riconoscere e ad analizzare in modo preciso entrambi i lati del bambino contemporaneamente. Infatti utilizzando un unico sensore posto su un lato del bambino, si riesce a riprendere correttamente solo uno dei due fianchi e quindi si perdono molte informazioni relative al fianco nascosto. Provando a posizionare il sensore di fronte, invece si riduce troppo il riconoscimento e la precisione sui movimenti (in particolare sugli angoli) di braccia e gambe.

Un altro problema legato alla corsa è la velocità del bambino durante il passaggio nel campo d'azione del sensore, una velocità che riduce notevolmente il tempo di percorrenza e il numero di gesti utili all'analisi, rendendo l'ela-

borazione di risultati affidabili molto difficile.

La soluzione migliore sarebbe stata quella di utilizzare più sensori per l'analisi, ma il posizionamento all'interno del luogo dei test (una palestra) risultava fisicamente complicato, anche perché il sistema doveva essere il meno invasivo possibile per preservare la naturalezza dei movimenti dei bambini (motivo per il quale si è scelto fin da subito un approccio di tipo touchless piuttosto che l'utilizzo di sensori wearable).

Proseguendo con l'analisi degli item siamo giunti alla conclusione che una valida alternativa poteva essere lo *striscio* (fig: 4.2). Si pensava di poter analizzare questo movimento posizionando un unico sensore sul soffitto in corrispondenza della zona di



passaggio dei bambini che eseguono **Fig. 4.2:** *Esercitazione militare di striscio.*

l'esercizio, e quindi di riuscire ad ottenere delle immagini complete di tutto il gesto. Questa scelta andava ovviamente a scapito di un'iniziale espansione del modulo di valutazione in altri campi, in quanto l'item scelto è piuttosto specifico e difficilmente applicabile in altri ambienti, anche solo per la necessità di installare il sensore in orizzontale sopra all'area di valutazione.

L'analisi di questo item prevede sostanzialmente il riconoscimento dell'azione in schema crociato degli arti superiori e inferiori, e questo riconoscimento corrisponde al valore 3 dato dall'educatore, mentre un movimento non riconosciuto corrisponde ai valori 1 e 2.

Non avendo trovato alcuna controindicazione all'analisi di questo movimento abbiamo proseguito fiduciosi su questa strada.



## 4.2 Scelta del dispositivo



**Fig. 4.3:** *Microsoft Kinect.*

Contemporaneamente alla scelta dell'item da analizzare, abbiamo cercato un sensore che potesse soddisfare i nostri requisiti e la nostra idea iniziale di sfruttare il riconoscimento

dello scheletro.

Come accennato in precedenza, il dispositivo di valutazione deve essere il meno invasivo possibile in modo da evitare qualunque tipo di alterazione del movimento nei bambini. Infatti, nel momento in cui questi si sentono sotto esame, come capita a quasi tutte le persone, tendono a cercare di controllare consciamente il movimento il più possibile, mentre lo scopo del test è di riuscire a valutare le capacità di movimento profondamente acquisite. Per questo motivo la ricerca è stata effettuata fra i sensori che utilizzano il paradigma touchless, non considerando i wearable a causa dell'effetto che avrebbero prodotto sui bambini.

La nostra scelta è quindi caduta velocemente sulla periferica Microsoft Kinect (fig: 4.3) per diversi motivi. Primo fra tutti è l'esperienza acquisita su questa periferica durante un progetto universitario che ne prevedeva l'utilizzo, poi la disponibilità di questi dispositivi nei laboratori del Politecnico, e infine la semplicità di utilizzo e la presenza di una vasta comunità di sviluppatori, sia per quanto riguarda l'SDK Microsoft che per le librerie open source come OpenNI. Inoltre, pensando ad un possibile utilizzo futuro su larga scala, questo dispositivo è estremamente facile da reperire e poco costoso.

## 4.3 Installazione e registrazioni

Una volta scelto, il dispositivo è stato montato nella palestra dove venivano effettuate le lezioni dei bambini.

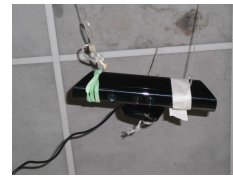


**Fig. 4.4:** Staffa da soffitto per proiettori.

Inizialmente si era pensato di utilizzare una staffa rigida come quelle per montare i proiettori al soffitto (fig: 4.4), però poi si è visto che sarebbe risultata una struttura troppo pesante, quindi, in attesa di trovare una soluzione migliore e per poter iniziare il lavoro, si è deciso di montare temporaneamente il Kinect utilizzando dello spago (fig: 4.5).

Questa soluzione si è rivelata molto valida sotto diversi aspetti: non si è dovuto modificare o forare il soffitto della palestra; si è constatata una scarsissima presenza di vibrazioni che avrebbero potuto compromettere i risultati; il montaggio e ogni modifica della posizione o dell'angolazione sono stati molto semplici. Per questi motivi la soluzione che sarebbe dovuta essere solo temporanea è poi stata adottata fino al termine dell'esperienza.

Una volta ultimata l'installazione del sensore si è proceduto alla registrazione dei movimenti dei bambini durante le lezioni. I bambini sono stati registrati uno alla volta perché, fin da subito, ci siamo resi conto che riuscire a riconoscere e distinguere più bambini diversi sarebbe stato troppo complicato, e quindi, in accordo con l'associazione, abbiamo deciso che la valutazione sarebbe avvenuta singolarmente per ogni bambino.



**Fig. 4.5:** Il Kinect montato al soffitto della palestra.



**Fig. 4.6:** *L'applicazione Kinect Studio.*

Inoltre il Kinect stesso non sarebbe riuscito a riconoscere più di due scheletri contemporaneamente.

Lo strumento utilizzato per effettuare queste riprese è il **Kinect Studio** (fig: 4.6), uno strumento Microsoft che permette appunto di registrare tutti i dati provenienti dal Kinect e poi riprodurli all'interno di un'applicazione simulando la situazione registrata. Queste riprese sono state necessarie ai fini della realizzazione del prototipo poiché non era certamente possibile lavorare solo durante le lezioni in palestra.

Le registrazioni sono state fatte in due differenti lezioni dei bambini. Nella prima sessione di registrazione sono stati memorizzati oltre 12 movimenti completi, anche se dopo le prime prove ne sono stati eliminati 6 in quanto i restanti erano un campione sufficiente. Durante questa prima sessione il sensore era stato montato senza dare troppa importanza ad allinearne il meglio possibile col terreno, ritenendo che per il riconoscimento dello scheletro non fosse necessario.

Dopo alcune prove si sono riscontrati dei problemi col tracciamento automatico dei bambini (cosa di cui si parlerà meglio in seguito) e quindi per esplorare strade alternative si è tornati in palestra per una seconda sessione di riprese, questa volta cercando di posizionare il Kinect più in linea possibile col pavimento. In questa seconda sessione sono stati memorizzati 22 movimenti completi che sono poi stati tutti utilizzati al fine di cercare di realizzare delle immagini campione per riconoscere i movimenti (anche questo verrà meglio spiegato in seguito nel capitolo).

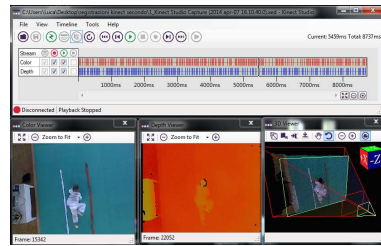


Fig. 4.7: Esempio di una registrazione effettuata in Kinect Studio.

## 4.4 Microsoft SDK

I primi tentativi sono stati effettuati con l'SDK ufficiale di Microsoft scritto in C#, poichè fornisce numerosi strumenti ed esempi utili dai quali partire. Le prime prove pratiche sulle registrazioni sono state effettuate con le applicazioni d'esempio dell'SDK. L'idea era quella di iniziare a tracciare lo scheletro (che è una delle funzionalità del Kinect) e a capire quale potesse essere uno schema presente fra i bambini che riuscivano a fare il movimento correttamente.

Fin dai primi tentativi, ci siamo accorti che lo scheletro non veniva riconosciuto in alcun modo, neppure cambiando le impostazioni sul tracciamento. Approfondendo questo problema siamo arrivati a tre possibili cause:

1. **la vicinanza col pavimento** : infatti crediamo che l'algoritmo di riconoscimento delle varie parti del corpo che si basa sui dati del sensore profondità non riesca a discriminare correttamente ciò che appartiene al bambino da ciò che è lo sfondo a causa della eccessiva vicinanza fra i due
2. **gli arti nascosti** : durante il movimento visto dall'alto gli arti inferiori sono chiaramente visibili durante tutto il gesto tecnico, mentre gli arti

superiori risultato essere nascosti, alternativamente o contemporaneamente, dal tronco

3. **la mancanza del “pavimento”** : cioè utilizzando il Kinect in orizzontale, non è più presente quello che in una situazione normale è il piano di appoggio dei giocatori (il pavimento) e neppure nessun oggetto o piano orizzontali che possano fungere da punti di riferimento, e questo potrebbe “confondere” l’algoritmo

Ritenendo che questi limiti fossero propri solo dell’algoritmo implementato nell’SDK di Microsoft, abbiamo tentato lo stesso approccio del riconoscimento dello scheletro utilizzando però librerie e sistemi open source come OpenNI.

## 4.5 OpenNI



**Fig. 4.8:** Logo di OpenNI.

**OpenNI** (*Open Natural Interaction*) è una libreria open source basata sul concetto di interfaccia utente naturale (NUI), ossia un’interfaccia invisibile ai suoi utenti, oppure

che lo diventa con successive interazioni. Viene definita interfaccia naturale perché, al contrario dei dispositivi di controllo artificiali maggiormente utilizzati per l’interazione con i computer (come mouse e tastiera) il cui utilizzo e funzionamento deve essere appreso, è rivolta ad utenti in grado di effettuare movimenti relativamente naturali, azioni e gesti che devono controllare l’applicazione del computer o manipolare contenuti sullo schermo. Quindi la principale caratteristica di una NUI è proprio la mancanza di una tastiera fisica e/o di un mouse. Un esempio di interazione naturale è il gesto di “*scroll*”

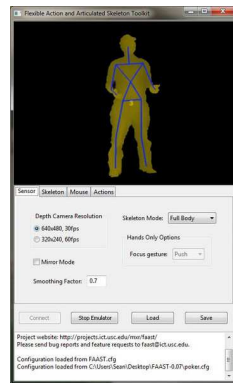
utilizzato praticamente su tutti i dispositivi mobili per scorrere i contenuti, e in generale tutti i dispositivi “touch” sono considerati interfacce naturali perché utilizzandoli si ha l’impressione di interagire direttamente con i contenuti come se un’interfaccia non ci fosse (l’interfaccia è invisibile).

