



UNIVERSITÁ DEGLI STUDI DI SALERNO
Dipartimento di Scienze Umane, Filosofiche e della
Formazione

Dottorato di ricerca in “Metodologia della ricerca educativa”
X Ciclo - Nuova Serie

Tesi di dottorato in:

“Nuove tecnologie informatiche e scienze motorie: approcci
applicativi in ambienti educativi”

Relatore:

Prof.Giuliano Minichiello

Dottorando

Francesco Sgrò

Tutor:

Prof.Maurizio Sibilio

Anno Accademico 2010 - 2011

A Sara

Indice

Introduzione	viii
1 L'informatica nei sistemi scolastici	1
1.1 La TIC nella scuola: lo scenario mondiale	2
1.2 Il rapporto tra le TIC e i docenti in Italia	4
1.3 Le tecnologie informatiche nella scuola	8
1.3.1 I software per la didattica	9
1.3.2 Edu-software Liberi e Open-Source	11
1.3.3 Applicativi ed Internet	14
1.3.4 Learning Management System	15
2 Le scienze motorie nella scuola: dall'apprendimento motorio alla valutazione della performance	18
2.1 Dagli schemi motori di base alle abilità motorie	20
2.1.1 Il movimento	20
2.1.2 Gli schemi motori di base	21
2.1.3 Le capacità motorie	22
2.1.4 Le abilità motorie	26
2.2 Apprendimento motorio e prestazione motoria	27
2.2.1 Lo sviluppo degli schemi motori di base	29
2.2.2 Lo sviluppo delle capacità motorie	32
2.2.3 Lo sviluppo delle abilità motorie	37
2.3 Dall'apprendimento motorio alla prestazione	37

3	Tecnologie per la valutazione dell'attività fisica	40
3.1	Le linee guida sull'attività fisica dei giovani	41
3.1.1	Gli aspetti educativi secondo le linee guida europee sull'attività fisica	45
3.2	Metodologie per la valutazione dell'attività fisica	47
3.2.1	La valutazione soggettiva dell'attività fisica	49
3.3	La valutazione oggettiva dell'attività fisica	53
3.3.1	Calorimetria indiretta	53
3.3.2	Osservazione diretta	56
3.3.3	Misurazione della frequenza cardiaca	58
3.3.4	La valutazione dell'attività fisica utilizzando i contapassi	66
3.3.5	La valutazione dell'attività fisica utilizzando l'accele- rometro	69
3.4	Riflessioni sulle metodologie presentate	72
3.5	Il compendio sulle attività fisiche	73
3.5.1	Lo schema di codifica	74
3.5.2	Intensità dell'attività e calcolo del MET	76
4	ITS- Intelligent Tutoring System: Modello Studente e Interfacce specifiche per l'Educazione Motoria	79
4.1	I sistemi ITS	80
4.1.1	L'architettura di base di un ITS	82
4.2	Il modulo studente	84
4.3	La Logica Fuzzy	86
4.3.1	Insiemi Fuzzy: il processo di fuzzificazione	87
4.3.2	Il motore inferenziale: le regole Fuzzy	90
4.3.3	Il processo di defuzzificazione	93
4.4	Le Reti Neurali Artificiali	95
4.4.1	Le caratteristiche delle reti neurali artificiali	96
4.4.2	Gli algoritmi di apprendimento	98

4.4.3	Le classificazioni delle reti neurali artificiali	100
4.5	I sistemi Neuro-Fuzzy	104
4.6	Il compendio dell'attività fisica per i giovani	106
4.6.1	Lo schema di codifica	109
4.6.2	Determinazione del costo energetico	113
4.7	Il modello Neuro-Fuzzy e l'interfaccia Apple-Nike	113
4.7.1	L'interfaccia Apple-Nike	115
4.7.2	L'architettura del modello studente	116
4.7.3	Implementazione	121
4.8	La valutazione del modello studente	122
4.8.1	Addestramento della rete	124
4.8.2	Simulazioni di case studies	126
4.8.3	Sperimentazione/Validazione in scenari reali	128
5	Conclusioni	133
A	Dataset	136
B	Consenso informato	139
C	Dettagli attività fisiche	140
	Bibliografia	143

Elenco delle figure

1.1	Dati ISTAT 2010 - Utilizzo del PC e di Internet diviso per genere, età, ripartizione geografica e tipologia occupazionale	6
2.1	La classificazione delle capacità motorie	23
2.2	Le curve di crescita di organi e apparati	24
2.3	Step di sviluppo del potenziale motorio	29
2.4	Segmentazione delle abilità coordinative	33
2.5	Parametri del carico di lavoro	34
3.1	Rapproto fra semplicità e precisione per le tecnologie per l'analisi del movimento	49
4.1	Architettura di base di un ITS	82
4.2	Esempio di insiemi crisp	88
4.3	Esempio di alcune funzioni di appartenenza	89
4.4	Esempio di alcune regole Fuzzy	91
4.5	Funzioni di appartenenza <i>Tipologia giornata</i>	92
4.6	Funzioni di appartenenza <i>Azione</i>	92
4.7	Rappresentazione di un sistema Fuzzy	94
4.8	Rappresentazione del sistema Fuzzy per l'esempio proposto sulle Temperature	94
4.9	Rappresentazione delle sinapsi del cervello	96
4.10	Rappresentazione di una rete neurale artificiale	97
4.11	Rappresentazione di percettrone	100

4.12	Rappresentazione di un perceptrone multilivello	101
4.13	Rappresentazione di un sistema ibrido Neuro-Fuzzy	106
4.14	Procedura gerarchica di assegnazione del costo energetico alle attività non misurate (Ridley,2008)	112
4.15	Rappresentazione del sistema Nike - Apple	115
4.16	Rappresentazione del sistema ibrido scelto per l'implementa- zione del modello studente	117
4.17	Funzioni di appartenenza <i>Calorie stimate</i>	119
4.18	Funzioni di appartenenza <i>Calorie consumate</i>	119
4.19	Funzioni di appartenenza utilizzate per la valutazione dell'at- tività fisica	121
4.20	Interfaccia di inserimento dati	122
4.21	ITS a supporto dell'educazione motoria	123
4.22	SmartNet: interfaccia per l'addestramento della rete neurale - Case 1	125
4.23	SmartNet: interfaccia per l'addestramento della rete neurale - Case 2	125
4.24	Esempio di classificazione <i>Insufficiente</i>	127
4.25	Esempio di classificazione <i>Eccellente</i>	127
4.26	Controller Wii	129
4.27	Wii Fit Balance Board	130

Elenco delle tabelle

2.1	Analisi Schemi motori di base	32
3.1	Dati sull'attività fisica dei giovani Europei rispetto a ricerche condotte utilizzando misuratori di frequenza cardiaca con periodi di registrazione superiori ai tre giorni	64
3.2	Dati sull'attività fisica dei giovani Europei rispetto a ricerche condotte utilizzando contapassi in periodi non inferiori ai 3 giorni	68
3.3	Dati sull'attività fisica dei giovani Europei rispetto a ricerche condotte utilizzando gli accelerometri in periodi non inferiori ai 3 giorni	71
3.4	Esempio di codifica di un'attività fisica	74
3.5	Le attività principali individuate nella prima edizione del compendio	75
3.6	Le attività principali individuate nella seconda edizione del compendio	75
4.1	Analogia tra reti neurali biologiche ed artificiali	97
4.2	La codifica utilizzata per l'attività fisica dei giovani	110
4.3	Regole del motore inferenziale Fuzzy	120
4.4	Programma di allenamento	132

Introduzione

Lo sviluppo delle nuove tecnologie a supporto della didattica ha determinato l'inarrestabile crescita dei modelli d'insegnamento-apprendimento a distanza, sempre più flessibili ed efficaci, basati sull'utilizzo delle tecnologie digitali. In questo scenario il ruolo rivestito dai discenti e dai docenti all'interno del processo formativo mutua radicalmente: i docenti devono acquisire nuove competenze relativamente all'insegnamento a distanza, mentre gli studenti acquisiscono un ruolo di maggiore protagonismo nelle dinamiche dell'apprendimento in cui sono coinvolti. L'insegnamento a distanza non rappresenta, però, l'unica significativa esperienza dell'utilizzo delle nuove tecnologie informatiche nei contesti formativi. Ad oggi è sicuramente possibile individuare diverse tecnologie adoperate alla pari di differenti risorse didattiche per l'apprendimento, come i software specifici per la didattica, noti anche con il nome di edu-software, le risorse elettroniche, come archivi di immagini e video, e gli ambienti tecnologici per l'apprendimento. In questo scenario, però, le tecnologie non sono state utilizzate in modo del tutto equo nei diversi contesti educativi. Infatti, è possibile individuarne l'utilizzo negli approcci didattici prettamente ad indirizzo scientifico, come l'insegnamento della matematica, della fisica o della chimica; nell'area umanistica, già è possibile osservare un utilizzo moderato delle nuove tecnologie, mentre nell'ambito delle attività motorie hanno trovato impieghi poco significativi. In ambito educativo, l'attività motorio-sportiva è parte integrante del curriculum della nostra scuola ormai da molti anni (legge n. 88 del 7 febbraio

1958), ma ancora oggi è percepita come una materia di studio marginale rispetto alle altre. Spesso è considerata come una disciplina nella quale i ragazzi hanno la possibilità di muoversi attraverso attività ludico-sportive, senza rilevarne il valore che essa ha sull'apprendimento e sulla condizione di benessere psico-fisico nello studente. Grazie ai diversi studi scientifici e alle pubblicazioni presenti, oggi è possibile affermare che lo sport e le attività motorie sono espressione di un potenziale cognitivo pari ad altre discipline e strumento di apprendimento di abilità e competenze che travalicano la stessa corporeità. Il corpo, in particolare, può essere considerato “come mediatore di apprendimento, come veicolo per la strutturazione delle relazioni sociali e come strumento privilegiato per la promozione del benessere psicofisico”¹. La pratica di attività motorie come strumento educativo rappresenta, quindi, un momento di crescita sia sotto il profilo fisico che sotto il profilo intellettuale e può anch'essa trovare punti di contatto significativi ed opportuni con le nuove tecnologie informatiche. In questo lavoro di tesi ci si è posti l'obiettivo di dimostrare come sia possibile utilizzare le nuove tecnologie informatiche, limitatamente ad alcune sue forme, per integrare i classici approcci formativi adoperati nel mondo delle attività motorie, proponendo l'utilizzo di specifici ausili tecnologici per la fase di valutazione dei gradi di abilità conseguiti dagli studenti. Il lavoro di tesi si fonda su un'accurata analisi e una precisa dissertazione delle tecnologie utilizzate in ambito educativo e su uno studio approfondito degli applicativi sperimentati per l'educazione motoria, con particolare riferimento agli aspetti di controllo e sviluppo motorio, all'apprendimento e ai sistemi di valutazione della “prestazione”. Quando ci riferiamo allo studio dell'attività motoria è opportuno ricordare che parliamo di una disciplina complessa e multidimensionale, in cui l'utilizzo delle nuove tecnologie rende il processo di insegnamento-apprendimento

¹M. Sibilio, *Lo sport come percorso educativo. Attività sportive e forme intellettive*, Napoli: Guida, 2005, p. 13

e relativa valutazione più personalizzabile e oggettivo delle attività. Il lavoro di tesi sarà caratterizzato dal presente contributo introduttivo, dalla stesura dei 4 capitoli relativi all'approfondimento delle applicazioni tecnologiche negli ambienti di apprendimento e il loro collegamento allo sviluppo di buone prassi nell'ambito delle attività motorie in contesti scolastici, dalle conclusioni, da alcune appendici utili a dettagliare alcuni aspetti del lavoro sviluppato e dalla bibliografia. Il primo capitolo descriverà l'applicazione delle nuove tecnologie nel mondo della didattica. Dopo una breve cronistoria utile ad identificare il processo di integrazione tra le nuove tecnologie e il mondo della formazione, verranno esaminate le diverse tipologie di ausili tecnologici utilizzati nei contesti educativi attuali. Per ogni tecnologia saranno analizzate caratteristiche, obiettivi, funzionalità e ambiti di applicazione. Particolare enfasi verrà posta sulle best-practice della didattica divenute elemento fondante di momenti formativi per le scuole di diversi ordini e gradi; tra queste gli strumenti multimediali per l'apprendimento collettivo e le piattaforme di Learning Management System. Il capitolo si concluderà con una analisi critica sulla possibilità di utilizzare queste tecnologie anche per gli aspetti formativi collegati alle attività motorie. Il secondo capitolo fornirà le basi dell'ambito di studio identificato, sovente, con i termini apprendimento e sviluppo motorio, che rappresentano gli aspetti pedagogici fondanti dell'educazione motoria. In questo capitolo si procederà alla definizione di concetti come movimento, capacità motorie, schemi motori, abilità motorie e sviluppo motorio, affrontando le diverse classificazioni che li caratterizzano. Verranno, inoltre, analizzate le metodiche didattiche utilizzate per lo sviluppo di dette abilità e i meccanismi di valutazione adoperati nei contesti educativi. Il capitolo si concluderà delineando gli aspetti cruciali che caratterizzano le metodologie utilizzate per la "misurazione" dei diversi aspetti delle attività motorie, spesso noti con il termine performance, introducendo, indirettamente, quelle che debbono

essere le peculiarità proprie delle tecnologie a tal fine utilizzabili. Il terzo capitolo si soffermerà sull'analisi delle tecniche e delle tecnologie utilizzate per la valutazione delle prestazioni motorie, con particolare enfasi sui requisiti che queste devono possedere per un corretto, efficace e non invasivo impiego anche in contesti educativi. Esse saranno classificate in funzione dell'applicabilità nei diversi momenti valutativi dell'attività motoria, in funzione dei requisiti di input/output richiesti e delle relative caratteristiche fisiche e tecnologiche. Il capitolo presenterà, inoltre, la descrizione del compendio sulle attività fisiche degli adulti. Questo rappresenta lo strumento attraverso il quale, per mezzo di un parametro univoco definiti per singole attività motoria, il *MET - Metabolic Equivalent Task*, è possibile comparare contributi scientifici realizzati con differenti strumenti di misura e valutazione dei task motori. Il quarto capitolo prevede distinzione in due parti. Nella prima parte saranno descritti e analizzati gli elementi caratterizzanti i sistemi ITS - Intelligent Tutoring System, con specifico riferimento al modello studente e alle linee di ricerca sviluppate sulle diverse possibilità di implementazione di quest'ultimo. Questa parte proseguirà con una descrizione delle tecnologie di soft-computing adoperate per l'implementazione proposta in questo lavoro; in ultima analisi si procederà alla descrizione del compendio dell'attività fisica dei giovani che, al pari di quello descritto nel terzo capitolo, è utile ai fini della valutazione dell'attività motoria. La seconda parte del capitolo esporrà, invece, il sistema informatico progettato e sviluppato nel mio percorso di dottorato per assistere gli studenti nei processi di apprendimento di attività motorie di base, adoperando semplici e non invasivi ausili tecnologici. Verranno, inoltre, presentati i risultati ottenuti per via simulativa e sperimentale dall'applicazione di questo sistema di tutoraggio, attraverso l'utilizzo di data-set significativi e rappresentativi di un potenziale campione di studenti coinvolti in attività motorie e soggetti a valutazione. In quest'ultima fase il lavoro è stato condotto in stretto contatto con docenti

universitari e docenti di educazione fisica di scuola media, con cui abbiamo definito gli aspetti pedagogici dell'attività motoria e le soglie di valutazione. Nel capitolo delle conclusioni, infine, saranno tracciate le linee riassuntive del lavoro proposto, evidenziando gli aspetti più significativi della ricerca presentata e delineando i possibili sviluppi futuri connessi con il lavoro di ricerca condotto nel triennio delle attività di dottorato svolto.