Mentre l’SDK di Microsoft è scritto in C#, questa libreria è scritta in C++ e quindi, non avendo problemi con questo linguaggio e dato che OpenNI fornisce tutto il supporto e le funzionalità dell’SDK ufficiale, abbiamo deciso di realizzare il progetto utilizzando questo linguaggio.

Anche in questo caso le prime prove sulle registrazioni sono state effettuate utilizzando gli esempi e le applicazioni d’esempio forniti al momento dell’installazione della libreria.

Purtroppo anche in questo caso non è stato possibile riconoscere e tracciare gli scheletri dei bambini e quindi abbiamo dovuto cercare un altro sistema alternativo ai precedenti.

## 4.6 FFAST



**Fig. 4.9:** L’interfaccia di FFAST mentre riconosce uno scheletro.

Dopo aver abbandonato l’idea di utilizzare OpenNI, abbiamo provato uno strumento chiamato **FFAST** (*Flexible Action and Articulated Skeleton Toolkit*) sviluppato dalla *University of Southern California* (USC) che avrebbe dovuto facilitare il riconoscimento del corpo e dello scheletro. Questo sistema, basato anch’esso sulla libreria OpenNI ma

implementato in modo differente e più completo, avrebbe dovuto riconoscere fino a 4 differenti scheletri e rappresentare ogni scheletro con 24 punti.

Anche questo sistema si è rivelato un fallimento in quanto non riusciva a riconoscere gli scheletri, però abbiamo notato che i bambini che passavano sotto al Kinect venivano comunque riconosciuti e colorati abbastanza correttamente (fig: 4.10) e con una breve ricerca abbiamo capito come ottenere lo stesso risultato anche con OpenNI senza passare per FFAST.



**Fig. 4.10:** *Bambino riconosciuto da OpenNI.*

## 4.7 Nuovo approccio

Provando quindi ad analizzare le riprese effettuate con questo sistema di colorazione del bambino, ci siamo accorti che tutti quelli che facevano il movimento in modo corretto assumevano delle posizioni molto simili fra loro e che quindi, se si fosse trovato un sistema automatico per riconoscere queste pose, si sarebbe potuto distinguere i bambini che eseguono il movimento nel modo corretto e quelli che lo eseguono male. Nelle figure 4.11 si possono

vedere le pose, molto simili fra loro, del movimento (di bambini differenti) al suo apice sul fianco sinistro (quindi con la gamba destra distesa).



**Fig. 4.11:** *Apice del movimento corretto di due bambini differenti.*

Si è poi visto che i bambini che eseguono il movimento nel modo scorretto hanno un profilo evidentemente molto diverso rispetto alla posa che assumono i bambini nel momento di culmine del movimento, come si può vedere nella figura 4.12, e quindi, in accordo con gli educatori dell'associazione, si è pensato che riuscire a riconoscere i bambini che assumono alternativamente la posizione di apice a destra e a sinistra potesse essere un buon sistema per poter capire quando un bambino esegue correttamente il movimento. Inoltre, analizzando le immagini elaborate da OpenNI, abbiamo visto che i bambini che eseguono nel modo giusto l'esercizio assumono almeno due volte la posizione di apice a destra e due volte la posizione di apice a sinistra, e questo è un altro vincolo che abbiamo potuto utilizzare.



**Fig. 4.12:** *Movimento scorretto.*



Sempre discutendo con i valutatori dell'associazione, abbiamo capito che un altro elemento da considerare per la valutazione dello striscio sarebbe l'azione motrice dell'alluce del piede della gamba flessa, infatti l'alluce, nel movimento corretto, dovrebbe spingere aiutando lo spostamento del bambino. Questo dettaglio, però, è risultato essere troppo difficile da individuare con la sola analisi del confronto fra immagini, specialmente considerando la risoluzione dei dati di profondità del Kinect.

Questo, che all'inizio sembrava un problema insormontabile, si è rivelato poi non essere grave, poiché è emerso che i bambini riconosciuti a fare il movimento correttamente utilizzavano nel modo giusto l'alluce, portandoci a concludere che senza quella spinta non si riesce ad avere la stessa posa che si ha in un movimento con la spinta corretta.

## 4.8 Confronto fra immagini

A questo punto abbiamo pensato che, individuando due immagini campione (una per il movimento a destra e una per il movimento a sinistra) e andandole a confrontare con i frame ricevuti dal Kinect, si potesse raggiungere il nostro obiettivo. Quindi abbiamo cercato fra le funzioni già esistenti se esistesse qualcosa per il confronto diretto di immagini e per ottenere un valore di similarità (possibilmente sotto forma di percentuale). Siamo riusciti ad individuare due metodi: **PSNR** e **SSIM**. Abbiamo trovato l'implementazione di questi metodi all'interno della libreria open source **OpenCV**.

La nuova idea era quindi quella di creare una cartella per ogni bambino, nella quale salvare tutti i frame relativi a quel bambino, che andavano poi confrontati con delle immagini campione.

### 4.8.1 OpenCV



**Fig. 4.13:** Logo della libreria OpenCV.

La **OpenCV**, *Open Source Computer Vision*, è una libreria orientata alla computer vision. La libreria è scritta in C++ ma, nonostante l'interfaccia principale sia ovviamente in C++, esistono altre interfacce per i principali linguaggi di programma-

zione, fra i quali Python, Java e C. Esistono inoltre diversi wrapper che estendono i linguaggi a Ruby, C# e Ch. Essendo scritta nello stesso linguaggio scelto per la nostra applicazione, l'utilizzo di questa librerie era completamente compatibile col nostro sistema.

### 4.8.2 PSNR

L'**PSNR** (*Peak Signal-to-Noise Ratio*) è una misura adottata per valutare la qualità di una immagine compressa rispetto all'originale. Questo indice di qualità delle immagini è definito come il rapporto tra la massima potenza di un segnale e la potenza di rumore che può invalidare la fedeltà della sua rappresentazione compressa. Poiché molti segnali hanno una gamma dinamica molto ampia, il PSNR è solitamente espresso in termini di scala logaritmica di decibel.

L'utilizzo più comune del PSNR è la misura della qualità per le compressioni delle immagini, cioè serve per capire se un'immagine compressa è ancora fedele all'originale. Maggiore è il valore del PSNR maggiore è la "somiglianza" con l'immagine originale, nel senso che si avvicina maggiormente ad essa da un punto di vista percettivo umano.

Il PSNR è più facile da definire attraverso l'errore quadratico medio (MSE). Denotando con  $I$  l'immagine originale e con  $K$  l'immagine compressa, entrambe di dimensione  $M \times N$  si definisce MSE (Mean Square Error) tra le due immagini:

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \|I(i, j) - K(i, j)\|^2 \quad (4.1)$$

Il PSNR è quindi definito come:

$$PSNR = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{MAX\{I\}}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (4.2)$$

Dove  $MAX\{I\}$  è il massimo valore del pixel dell'immagine. Per una immagine binaria il numeratore vale 1, per una immagine a livelli di grigio il numeratore vale 255. Per immagini a colori tale definizione vale per ogni componente (cioè per ogni canale colore dell'immagine).

Purtroppo abbiamo visto che questo metodo non dava dei valori ragionevoli rispetto alla somiglianza visiva dal punto di vista percettivo dell'uomo, e quindi lo abbiamo scartato in quanto, secondo i suoi valori, immagini molto diverse per la percezione umana, venivano considerate simili e immagini simili venivano considerate molto diverse.

### 4.8.3 SSIM

L'**SSIM** (*Structural SIMilarity*) è un metodo per misurare la somiglianza fra due immagini. Questo metodo è stato realizzato proprio per migliorare il metodo PSNR che non risulta essere consistente con la percezione dell'occhio umano.

La differenza rispetto al PSNR è che questo metodo stima gli errori percepiti, o, in altre parole, considera la degradazione dell'immagine come un

cambiamento percepito nelle informazioni strutturali. Queste informazioni strutturali nascono dall'idea che i pixel (cioè gli elementi puntiformi che compongono la rappresentazione di una immagine digitale) hanno una forte interdipendenza fra loro, specialmente quelli che si trovano spazialmente vicini. Questa interdipendenza fornisce importanti informazioni sulla struttura dell'oggetto visualizzato nell'immagine.

L'SSIM viene calcolato su varie finestre dell'immagine (cioè l'immagine viene suddivisa in sottoimmagini quadrate) e la misura di due finestre  $x$  e  $y$  della stessa dimensione  $N \times N$  è:

$$\text{SSIM}(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (4.3)$$

dove:

- $\mu_x$  è la media di  $x$
- $\mu_y$  è la media di  $y$
- $\sigma_x^2$  è la varianza di  $x$
- $\sigma_y^2$  è la varianza di  $y$
- $\sigma_{xy}$  è la covarianza di  $x$  e  $y$
- $c_1 = (k_1 * L)^2, c_2 = (k_2 * L)^2$  sono due variabili per stabilizzare la divisione con piccoli denominatori
- $L$  è l'intervallo dinamico dei valori dei pixel
- $k_1 = 0.01, k_2 = 0.03$  di default

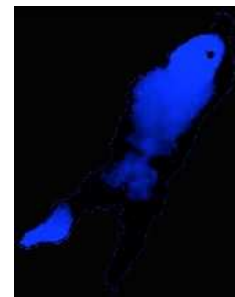
Le prove effettuate con questo metodo hanno effettivamente dimostrato che le immagini simili erano riconosciute come tali e solo in rari casi delle immagini

molto diverse venivano ritenute simili. Comunque questo sistema restituisce un valore percentuale sulla somiglianza delle due immagini e quindi per poter dire che due immagini sono simili abbiamo potuto scegliere la percentuale minima che doveva essere soddisfatta. Dopo diverse prove abbiamo visto che già valori fra il 30% e il 40% sono associati ad immagini simili, ma per evitare il più possibile i casi di falsi positivi si è alzato il valore al 60%. Un valore superiore avrebbe portato ad un numero di riconoscimento delle immagini simili troppo basso perdendo effettivamente molte immagini corrette. È stato utilizzato un valore maggiore solo per la realizzazione delle immagini campione, ma di questo si parlerà successivamente nel documento. Partendo da questo metodo di confronto è stata realizzata una funzione per il confronto delle immagini. A questo punto, dopo diversi test per controllarne l'affidabilità, abbiamo iniziato ad applicarla ad ogni frame rilevato dal Kinect.

## 4.9 Problemi riscontrati

Una volta realizzato e testato il sistema di confronto delle immagini abbiamo riscontrato un grosso problema nella parte di riconoscimento del bambino ad opera di OpenNI.

Infatti in moltissimi frame la libreria non riusciva a riconoscere completamente il soggetto, e le immagini risultanti erano delle macchie indistinte, come nella figura 4.14. Questo portava alla perdita di troppe informazioni e il numero di movimenti, sicuramente



**Fig. 4.14:** Esempio di un frame nel quale il bambino non è stato riconosciuto.

giusti, riconosciuti era troppo basso.

Inoltre, a questo punto, abbiamo notato che per riconoscere l'immagine con il movimento corretto non poteva essere effettuato il confronto su tutto il frame, poiché anche solo un piccolo cambiamento della posizione del bambino all'interno dell'area di valutazione o la posa in una direzione anche solo leggermente differente rispetto a quella dell'immagine campione, avrebbero dato esito negativo durante il confronto.

Quindi, considerando buona l'idea di basare il sistema sul confronto con delle immagini campione, abbiamo provato a ripensare e riprogettare il solo sistema di riconoscimento della sagoma del bambino.

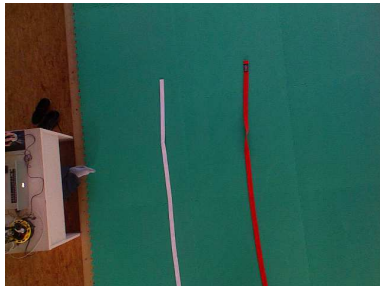
## **4.10 Miglioramenti: Fase 1**

La prima soluzione pensata è stata di restringere il percorso fisicamente percorribile dal bambino costruendo una sorta di "canale" molto stretto nel quale passare durante l'esercizio. Questo avrebbe dovuto impedire al bambino di ruotare nell'area di valutazione e quindi di ridurre il numero di movimenti corretti non riconosciuti.

Per risolvere il problema della posizione all'interno del frame, si è pensato di ritagliare esattamente la sagoma del bambino e di fare i confronti solo su quella in modo da rendere ininfluenza la posizione della sagoma all'interno dell'immagine.

A questo punto però non riuscivamo ancora a riconoscere bene il bambino e qui abbiamo avuto l'idea di lasciare perdere i sistemi già forniti dalle librerie e di iniziare l'analisi direttamente sui dati grezzi provenienti dal sensore di profondità. Infatti il bambino può essere considerato come un elemento sporgente dal pavimento e quindi come tale più vicino al Kinect rispetto

al pavimento stesso. L'idea era quindi di provare a costruire un'immagine semplicemente prendendo una profondità di soglia (quella del pavimento ricavata tramite una media di tutte le distanze rilevate prima del passaggio del bambino) oltre la quale tutto veniva colorato di nero e il resto di bianco (ottenendo quindi il profilo del bambino in bianco su uno sfondo nero).



**Fig. 4.15:** *Vista del percorso obbligato dei bambini.*

Questo concetto avrebbe potuto funzionare correttamente solo nel caso in cui il pavimento fosse stato effettivamente perfettamente in linea con la Kinect altrimenti ci saremmo ritrovati semplicemente con una porzione dell'immagine bianca e un'altra nera senza comunque riuscire a

distinguere la figura del bambino. Un altro problema è che noi avevamo solo delle registrazioni dove non avevamo la condizione di allineamento del Kinect col terreno, e quindi siamo tornati in palestra per la seconda sessione di riprese di cui ho già parlato. In questa occasione abbiamo anche fatto quella sorta di percorso obbligato di cui ho parlato in precedenza e che si vede nella figura 4.15. Inoltre abbiamo anche sistemato il Kinect in modo che fosse il più in linea possibile col pavimento.

## 4.11 Miglioramenti: Fase 2

Dopo aver realizzato il nuovo prototipo ci siamo resi conto che cercare di individuare la figura solo considerando una profondità di soglia non era possibile poiché il risultato era un'immagine troppo disturbata dal rumore, probabilmente perché comunque il Kinect non era stata montato esattamente

allineato al pavimento.

Questo ulteriore fallimento ci ha fatto pensare di abbandonare i dati del sensore di profondità e provare invece a fare un'analisi sulle immagini a colori utilizzando un metodo simile a quelli per la sicurezza stradale o il rilevamento di intrusi, e cioè il **background subtraction**. Questo, se avesse funzionato, non solo ci avrebbe consentito di realizzare il prototipo, ma ci avrebbe permesso anche di abbandonare il Kinect per una semplice telecamera, che ci avrebbe anche garantito una risoluzione video molto maggiore.

Abbiamo trovato le funzioni che permettevano di utilizzare queste tecniche all'interno della libreria open source **OpenCV** (già utilizzata per il confronto della similarità delle immagini).

#### 4.11.1 Background subtraction

La **background subtraction**, conosciuta anche come *foreground detection*, è una tecnica nell'ambito dell'elaborazione delle immagini e della computer vision, per la quale gli oggetti in primo piano vengono estratti per successive analisi (come il riconoscimento di oggetti, ecc.). Generalmente la regione di interesse di un'immagine sono oggetti precisi (persone, automobili, testo, ecc.) in risalto su uno sfondo. Questa tecnica è utilizzata largamente anche per il rilevamento e il tracciamento degli oggetti in movimento in filmanti a camera fissa (se la camera dovesse essere in movimento lo sfondo continuerebbe a cambiare e non si potrebbe applicare questa tecnica). L'approccio è quello di riconoscere un oggetto in movimento in un frame tramite un'operazione di sottrazione fra il frame con l'oggetto e un frame di riferimento, generalmente chiamato "immagine di sfondo".

Un algoritmo robusto di background subtraction deve essere in grado di gestire i cambiamenti di luminosità, le ombre e i cambiamenti a lungo termine



della scena, per questo motivo il frame analizzato viene comunque usato per andare a contribuire all'aggiornamento dell'immagine di sfondo. Nella figura 4.16 viene mostrato un esempio del risultato applicato a un frame e al suo modello di sfondo.

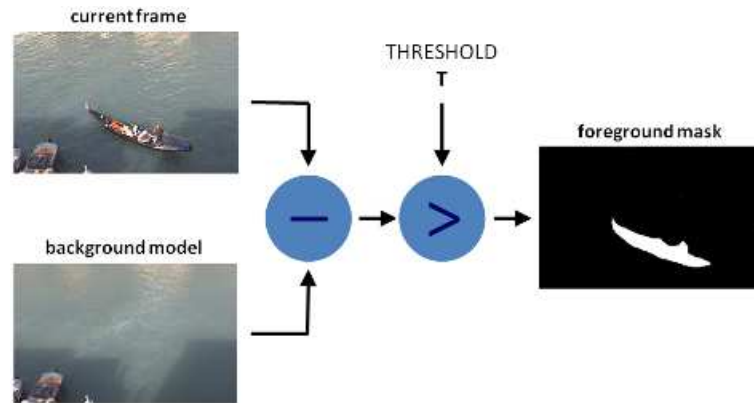


Fig. 4.16: Esempio di background subtraction.

#### 4.11.2 Implementazione della background subtraction



Fig. 4.17: Bambino rilevato con la funzione MOG.

All'interno della libreria OpenCV (la stessa usata per la funzione di confronto fra le immagini tramite il metodo SSIM) abbiamo trovato 2 funzioni per la background subtraction:

1. MOG
2. MOG2

Entrambi i metodi sono implementati tramite le distribuzioni di Gauss. Cercando fra i numerosi esempi e le applicazioni che si possono trovare, abbiamo scoperto che: il primo risulta essere meno sensibile a tutti i piccoli cambiamenti di luce e di ombre a scapito di una minore precisione; il secondo invece risulta essere notevolmente più preciso ma anche più suscettibile alle piccole variazioni di luminosità e nelle ombre.

Dopo aver provato entrambi i sistemi applicandoli alle nostre registrazioni, abbiamo visto che il bambino risultava molto meglio definito (una sagoma completamente bianca) con il MOG2 piuttosto che con il MOG (fig: 4.16), ma con il MOG2 il rumore nell'immagine era eccessivo e la rendeva di fatto impossibile da usare.

Quindi abbiamo realizzato il riconoscimento del bambino tramite l'analisi del flusso video col metodo MOG.

## 4.12 Miglioramenti: Fase 3

Come si vede nella figura 4.16, il bambino risulta ad occhio umano molto ben definito, sfortunatamente però il sistema di riconoscimento che avevamo implementato non riusciva a distinguere fra le immagini simili e quelle diverse ottenute con questo metodo, probabilmente a causa del fatto che la sagoma del bambino non risulta essere completamente bianca ma in realtà un'unione di forme bianche differenti.

Avendo già lungamente lavorato sul sistema di confronto delle immagini, e avendolo soprattutto già testato con molte immagini campione (anche non inerenti alla nostra esperienza) e avendolo trovato molto affidabile, abbiamo

deciso di provare a mantenere il sistema per la valutazione della similarità delle immagini e di provare un'altra strada per la realizzazione della sagoma del bambino.

A questo punto abbiamo deciso di riprovare con l'analisi dei dati del sensore di profondità cercando di migliorare l'idea di utilizzare un valore di distanza come discriminante. Quindi abbiamo pensato di creare una sorta di metodo di background subtraction ma applicato ai dati di profondità.

L'idea era quella di costruire una mappa dello sfondo prendendo e memorizzando per un certo periodo di tempo tutte le distanze minime rilevate dal Kinect senza che ci fosse il bambino. Poi, realizzata questa mappa, far passare il bambino e confrontare la profondità di ogni punto con quella della mappa, e colorare di bianco tutti i punti che risultavano essere più vicini rispetto a quelli della mappa stessa.