Capitolo 1

L'informatica nei sistemi scolastici

Il XXI può essere considerato il secolo in cui la vita dell'uomo è stata travolta dall'avvento delle nuove tecnologie che, in maniera del tutto trasversale, ha pervaso completamente il contesto socio culturale in cui viviamo. La scuola, nella sua qualità di centro di formazione per eccellenza, deve rispondere positivamente alle sfide che le nuove tecnologie possono lanciare, al fine di inglobare all'interno delle proprie metodologie di lavoro un utilizzo appropriato delle **TIC - Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione**. Un uso appropriato degli ausili tecnologici per la didattica è diventato requisito fondamentale per preparare gli studenti al contesto sociale e lavorativo attuale. I nuovi media digitali sono sempre più presenti nella quotidianità delle persone rispetto ad altre tipologie di media, comprese quelle cartacee, e il loro utilizzo ha determinato una sempre più profonda alterazione della vita culturale, sociale e relazionale di ciascuno di noi. Offrendo nuove possibilità di interazione, le nuove tecnologie stanno concorrendo, al pari di altri ausili anche di natura formativa, alla costruzione dell'identità personale di ciascuno, facilitando l'acquisizione e l'organizzazione dei saperi: in questo scenario la scuola, se non si adegua a queste nuove caratteristiche, rischia di allonta-

narsi sempre più dai sistemi di conoscenza più avanzati indotti dalle moderne società. Il problema della *Digital Competence* in ambito scolastico occupa grande spazio nell'attuale dibattito pedagogico; gli stessi organismi internazionali che hanno come mission anche l'istruzione (OCSE, UE e UNESCO) stanno promuovendo iniziative tese a favorire l'adeguamento dei sistemi di istruzione e formazione in una società sempre più digitalizzata. Le competenze digitali sono di tipo multidimensionale complesso e interconnesso: presuppongono l'acquisizione delle capacità di base (lettura, numeracy, problem solving) e integrano abilità e capacità di natura cognitiva, relazionale e sociale. Una delle competenze che la scuola odierna dovrebbe formare è proprio la *digital literacy*, ovvero il saper usare con padronanza e spirito critico le tecnologie, che diventano, quindi, uno strumento funzionale al processo formativo. Sebbene non esistano ancora delle misure oggettive per valutare le effettive abilità nell'uso critico dei media digitali da parte degli studenti, vi è, comunque, la convinzione che queste competenze debbano essere monitorate con estrema ponderazione, proprio alla luce di dati che confermano l'emergere di un nuovo divario sociale proprio sul diverso accesso ai media digitali.

1.1 La TIC nella scuola: lo scenario mondiale

Il ruolo rivestito dalle tecnologie digitali nel mondo della scuola rappresenta uno dei temi più dibattuti a livello mondiale. Nel 2010 a Londra si è tenuta la seconda edizione del principale evento mondiale sulle tecnologie per l'apprendimento, il *LATWF - Learning and Technology World Forum* al quale hanno partecipato oltre 1000 rappresentanti provenienti da 100 paesi diversi, compresi diversi ministri dell'istruzione dei principali stati europei. Il focus dell'evento è stato rappresentato dalla possibilità di realizzare, grazie all'ausilio delle nuove tecnologie, percorsi formativi individualizzati, attraverso i quali contribuire alla formazione di una futura classe di lavoratori

altamente qualificati e, contestualmente, innalzare gli standard qualitativi dei sistemi formativi. A livello globale l'investimento sulle nuove tecnologie in ambito educativo è sicuramente significativo ma non omogeneo. Tra gli stati più attivi nel processo d'integrazione delle nuove tecnologie nel mondo scolastico, con l'obiettivo dichiarato di diventare leader mondiale, vi è sicuramente l'Inghilterra, che tra il 1997 e il 2010 ha investito più di 5 miliardi di sterline. La relativa gestione del processo di diffusione è stata affidata ad un'apposita agenzia governativa, chiamata BECTA¹, che ha definito interventi sostanziali nel mondo della scuola, riguardanti le infrastrutture, le prassi e i contenuti delle pratiche didattiche in uso. Gli interventi sono stati sia direttamente applicati al mondo scolastico, con la costruzione di laboratori, copertura con reti wireless delle strutture, assegnazione ai docenti di computer portatili, formazione dei formatori, ma anche indirettamente, attraverso il coinvolgimento dei ragazzi e delle loro famiglie. A seguito di tali iniziative, attraverso un'analisi di tipo quali-quantitativo degli effetti ottenuti, si è potuto apprezzare come tra il 1997 e il 2011 si è passati dal 20% di docenti che accedevano ad internet al quasi 100%. A tale dato si accompagna, inoltre, un abbattimento del rapporto tra PC e studenti che, nel dettaglio, è sceso da 1/19 del 1997 ad 1/6.2 attuale. Altro meritevole esempio di investimento nell'innovazione della didattica è la Norvegia, dove si è proceduto direttamente sui curriculum scolastici a livello istituzionale: le consolidate abilità di letto/scrittura e calcolo sono state affiancate anche dalla *digital literacy*. La conseguenza più diretta di questo cambio curriculare si manifesta con l'obbligo degli alunni, di qualsiasi livello, di adoperare i media digitali durante il processo di apprendimento. E' chiaro che questo è solo il risultato finale di un processo graduale, avviato con l'introduzione dei PC nelle scuole, proseguito con lo sviluppo dei curricula formativi con particolare riferimento alle tecnologie digitali e all'utilizzo delle tecnologie

¹British Educational Communication Technology Agency

informatiche per la trasformazione degli ambienti di apprendimento. Come in Inghilterra, un'analisi quali-quantitativa certifica i risultati ottenuti con queste iniziative: il rapporto PC/Studenti è 1/6 nella scuola elementare e 1/2 nella scuola media superiore. L'Inghilterra e la Norvegia, sebbene rappresentino gli stati con interventi più significativi, sono solo due degli stati che, come Scozia, Finlandia, Nuova Zelanda e Hong Kong, hanno investito e continuano ad investire nell'integrazione della media literacy nella scuola. In Italia, così come in altri paesi del mediterraneo come Spagna e Portogallo, solo negli ultimi anni si è avviato un analogo processo che, seppur troppo lentamente rispetto ai cambiamenti tecnologici in atto, porterà ad una scuola digitale. In particolare, la Direzione Generale per gli Studi, la Statistica e i Sistemi Informativi del Ministero dell'istruzione sta promuovendo il "Piano Scuola Digitale teso a integrare le tecnologie nella didattica. Il piano si propone l'obiettivo di modificare gli ambienti di apprendimento, i linguaggi della scuola, gli strumenti di lavoro e i contenuti anche grazie all'innovazione digitale che dovrebbe consentire di abbandonare il tradizionale concetto di classe, come ambiente chiuso dove avviene l'apprendimento, per arrivare a creare invece un nuovo spazio di apprendimento aperto sul mondo.

1.2 Il rapporto tra le TIC e i docenti in Italia

Come affermano Prensky² e Ferri³ il divario generazionale che si presenta in alcune scuole è sempre più elevato: da un lato un docente che, in percentuale minima, utilizza le tecnologie ma, in maggioranza, non le integra con il proprio lavoro, mentre dall'altro degli studenti digitali, che ragionano in *multitasking*, utilizzano con semplicità iPod e cellulari, comunicano con social network e blog, sono sempre connessi e sono caratterizzati da modelli

²M. Prensky, *Digital natives, digital immigrants - Part I*, in *On the Horizon*, 9, n. 5, 2001, p.3

³P. Ferri, *Nativi digitali*, Milano: Bruno Mondadori, 2011

di pensiero *technology-oriented*^{4 5}. Alla luce di ciò, quindi, se è indubbio che le nuove tecnologie devono diventare strumento d'integrazione nella formazione, la riflessione da fare riguarda una serie di problematiche ad esse connesse, tra cui il costo che detta integrazione comporta in termini di *formazione permanente*. Un'analisi approfondita degli elementi ostativi è stata affrontata da Rivoltella in diverse sue ricerche^{6 7}, attraverso le quali è stato possibile identificare gli ostacoli principali incontrati dai docenti nel processo di integrazione dei nuovi media nella scuola: la carenza di tempo per la formazione, la mancanza di interesse per le tecnologie che vengono percepite come entità a loro estranee e lontane, la carenza di tempo in classe e la mancanza di adeguati supporti tecnologici nelle scuole. In controtendenza rispetto alle difficoltà sopra elencate, Gui⁸ ha rilevato come le tecnologie rivestono un ruolo rilevante nella scuola, anche se in *background* rispetto all'aula; sono infatti molti i docenti che utilizzano strumenti informatici di vario genere a supporto della propria professione, per preparare, ad esempio, le lezioni o i materiali distribuiti successivamente in forma cartacea. In Italia il tema dell'integrazione dei nuovi media nella scuola è particolarmente critico, considerato che, come dimostrano i dati in figura 1.1, l'utilizzo dei pc è diffuso in maniera lieve e piuttosto eterogenea sia per età che per ripartizione geografica, genere e condizione occupazionale. Sebbene il trend relativo all'utilizzo del PC e dei servizi via Web è in crescita, è giusto apprezzare come permane lo squilibrio territoriale sia nell'uso del personal computer che

⁴F. Faiella, *Apprendimento, Tecnologie e Scuola nella Società della Conoscenza*, in *TD - Tecnologie Didattiche*, n.2, 2010, p. 27

⁵S. Livingstone, *Opportunities and risks for children*, Kids Online, 2010

⁶P.C. Rivoltella, *Ragazzi connessi. I preadolescenti Italiani e i nuovi media*, Save the children, 2008

⁷P.C. Rivoltella, *Il senso del fare mediale. Un'indagine della SIREM per una ricerca nazionale sulle pratiche medialità di ragazzi, genitori e insegnanti*, in *REM - Ricerche su Educazione e Media*, n.1/2009, Trento: Erickson Edizioni, 2009

⁸M. Gui, *L'uso didattico delle ICT*, Milano: Il Mulino, 2010

SESSO, CLASSI DI ETÀ, RIPARTIZIONI GEOGRAFICHE E CONDIZIONE OCCUPAZIONALE	Uso del personal computer (b)						Uso di Internet (c)					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2005	2006	2007	2008	2009	2010
SESSO												
Maschi	45,3	46,9	47,2	50,4	52,8	56,5	37,1	39,5	42,3	45,8	49,8	54,6
Femmine	34,7	36,1	36,6	39,7	42,5	45,8	26,9	29,0	31,7	35,0	39,4	43,6
Totale	39,9	41,4	41,7	44,9	47,5	51,0	31,8	34,1	36,9	40,2	44,4	48,9
CLASSI D'ETÀ												
3-5	16,9	13,9	13,8	15,6	16,9	18,0	-	-	-	-	-	-
6-10	53,2	54,0	52,4	57,4	56,9	59,1	13,0	15,4	18,0	22,2	30,5	36,7
11-14	73,8	74,3	74,3	77,6	81,4	83,6	44,2	48,1	55,8	59,3	69,6	75,7
15-17	80,2	79,7	77,8	81,9	86,0	89,3	63,5	67,2	70,1	76,7	82,1	87,2
18-19	75,9	77,4	77,4	80,0	86,0	89,8	67,4	68,6	74,8	77,2	83,7	90,4
20-24	69,1	72,4	71,9	73,8	79,0	82,8	63,1	66,2	68,4	71,0	77,6	82,1
25-34	57,1	60,4	61,5	65,5	69,6	74,3	50,7	54,4	58,7	62,6	67,9	73,3
35-44	52,0	53,8	54,1	58,6	62,0	66,6	43,1	45,7	48,5	53,8	58,2	64,6
45-54	40,5	43,6	44,2	48,7	51,6	55,9	32,4	36,4	39,2	44,0	48,6	53,0
55-59	25,0	26,7	29,9	33,6	36,0	44,1	19,4	21,5	26,3	29,7	33,1	41,0
60-64	13,8	16,4	17,5	20,5	25,0	28,3	10,8	12,3	14,9	18,0	22,8	25,2
65-74	5,5	7,0	6,9	9,1	9,9	13,7	3,9	4,8	5,5	7,2	8,5	12,1
75 e più	1,5	1,4	2,1	1,9	2,4	2,7	1,0	0,9	1,5	1,3	1,5	2,0
Totale	39,9	41,4	41,7	44,9	47,5	51,0	31,8	34,1	36,9	40,2	44,4	48,9
RIPARTIZIONI GEOGRAFICHE												
Nord-ovest	43,7	46,4	46,9	49,4	51,8	55,6	35,8	39,0	41,9	44,7	48,3	53,6
Nord-est	44,1	44,8	45,7	49,6	51,1	54,1	35,6	38,1	41,2	45,4	48,2	51,3
Centro	42,4	43,2	43,1	46,9	48,8	53,1	35,9	37,0	38,7	42,9	46,8	51,3
Sud	33,7	34,4	34,3	37,3	40,7	43,5	24,8	26,2	29,6	32,1	37,3	41,9
Isole	32,8	35,6	36,5	38,5	43,2	47,0	24,5	27,7	29,8	33,5	39,5	44,5
Italia	39,9	41,4	41,7	44,9	47,5	51,0	31,8	34,1	36,9	40,2	44,4	48,9
CONDIZIONE OCCUPAZIONALE (d)												
Occupati	56,4	58,7	58,6	63,4	66,7	71,1	48,0	51,0	54,1	59,0	63,6	68,7
<i>Dirigenti, Imprenditori, Liberi professionisti</i>	72,2	76,0	74,9	80,5	81,3	85,9	66,9	69,8	72,1	77,5	79,1	85,0
<i>Direttivi, Quadri, Impiegati</i>	78,3	78,7	79,6	84,3	85,4	87,3	68,6	71,0	74,9	80,4	82,9	85,1
<i>Operai, Apprendisti</i>	31,4	35,4	35,2	39,9	45,1	51,4	22,8	27,3	30,0	34,7	40,9	48,4
<i>Lavoratori in proprio e Coadiuvanti</i>	39,1	43,0	43,4	48,7	53,8	59,2	32,4	35,3	39,4	43,7	50,5	56,8
In cerca di nuova occupazione	33,5	36,8	40,6	43,7	50,1	56,1	27,0	31,1	36,3	40,0	47,5	54,8
In cerca di prima occupazione	43,5	48,2	51,5	45,3	57,6	61,7	35,8	39,9	47,4	41,7	55,3	59,7
Casalinghe	8,8	10,7	10,9	13,3	16,3	18,4	5,7	7,5	8,0	10,8	14,3	17,1
Studenti	86,5	87,3	85,0	88,0	90,2	92,1	76,5	79,9	80,6	85,0	88,3	91,8
Ritirati dal lavoro	8,0	9,3	9,7	11,2	12,4	15,4	5,9	6,5	7,8	9,3	10,6	13,3
Altra condizione	12,9	12,7	12,5	14,5	16,2	23,8	10,4	9,9	10,9	12,2	16,2	22,6
Totale	38,3	40,1	40,6	43,7	46,5	50,3	32,3	34,4	37,0	40,3	44,1	48,4