**Fig. 4.18:** *Sagoma di un bambino rilevata dai dati di profondità.*

Fin dai primi tentativi i risultati sono stati molto soddisfacenti, infatti tutti i bambini risultavano essere molto ben definiti lungo tutto il percorso e il rumore era trascurabile rispetto all'area di interesse. Nella figura 4.18 si può vedere l'immagine di un bambino (ritagliata a mano dal frame complessivo) rilevata con questo nuovo sistema.

Inoltre i primi test con la funzione di confronto delle immagini hanno dato dei risultati molto positivi, infatti le immagini simili venivano riconosciute e distinte molto bene dalle immagini

che non lo erano.

Uno degli ultimi problemi che abbiamo riscontrato in questo nuovo sistema, è stata la difficoltà nel riuscire a ritagliare perfettamente la sagoma del bambino durante l'esecuzione. La soluzione trovata è stata l'utilizzo del metodo di **Blob Detection** implementato nella libreria **EmguCV**.

#### 4.12.1 EmguCV



Fig. 4.19: Logo di EmguCV.

**EmguCV** è un wrapper per la libreria di elaborazione di immagini OpenCV. Permette di chiamare tutte le funzioni OpenCV in un ambiente .NET con linguaggi come C#, VB, VC++, ecc. La libreria è scritta

completamente in C# ed esiste una comunità molto attiva che fornisce molto materiale di supporto. Inoltre, rispetto ad OpenCV, vengono implementate alcune classi e funzioni aggiuntive che risultano essere molto utili per l'immagine processing, come appunto la funzione di blob detection.

#### 4.12.2 Blob detection

La **blob detection** è una tecnica che ha come obiettivo quello di rilevare punti e/o regioni in una immagine che differisce in proprietà come luminosità o colore rispetto all'ambiente. I rilevatori blob si studiano e sviluppano per fornire informazioni complementari sulle regioni, che non sono ottenibili con il *Riconoscimento dei Contorni* o il *Riconoscimento degli Angoli*. Nel lavoro di preparazione il rilevamento blob è usato per ottenere regioni di interesse per ulteriori elaborazioni. Queste regioni possono segnalare la presenza di oggetti o parti di oggetti nel dominio dell'immagine con l'obiettivo di riconoscere

e/o tracciare gli oggetti. In altri domini, come nell'analisi dell'istogramma, i descrittori blob possono essere usati per il rilevamento di picchi con applicazione nella segmentazione. Un altro uso si trova come primitive principali nell'analisi e riconoscimento di texture.

### 4.12.3 Implementazione della blob detection

Per implementare il sistema di blob detection tramite le funzioni di EmguCV, è stato necessario riscrivere l'applicazione in C# in quanto la libreria è scritta in questo linguaggio. Per non perdere la funzione di confronto delle immagini scritta in C++ nella libreria OpenCV, abbiamo utilizzato il wrapper *OpenCVSharp* che permette di utilizzare tutte le funzioni di OpenCV con il nuovo linguaggio scelto.

Inoltre siamo tornati ad utilizzare l'SDK ufficiale di Microsoft per il controllo del Kinect e quindi abbiamo potuto abbandonare definitivamente il linguaggio C++ e OpenNI.

La blob detection viene applicata a tutti i frame provenienti dalla prima elaborazione nella quale si cerca di colorare tutto il pavimento di nero e il bambino di bianco. Cercando la sagoma più grande presente nella scena si ottiene perfettamente il profilo del bambino, e ritagliando il frame attorno a questa figura si va ad escludere quasi tutto il rumore. Per arrivare ad avere un'immagine molto pulita si è ricorsi ad un'ulteriore elaborazione delle immagini applicando un filtro di erosione, che elimina i pixel bianchi che non hanno dei lati a contatto con i pixel neri. Questo non solo elimina il rumore, ma smussa anche i contorni della sagoma rendendo più facile e preciso il riconoscimento della similarità delle immagini.

A questo punto, poi, siamo riusciti ad applicare anche una rotazione alla sagoma del bambino in modo da averla sempre orientata nella stessa direzione,

per rendere completamente ininfluenti le piccole variazioni nella direzione di spostamento dei bambini durante l'esecuzione dell'esercizio, e questo ci ha permesso di togliere dall'area di valutazione il percorso forzato, lasciando al bambino una maggiore libertà. Nella figura 4.20 si può vedere il confronto fra due ritagli del frame, uno non elaborato e l'altro ruotato e ripulito dal rumore (la differenza nell'orientamento fra le due sagome è molto piccola, ma la funzione di valutazione della similarità è molto sensibile a questo fattore).



**Fig. 4.20:** *Confronto fra un'immagine non elaborata e un'immagine ruotata e ripulita dal rumore.*

## 4.13 Ultime modifiche

Analizzando i tempi di elaborazione e di confronto medi per ogni frame, ci siamo resi conto che il tempo di valutazione era maggiore del tempo di elaborazione, e quindi in realtà le immagini confrontate erano molte meno di quelle trasmesse dal Kinect ed elaborate. Infatti fra la ricezione e l'elaborazione del frame venivano impiegati poco meno di 4 millisecondi, mentre per la valutazione ci volevano circa 5 o 6 millisecondi. Questo portava ad una

perdita secca di circa il 30% dei frame elaborati, rendendo molto difficili da riconoscere anche i movimenti corretti.

Per risolvere questo problema e quindi ridurre le informazioni perse, si è deciso di spostare la valutazione ad un momento successivo al passaggio del bambino nell'area di valutazione. Per far questo si è iniziato a salvare ogni frame sul disco rigido in una cartella temporanea, e nel momento in cui si iniziava la valutazione venivano riaperti dal programma e successivamente cancellati.

Essendo per ogni bambino salvati mediamente circa un centinaio di frame (in alcuni casi anche circa 3 volte tanto a causa del fatto che spesso i bambini si fermavano durante il movimento aumentando quindi il numero di frame in cui erano presenti) ci sarebbe potuto essere il rischio di occupare una quantità di memoria esagerata, ma abbiamo visto che ogni immagine occupava circa solo 16 KB e quindi mediamente un ogni bambino occupava solo circa 2 MB, che, considerando le dimensioni delle memorie rigide moderne, sono pochissimi.

## **4.14 Realizzazione delle immagini campione**

Dopo aver ottenuto l'applicazione pronta per i test, le ultime cose che mancavano erano le immagini di riferimento per i movimenti di apice destro e sinistro per la ricerca del movimento.

Per far ciò abbiamo scelto a mano quattro immagini per lato che sembravano essere le più indicative per i nostri movimenti. Nelle figura 4.21 si possono vedere le immagini scelte per il movimento sul fianco sinistro.

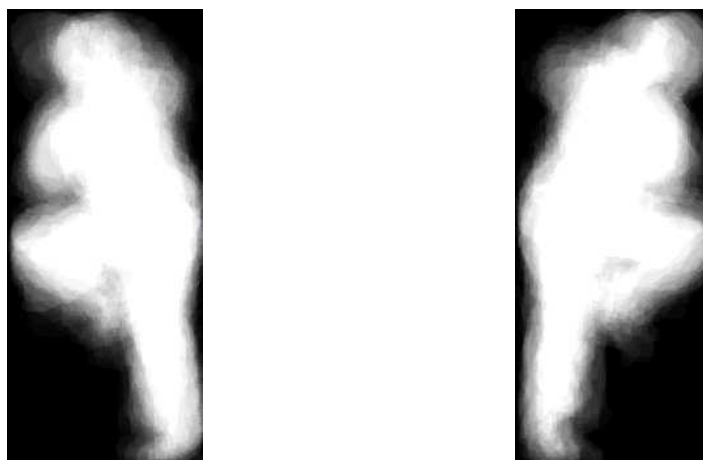


**Fig. 4.21:** Immagini di partenza per la realizzazione del campione per il lato sinistro.

Abbiamo applicato il confronto di queste quattro immagini a tutti i frame delle registrazioni che avevamo (di entrambe le sessioni non essendo più importante l'allineamento perfetto del Kinect col pavimento) e, utilizzando un valore di riferimento minimo per la funzione di riconoscimento della similarità del 70% e considerando solo quelle che avevano un riscontro con almeno tre dei campioni, abbiamo ottenuto 28 immagini per il movimento a sinistra e 32 per quello a destra.

Tutte queste immagini risultanti sono state prima ridimensionate in modo che tutte avessero lo stesso numero di pixel, e poi unite applicando una funzione di media aritmetica sui valori di ogni pixel. Le immagini risultanti sono mostrate nella figura 4.22.





**Fig. 4.22:** *Immagini ottenute come media fra tutte quelle trovate.*

Infine abbiamo applicato un filtro che eliminasse tutti i pixel che avevano un valore inferiore a 153 (considerando che il massimo è 255, ciò corrisponde al valore dei pixel appartenenti ad almeno il 60% di tutte le immagini) e che portasse tutti gli altri al colore bianco, ottenendo le immagini di riferimento finali (fig: 4.23).



**Fig. 4.23:** *Immagini di riferimento.*

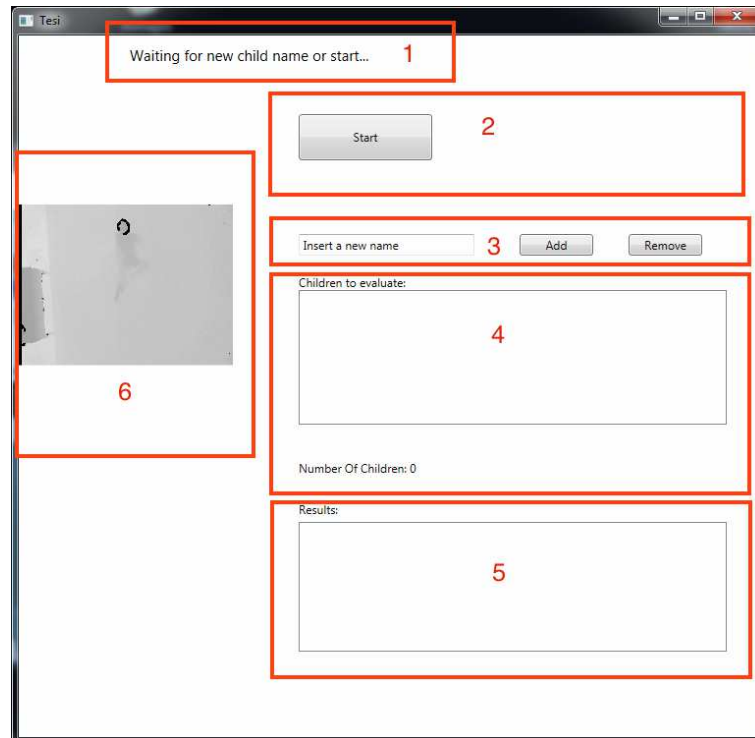
# Capitolo 5

## Interfaccia

In questo capitolo verrà mostrata l'interfaccia dell'applicazione, si spiegheranno le funzionalità implementate e se ne illustrerà il funzionamento e l'utilizzo.



## 5.2 Interfaccia



**Fig. 5.2:** Aree dell'applicazione.

L'interfaccia dell'applicazione è suddivisa in sei aree principali (fig: 5.2):

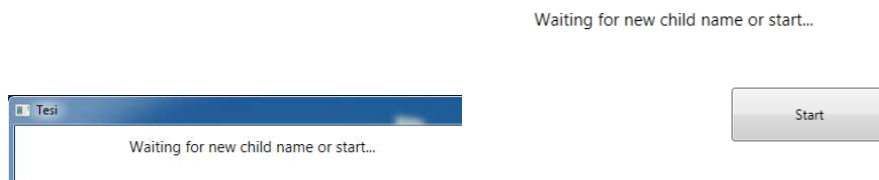
1. messaggi
2. pulsanti
3. gestione lista bambini
4. lista bambini
5. lista risultati
6. stream Kinect

### 5.2.1 Messaggi

In questa area vengono visualizzati tutti i messaggi dell'applicazione per l'utente. I messaggi servono per far capire in che stato si trova l'applicazione e quali operazioni debba compiere l'utente.

All'apertura dovrebbe venir visualizzato un messaggio di inizializzazione (*Initializing...*) durante la fase di caricamento e impostazione di tutti i moduli e i parametri necessari al funzionamento. Questa fase, però, è estremamente veloce e l'utente non riesce a percepire questo messaggio (anche se viene visualizzato).

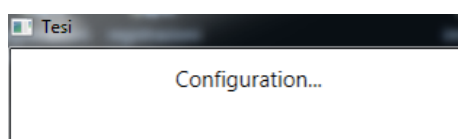
Quindi il primo vero messaggio di cui l'utente ha esperienza è quello in cui viene indicato che l'applicazione è in attesa di input (fig: 5.3). Questo messaggio rimane visualizzato fino all'avvio dell'applicazione (tramite la pressione del pulsante **Start** in figura 5.4).



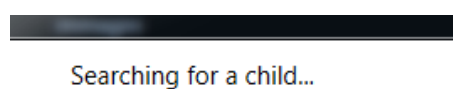
**Fig. 5.3:** *Applicazione in attesa.*

**Fig. 5.4:** *Pulsante di avvio.*

All'avvio della ricerca della sagoma dei bambini, viene mostrato per cinque secondi un messaggio che indica che l'applicazione si sta configurando (ossia sta mappando tutte le distanze minime come indicato nel capitolo dell'implementazione) come in figura (fig: 5.5). Finita questa fase verrà mostrato il messaggio indicante l'effettiva fase di analisi (fig: 5.6).

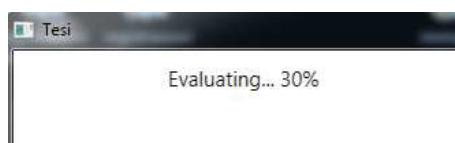


**Fig. 5.5:** *Messaggio di configurazione.*



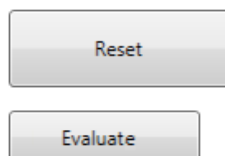
**Fig. 5.6:** *Messaggio di ricerca.*

Infine, durante la valutazione dei bambini, viene mostrato un messaggio che indica lo stato dell'applicazione e la percentuale di completamento della valutazione (fig: 5.7).



**Fig. 5.7:** *Messaggio durante la valutazione.*

### 5.2.2 Pulsanti



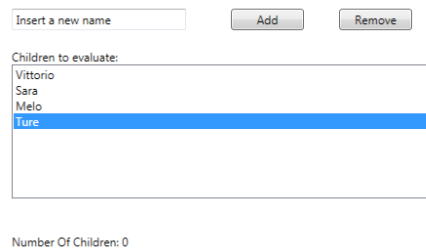
**Fig. 5.8:** *Pulsanti di reset e di evaluate.*

I pulsanti dell'applicazione sono 3 (fig: 5.4 e 5.8):

1. **Start**
2. **Reset**
3. **Evaluate**

Il primo serve per far partire l'analisi dei dati di profondità, il secondo per reinizializzare l'applicazione cancellando tutti i dati già raccolti, e il terzo serve a far iniziare la valutazione. Nel momento in cui l'applicazione parte, è visibile solo il pulsante **Start**, mentre durante la fase di analisi sono visibili solo i pulsanti **Reset** e **Evaluate**. Durante la valutazione è visibile il solo pulsante **Reset**.

### 5.2.3 Gestione lista bambini



**Fig. 5.9:** Sezione della lista dei bambini.

In questa sezione è possibile inserire o cancellare i nomi dalla lista dei bambini da valutare tramite la casella di inserimento del testo e i pulsanti **Add** e **Remove** (fig: 5.9). Questa lista è stata introdotta per permettere al valutatore di inserire in anticipo i bambini che verranno valutati nell'ordine in cui verranno valutati. Questa funzione serve nel caso in cui l'educatore sia solo e quindi non possa gestire sia i bambini che l'applicazione stessa, infatti, una volta fatta partire l'applicazione, questa eseguirà la valutazione in automatico non appena avrà riconosciuto un numero di bambini pari al numero di nomi inseriti nella lista, senza che il valutatore se ne debba più occupare. Questo però comporta che il valutatore sappia in anticipo l'ordine di valutazione, e per questo motivo, prevedendo il caso in cui non sia possibile sapere in anticipo queste informazioni, è stata introdotta la possibilità di far

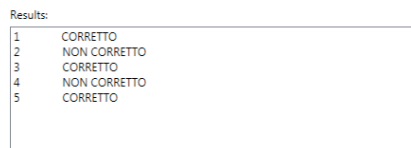
partire l'applicazione senza questa lista, in tal caso, semplicemente, verranno memorizzati tutti i bambini rilevati finché non si premerà il pulsante di valutazione.

### 5.2.4 Lista bambini

In questo spazio (fig: 5.9) vengono visualizzati tutti i nomi inseriti dal valutatore nell'ordine (dall'alto verso il basso) in cui verranno valutati.

Sotto a questa sezione c'è un indicatore del numero di bambini di cui si è riconosciuto l'attraversamento dell'area di valutazione.

### 5.2.5 Lista risultati



Results:	
1	CORRETTO
2	NON CORRETTO
3	CORRETTO
4	NON CORRETTO
5	CORRETTO

**Fig. 5.10:** Sezione dei risultati.

In questo spazio, alla fine della valutazione e finché non si farà partire una nuova analisi dei dati, vengono mostrati i risultati, ossia si mostrerà il nome del bambino (o il numero nel caso che non si sia inserito alcun nome nella lista) con a fianco la valutazione (*CORRETTO* o *NON CORRETTO* in base al fatto che sia stato riconosciuto oppure no il movimento), come in figura 5.10.

Questi stessi risultati vengono anche salvati in un file di testo sul desktop. Il nome di questo file viene generato unendo la parola *evaluations* alla data e all'ora della valutazione nel formato “dd-mm-yyyy\_HH-MM-SS” (es. *evaluations\_15-05-2014\_05-13-33*).



### 5.2.6 Stream Kinect



**Fig. 5.11:** *Stream dei dati del Kinect.*

In questo spazio viene visualizzato il frame corrente della profondità, ricevuto dal Kinect. Quando l'applicazione non sta eseguendo nessuna operazione, viene visualizzata direttamente l'immagine di profondità, mentre quando è in corso la ricerca della sagoma viene mostrato il frame dopo l'elaborazione con la mappa delle profondità. Durante le fasi di configurazione e di valutazione non viene mostrato alcun frame.

## 5.3 Funzionalità

La funzionalità principale è ovviamente l'analisi dei dati di profondità per individuare i bambini, e la conseguente elaborazione di questi dati per capire se il movimento del soggetto è stato eseguito correttamente oppure no.

Altre funzioni aggiuntive sono: la possibilità per l'educatore di inserire una lista di nomi di bambini per eseguire le valutazioni in modo completamente automatizzato; eseguire la memorizzazione dei dati riguardanti tutti i bambini che passano nell'area di valutazione e, solo in un secondo momento, valutarli; forzare la valutazione dei dati già acquisiti in qualsiasi momento; resettare

l'applicazione portandola nello stato iniziale cancellando tutte le informazioni precedentemente raccolte; visualizzare e salvare in un file di testo i risultati delle valutazioni.

## 5.4 Utilizzo

Si è cercato di mantenere l'utilizzo dell'applicazione il più semplice possibile, in modo che anche persone non esperte potessero utilizzarla senza difficoltà. L'applicazione non necessita nessuna installazione in sé, però è necessario avere installati sul computer i driver del Kinect, in particolare il **Kinect Runtime Environment**, per poter utilizzare la periferica Microsoft.



**Fig. 5.12:** *Apertura applicazione senza Kinect collegato.*

Una volta montato il Kinect sopra l'area di valutazione (come già visto non è necessario che sia perfettamente in linea col pavimento, però deve essere stabile e non subire vibrazioni) e collegato lo stesso al computer, si può lanciare l'applicazione.

Da notare che se il dispositivo non è collegato o i driver non sono stati installati, l'applicazione si aprirà senza visualizzare lo stream dei dati (fig: 5.12), ed è necessario riavviare l'applicazione dopo aver provveduto a risolvere i problemi legati alla periferica.

Una volta caricata la schermata iniziale, l'educatore può scegliere se inserire una lista di bambini tramite l'apposita sezione di cui si è precedentemente parlato, oppure può iniziare direttamente l'analisi dei dati di profondità alla ricerca delle sagome dei bambini tramite il pulsante **Start**.