Figura 1.1: Dati ISTAT 2010 - Utilizzo del PC e di Internet diviso per genere, età, ripartizione geografica e tipologia occupazionale

in quello di Internet: i dati evidenziano, infatti, che chi dichiara di utilizzare il computer è la popolazione residente nel Centro-Nord (oltre il 53%) a fronte di una quota che nel Sud e nelle Isole è rispettivamente del 43,5% e del 47%; l'uso di Internet supera il 51% nel Centro-Nord e si attesta al 41,9% nel Sud e al 44,5% nelle Isole⁹. Se restringiamo l'analisi, inoltre, alla sola fascia della popolazione lavorativa, a cui i docenti appartengono, in media utilizzano il PC solo il 53,84% di loro e utilizzano internet solo il 51,42%, con differenze significative tra le fasce d'età pre e post i 45 anni. Considerando, inoltre, che il corpo insegnante nella scuola italiana è prevalentemente femminile e che l'età media degli insegnanti di ruolo è estremamente alta (gli insegnanti con più di 50 anni sono più del 42% nella scuola primaria e più del 60% nella secondaria – rispetto al 30% e 33% in UE¹⁰) appare chiaro che, il nodo cruciale su cui intervenire per favorire l'integrazione delle nuove tecnologie nel mondo della scuola sia proprio la formazione degli insegnanti. Una scuola rivolta alla *media-literacy* presuppone, quindi, che il corpo docenti acquisisca e/o potenzi un profilo professionale con competenze anche di tipo tecnologico. In tal senso la formazione dei nuovi insegnanti, a livello europeo, fa registrare una significativa eterogeneità sia di contenuti che di durata ed è legata all'ampia autonomia che hanno le università nel definire i *curricula* formativi per i vari indirizzi d'insegnamento. In generale, comunque, l'offerta formativa legata all'ICT che si presenta al corpo docenti è di tre tipologie:

- *alfabetizzazione informatica*: uso di base delle tecnologie ICT, come l'utilizzo del PC e dei suoi applicativi principali e l'utilizzo dei motori di ricerca per reperire informazioni;
- *software per la didattica*: ogni insegnante viene formato sull'utilizzo di apposite soluzioni informatiche, come software o strumenti hard-

⁹ISTAT, *Cittadini e nuove tecnologie*, 2010

¹⁰Ocse, *Educational at a Gance*, 2010

ware/software, specifiche per migliorare il processo di apprendimento di quella determinata disciplina;

- *didattica per le TIC*: l'obiettivo di questa tipologia di formazione presuppone l'analisi delle tecniche didattiche specifiche per apprendere quale sia la strategia migliore per utilizzare le tecnologie nel mondo della didattica.

Se quindi la formazione dei nuovi insegnanti, a livello europeo, fa registrare approcci eterogenei, lo stesso può dirsi per la formazione permanente degli insegnanti già in servizio. In molti paesi, al fine di garantire una continuità tra la formazione iniziale e la formazione *on the job*, i percorsi di aggiornamento sono affidati alle stesse istituzioni universitarie che propongono le tre diverse tipologie di offerte formative sopra descritte. In altri paesi, invece, la formazione degli insegnanti è demandata ad istituzioni, pubbliche e private, che organizzano percorsi di aggiornamenti per piccoli gruppi di docenti. In paesi come la Svezia, inoltre, la formazione permanente è sia obbligatoria che incentivata da miglioramenti retributivi o opportunità di carriera. E' chiaro, quindi, che tutti i governi europei convengono che lo sviluppo delle competenze degli insegnanti sulle tecnologie digitali rappresenti un fattore chiave dell'innovazione scolastica, sebbene le strade che portano a tale processo vengono percorse con iniziative molto differenti fra loro. Il processo che porta ad una scuola attenta alla *media-literacy* richiede uno sforzo da parte di tutti gli stakeholders coinvolti e diventa cruciale ridefinire in modo coerente e coordinato il profilo professionale degli insegnanti di ogni ordine e grado.

1.3 Le tecnologie informatiche nella scuola

Come è stato descritto nelle sezioni precedenti l'introduzione delle tecnologie TIC nel mondo della scuola è un processo avviato in quasi tutti i paesi

europei e con percorsi abbastanza definiti. Il mondo dell'insegnamento subirà, chiaramente, sostanziali modificazioni con l'avvento di dette tecnologie, soprattutto per ciò che riguarda il quadro teorico di riferimento: da percorsi formativi basati esclusivamente sulla centralità dell'insegnante, *teaching-centered*, si passera a percorsi formativi di tipo *learning-centered* in cui il soggetto sarà al centro del processo di formazione. Volendo scendere più nel dettaglio di quelle che sono le tecnologie realmente adoperate nella scuola è possibile distinguerle in:

1. Software per la didattica o *edu-software*;
2. Edu-software Liberi e Open-Source
3. Applicativi e Internet;
4. Learning Management System o Virtual Learning System.

Nelle seguenti sezioni verrà fornita una descrizione delle tecnologie sopra elencate, evidenziandone pregi e difetti e contestualizzandone l'utilizzo rispetto alle discipline scolastiche presenti nei curricula della scuola italiana. Il seguente elenco di tecnologia, comunque, è stato realizzato considerando quelle più vicine alle tematiche di questo lavoro di tesi, consapevole però, che sono anche altri i contributi autorevoli nel settore, come quelli di Galliani¹¹ e di Notti¹² sulle ontologie per la didattica.

1.3.1 I software per la didattica

I software sviluppati per l'utilizzo nella scuola vengono implementati con l'obiettivo specifico di veicolare contenuti conformi con i programmi di studio delle singole discipline, arricchendo le spiegazioni fornite dai docenti o

¹¹L. Galliani, *Web Ontology della valutazione educativa*, Lecce: Pensa Multimedia, 2009

¹²A. Notti, *Valutazione educativa: sperimentazione dell'ontologia*, Lecce: Pensa Multimedia, 2009

presenti nei testi di studio adottati con approfondimenti, strumenti di verifica e strumenti di valutazione. Attraverso un software didattico, nel seguito chiamato per brevità *edusoftware*, un docente può integrare le proprie spiegazioni e può coinvolgere i ragazzi in attività di recupero delle abilità di letto/scrittura o matematica con strumenti altamente attrattivi e, a volte, entusiasmanti. Il mondo della scuola si è accorta dei notevoli miglioramenti che l'utilizzo degli edusoftware può determinare, infatti i docenti si trovano spesso a scegliere non solo il miglior libro, ma anche il miglior software a supporto delle proprie attività. Tale scelta può essere determinata attraverso contatti diretti con i fornitori o può scaturire da una ricerca specifica sul Web. Il docente che dovrà scegliere l'edusoftware più adatto alle sue esigenze potrà utilizzare le banche dati di appositi centri istituzionali dedicati alla valutazione di software per la didattica, come il CNR¹³ o l'INDIRE¹⁴. Uno dei pregi più significativi dei software è quello che, rispetto ad un libro di testo, può facilmente essere "customizzato" rispetto alle esigenze di un gruppo di allievi allo scopo di esaltare le diverse potenzialità possedute da coorti diverse di studenti. In tal senso una delle soluzioni più adottate ed efficienti è rappresentata dagli ipertesti, cioè quello strumento informatico caratterizzato da una "navigazione a link. Uno dei pregi più significativi degli ipertesti a servizio della didattica è rappresentato dalla possibilità fornita agli studenti di personalizzare il proprio percorso di apprendimento. Ogni allievo, quindi, riveste un ruolo attivo nel proprio processo di crescita culturale e può decidere di affrontare lo studio degli argomenti scegliendo quelli che, per lui, rappresentano gli step più significativi per la completa conoscenza del tema oggetto di studio. Detto approccio, inoltre, rispecchia perfettamente la teoria costruttivista che, basandosi su una struttura di tipo radiale, risulta uno strumento ideale per la costruzione di competenze. E' opportuno, comunque, ricordare che gli ipertesti rappresentano degli stru-

¹³CNR - <http://www.itd.cnr.it/>

¹⁴<http://www.indire.it/software> - Realizzata in collaborazione con il MIUR

menti al servizio della didattica e, come tutte le tecnologie, hanno anche dei possibili aspetti problematici. Il più evidente è rappresentato dall'alta probabilità che lo studente, avendo parecchia libertà di scelta, possa sorvolare su aspetti fondamentali di un argomento o, addirittura, perdere di vista completamente l'obiettivo dell'unità didattica. E' in queste situazioni che il docente, padroneggiando gli strumenti tecnologici, deve intervenire per indicare agli studenti l'approccio corretto per il raggiungimento dell'obiettivo formativo prefissato.

1.3.2 Edu-software Liberi e Open-Source

Chi della diffusione delle tecnologie informatiche nel mondo della scuola ne ha fatto, da sempre, un obiettivo sensibile è la comunità del Software Libero. Il concetto di software libero rappresenta l'emblema di un movimento tecnico-culturale che trova la sua massima guida in un guru dell'informatica, Richard Stallman. L'obiettivo dichiarato è quello di diffondere l'utilizzo di software privo dei vincoli restrittivi introdotti dal copyright. A sostegno di questo movimento è stata fondata, nel 1985, la *Free Software Foundation*. Le iniziative della fondazione mirano alla promozione di software licenziati in modo tale che chiunque possa utilizzarli, studiarli, migliorarli e distribuirne i miglioramenti senza alcuna limitazione. In particolare un software viene definito libero quando rispetta le seguenti quattro caratteristiche, note come **Le quattro libertà fondamentali**^{15 16}:

1. Libertà di eseguire il programma per qualsiasi scopo.
2. Libertà di studiare il programma e modificarlo.
3. Libertà di ridistribuire copie del programma in modo da aiutare il prossimo.

¹⁵R. Stallman, *Software Libero pensiero libero*, Viterbo: Stampa Alternativa, 2003

¹⁶R. Stallman, *Software Libero pensiero libero*, Viterbo:Stampa Alternativa, 2004

4. Libertà di migliorare il programma e di distribuirne pubblicamente i miglioramenti, in modo tale che tutta la comunità ne tragga beneficio.

Un software libero è, per concezione, differente da un software di tipo *open-source*¹⁷, sebbene questa caratteristica ne è pre-requisito fondamentale. La punta di diamante di questo movimento è sicuramente rappresentata dal sistema operativo **Linux** che è, in molte delle sue distribuzioni, è un software sia open-source che libero. In Italia esistono diverse gruppi a sostegno dell'open-source e del software libero, associati in comunità, per lo più locali, denominate *Linux User Group*. E' indubbio che, per le caratteristiche possedute, il software libero si sposa perfettamente con le esigenze rappresentate dall'adozione delle tecnologie informatiche nel mondo della scuola. In Europa l'utilizzo del software libero nei contesti formativi è un processo avviato da parecchio tempo e, come in Francia, sono stati sanciti accordi tra Istituzioni e Associazioni a sostegno del software libero¹⁸, per l'adozione di strumenti open-source negli istituti scolastici, con l'impegno da parte delle istituzioni di sostenere tecnicamente il processo di integrazione. In Italia un'iniziativa mirata all'analisi della diffusione del software libero nella scuola si è avuta nel 2002 iniziativa denominata **Indagine conoscitiva sul software a codice sorgente aperto**, condotta dal ministero per le Innovazioni e le Tecnologie¹⁹. Dopo il 2002, grazie sia alla riforma Moratti, che ha inserito l'obbligatorietà dell'informatica già dalla scuola primaria che all'istituzione di una Commissione per il software a codice aperto nella Pubblica Amministrazione (CNIPA-OSS), il movimento del software libero ha trovato grandi spazi su cui poter recitare un ruolo di primaria importanza.

¹⁷Un software open-source permette agli utilizzatori di accedere al codice sorgente del software per modificarlo e adattarlo alle proprie necessità

¹⁸<http://www.aful.org>

¹⁹F. Campora, *La marcia dei pinguini: il lungo cammino del Software Libero e del Sistema Operativo Linux alla conquista della scuola primaria in Italia - Prima Parte*, 2006, p. 4

Una delle sperimentazioni di software open-source all'interno della scuola che ha trovato maggiore efficienza e diffusione è, sicuramente, il progetto di ricerca denominato **So.di.Linux**. L'obiettivo di questo progetto, realizzato attraverso la collaborazione tra AICA, Istituto per le tecnologie del CNR di Genova e CRIAD9 dell'Università degli Studi di Bologna, era quello di realizzare, diffondere e sperimentare una serie di strumenti didattici Open-Source²⁰. Le prime attività del progetto hanno prodotto lo sviluppo di una serie di CD e DVD Live di software didattici destinati al mondo della scuola. Successivamente, per favorire una differenziazione dei prodotti formativi in funzione delle esigenze dei docenti di diversi ordini e gradi, sono state sviluppate due diverse versioni:

- *So.di.Linux 6 x3*: suite di applicativi per la scuola dell'infanzia, primaria e secondaria di primo grado
- *So.di.Linux 6 x2*: suite di applicativi per la scuola secondaria di II grado e l'università.

L'ultima evoluzione di questo progetto ha visto l'integrazione dei software presenti nelle diverse versioni di So.di.Linux all'interno della distribuzione *Ubuntu 10.04*. Ubuntu è una distribuzione del sistema operativo Linux che, per semplicità, usabilità e compatibilità con le altre piattaforme informatiche, trova sempre maggiore diffusione nei PC degli utenti di tipo *SOHO - Small Office/Home Office*. Grazie a questa integrazione, gli utenti non solo disporranno di software didattico, ma anche di software per il tempo libero, la grafica, il videoediting, i social network e applicativi utili per creare lezioni digitali (audio e video) e poterle distribuire in tempo reale, anche a distanza, applicativi per l'inclusione (da usare a scuola e a distanza) e accesso facilitato.²¹

²⁰G. Caruso *et al.*, *So.di.Linux@cts.vr: nuove tecnologie open source per una scuola che integra*, in *Didatamatica2011*, 2011

²¹G. Caruso, *op. cit.*, 2011

1.3.3 Applicativi ed Internet

Le abilità di letto/scrittura rientrano, sicuramente, tra gli aspetti più cruciali della formazione scolastica. Una scuola tecnologica può offrire ai propri studenti strumenti funzionali allo sviluppo di dette abilità, come i *Word Processor*. Questi applicativi, sebbene nascano con finalità non di tipo formativo, possono essere adoperati nella scuola per integrare le proposte didattiche tradizionali al fine di favorire l'acquisizione in modo naturale ed intuitivo di nozioni di base del codice linguistico, come la direzione e la linearità nello scrivere. Già nelle prime fasi dell'apprendimento l'allievo potrà concentrarsi di più sull'aspetto linguistico di detta abilità, non dovendosi preoccupare dell'aspetto grafico. L'utilizzo di strumenti come il correttore ortografico in tempo reale e/o i dizionari dei sinonimi e dei contrari a portata di click rendono ancora più efficace il processo di apprendimento veicolato da ausili tecnologici per la video-scrittura. Parlando dell'introduzione delle ICT nella scuola una menzione particolare merita l'utilizzo della rete. Recenti indagini statistiche condotte dal Ministero dell'Istruzione nel 2008 nell'ambito del progetto "Il Web per Amico hanno sancito che l'utilizzo di Internet è ancora piuttosto eterogeneo: in media il 20% delle scuole non prevede l'accesso ad Internet per gli studenti e, ove presente, questo è limitato esclusivamente alle aule d'informatica. La maggioranza dei docenti, circa il 62 % consente un'accesso alla settimana ad Internet, mentre altri docenti permettono accessi ancora più sporadici; inoltre, sono i docenti delle materie umanistiche a utilizzare la rete come supporto didattico, e per lo più nelle scuole del Nord e se giovani. Questa realtà risulta piuttosto anacronistica e non in linea con la realtà sociale in cui vivono gli studenti italiani, il che annovera l'Italia tra quelle nazioni che non sfruttano appieno le potenzialità offerte dalla rete. Utilizzato in maniera sapiente e, opportunamente guidati, gli studenti possono trovar nella rete uno spazio multidimensionale, un luogo di interazioni, un'ambiente cooperativo d'apprendimento e di condivisione

di esperienze. Proprio questa sua caratteristica di multi-dimensionalità fa di Internet uno strumento didattico molto potente, in quanto integra in una sola risorsa tutte quelle dimensioni che, nella didattica tradizionale, sono separate. Accedere alle miriadi di risorse disponibili in rete attraverso motori di ricerca può aiutare lo studente a sviluppare capacità critiche, analitiche e selettive. Utilizzare Internet come vetrina in cui esporre il risultato dei propri apprendimenti, attraverso ad esempio l'aggiornamento del sito personale o la condivisione di attività attraverso piattaforme a distanza, può rappresentare da un punto di vista pedagogico lo strumento ideale grazie al quale sviluppare abilità espressivo-creative, capacità meta cognitive, capacità comunicative e progettuali. E' chiaro, comunque, che come detto in precedenza, e forse ancor di più degli ipertesti, l'utilizzo di Internet come strumento per la didattica necessita di una guida competente che solo l'insegnante adeguatamente formato può fornire, oltre che di alcune misure di prevenzione e sicurezza informatica realizzabili, esclusivamente, con opportuni strumenti tecnologici, come firewall e proxy.

1.3.4 Learning Management System

Negli ultimi anni si è assistito ad un incremento considerevole delle tecnologie per l'e-learning, cioè software specifici per il *courseware management*. Il termine *courseware*, coniato originariamente per indicare esclusivamente i materiali didattici del corso, è sovente utilizzato per indicare l'intero processo formativo espletato utilizzando il Web 2.0. Tra le peculiarità di questa tecnologia vi è, oltre agli aspetti tecnici legati all'ingegneria del software, la necessità di integrare detti aspetti con la natura intrinsecamente sociale della rete e con la sua infinita dinamicità²² ²³. Un compiuta integrazione determinerà una possibile interazione con altri sistemi di e-learning

²²G. Bonaiuti, *E-learning 2.0*, Trento: Erickson Edizioni, 2006

²³E. Cavalli, *Metodologia e tecnologia per l'e-learning*, in *Atti del XXVIII Convegno Aica*, 2000, pp. 759-770

per una moltitudine di servizi innovativi che, attraverso la rete, danno vita agli aspetti tipici del *collaborative learning*^{24 25}. Con gli strumenti del web 2.0 di tipo interattivo ed applicativo si possono quindi attivare servizi tecnologici personalizzabili, flessibili ed aperti, in grado di supportare la realizzazione di veri e propri ambienti virtuali di apprendimento^{26 27}. Con questi nuovi servizi è quindi possibile sia per i docenti che per gli studenti condividere i contenuti disponibili attraverso blog, podcast, media sharing e in particolare il social bookmarking con la finalità, quest'ultimo, di far condividere i siti preferiti tra vari utilizzatori, anche con la possibilità di aggiungere una descrizione sintetica e/o delle parole chiavi ai link, in modo da renderli subito raggiungibili e creando un sistema di *tagging efficace*^{28 29 30 31}. E' indubbio che, con le premesse precedentemente indicate, il numero di piattaforme di e-learning presenti sul mercato è elevatissimo e non è stato possibile, nonostante i vari approcci proposti in letteratura, definire un modello di valutazione dell'efficacia di dette piattaforme nei processi di apprendimento. Come descritto dagli autori³² è possibile, invece, effettuare una classificazione delle piattaforme rispetto alla compatibilità con il Web 2.0, ed in particolare con il *collaborative learning*, distinguendole tra proprietarie e open-source. Dall'analisi comparativa condotta si può apprezzare una sostanziale preferenza verso le piattaforme open-source che, anche

²⁴E. Cavalli, op .cit., 2000

²⁵E. Demidova, *Services for Knowledge Resources Sharing and Management in an Open Source Infrastructure for Lifelong Competence Development*, in *ICALT*, 2007

²⁶J.S. Bruner, *The Process of Education*, Harvard: Harvard University Press, 1960

²⁷S. Impedovo *et al.*, *Learning Management Systems: un'analisi comparativa delle piattaforme open-source proprietarie*, in *Didamatica2011*, 2011

²⁸T. Berners-Lee *et al.*, *The Semantic Web*, in *Scientific American*, 2001

²⁹T. O'Reilly, *What Is Web 2.0: Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software*, in *International Journal of Digit Economics*, 2007

³⁰D. Gendarmi, *Collaborative Tagging as a Community-driven approach to knowledge sharing*, 2010

³¹S. Impedovo *et al.*, op. cit., 2011

³²S. Impedovo *et al.*, op. cit., 2011

per definizione, meglio si sposano ai concetti di dinamicità e condivisione del Web 2.0. Inoltre le piattaforme open-source incarnano la filosofia degli spazi personali di apprendimento che non si concludono alla fine di un percorso formativo, ma accompagnano lo *studente* durante tutto il corso della sua preparazione, nell'ottica auspicata del *life long learning*. Gli autori concludono che sia le piattaforme Open-Source che quelle proprietarie hanno caratteristiche di assoluta compatibilità con il Web 2.0 sebbene, soprattutto per alcuni servizi, non vi è un'integrazione completa; nonostante ciò, comunque, le piattaforme Open-Source si fanno preferire alle piattaforme proprietarie, ancora troppo rigide e lontane dalle esigenze del Web 2.0.

Volendo trarre le conclusioni di questa panoramica sull'integrazione delle tecnologie informatiche nella scuola, si può affermare che il processo è ben avviato e, per alcuni strumenti, anche ampiamente affermato. Tutte le soluzioni proposte, però, sono spendibili in percorsi formativi di natura umanistica e/o scientifico/matematica, mentre risultano completamente isolati altri saperi, come quelli legati alle scienze motorie. Nel prossimo capitolo verranno descritti quelli che sono gli aspetti salienti dell'educazione motoria nella scuola, così da poter individuare lo scenario in cui le nuove tecnologie possono, al pari di altre discipline, essere adoperate.

Capitolo 2

Le scienze motorie nella scuola: dall'apprendimento motorio alla valutazione della performance

Il ruolo dell'attività fisica all'interno del curriculum scolastico è di supporto per lo sviluppo di competenze e abilità psico-motorie determinanti per il benessere psico-fisico degli allievi. Attraverso un opportuno e differenziato programma di attività motoria espletato durante il periodo scolastico ogni individuo potrà ottenere benefici fisici, sociali e di apprendimento¹. In Italia, a seguito dell'emanazione del Decreto Legislativo n.59 del 19/02/2004², vennero definite le norme generali per il percorso formativo che va dalla scuola dell'Infanzia alla Scuola Secondaria di Primo Grado. In dette norme venne individuata la necessità di fornire percorsi formativi che mirassero alla piena valorizzazione delle capacità individuali di ogni allievo. L'educazione fisica,

¹ *Fundamental Motor Skills - A manual for Classroom Teacher*, 1996, p. 5-6

² M. Sibilio, *Le abilità diverse*, Napoli: Esselibri Editore, 2003

alla luce delle direttive individuate, tornò a rivestire un ruolo fondamentale e scientifico nel processo formativo degli alunni, anche se, come scrive Sibilio³, in altri periodi la scientificità delle attività motorie era stata messa in dubbio: “nel 1800 avviene il passaggio dalla cultura illuministica alla cultura romantica che coinvolse l'intero continente europeo; si passò dalla ricerca tesa alla dimostrazione della scientificità delle attività motorie allo studio sulle sue diverse implicazioni sul piano filosofico”. Educare al movimento già dai primi anni dello sviluppo dell'essere umano, nella cosiddetta fase sensibile, rappresenta un passo indispensabile sia per lo sviluppo delle capacità motorie che per la crescita complessiva del ragazzo il quale, attraverso il movimento e la pratica di attività sportive, potrà definire la propria personalità e accogliere i valori universalmente veicolati dallo sport. La didattica rappresenta, quindi, un momento di mediazione e interconnessione tra un *sapere*, un *saper fare*, un *saper essere* ed un *saper fa fare*⁴ e i docenti, attraverso interventi mirati ed organizzati hanno il potere di intervenire sul potenziale cognitivo, emotivo, espressivo, comunicativo e relazionale dei discenti. Purtroppo le successive direttive nazionali in materia di pubblica istruzione hanno limitato l'insegnamento delle attività motorie nelle scuole di ogni ordine e grado, sebbene i benefici da essa derivati fossero unanimemente riconosciuti. In questo capitolo si procederà alla definizione di concetti come movimento, capacità motorie, schemi motori, abilità motorie e apprendimento motorio, affrontando le diverse classificazioni che li caratterizzano. Verranno, inoltre, analizzate le metodiche didattiche utilizzate per lo sviluppo di dette abilità e i meccanismi di valutazione adoperati nei contesti educativi. Il capitolo si concluderà delineando gli aspetti cruciali che caratterizzano le metodologie utilizzate per la “misurazione” dei diversi aspetti delle attività motorie, introducendo, indirettamente, quelle che debbono essere le peculiarità proprie delle tecnologie a tal fine utilizzabili.

³M. Sibilio, *Il corpo e il movimento*, Napoli: CUEN, 2001, pp. 28-29

⁴M. Sibilio, *Il laboratorio come percorso di ricerca*, Napoli: CUEN, 2002

2.1 Dagli schemi motori di base alle abilità motorie

La definizione di movimento è, senza alcun dubbio, una delle più complesse e dibattute dalla comunità scientifica che si occupa di scienze del movimento. Di essa si possono trovare definizioni legate ad aspetti anatomici, fisiologici, psicologici, energetici, fisici e biomeccanici. Nelle prossime sezioni, dopo una breve digressione delle differenti visioni del movimento da parte delle diverse discipline che se ne occupano, verranno trattati tutti gli elementi che contribuiscono al processo di formazione del patrimonio motorio di ogni individuo.

2.1.1 Il movimento

Se chiedessimo ad un fisico o ad un matematico una definizione di movimento la risposta più condivisa sarebbe *lo spostamento di un punto da una posizione iniziale ad una finale al variare di due istanti temporali successivi*. Se poi si chiedesse allo stesso studioso di essere più preciso, probabilmente, ci introdurrebbe concetti più tecnici come direzione, velocità e accelerazione. Se la stessa domanda la ponessimo ad un ricercatore di anatomia, probabilmente la risposta descriverebbe il movimento come *l'azione combinata dell'apparato scheletrico e dell'apparato muscolare finalizzata al raggiungimento di un determinato risultato*. Un fisiologo, invece, tratterebbe il tema movimento come *l'esecuzione di un stimolo pianificato e coordinato dal sistema nervoso che determina una trasformazione di energia grazie all'attività muscolare*. Dal punto di vista biomeccanico, invece, il movimento verrebbe trattato come *lo studio relativo lo spostamento sperimentato dai centri di massa dei singoli segmenti corporei coinvolti in un gesto motorio o, come in alcune discipline sportive, lo studio dello spostamento centro di massa del corpo umano*. E' chiaro, quindi, come siano molteplici le discipline che si

occupano di movimento. Indipendentemente da ciò, comunque, alcune declinazioni e alcune classificazioni sono condivise. Una classificazione univoca dei movimenti dell'uomo è così articolata:

- **movimenti volontari:** sono quelli che il soggetto esegue in maniera cosciente allo scopo di raggiungere un obiettivo pre-determinato. Si realizzano attraverso le seguenti fasi consequenziali: percezione, elaborazione, programmazione ed esecuzione;
- **movimenti riflessi:** sono la risposta muscolare stereotipata ad uno stimolo adeguato e sono di natura "istintiva, cioè eseguite prima che l'esecutore se ne sia effettivamente accorto;
- **movimenti automatici:** rappresentano quella categoria di azioni che l'uomo realizza senza necessariamente esserne cosciente, ma in seguito alla pregressa e costante ripetizione del gesto.