A questo punto viene nascosto il pulsante di avvio e compaiono i pulsanti **Evaluate** e **Reset**. Il primo forza l'inizio della valutazione dei dati raccolti, nel caso non ci siano dati l'effetto è analogo alla pressione del pulsante **Reset**, altrimenti, alla fine del processo, vengono mostrate e salvate le valutazioni elaborate. Il secondo pulsante, utilizzabile anche durante la fase di valutazione, resetta l'applicazione e cancella tutti i dati eventualmente salvati.

Poiché l'applicazione sviluppata in ambiente Windows, la gestione grafica della stessa (ridurre a icona, modalità schermo intero, ridimensionamento, spostamento e chiusura) avviene come per tutte le finestre dei sistemi operativi Microsoft.

# Capitolo 6

## Testing

In questo capitolo è spiegata la fase di testing dell'applicazione e sono mostrati gli errori trovati durante i test e le conseguenti modifiche per risolvere gli stessi.

### 6.1 Sessioni di testing

Abbiamo svolto 4 diverse sessioni di testing in 4 giornate differenti, durante le normali lezioni dei bambini.

Per le prime due sessioni non si è tenuto conto dei risultati ripetuti su ogni bambino, cioè non è segnalato quale bambino faceva quali risultati, mentre nella quarta e nella quinta si è provveduto a registrare anche i nomi dei bambini e quindi ad avere i risultati di più valutazioni su ogni soggetto, questo per poter avere maggiori informazioni sulle valutazioni (infatti pensavamo che prendendo più valutazioni per ogni bambino si potesse migliorare l'affidabilità del sistema).

La valutazione avveniva facendo eseguire al bambino l'esercizio nell'area di valutazione (un solo bambino per volta), con l'educatore che controllava e

segnava il suo giudizio indipendentemente dal valore restituito dal sistema (che peraltro gli era sconosciuto in quanto il valore viene calcolato solo alla fine), e infine i giudizi del valutatore e dell'applicazione venivano confrontati.

### **6.1.1 Prima sessione**

Durante la prima sessione di valutazione, sono stati riscontrati numerosi problemi che non emergevano durante le prove con le registrazioni.

La prima difficoltà che abbiamo incontrato è stata che, frequentemente, l'applicazione si bloccava e/o bloccava completamente il computer, tanto da dover riavviare il computer stesso o da dover utilizzare il gestore delle attività del sistema operativo per chiudere il programma.

Un altro problema riguardava l'esecuzione dell'esercizio da parte dei bambini. Infatti, se questi si fermavano nel bel mezzo dell'area di valutazione, capitava spesso che venisse incrementato il contatore dei bambini riconosciuti (una sagoma ferma di un bambino potrebbe non essere riconosciuta dalla funzione di blob detection e, secondo la nostra implementazione, questo porta l'applicazione a credere di aver individuato un nuovo bambino) senza che effettivamente l'esercizio fosse concluso. Come conseguenza, venivano salvate le sagome di uno stesso bambino in cartelle corrispondenti a bambini differenti e durante le valutazioni non solo venivano considerati molti più bambini di quanti ne erano passati, ma ogni bambino registrato non riusciva a raggiungere il numero di pose minime richieste per poter valutare il movimento corretto, e quindi nessun esercizio veniva considerato eseguito correttamente, nonostante le valutazioni positive degli educatori.

A causa dei continui crash dell'applicazione, è stato possibile eseguire solo le valutazioni di 10 bambini, che hanno dato tutte esito negativo nonostante gli educatori avessero valutato positivamente 7 esecuzioni.

## Risultati

A causa dei problemi precedentemente citati, queste valutazioni non sono state considerate nel bilancio finale sull'affidabilità dei risultati, in quanto si è visto che il sistema non funzionava e che erano necessarie delle modifiche.

## Modifiche

Analizzando il codice e le prestazioni, ci siamo accorti che la causa dei continui crash del sistema era legata ad una funzione di conversione dei formati d'immagine utilizzati durante la fase di elaborazione dei dati di profondità. Infatti inizialmente si era deciso di utilizzare questi dati per creare un'immagine di tipo *Bitmap* che si prestava facilmente alla visualizzazione sullo schermo (nella sezione di stream dei dati di profondità di cui si è parlato nel capitolo precedente), ma che necessitava di una conversione ad un altro formato per poter applicare la funzione di blob detection. Questo processo non era problematico con l'utilizzo delle registrazioni, perché si è visto che i frame da elaborare per ogni bambino erano circa 30, mentre dal vivo per ogni esecuzione i frame erano circa 100. Questo incremento di dati da elaborare aumentava enormemente il carico di operazioni da eseguire bloccando l'applicazione o il computer.

Per risolvere questo problema si è trovato il modo di evitare questa conversione di formato, creando immediatamente l'immagine nel formato utilizzabile per la blob detection, e utilizzando direttamente questa immagine per la visualizzazione dello stream.

Per risolvere il problema dei bambini che si fermano durante l'esercizio, è sta-

to sufficiente introdurre dei controlli sulla posizione della sagoma del bambino all'interno del frame; in questo modo il contatore non può essere incrementato finché il bambino non ha eseguito effettivamente l'esercizio attraverso tutta l'area di valutazione.

### **6.1.2 Seconda sessione**

Durante la seconda sessione l'applicazione ha funzionato meglio e ha permesso di eseguire la valutazione su più soggetti. In questa sessione sono stati valutati 51 soggetti (in realtà il numero di bambini era inferiore ma sono state eseguite anche più valutazioni per i singoli bambini), divisi in gruppi da 5 (tranne un gruppo da 6). Si è deciso di dividere in gruppi per evitare che qualche problema nel programma o nel computer potesse causare la perdita di tutti i dati acquisiti prima della valutazione, in questo modo invece si sarebbero perse solo poche rilevazioni.

Il problema principale riscontrato riguardava questa volta la fase di valutazione: durante questo processo l'applicazione cessava di rispondere anche se, dopo aver ultimato le valutazioni, non solo restituiva i risultati, ma tornava al suo corretto funzionamento. Il problema dei continui crash invece era stato risolto: l'applicazione non ha mai smesso di funzionare sebbene si sia notato che spesso occupava una quantità di memoria eccessiva rallentando tutto il sistema.

Un altro problema individuato riguarda i frame ritagliati su cui si eseguono i confronti con i campioni: alcuni risultavano ruotati di 90° a destra o a sinistra rispetto alla direzione corretta, senza un apparente motivo. Però il numero di questi frame era così ridotto da non compromettere il risultato della valutazione.

L'ultimo problema riguardava la creazione delle cartelle nelle quali vengono

salvate le immagini con le sagome dei bambini, perché spesso capitava che ne venisse creata una aggiuntiva che non corrispondeva ad alcun bambino.

### **Risultati**

In questa sessione sono state valutate 51 esecuzioni di striscio. Gli educatori ne hanno valutato positivamente 35, mentre l'applicazione solo 32, per un totale di 14 discrepanze fra le due valutazioni (considerando quindi i falsi positivi e i movimenti non riconosciuti dall'applicazione).

Questo comporta una percentuale di errore del sistema di circa 27,45%.

### **Modifiche**

Il problema della cartella in soprannumero era causato da un problema nel flusso di esecuzione dell'applicazione. Ogni nuova cartella veniva creata (se non esisteva già) utilizzando come nome il contatore del numero di bambini riconosciuti ogni volta che si entrava nella funzione di blob detection, e quindi una cartella veniva creata anche quando non si trovava nessuna sagoma. Per risolvere il problema è stato sufficiente spostare la creazione delle cartelle dopo il codice relativo all'individuazione di una sagoma; in questo modo le cartelle vengono create solo se è stato riconosciuto un bambino.

La rotazione errata delle sagome, invece, dipendeva dalle dimensioni del rettangolo di contorno contenente la sagoma stessa: se la larghezza era superiore alla lunghezza, l'angolo di rotazione individuato aveva un errore di 90° verso destra o sinistra a seconda dell'inclinazione. Per risolvere questo problema è stato sufficiente inserire alcuni controlli e una correzione dell'angolo.

Il problema più grave e complesso riguardava il blocco dell'applicazione durante la fase di valutazione. Dopo diverse ricerche si è scoperto che il problema dipendeva dalla gestione della grafica e dall'esecuzione delle onerose



operazioni di confronto fra immagini nello stesso thread, e quindi l'applicazione non riusciva a gestire la grafica mentre provava ad eseguire la valutazione, dando l'impressione di essere bloccata. Per risolvere il problema l'esecuzione della valutazione è stata inserita in un thread in background che non influenzasse la gestione della grafica dell'applicazione.

Inizialmente non è stato dato peso ai frequenti picchi nell'uso della memoria; questo problema verrà risolto dopo la terza sessione di test.

### 6.1.3 Terza sessione

In questa sessione di test abbiamo iniziato a considerare le valutazioni sui singoli bambini registrando i nomi degli stessi e i risultati che ottenevano. I problemi precedenti relativi a blocchi totali dell'applicazione o del computer non si sono più verificati, neppure durante l'onerosa fase di valutazione, e le immagini con le sagome dei bambini risultavano tutte correttamente orientate.

Le uniche problematiche riscontrate sono state le risorse ingenti (memoria principale e CPU) occupate dall'applicazione durante il funzionamento.

Si è verificato inoltre un problema durante il passaggio di un bambino nell'area di valutazione, quando un altro bambino si è avvicinato rendendo nullo il risultato di quella valutazione: il sistema ha riconosciuto anche un'altra sagoma e l'ha memorizzata all'interno della stessa cartella, e quindi l'applicazione ha considerato i due bambini come uno solo, senza poter quindi distinguere chi fra loro eseguiva correttamente l'esercizio.

### Risultati

In questa sessione sono stati valutati 39 soggetti (più 1 non considerabile), gli educatori ne hanno valutato positivamente 26. Anche l'applicazione ha

individuato 26 esecuzioni giuste, ma con un totale di 10 discrepanze fra le due valutazioni.

Questo comporta una percentuale di errore del sistema di circa 25,64%.

Il fatto di aver segnato i nomi dei bambini ci ha permesso di capire che circa il 50% delle valutazioni errate si ripeteva sugli stessi soggetti. Questo problema potrebbe essere causato dalla presenza di diverse pose del movimento corretto oltre a quelle utilizzate come campione, ma di questo si parlerà meglio in seguito.

### **Modifiche**

Per provare a ridurre la quantità di risorse richieste dal sistema si è tornati ad analizzare il codice scoprendo che:

1. una funzione che utilizzava del codice unmanaged (cioè dove la memoria non viene gestita dal garbage collector) non rilasciava correttamente la memoria che allocava e questo causava la saturazione della memoria stessa dopo qualche minuto di funzionamento;
2. la visualizzazione di ogni singolo frame sullo schermo richiedeva molta CPU e quindi si è deciso di ridurre i frame visualizzati ad uno ogni 10, non compromettendo la sensazione di stream e riducendo la richiesta di calcoli.

#### **6.1.4 Quarta sessione**

In questa ultima sessione si è potuto verificare il perfetto funzionamento dell'applicazione secondo le aspettative, senza problemi o difficoltà.

### Risultati

In questa sessione sono stati valutati 60 soggetti. Gli educatori ne hanno valutato positivamente 28, mentre l'applicazione ha individuato solo 24 esecuzioni giuste, per un totale di 16 discrepanze fra le due valutazioni (considerando i falsi positivi e i movimenti non riconosciuti dall'applicazione).

Questo comporta una percentuale di errore del sistema di circa 26,66%.

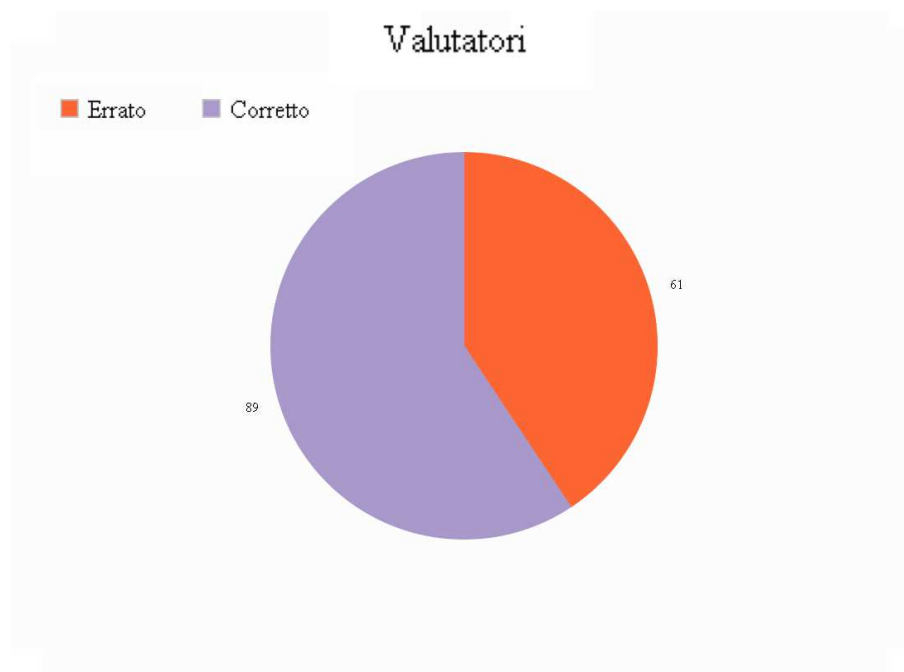
Anche in questa sessione abbiamo notato che circa il 50% degli errori era ripetuto sugli stessi soggetti.

### Modifiche

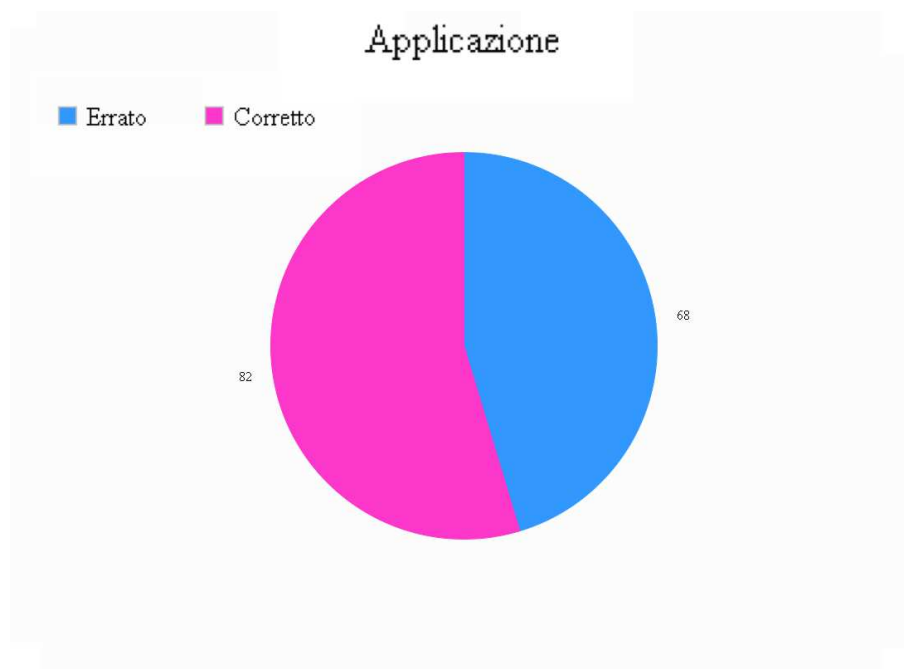
Dopo questa sessione non è stato ritenuto necessario apportare ulteriori modifiche al sistema.

## 6.2 Risultati

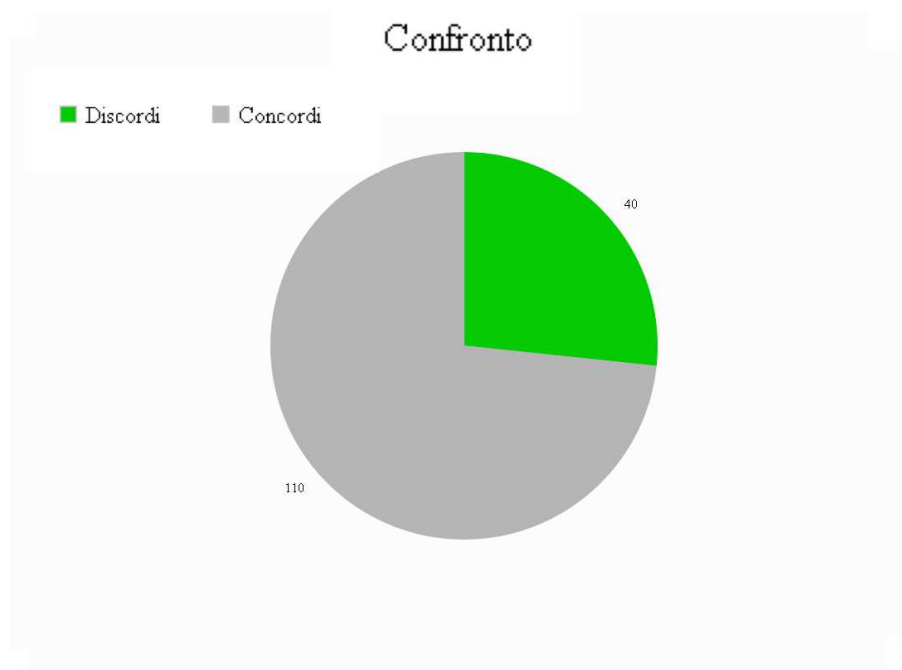
Considerando la totalità delle sessioni (tranne la prima per i problemi di cui si è già parlato), sono stati eseguite 150 valutazioni di movimenti; di queste, i valutatori hanno detto che 89 erano positive e 61 negative (fig: 6.1), mentre l'applicazione ha trovato 82 esecuzioni corrette e quindi 68 sbagliate (fig: 6.2). I valori discrepanti fra le due valutazioni sono stati 40, ottenendo quindi solo il 26,66% di errori nelle valutazioni (fig: 6.3).



**Fig. 6.1:** Grafico delle valutazioni degli educatori.



**Fig. 6.2:** Grafico delle valutazioni dell'applicazione.



**Fig. 6.3:** *Confronto fra le valutazioni.*

Come è già stato accennato, circa la metà delle discrepanze delle valutazioni riguardano gli stessi bambini. Ciò può essere determinato dal fatto che i bambini assumono pose differenti quando raggiungo l'apice del movimento, pur eseguendo correttamente l'esercizio.

Questo fatto è confermato da alcune prove eseguite sui valutatori stessi, i quali eseguono l'esercizio correttamente ma non vengono riconosciuti dal sistema, ed effettivamente, osservando le sagome individuate, le pose sono piuttosto differenti. Nelle figure fig: 7.2 e fig: 6.5 infatti si vede chiaramente la differenza fra l'immagine campione utilizzata e la posa all'apice di un educatore.



**Fig. 6.4:** *Immagine campione utilizzata.*



**Fig. 6.5:** *Sagoma di un educatore.*

Riteniamo che questo sia dovuto a differenze fisiologiche delle persone (per esempio il fatto che un adulto sia fisicamente più grande di un bambino) e che per risolvere il problema si dovrebbero introdurre differenti immagini campione fra le quali ricercare la posa.

Sebbene l'affidabilità del sistema sia solo del 73%, siamo riusciti a realizzare un prototipo funzionante che esegue la valutazione dell'esercizio dello striscio e questo, in accordo con gli obiettivi della tesi, è da considerarsi un successo. Inoltre si devono considerare gli ampi margini di miglioramento di cui si parlerà nel prossimo capitolo.

# Capitolo 7

## Conclusioni e sviluppi futuri

In questo capitolo vengono presentate le conclusioni e le possibili future direzioni di ricerca e di miglioramento del sistema realizzato.

### 7.1 Conclusioni e sviluppi futuri

L'obiettivo della tesi era quello di dimostrare che è possibile la realizzazione di un sistema automatico in grado di sostituire gli educatori nella valutazione neuromotoria. L'implementazione dell'applicazione per l'analisi del movimento dello striscio, svolta in questa tesi, è il primo passo nella direzione dello sviluppo di un sistema di questo genere.