Le tre diverse tipologie descritte sono la conferma che il movimento rappresenta la base della stragrande maggioranza delle attività prodotte dall'essere umano e, quindi, uno degli aspetti che è fondamentale educare già dai primi anni di scuola. In ogni sua espressione è contraddistinto da una pluralità di elementi che impongono un approccio formativo differenziato in funzione dell'età dei soggetti, dal genere e dalla corporatura.

2.1.2 Gli schemi motori di base

Nel testo *Educazione motoria di base* gli autori indicavano così il movimento: *'La struttura del movimento volontario finalizzato consta di elementi semplici, o unità di base, chiamate 'schemi motori'. Essi costituiscono le forme fondamentali del movimento: sono chiamati di base perché appaiono per primi nello sviluppo dell'individuo e diventano patrimonio originario dell'adulto'*⁵. Alla nascita ogni individuo, per eredità, possiede un repertorio di

⁵AA.VV., *Educazione motoria di base*, 1997

gesti motori, soventemente indicati con il termine **schemi motori di base**. I più utilizzati nella nostra vita sono: correre, saltare, afferrare, lanciare, calciare, rotolare, strisciare, ecc... Essi maturano seguendo step di progressione ben definiti e soggettivi, in cui il successivo è sempre rappresentato da quanto appreso nel precedente più un miglioramento tecnico. La loro evoluzione è influenzata dalla struttura fisica dell'individuo: il loro arricchimento è continuo ed interessa tutto l'arco della vita dell'uomo. Gli schemi motori non necessitano di un'attenzione particolare per il loro sviluppo, ma di condizioni adeguate per poter essere esplorati da parte dei bambini attraverso la pratica del gioco. Parallelamente è opportuno porre le medesime attenzioni allo sviluppo degli *schemi posturali di base*, come piegare, flettere e ruotare. Questi rappresentano, quindi, gli elementi di base su cui ogni individuo svilupperà le proprie potenzialità motorie. Nella nostra società, purtroppo, gli spazi in cui i bambini possono tranquillamente esercitare i propri schemi motori di base diminuiscono sempre di più, per cui diventa necessario un lavoro precoce, anche in età pre-scolastica ⁶, per evitare che i bambini perdano anni preziosi per il loro sviluppo psico-motorio. Sebbene le condizioni ambientali rappresentino l'elemento fondamentale per lo sviluppo delle abilità motorie, un corretto intervento didattico può favorire una evoluzione più funzionale degli schemi motori di base.

2.1.3 Le capacità motorie

Come descritto nel paragrafo 2.1.2 l'uomo possiede nel proprio patrimonio genetico l'innata consapevolezza del movimento. E' chiaro che, nelle loro espressioni iniziali, i movimenti risulteranno poco definiti e precisi ma, anche attraverso un'appropriato sviluppo, questi diventeranno l'espressione delle **capacità motorie** possedute da ogni individuo. La più diffusa classifica-

⁶Williams *et al.*, *Motor Skill Performance and Physical Activity in Preschool Children*, in *Journal of Obesity*, n. 6, 2008, p. 1422

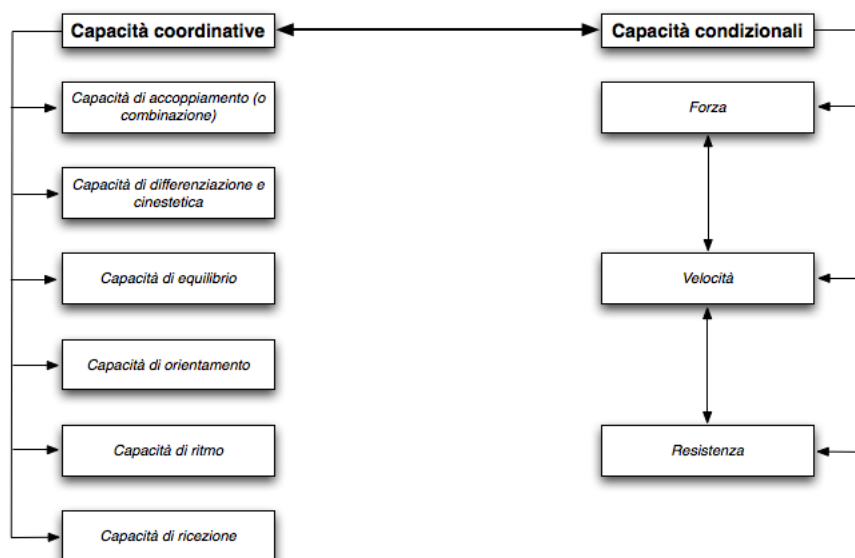


Figura 2.1: La classificazione delle capacità motorie

zione delle capacità motorie è quella rappresentata nella figura 2.1, definita da Gundlach nel 1968. Le capacità coordinative rappresentano la base di qualsiasi movimento e sono l'elemento dedito a progettare, organizzarlo, controllarlo e regolarlo. Esse dipendono fortemente dal sistema nervoso centrale che, come rappresentato in figura 2.2 è quello che, tra gli apparati del nostro corpo, inizia il periodo di sviluppo per primo⁷. Un'analisi specifica della curva di evoluzione del sistema nervoso evidenzia che, raggiungendo il periodo della pubertà, diminuiscono la plasticità e l'adattabilità, per cui è necessario intervenire da subito con opportuni interventi formativi per ottimizzare lo sviluppo delle capacità ad esso fortemente relazionate. Le strutture nervose, se sollecitate opportunamente quando sono ancora in fase di formazione, si svilupperanno in maniera funzionalmente migliore. A loro volta le capacità coordinative sono suddivise in:⁸

⁷G. Frohner, *Principi dell'allenamento giovanile*, Perugia: Calzetti-Mariucci, 2003

⁸Hirtz, *Lo sviluppo delle capacità coordinative nell'età scolare e possibilità del loro miglioramento*, in *Didattica del movimento*, Roma: Società Stampa Sportive Roma, 1987

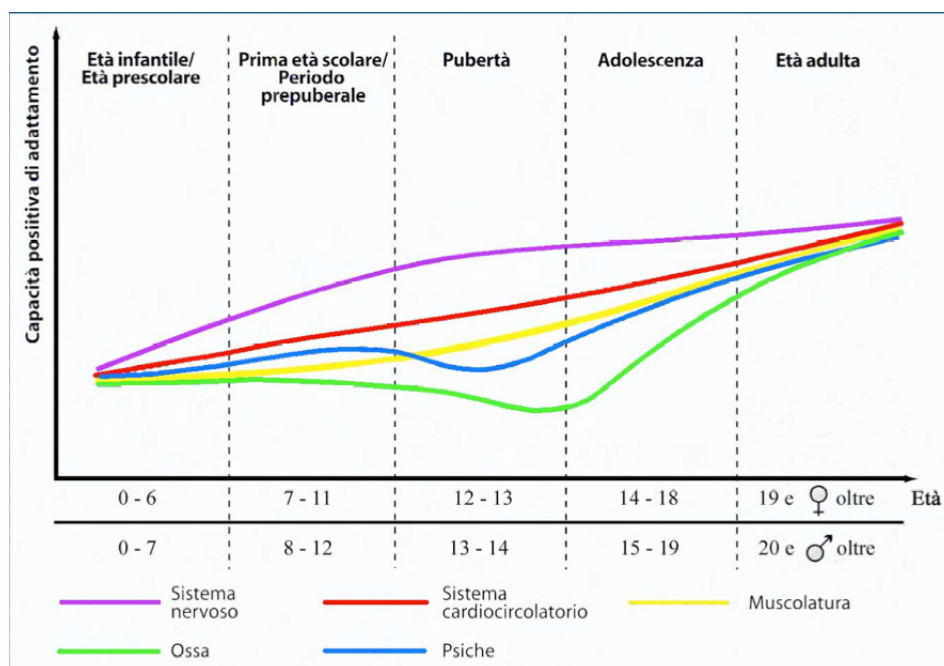


Figura 2.2: Le curve di crescita di organi e apparati

- **capacità di apprendimento:** è la capacità che permette ad un individuo di assimilare nuovi movimenti ed attraverso le ripetizioni di questi giungere, dopo varie correzioni e adattamenti, alla stesura di un programma motorio “interno appropriato e di renderlo preciso e permanente attraverso l’esercitazione e l’allenamento;
- **capacità coordinative generali:** detta anche **la capacità di controllo motorio** è la *facoltà* complessa dell’individuo di controllare il movimento a livello conscio od inconscio, in modo tale che esso corrisponda ad un programma d’azione precedentemente stabilito, cioè antecedente l’inizio del movimento stesso, e risponda adeguatamente a schemi che richiedono la massima precisione a livello ritmico, spaziale e temporale;
- **capacità di adattamento e trasformazione del movimento:** è la capacità di combinare, correggere, adattare e trasformare il proprio

task motorio in condizioni mutevoli, imprevedibili e differenti dallo standard abituale.

Le capacità condizionali, a differenza di quelle coordinative, sono espressione degli aspetti strutturali di ogni individuo e sono determinate da fattori energetici. Sono fortemente influenzate da processi metabolici (collegati alla produzione e trasformazione dell'energia generata durante un movimento) e plastici (legati allo sviluppo di strutture muscolari, tendinee e ossee); i fattori limitanti risiedono, dunque, nelle condizioni organiche e muscolari dell'individuo che influenzano la disponibilità di energia.⁹ In riferimento allo sviluppo degli apparati, come descritto in figura 2.2, le capacità condizionali sono collegate allo sviluppo della muscolatura, che ha un andamento crescente quasi regolare e trova la sua massima affermazione in età adulta. Le capacità condizionali sono classificate in:

- **Forza:** rappresenta la capacità del nostro sistema muscolare di vincere una resistenza o di opporsi ad una forza contraria. Esistono tre diverse espressioni di forza: *forza veloce*, *forza massima* e *forza resistente*. La prima è di brevissima durata ma di altissima intensità, la seconda è, invece, la massima forza che un soggetto può produrre come, per esempio, per sollevare un carico. La forza resistente, infine, rappresenta la capacità di vincere un'elevata resistenza o di mantenere, per un lungo periodo, una forza ad una determinata intensità.
- **Velocità:** rappresenta la rapidità con cui un individuo è capace di compiere determinati movimenti. E' possibile distinguere diverse forme di velocità, come velocità di reazione, rapidità dei movimenti e resistenza alla velocità.

⁹G. Brunetti - A. La Torre - G. Visintin, *Le basi della prestazione sportiva*, in G. Brunetti (cur.), *Allenare l'atleta*, Roma: SdS, 2010, p. 14

- **Resistenza:** rappresenta la capacità di mantenere un livello determinato livello di prestazione al variare sia degli esercizi che dell'intensità con cui vengono effettuati. E' possibile distinguere diversi tipi di resistenza in funzione della durata: lunga (superiore agli 8 minuti), media (tra i 2 e gli 8 minuti) e breve (tra i 45 secondi e i 2 minuti).

La suddivisione mostrata in figura 2.1 rappresenta, sicuramente, una buona metodologia didattica per descrivere il tema delle capacità motorie. Deve essere chiaro, comunque, che l'attività motoria in ambito educativo non può, ma soprattutto non deve, concentrarsi esclusivamente su una delle due tipologie di capacità ma deve trovare metodologie adeguate per interessare entrambe. L'azione di sviluppo deve, quindi, concentrarsi su entrambe le specificità, anche se con percentuali d'intervento differenti, calibrate in relazione all'età, al livello motorio di base e, eventualmente, alle discipline sportive verso cui sono indirizzati i ragazzi.

2.1.4 Le abilità motorie

Procedendo nei livelli di sviluppo del patrimonio motorio di ogni individuo, il risultato finale di detto processo è rappresentato dalle **abilità motorie**. Le abilità motorie dipendono fortemente dalle capacità motorie e si modificano con l'apprendimento e la ripetizione di specifici esercizi. Il loro sviluppo è direttamente proporzionale al numero di specifiche esperienze effettuate ed è in stretta relazione con la capacità di percezione, elaborazione ed interpretazione degli stimoli ricevuti; inoltre, il loro consolidamento è collegato con l'influenza di determinati fattori motivazionali e con le caratteristiche del feedback ricevuto in seguito ad ogni loro rappresentazione. Le abilità motorie sono determinate non solo da aspetti esclusivamente legati alla motoricità, ma sono contraddistinte anche dalle capacità cognitive che, di pari passo con quelle motorie, determinano il raggiungimento di determinati livelli di abilità. Le abilità cognitive, infatti, sono fondamentali per le fasi di

percezione ed elaborazione degli stimoli, azioni propedeutiche all'esecuzione dell'azione motoria; a conferma di ciò, alcuni autori parlano, anche, di *abilità psico-motorie* o *percettivo-motorie*. Le abilità motorie possono essere classificate in :

- **abilità chiuse:** rappresentano la condizione in cui il soggetto controlla in maniera completa la propria azione, che è realizzata in ambienti e condizioni stabili. Da un punto di vista sportivo, sono le abilità presenti in sport come il curling o l'atletica leggera.
- **abilità aperte:** rispetto alle abilità chiuse, il soggetto deve sia confrontarsi con l'ambiente in cui sviluppa il proprio movimento che con alcune condizioni variabili, che possono determinare una modificazione *just in time* delle sue decisioni. Dette abilità sono tipiche di sport di situazione, come le competizioni a squadre più diffuse (calcio, basket, rugby, pallavolo) e gli sport di combattimento.

Le abilità chiuse sono spesso collegate a movimenti di tipo *ciclici* e *stereotipati*, cioè movimenti in cui le azioni fondamentali si ripetono continuamente, sono caratterizzati da variazioni minime e gran parte delle azioni sono automatizzate. Le abilità aperte, invece, sono associabili con movimenti *aciclici* e *non stereotipati*, contraddistinti da azioni non ripetitive, fortemente influenzati da agenti esterni variabili che impongono al soggetto un adattamento continuo dei parametri fondamentali dell'azione motorie.