Attualmente, come si è già detto, il sistema ha un'affidabilità insufficiente (inferiore al 74%) per essere già impiegato, ma questo è sufficiente per dimostrare che in futuro la realizzazione di un sistema affidabile e completo è possibile.

In accordo con gli obiettivi a lungo termine dell'associazione “**Movi-Mente ASD**”, la principale direzione di ricerca dovrebbe essere la realizzazione di un sistema automatico completo per la valutazione neuromotoria di tutti gli

item che abbia un'affidabilità elevata e che possa realmente sostituire il lavoro dei valutatori.

Per quanto riguarda invece lo sviluppo e il miglioramento del prototipo già realizzato, sono emersi cinque aspetti che potrebbero portare ad un significativo miglioramento delle prestazioni e dell'utilità del sistema:

1. ricerca di un sensore alternativo,
2. aggiunta di più immagini campione,
3. aggiunta di sistemi di machine learning,
4. ricerca di una strategia di valutazione,
5. aumento della precisione.

## 7.2 Sensore alternativo



**Fig. 7.1:** *Kinect One.*

Il primo aspetto riguarda le caratteristiche tecniche del sensore utilizzato, cioè del Microsoft Kinect. Questa periferica nasce in ambito videoludico e non per eseguire mappature

tridimensionali con alti livelli di dettaglio, e questo comporta una precisione e una qualità dei dati di profondità molto limitate. Si deve pensare ad un sensore di profondità che abbia delle specifiche migliori in termini di risoluzione e di precisione e, ricercando una periferica di questo tipo fra quelle già disponibili, la soluzione migliore è probabilmente il Kinect One (il successore del Kinect in figura 7.1).

Dal momento che anche questa periferica nasce in ambito video-ludico, la



realizzazione di un sensore ad hoc per il sistema non è da escludere, anzi potrebbe essere la soluzione migliore.

### **7.3 Aggiunta immagini campione**

Il secondo aspetto riguarda l'approfondimento della fisiologia dei bambini e quindi delle sagome riconosciute dal sistema. Infatti, come è emerso durante i test, il prototipo tende a ripetere gli errori sempre sugli stessi soggetti, e riteniamo che la causa sia proprio la differenza nelle pose assunte dai bambini che comunque eseguono l'esercizio correttamente.

Il motivo di queste differenze sembra essere legato alla fisiologia dei bambini (altezza, dimensioni degli arti, ecc.) che porta i soggetti ad assumere pose leggermente differenti pur rispettando i vincoli di correttezza dell'esercizio.

Per approfondire questo aspetto è necessario lo studio delle immagini derivanti dall'esecuzione del movimento assieme agli educatori dell'associazione per cercare di estrapolare le nuove pose campione da utilizzare. Probabilmente l'analisi dei dati già raccolti relativi ai bambini sui quali il sistema tende a ripetere gli errori, è sufficiente per ottenere alcune nuove pose.

Nelle figure 7.2 e 7.3 si possono vedere un'immagine campione attualmente utilizzata e un'altra possibile immagine di riferimento.



**Fig. 7.2:** Immagine campione utilizzata.



**Fig. 7.3:** Immagine campione di un'altra fisiologia.

## 7.4 Machine learning

Il terzo aspetto riguarda ancora le immagini campione. Le figure attualmente utilizzate dal sistema per i confronti sono il risultato della semplice media fra un insieme di sagome trovate nelle registrazioni. Se però queste immagini fossero il risultato di un algoritmo di apprendimento automatico, la precisione dell'applicazione aumenterebbe notevolmente.

Infatti si potrebbero inserire delle dinamiche di machine learning per l'aggiornamento continuo dei profili utilizzati per il confronto, cioè le immagini utilizzate per la ricerca delle pose verrebbero automaticamente aggiornate in base ai risultati trovati.

## 7.5 Strategia di valutazione

Il quarto aspetto riguarda la strategia migliore per eseguire le valutazioni, infatti con il giusto protocollo di valutazione si può ridurre la percentuale di errore del sistema.

Attualmente la frequenza delle valutazioni errate è circa di 1 ogni 4, però,

per aumentare l'affidabilità del sistema, si potrebbe far eseguire l'esercizio al bambino più volte e considerare come risultato effettivo la valutazione con più ricorrenze. Per esempio, considerando l'affidabilità attuale del sistema, se si facesse eseguire al bambino l'esercizio 3 volte e se lo si considerasse giusto se almeno due risultati sono positivi, la probabilità che la valutazione complessiva sia errata rispetto a quella dell'educatore, verrebbe ridotta al 16%. Se le ripetizioni fossero 5 la percentuale d'errore scenderebbe a circa 10%.

Chiaramente si deve trovare il giusto compromesso fra l'affidabilità e il numero di ripetizioni dell'esercizio, infatti basare l'affidabilità del sistema su un numero di ripetizioni troppo alto rischia di ridurre la funzionalità del sistema stesso.

## **7.6 Aumento della precisione**

L'ultimo aspetto riguarda la precisione della valutazione, non in termini di affidabilità del sistema, ma di livello di dettaglio.

Attualmente la valutazione effettuata dall'applicazione restituisce solo due valori (errato/corretto), mentre la valutazione effettuata dagli educatori restituisce tre valori differenti (errato/intermedio/corretto), quindi il livello attuale di precisione del Profilo di Valutazione Neuromotoria è molto basso. Se si riuscisse a realizzare un sistema di valutazione che restituisce una gamma maggiore di valori (per esempio da 1 a 10) si aumenterebbe notevolmente la quantità e la qualità delle informazioni disponibili per l'analisi delle prestazioni dei soggetti e per il miglioramento del protocollo di lavoro. Infatti, tramite valutazioni frequenti, si potrebbero rilevare nel dettaglio i progressi di ogni bambino e si potrebbe trovare la precisa correlazione fra lo sviluppo

dei prerequisiti funzionali all'apprendimento e la quantità di lavoro.

Per esempio, considerando un sistema con 10 valori, se si vedesse che il miglioramento di un dominio del profilo di valutazione neuromotoria migliora di 7 punti con l'esecuzione di 100 capovolte a lezione, ma solo di 8 con l'esecuzione di 200 capovolte, si ridurrebbe il tempo dedicato allo svolgimento di questo esercizio a favore di un altro.

# Bibliografia

- [1] <http://docs.opencv.org>.
- [2] <http://en.wikipedia.org>.
- [3] <http://it.wikipedia.org>.
- [4] <http://msdn.microsoft.com>.
- [5] <http://opencv.org>.
- [6] <http://projects.ict.usc.edu/mxr/faast>.
- [7] <http://stackoverflow.com>.
- [8] <https://www.leapmotion.com>.
- [9] <https://www.thalmic.com>.
- [10] <http://www.airwriting.com>.
- [11] <http://www.asus.com>.
- [12] <http://www.corriere.it>.
- [13] <http://www.ellipticlabs.com>.
- [14] <http://www.emgu.com>.

- 
- [15] <http://www.hongkiat.com/blog/motion-sensing-gadgets>.
- [16] <http://www.movi-mente.org>.
- [17] <http://www.openni.org>.
- [18] <http://www.tobii.com>.
- [19] <http://www.xsens.com>.
- [20] A. Berthoz. *Il senso del movimento*. McGraw-Hill, 1998.
- [21] C. H. Delacato. *Organizzazione neurologica e problemi di apprendimento*. Armando Editore, 1980.
- [22] C.H. Delecatto. *Alla scoperta del bambino autistico*. Armando Editore, 1975.
- [23] Doman D. Hagy B. Doman, G. *Come insegnare al vostro bambino ad essere fisicamente splendido, ancora la rivoluzione gentile. . . .* Armando Editore, 1992.
- [24] Anna Emilia Berti e Anna Silvia Bombi. *Corso di psicologia dello sviluppo*. Il Mulino, 2005.
- [25] F. Fabbro. *Neuropedagogia delle lingue. Come insegnare le lingue ai bambini*. Casa Editrice Astrolabio, 2004.
- [26] L. Montanari I. Mora, L. Bertozzi. *Architettura delle funzioni, lo sviluppo neuromotorio del bambino fra normalità e patologia*. Springer-Vergal, 2002.
- [27] Sangalli A. L. *Attività motoria compensativa*. Trento Unoedizioni, 2003.

- [28] Castagnini M. *I disturbi dello sviluppo neuro e psicomotorio del bambino*. Tipolitografia don Calabria, 2002.
- [29] R. M. Restak. *Il cervello del bambino. Viaggio nel mondo inesplorato della mente infantile*. Mondadori/De Agostini, 1995.
- [30] J. H. Robertson. *Il cervello plastico*. Rizzoli, 1999.
- [31] Spiritelli L. Squassabia, C. *Il mio sport non è il tuo. Il bambino e un'attività sportiva a propria dimensione*. Calzetti Mariucci Editore, 2006.
- [32] AA. VV. *Le attività motorie nella formazione del fanciullo*. I.E.I. Treccani, 1980.

## *Ringraziamenti*

Alla fine di questo lavoro di tesi è doveroso ringraziare tutte le persone che hanno contribuito alla sua realizzazione, nella speranza di non dimenticare nessuno. Grazie alla professoressa Franca Garzotto per aver accettato la mia proposta di tesi e grazie all'ingegner Mirko Gelsomini per avermi assistito e aiutato nella sua realizzazione.

Grazie all'Università degli studi di Parma e al Politecnico di Milano per avermi fornito questa preziosa formazione universitaria.

Grazie a tutti coloro che mi hanno aiutato a realizzare la tesi, rileggendo e correggendo le bozze o risolvendo i dubbi di calcolo delle probabilità.

Grazie all'associazione Movi-Mente ASD, in particolare alla presidentessa e al vicepresidente, per avermi permesso di svolgere questo lavoro con loro.

Un ringraziamento particolarmente caloroso a tutti i miei amici conosciuti a Parma e a Milano, i quali hanno condiviso con me le fatiche dello studio, la noia delle lezioni e la gioia dei risultati finali.

Grazie ai carissimi amici della mia terra natia che mi sono stati accanto e mi hanno aiutato a superare i momenti più faticosi.

Infine un grazie ai miei fratelli per avermi sopportato mentre scrivevo questo documento, e grazie mamma e grazie papà per aver sempre creduto in me anche quando io stesso ho faticato a crederci.