2.2 Apprendimento motorio e prestazione motoria

Schimdt e Wrisberg nel libro *Apprendimento motorio e prestazione*¹⁰, paragonano il rapporto tra apprendimento motorio e prestazione motoria al più classico dei dilemmi della natura: *Chi è nato prima, l'uovo o la gallina?*

¹⁰R.A. Schmidt - C.A. Wrisberg, *Apprendimento motorio e prestazione*, Roma: Società Stampa Sportive Roma, 2008

Effettivamente, non volendo subito individuare tecnicamente i significati dei termini oggetto del presente paragrafo, è immediato pensare che è difficile vedere una buona prestazione senza che il soggetto non abbia appreso correttamente un determinato task motorio, così come è difficile pensare ad una buona acquisizione delle caratteristiche di un'azione motoria se questa non è stata oggetto di alcuna prestazione. Volendo entrare più nel dettaglio del significato di prestazione motoria e apprendimento motorio si potrebbero così declinare:

- **prestazione motoria:** rappresenta l'esternalizzazione di una attività motoria, è sempre osservabile e può essere influenzata da un serie di fattori intrinseci (ansia) ed estrinseci (ambiente);
- **apprendimento motorio:** rappresenta il processo interno determinato dal raggiungimento di un'elevata capacità nell'esecuzione di un'azione motoria, e la sua valutazione è relazionata con la sua ripetibilità ad analoghi livelli.

Da un punto di vista pedagogico, soprattutto se si parla di attività motoria a livello scolastico, è sicuramente più rilevante analizzare il processo connesso alle varie fasi dell'apprendimento motorio e alla loro valutazione. In figura 2.3 si può apprezzare uno schema in cui si evince l'evoluzione degli aspetti salienti del potenziale motorio di ogni individuo. Come accennato nei paragrafi precedenti ognuna delle fasi rappresentate in figura 2.3 necessita di specifici interventi di educazione/allenamento, accompagnati da opportuni strumenti per la verifica del raggiungimento degli obiettivi prefissati. Nei prossimi paragrafi si affronteranno, nel dettaglio, le tipologie di intervento da attuare per ogni fase del processo rappresentato in figura 2.3.

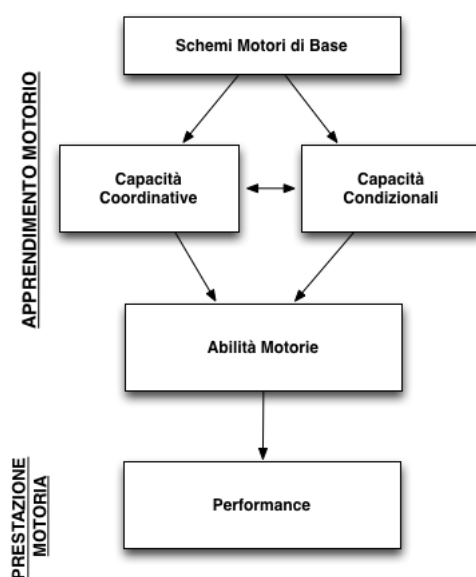


Figura 2.3: Step di sviluppo del potenziale motorio

2.2.1 Lo sviluppo degli schemi motori di base

Gli schemi motori di base e posturali rappresentano le prime forme organizzate di movimento, si manifestano non appena il sistema muscolo-scheletrico e, soprattutto, il sistema nervoso hanno raggiunto un determinato sviluppo. Sebbene la libertà di giocare in spazi aperti in cui poter esplorare il proprio corpo rimane l'approccio più condiviso per lo sviluppo degli schemi di base, la mancanza di detti spazi ha accentuato la necessità di un apposito intervento didattico. L'obiettivo dell'intervento sarà quello di affinare gli schemi motori di base attraverso specifici esercizi organizzati sotto forma di gioco, cercando di ricreare le condizioni ambientali favorevoli e assicurando stimoli sempre diversi e motivanti. Le prime esecuzioni di semplici movimenti di base, come camminare, correre o saltare, possono essere succedute da variazioni in relazione a parametri spaziali e temporali, accompagnati dalla combinazione di schemi motori differenti. Detti interventi dovranno essere applicati durante il periodo prescolare o durante i primi anni della scuola

primaria. Un funzionale sviluppo degli schemi motori di base influenzerà sia lo sviluppo delle capacità coordinative che il modellamento delle abilità motorie. Un patrimonio di base ricco e variato è la condizione indispensabile per lo sviluppo delle capacità coordinative e l'acquisizione delle abilità tecniche di vari sport ¹¹. Come già accennato in precedenza sono diversi le tipologie di movimenti che consentono la definizione degli schemi motori di base e, di conseguenza, le tipologie di esercizi da proporre e gli elementi da valutare. Nella tabella 2.1 è possibile apprezzare un'analisi dettagliata dei vari movimenti.

Schema motorio	Esercizi pratici	Elementi <i>performativi</i>	Età (anni)
Camminare	<ul style="list-style-type: none"> ● camminare liberamente; ● camminare seguendo tracciati; ● camminare in gruppo; ● alternare passi lunghi e brevi 	<ul style="list-style-type: none"> ● assolvere il task motorio; ● rispettare linee e distanze; 	3-5

¹¹G. Visintin, *Lo sviluppo motorio e le capacità coordinative* in G. Brunetti (cur.), *Allenare l'atleta*, Roma: SdS, 2010, pp. 45-51

Correre	<ul style="list-style-type: none">• correre con le ginocchia alte;• corsa calciata dietro;• slalom tra birilli e compagni;• correre a balzi;• correre in situazioni ludiche (es. ruba bandiera)	<ul style="list-style-type: none">• armoniosità della corsa;• rapporto tra andatura assegnata e realizzata;• ampiezza falcata	6-8
Saltare	<ul style="list-style-type: none">• saltelli su uno o due piedi;• salti in avanti, indietro e laterali;• salti combinati alla corsa	<ul style="list-style-type: none">• Coordinazione dinamica;• equilibrio statico e statico-dinamico;• percezione spazio-temporale	8-11

Lanciare e Afferrare	<ul style="list-style-type: none"> • lancio della palla sul posto e presa a due mani; • lancio della palla a compagno posto di fronte; • lanci simmetrici, asimmetrici sia con un solo arto che a due mani; 	<ul style="list-style-type: none"> • forza; • precisione; • coordinazione oculo-manuale; 	8-11
-------------------------	--	---	------

Tabella 2.1: Analisi Schemi motori di base

Nella tabella 2.1 sono stati presentati alcuni degli approcci didattici più utilizzati per l'educazione degli schemi motori evidenziando, per ognuno, anche gli elementi valutativi e l'età in cui si possono ottenere risultati di perfezionamento degli stessi. Degli elementi di valutazione indicati, molti sono accessibili ad "occhio nudo", mentre per altri il processo di osservazione del docente potrebbe risultare limitativo e poco oggettivo rispetto al risultato effettivo della performance. (es. variazioni di velocità e forza)

2.2.2 Lo sviluppo delle capacità motorie

Le capacità motorie, come descritto nella sezione 2.1.3, sono classificate in diverse tipologie e come tali necessitano un approccio formativo differenziato. E' opportuno, in ogni caso, procedere all'allenamento di dette capacità nella fascia di età compresa tra i 7 e i 13 anni, soprattutto se finalizzate ad attività sportive. Le capacità coordinative, come mostrato in figura 2.4, sono caratterizzate dall'integrazione di tre differenti aspetti. Le capacità

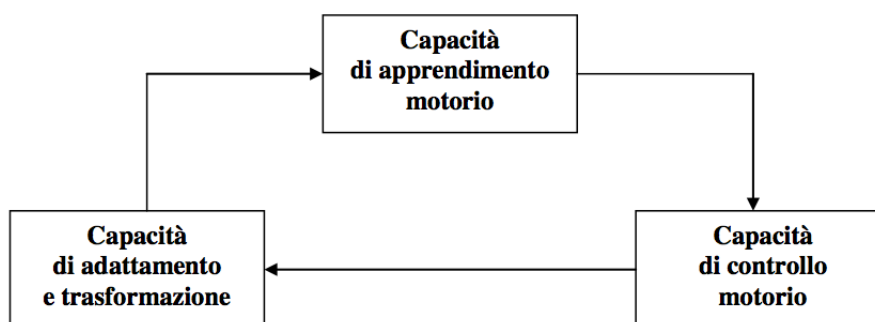


Figura 2.4: Segmentazione delle abilità coordinative

coordinative, a differenza delle altre forme di sollecitazione motoria, non possono essere migliorate o allenate con metodi unilaterali, ma vanno migliorate in modo complesso. Gli esercizi proposti devono essere caratterizzati da continue variazioni e combinazioni di differenti metodi di allenamento, al fine di raggiungere un'adeguata destrezza. Inoltre, qualora si tenda ad allenare gli aspetti di precisione, questo non deve avvenire in condizioni di affaticamento, altrimenti i livelli di incidenza degli allenamenti proposti potrebbero diminuire sensibilmente. Gli esercizi più adeguati allo sviluppo delle capacità coordinative sono:

- esercizi con variazione dinamica del movimento;
- esercizi con variazioni delle condizioni esterne (campi di dimensioni variabili e differenti dagli standard);
- esercizi con variazioni delle informazioni;
- esercizi con esecuzioni speculari dei movimenti da entrambi i lati del corpo

Quelle appena elencati vengono poi definiti, in dettaglio, nell'esecuzione dedicata a specifiche discipline sportive, in cui gli esercizi sono realizzati anche con l'ausilio di strumenti da gioco, come palloni e racchette.

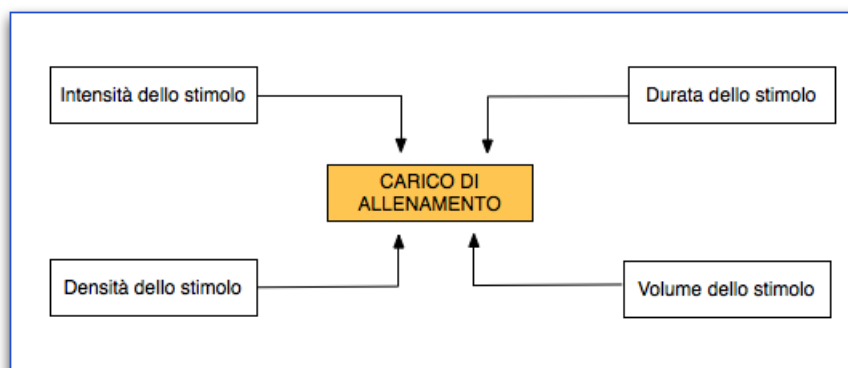


Figura 2.5: Parametri del carico di lavoro

Le capacità condizionali, invece, presentano caratteristiche specifiche ben differenti tra loro, per cui è consigliato un'allenamento dedicato ad ogni singola capacità. In generale, comunque, tutte e tre le capacità condividono la necessità di migliorare la produzione e la gestione dell'energia necessaria all'esecuzione del task motorio assegnato. Pertanto, sebbene da ottenere con esercizi specifici, la condizione che accomuna le tre capacità è quella che il miglioramento della prestazione potrà avvenire solo con il progredire dell'allenamento e attraverso un'opportuna gestione del carico di allenamento, come mostrato in figura 2.5¹². Soprattutto in contesti didattici, l' "attrezzo suolo" e la forza di gravità, se debitamente abbinati ad esercizi funzionali alle caratteristiche anatomiche dei soggetti, sono due ausili più che sufficienti per allenare la forza muscolare, ed in particolar la forza veloce. Gli esercizi proposti, normalmente definiti **esercizi a carico naturale**, vengono fondamentalmente eseguiti con due modalità:

- per serie e ripetizioni;
- a circuito

¹²A. Di Mario, *La forza e la velocità-rapidità*, in G. Brunetti (cur.), *Allenare l'atleta*, Roma: SdS, 2010, p. 90

Il lavoro a circuito, in particolare, oltre che stimolare le fibre muscolari, può essere funzionale anche al miglioramento degli apparati cardio-circolatori e respiratori. E' utile ricordare, comunque, che soprattutto per gli esercizi più complessi, il possesso di un adeguato sviluppo delle capacità coordinative è condizione essenziale per la buona riuscita dell'allenamento della forza. Lo sviluppo della forza può essere valutato, anche in ambito scolastico, con specifici test, come: test di *Abalakov*, test *Jump and reach*, salto in lungo da fermo, lancio dorsale della palla *zavorrata* e spinta in avanti della palla *zavorrata*. La velocità, così come la forza, è regolata dagli stessi meccanismi di controllo e regolazione ma necessità, in maniera più significativa, di uno sviluppo completo delle abilità coordinative. Come la forza, quindi, il carico di allenamento dovrà essere calibrato in funzione dei parametri rappresentati in figura 2.5. Specifici test per valutare la velocità sono: sprint in linea su differenti distanze, sprint a navetta, corsa lanciata e corsa su distanze superiori. La resistenza, come testimoniato dai diversi contributi presenti in letteratura¹³, è stata oggetto di diverse definizioni e classificazioni. Se per le definizioni le linee di pensiero si dividono tra quelli che considerano la resistenza come l'importanza di resistere alla fatica e quelli che la collegano alla capacità di far durare a lungo l'impegno specifico, le diverse classificazioni proposte trovano una sintesi abbastanza condivisa nella suddivisione della resistenza in: *Breve durata - RBD*, *Media Durata - RMD* e *Lunga Durata - RLD*. *Conditio sine qua non*, comunque, delle attività di resistenza è quella di possedere un buon rifornimento energetico da gestire in funzione delle diverse tipologie di prestazioni da realizzare. In ambito scolastico la RLD è quella che, più delle altre, viene allenata, in quanto possiede le seguenti affinità con gli obiettivi formativi dell'attività motoria nella scuola:

- è idonea alle caratteristiche di sviluppo organico dei ragazzi;
- è funzionale alla prevenzione dei fenomeni di sovrappeso e obesità;

¹³F. Arcelli - F. Ferretti, *Calcio - Preparazione Atletica*, Edizione Corriere, 1993

- può tranquillamente essere svolta in ambienti outdoor, favorendo, così, il rapporto con l'ambiente degli studenti;
- non richiede ausili particolari.

La resistenza può essere allenata con due differenti metodi: *allenamento continuo* e *allenamento intervallato*. La RLD è allenata, preferibilmente, con il metodo di allenamento continuo e con andatura uniforme, svolto su lunghe o lunghissime distanze, con un'intensità relativamente bassa: in questo modo è possibile, anche, migliorare l'efficienza del sistema cardio-respiratorio e circolatorio, con conseguente riduzione del peso corporeo. Solo per gli allievi più promettenti, o quelli che scelgono discipline sportive come il mezzo fondo o il fondo, si associano a questi allenamenti anche esercizi non aerobici, come il fartlek o le andature in crescendo. La valutazione delle "performance" è realizzata attraverso la comparazione dei tempi di percorrenza registrati per mezzo di un cronometro e un'apposita scheda e, in casi sporadici, anche attraverso la misurazione manuale della frequenza cardiaca. Indipendentemente dalla tipologia di capacità da allenare, quindi, esistono diverse metodiche di allenamento e differenti test per la valutazione dello sviluppo prestazionale. E' indubbio però, come molti dei testi proposti, sebbene eseguiti correntemente a scuola, siano soggetti a errori legati alla mancanza di strumenti oggettivi per l'acquisizione dei dati d'interesse. Ad esempio, per ciò che riguarda i test sulla forza, l'utilizzo di accelerometri triassiali accoppiati a sistemi di video-analisi, sebbene non invasivi, renderebbe molto più reali le informazioni acquisite. Stesso discorso può essere effettuato per la valutazione delle prestazioni sulla RLD, dove l'utilizzo di semplici calorimetri potrebbe fornire molti più elementi per valutare l'effetto di queste attività motorie sugli allievi e sul loro sviluppo organico. In sintesi, quindi, nell'epoca della digitalizzazione, un 'approccio tecnologico può sensibilmente migliorare anche la valutazione motoria in ambito scolastico.

2.2.3 Lo sviluppo delle abilità motorie

Le abilità motorie rappresentano, come mostrato in figura 2.3, l'obiettivo ultimo del processo di apprendimento motorio dell'uomo. Le abilità motorie sono intese come la capacità di ogni individuo di rendere automatico un task motorio, anche se complesso. Il raggiungimento di questo livello si ottiene solo dopo aver concretamente sviluppato gli schemi motori di base e le capacità motorie, in particolare quelle coordinative. Non essendo innate, le abilità motorie sono ottenute solo attraverso uno specifico processo di allenamento, la cui durata sarà strettamente correlata con le capacità coordinative. Fra questi due aspetti del patrimonio motorio di ogni individuo vi è una forte correlazione biunivoca. Infatti, tanto più sviluppate saranno le capacità coordinative, tanto più facilmente e rapidamente si affineranno le abilità motorie. Nel contempo, però, quante più sono le abilità motorie che si apprendono, maggiore sarà lo sviluppo delle capacità coordinative¹⁴. Possiamo quindi dire che le abilità motorie possono essere allenate con le stesse metodologie con cui vengono allenate le capacità motorie, anche se è giusto precisare che per le abilità si tende verso esercizi specifici per attività sportiva d'interesse. Anche per questo, infatti, l'attenzione alle abilità motorie è difficilmente oggetto delle ore d'insegnamento nelle attività curriculari, anche perché sarebbe complicato con classi numerose.

2.3 Dall'apprendimento motorio alla prestazione

Acquisite completamente quelli che sono gli elementi fondamentali del patrimonio motorio di ogni individuo, l'uomo può decidere di proseguire l'allenamento delle proprie potenzialità motorie scegliendo due strade: l'attività amatoriale o le attività agonistiche. Le prime si configurano come l'insieme di tutte quelle attività finalizzate, per lo più, al mantenimento di un buon

¹⁴P. DePascalis, *Il giovane campione*, Roma: Edizioni Aracne, 2010

livello psico-fisico: jogging, cardio-fitness, ecc.. La scelta, invece, di intraprendere attività agonistiche introduce logiche che vanno al di là delle varie fasi dell'apprendimento motorio: il gesto motorio, infatti, non è più finalizzato alla capacità di eseguire un task assegnato, ma diventa lo strumento per competere con gli avversari. Ogni esecuzione è oggetto di specifici allenamenti, finalizzati sia al miglioramento della tecnica che al miglioramento delle capacità condizionali. In funzione delle discipline sportive può essere necessario non curare esclusivamente i gesti motori dei singoli atleti, ma lavorare in logiche di squadra, in cui è l'insieme delle esecuzioni effettuate dai giocatori a determinare il livello della prestazione. Se poi il livello raggiunto è tale da partecipare a campionati semi-professionistici o professionistici, la ricerca della prestazione diventa ancora più elevata, per cui aumentano sia le frequenze che le intensità dei singoli allenamenti. Valutare la prestazione diventa argomento ben più complesso, tanto che, sempre più spesso, le società sportive dotano i propri staff tecnici di analisti della performance. Le tecniche utilizzate sono di diversa natura, così come gli strumenti adoperati. Soprattutto nei paesi anglosassoni, i primi analisti della prestazione utilizzavano griglie cartacee in cui annotare tutti gli elementi significativi delle prestazioni. Oggi, grazie all'avvento delle nuove tecnologie, gli stessi sono dotati di strumenti digitali con i quali riescono ad acquisire ed elaborare i dati con minor fatica e maggiore precisione. Molte società, inoltre, utilizzano sensori di rilevamento di parametri fisiologici anche durante gli allenamenti, al fine di poter calibrare, adeguatamente, i carichi di lavoro per ogni singolo atleta.

Volendo sintetizzare quanto descritto in questo capitolo si può affermare come molteplici siano gli aspetti dell'attività fisica che sono oggetto di educazione all'interno dei contesti scolastici. Per ogni specifico aspetto del movimento si è tracciato un quadro epistemologico, soffermandosi su defi-

nizioni e classificazioni presenti nella letteratura di riferimento ad oggi esistente. Successivamente si è passati ad un'analisi più specifica di quelle che sono le metodologie utilizzate sia per la loro "allenabilità" che per la loro valutazione. Ogni singolo aspetto del movimento è oggetto di specifici esercizi finalizzati al loro addestramento e sono caratterizzati da differenti parametri di carico: intensità, frequenza e tempi di riposo. Parallelamente si è discusso delle diverse tipologie di test utilizzati per valutare gli step di progressione di detto processo, specificando quali sono gli elementi a supporto della valutazione da parte dei docenti ed evidenziando come, l'utilizzo di ausili tecnologici possa migliorare l'oggettività e la precisione delle analisi effettuate, principalmente, ad occhio nudo. L'esaltazione del processo di apprendimento motorio si ha con l'inizio delle attività agonistiche da parte dei ragazzi, sebbene queste esulino, in gran parte, dalle attività motorie svolte in contesti scolastici. Nel prossimo capitolo si discuteranno di quali sono le tecnologie utilizzate per effettuare, in maniera non invasiva, le valutazioni delle diverse attività motorie che si possono realizzare in contesti scolastici e si analizzeranno le ricerche effettuate in tale settore.

Capitolo 3

Tecnologie per la valutazione dell'attività fisica

La definizione più usata nella letteratura scientifica di riferimento sul significato di attività fisica è, senza alcun dubbio, quella fornita da Caspersen e i suoi colleghi nel 1985: “*L’attività fisica è definita come un complesso set di movimenti del corpo prodotti attraverso il sistema muscolo-scheletrico che si manifestano per mezzo di un determinato dispendio energetico*”¹. Come descritto nel capitolo precedente l’attività fisica rappresenta una delle discipline caratterizzanti i curricula scolastici italiani già dalla scuola primaria. In questo capitolo si discuterà di quali sono le linee guida proposte per la promozione dell’attività fisica durante l’età scolastica e su quali sono le migliori strategie e tecnologie, ad oggi proposte, per poterla valutare.

¹C. Caspersen *et al.*, *Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research*, in *Public Health Reports*, 100, n. 2, 1985, pp. 126-131

3.1 Le linee guida sull'attività fisica dei giovani

Il benessere psico fisico di un individuo è connesso, in modo particolare, al livello di attività fisica che il soggetto espleta durante le sue giornate. E' confermato, inoltre, che in età adolescenziale una corretta e continuativa esecuzione di attività motoria rappresenta il metodo più efficace per migliorare lo sviluppo del sistema muscolo-scheletrico e degli apparati respiratorio e cardio-vascolare. Una corretta attività fisica rappresenta il metodo più efficace per prevenire il manifestarsi, in età adulta, di patologie connesse ai fenomeni di sovrappeso e obesità che attanagliano le nuove generazioni². Una delle classificazioni dell'attività fisica più utilizzate per affrontare il tema dell'attività motoria durante il periodo scolastico prevede la seguente suddivisione³

- *attività fisica moderata*: attività fisica con intensità equivalente a una camminata o ad una pedalata lenta;
- *attività fisica vigorosa*: attività fisica che produce un sensibile incremento della frequenza respiratoria e cardiaca, come ad esempio una sessione di jogging, di aerobica o di pedalata veloce.
- *attività fisica da moderata a vigorosa*⁴ : include tutti quelli esercizi che prevedono un inizio di tipo moderato con cambi di frequenza e periodo tali da tendere all'attività vigorosa.

Le prime linee guida sull'attività fisica per i giovani furono proposte nel 1988 dall'American College of Sports Medicine (ACSM) e vennero svilup-

²D.J. Gunnell *et al.*, *Childhood obesity and adult cardiovascular mortality: a 57-y follow-up study based on the Boyd Orr cohort*, in *American Journal Clin Nutr*, 66, n. 6, 1998, pp. 1111-1118

³J.F. Sallis - K. Patrick, *Physical activity guidelines for adolescents: a consensus statement.*, in *J Pediatr. Exerc. Sci*, 6, 1994, pp. 302-314

⁴Spesso indicata con l'equivalente acronimo in inglese MVPA - Moderate to Vigorous Physical Activity)

pate orientandosi alle medesime linee guida predisposte per gli adulti. Le indicazioni contenute in queste linee guida miravano all'esecuzione di una quantità di attività fisica tale da garantire un'ottima capacità funzionale e un buono stato di salute, attraverso lo svolgimento, sia per i bambini che per gli adolescenti, di 20-30 minuti giornalieri di attività fisica vigorosa ⁵. Nel 1993, durante una conferenza organizzata dai ricercatori operanti nel Nord America, dal titolo "*International Consensus Conference on Physical Activity Guidelines for Adolescents (ICC)*", gli stessi convenirono che "*fosse necessario sviluppare empiricamente delle linee guida che potessero essere usate dagli specialisti per le loro consulenze finalizzate alla promozione del benessere dei giovani*" ⁶. Gli obiettivi principali che queste linee guida avrebbero dovuto promulgare erano:

- gli adolescenti dovrebbero svolgere giornalmente, o quasi, attività fisica, mischiandola con le attività giornaliere (giochi, sport, lavoro, educazione fisica) e in qualsiasi contesto essi svolgono le loro attività (scuola, lavoro o famiglia);
- gli adolescenti, almeno 3 volte a settimana, dovrebbero svolgere delle sessioni di allenamento, per almeno 20 minuti, in cui eseguire task motori caratterizzanti una traslazione tra attività fisica moderata e attività fisica vigorosa, come da classificazione proposta in ⁷.

Mentre nelle prime linee guida si era posta l'attenzione sulla necessità di svolgere attività fisica giornaliera, senza enfatizzare molto su concetti di durata e frequenza, nell'edizione conseguente il congresso del 1994 si è puntato sulla necessità di quantificare la durata dell'esercizio fisico e la tipologia,

⁵ACSM, *Physical fitness in children and youth.*, in *J Med Sci Sports Exerc*, 20, 1988, pp. 422-433

⁶J.F. Sallis *et. al.*, *Overview of the international consensus on physical activity guidelines for adolescent*, in *J Pediatr Exerc Sci*, n. 6, 1994, pp. 299-302

⁷J.F. Sallis - K. Patrick, *op. cit.*, 1994

promuovendo il passaggio tra attività moderata e vigorosa come elemento fondamentale per il miglioramento dello stato di salute generale degli adolescenti, compresi gli aspetti fisiologici, cardiaci e respiratori. Sebbene quelle citate rappresentano le più significative linee guida prodotte negli anni 90 in America, queste non sono le uniche che hanno affrontato il tema dell'attività fisica come strumento di benessere ^{8, 9}. Nel 2005 un gruppo di ricercatori operanti nel Nord America ha valutato l'efficacia dell'attività fisica svolta sistematicamente dagli studenti americani. Lo studio ha analizzato i benefici evidenti sulla salute e sui comportamenti degli adolescenti coinvolti e ha determinato che i ragazzi possono partecipare a sessioni di attività fisica, di tipo MVPA, per più di un ora se questa è stata pensata in modo appropriata, divertente e con esercizi differenti tra loro ¹⁰. In Europa, le prime indicazioni sulla necessità di definire linee guida per l'attività fisica dei giovani si manifestano in Inghilterra nel 1998. L'autorità per l'educazione alla salute ¹¹ commissionò uno studio simile a quello effettuato dai partecipanti dell'ICC ¹². I ricercatori inglesi, guidati dagli stessi fondamenti scientifici che hanno accompagnato i lavori dell'ICC, hanno definito i seguenti punti cardine che, secondo loro, dovrebbero guidare l'esecuzione dell'attività fisica dei giovani:

- i giovani dovrebbero praticare almeno 1 ora al giorno di attività fisica a ritmi blandi (moderati);
- almeno due volte a settimana è necessario integrare l'attività fisica

⁸L. Cale - J. Harris, *Exercise recommendations for young people:an update*, in *J Health Education*, 101, 2001, pp. 126-138

⁹R.R. Pate *et al.*, *Critique of existing guidelines for physical activity in young people*, in S. Biddle, J. Sallis e N. Cavil (cur.), *Young and Active*, Health Education Authority, London, 1998, pp. 162-176

¹⁰W.B. Strong *et al.*, *Evidence based physical activity for school-age youth*, in *Journal of Pediatrics*, 146, n. 6, 2005, pp. 732-737

¹¹UKHEA - United Kingdom Health Education Authority

¹²S. Biddle *et al.*, *Young and Active?*, Health Education Authority, London, 1998

moderata con esercizi finalizzati al mantenimento della forza muscolare e al miglioramento dell'elasticità dell'apparato muscolo-scheletrico.

A differenza dei colleghi americani, quindi, i ricercatori europei hanno glissato sull'intensità dell'attività fisica, non includendo l'attività di tipo MVPA tra quella consigliata, e non si sono soffermati sull'accumulo di attività fisica giornaliera superiore all'ora. Oltre alle iniziative di gruppi di ricerca o comunità scientifiche, anche le istituzioni internazionali con finalità statutarie connesse all'importanza dell'attività fisica per il benessere dell'uomo hanno affrontato le tematiche oggetto delle ricerche sopra discusse. L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha redatto il *Libro Bianco sullo Sport*, in cui ha indicato che gli individui, di qualsiasi genere ed età, dovrebbero praticare un minimo di 30 minuti al giorno di attività fisica; a differenza degli studi precedentemente condotti in America e Inghilterra, quindi, non c'è stato uno specifico riferimento alle fasce d'età. Anche la Comunità Europea ha costituito gruppi di studio e ricerca sulle tematiche direttamente o indirettamente connesse all'attività fisica. Con particolare riferimento al collegamento con i fenomeni di sovrappeso e obesità, nel Maggio del 2007 è stato prodotto il *Libro Bianco sulla strategia Europea in tema di Nutrizione, Sovrappeso e Obesità*. Tra le principali indicazioni fornite vi è la forte richiesta della Commissione agli stati membri di attivarsi per invertire il trend negativo evidenziato dai bassissimi livelli di attività fisica giornaliera eseguita dai cittadini Europei. Il documento, inoltre, fornisce anche specifici riferimenti attuativi su come far crescere il livello di partecipazione dei cittadini nelle attività motorie, al fine di ridurre l'attuale deficit con quelli che sono gli standard minimi individuati dall'OMS nel Libro Bianco sullo Sport. Il gruppo di lavoro istituito dalla comunità europea e chiamato "*Sport & Salute*", invece, ha operato dal Novembre del 2006 per la definizione delle linee guida sull'attività fisica: l'obiettivo prefissato era quello di definire le giuste direttive per incrementare il livello di attività fisica praticata dai cittadini

dei diversi stati membri della Comunità Europea. Le direttive proposte, indirizzate a tutti gli stakeholders coinvolti nella tematica del movimento, mirano ad una integrazione tra le politiche a favore dell'attività fisica con quelle connesse con la salute, lo sport, l'educazione, l'ambiente e i luoghi di lavoro; il miglioramento dello stile di vita dei cittadini, quindi, passa attraverso l'integrazione compiuta di tutte le scelte politiche effettuate relativamente ai diversi aspetti della vita, precedentemente citati. Le linee guida non si propongono come una revisione della letteratura scientifica di settore né come un'alternativa alle raccomandazioni fornite dagli scritti dell'OMS. Mirano, invece, a fornire maggior valore a quanto già presente, proponendo un approccio orientato alla pratica, concentrandosi esclusivamente sull'attività fisica e non su aspetti ad essa correlati e si rivolgono ad un ampio bacino di utenti, limitando, al massimo, l'utilizzo di terminologia estremamente specifica e di settore. Le linee guida vengono fornite nel 2008 in lingua inglese e, successivamente, in tedesco e francese. In dette linee guida vengono suggerite indicazioni specifiche per le differenti tipologie di attività fisica da praticare in funzione di tre diversi ambiti di applicazione: sport, salute ed educazione.

3.1.1 Gli aspetti educativi secondo le linee guida europee sull'attività fisica

Le linee guida della Comunità Europea individua tre punti di contatto fra l'attività fisica e gli aspetti educativi ad essa connessi: l'attività motoria nelle scuole, l'attività motorio-sportiva nelle realtà attinenti le scuole e la formazione dei docenti di educazione fisica. E' indubbio che la scuola rappresenta il luogo ideale in cui promuovere un incremento del livello di attività fisica svolta dai ragazzi e dai giovani. Attualmente, molti curriculum scolastici propongono appena un'ora di educazione fisica a settimana, mentre un livello minimo accettabile dovrebbe prevedere l'esecuzione di attività moto-

rie, per tutti gli iscritti nelle scuole, di almeno 1 ora al giorno. E' compito delle istituzioni scolastiche, quindi, individuare i modi, gli strumenti e i tempi per garantire che i loro iscritti possano migliorare la loro condizione di benessere psico-fisico. Le stesse, inoltre, potendo assurgere al ruolo di volano per la promozione dell'attività fisica devono cooperare con le realtà sportive presenti nei territori di competenza per garantire agli studenti, anche fuori dagli orari di lezione, la possibilità di proseguire un percorso che miri sia al miglioramento dello stile di vita che agli aspetti di socializzazione propri dello sport. E' chiaro che, affinché le attività proposte possano essere efficaci, devono verificarsi una serie di significative condizioni: essere presenti nell'orario scolastico, poter essere eseguite in spazi idonei, poter utilizzare strumenti e attrezzature adeguate, devono essere inserite in maniera appropriata nel curriculum scolastico, devono essere valutate con appropriate procedure, devono essere condotte da insegnanti preparati e devono essere integrate nella rete che la scuola crea con gli stakeholders operanti su temi di attività fisica e salute presenti nel territorio di *residenzialità*. I docenti, quindi, devono essere preparati sulle innovative teorie che sono state proposte in campo scientifico sull'insegnamento dell'attività motoria e sulla nuova percezione che essa ha assunto nella vita di ognuno di noi. In particolare le attività proposte devono essere sia calibrate opportunamente in relazione all'età e allo status fisico degli studenti che arricchite con le *best practices* proposte negli ultimi lavori presentati dalle diverse comunità scientifiche di riferimento. I docenti, continuano gli autori delle linee guida, devono essere consapevoli dell'importanza che le nuove tecnologie possono occupare nelle loro attività lavorative. Un utilizzo appropriato di strumenti informatici e piattaforme tecnologiche dedicate alle attività motorie possono aiutare a personalizzare gli interventi per esaltare le abilità motorie proprie dei diversi allievi. Tecnologie indossabili per il rilevamento di parametri fisiologici, videocamere e soluzioni software dedicate, inoltre, possono essere utilizzate

per migliorare i processi di valutazione degli interventi didattici proposti. Attraverso gli strumenti forniti in queste linee guida si vuole, inoltre, favorire il coinvolgimento nelle attività motorie di quel numero sempre crescente di ragazzi che, facendo una vita piuttosto sedentaria, possono mostrare segni di patologie metaboliche e cardiovascolari. Sebbene, quindi, le linee guida abbiamo fornito indirizzi ben precisi sulla durata minima del tempo da dedicare all'attività fisica per tutti i giovani, uno studio condotto nel 2009 ha analizzato il trend di applicazione di queste linee guida in una grande città di un paese Europeo, Porto. Utilizzando un campione di circa 210 soggetti con età compresa tra i 12 e i 18 anni, lo studio ha dimostrato come, alcuni giorni della settimana hanno maggiore rispondenza alle linee guida, in particolare Venerdì e Sabato, e solo il 15 % dei ragazzi e il 7% delle ragazze rispetti le indicazioni delle linee guida¹³. E' chiaro che una ricerca non può fornire, in maniera esaustiva, l'entità della diffusione delle linee guida nella cultura dei giovani europei e nelle scelte politiche delle istituzioni scolastiche, ma può servire come campanello d'allarme per stimolare un'attenta e continuativa analisi sulla diffusione dell'attività fisica da parte di tutti gli attori coinvolti.

3.2 Metodologie per la valutazione dell'attività fisica

La valutazione dell'attività fisica rappresenta, di per se, un compito abbastanza complicato da espletare a causa della natura multidimensionale propria dell'attività fisica stessa. La valutazione, inoltre, diventa ancora più complessa se i destinatari sono dei bambini/ragazzi e l'obiettivo è misurare parametri prestazionali durante attività abituali, come gli esercizi svolti durante le ore di attività motoria eseguite a scuola. Ad esempio, non esiste

¹³J.C. Ribeiro *et al.*, *Patterns of Moderate to Vigorous Physical Activities and daily Compliance with Guidelines for Youth*, in *Open Journal of Sport Sciences*, 2, 2009, pp. 732-737

un'evidenza scientifica che affermi, con precisione, quale deve essere il periodo di osservazione minimo per effettuare misurazioni consistenti. Bar-Or¹⁴ sostiene che un numero di giorni minimo è tre, mentre altri contributi scientifici parlano di un periodo compreso tra quattro e nove giorni, comunque correlato con lo strumento di misura utilizzato^{15 16}. In letteratura sono stati proposti differenti strumenti e tecniche per assolvere a quest'ardua mansione che, comunque, possono essere raggruppati in funzione di due tipologie di misurazioni: soggettive e oggettive. Sebbene gli strumenti presentino, tra loro, differenze significative, allo stesso tempo condividono requisiti analoghi: devono essere eticamente leciti, non devono rappresentare un sovraccarico per il bambino/ragazzo e, soprattutto, non devono in alcun modo alterare lo svolgimento naturale del task motorio oggetto di valutazione. Le tecniche, invece, vanno scelte in funzione delle differenti dimensioni di attività motoria che si vogliono studiare. Armstrong e Welsam affermano come una valutazione dell'attività fisica dei giovani deve tenere in considerazione le problematiche connesse alle differenti tecniche di misura utilizzate e i dati devono essere valutati contestualizzandoli con la metodologia utilizzata¹⁷. Nel grafico in figura 3.1 è possibile apprezzare le differenti tecnologie proposte in relazione alla loro precisione e alla facilità d'utilizzo.

¹⁴O. Baror, *Pediatric sport medicine for the practitioner*, Springer-Verlag, New York, 1983

¹⁵S.G. Trost, *Objective measurement of physical activity in youth: current issues, future directions*, in *Journal of Exercise Sport Sciences*, 29, 2001, pp.32-36

¹⁶M. Harro - C. Riddoch, *Physical Activity*, in N. Armstrong e W. Van Mechelen (cur.), *Paediatric exercise science and medicine*, Oxford: Oxford University Press, 2000, pp.77-84

¹⁷N. Armstrong - J.R. Welsman, *The physical activity patterns of European Youth with Reference to Methods of Assessment*, in *Journal of Sport Medicine*, 36, n.12, 2006, pp. 1067-1082

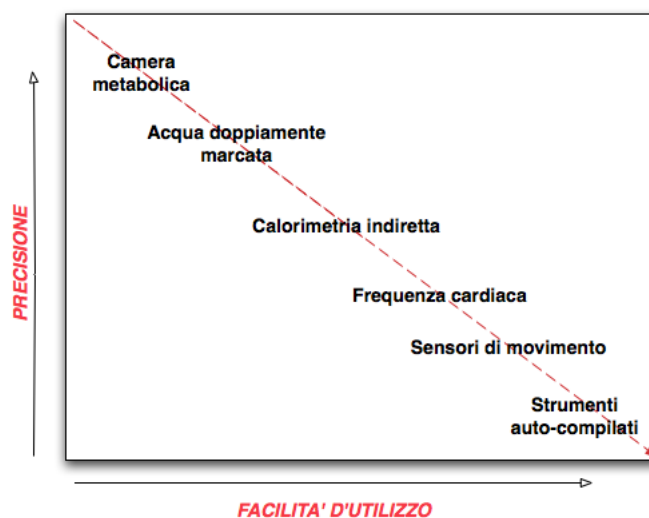


Figura 3.1: Rapporto fra semplicità e precisione per le tecnologie per l'analisi del movimento

3.2.1 La valutazione soggettiva dell'attività fisica

La valutazione dell'attività fisica di tipo soggettivo include tutte quelle tecniche che sono caratterizzate dall'intervento nell'essere umano nella quantificazione dell'entità, della durata e dell'intensità del task motorio. Nello specifico sono tecniche di misurazione oggettiva dell'attività fisica i questionari retrospettivi, interviste semi-strutturate, diari giornalieri, le indagini per mezzo postale e report compilati da terzi. Queste tecniche rappresentano le più utilizzate per gli studi di tipo epidemiologico ma, come ampiamente discusso in letteratura, presentano dei limiti nelle valutazioni prodotte. Una buona parte di queste tecniche presuppongono uno sforzo significativo per le abilità cognitive dei ragazzi nel ricordare eventi passati, sebbene Sallis ha affermato che c'è un bassissimo livello di fedeltà nella percezione attuale del passato da parte dei giovani, soprattutto con età inferiori ai 12 anni, in quanto la stessa è stata filtrata dalla mente del ragazzo ¹⁸. I giovani,

¹⁸J.F. Sallis, *Self-report measures of children's physical activity*, in *J Sc Health*, 6, 1991, pp. 215-219

inoltre, dedicano molto meno impegno degli adulti nell'attività fisica di tipo moderata, soprattutto rispetto alle competizioni sportive, per cui una classificazione di tipo percettivo dell'intensità o, anche semplicemente, della quantità di tempo spesa, può contenere significativi errori di determinazione. I **questionari** rappresentano uno strumento ampiamente utilizzato in ricerche di tipo sociale, ma anche in differenti studi di tipo scientifico connessi all'attività fisica. I questionari possono essere di tipo strutturato, in cui il compilatore può scegliere in un range limitato di risposte, e di tipo semi-strutturato, in cui, per alcuni item, è possibile ampliare la propria risposta con contributi personali. I questionari possono essere o auto-compilati dai destinatari della ricerca o possono essere sottoposti da un intervistatore, ma la seconda ipotesi è stata dimostrata come molto più accurata della prima, sebbene tra le due ci siano, comunque, ampie discrepanze¹⁹. E' difficile inoltre identificare l'età precisa in cui un ragazzo può compilare un questionario in maniera corretta ed esauriente, anche se alcuni autori sostengono che dodici anni rappresenta l'età minima per ricordare le pregresse attività fisiche accuratamente, contestualmente ad un'adeguata determinazione della durata delle stesse²⁰. I **diari compilati** con le indicazioni dell'attività fisica svolta giornalmente risultano più affidabili dei questionari retrospettivi²¹, mentre alcune ricerche sostengono, invece, che la soglia di precisione dei diari diventa inaffidabile se compilati da ragazzi con età inferiore a 15-16 anni^{22 23}. Un'altra metodologia soggettiva utilizzata per la

¹⁹H.J. Montoye - H.L. Taylor, *Measurement of physical activity in population studies: a review*, in *Journal of Human Biology*, 56, 1984, pp. 195-216

²⁰R.R. Pate, *Physical activity assessment in children and adolescents*, in *J Crit Rev Food Sci Nutr*, 33, 1993, pp. 321-326

²¹R. Telama *et al.*, *Atherosclerosis precursors in Finnish children and adolescents leisure time physical activity*, in *J Acta Paediatr Scand*, 318, 1985, pp. 169-180

²²W.H.M. Saris, *Aerobic power and daily physical activity in children*, Netherlands: Kripps Repro, 1982

²³W.H.M. Saris, *Habitual physical activity in children: methodology and findings in health and disease*, in *Med Sci Sport Exerc*, 18, 1986, pp. 253-263

valutazione dell'attività fisica dei ragazzi si basava sull'utilizzo dell'energia spesa per compiere l'attività fisica estrapolata da dati fisiologici presentati in altri lavori, spesso registrati su soggetti adulti. Questo approccio si è rivelato essere caratterizzato da un fortissimo errore metodologico, infatti utilizzare i dati degli adulti per ottenere l'energia spesa per l'esecuzione di alcuni esercizi fisici da parte dei ragazzi introduce errori sostanziali²⁴. I **report compilati da terzi** sono stati spesso utilizzati in ricerche in cui il campione da osservare aveva un'età inferiore ai 10 anni, che quindi palesava difficoltà a compilare autonomamente il questionario e si è fatto aiutare dai genitori o dagli insegnanti. Gli studi condotti, comunque, hanno dimostrato che la validità dei dati forniti attraverso questo strumento è piuttosto limitata²⁵, infatti è stato osservato che le valutazioni fornite dai genitori erano 1.8 volte superiori a quelle registrate, per le medesime attività, attraverso un misuratore di frequenza cardiaca²⁶. I dati ottenuti con metodologie soggettive e quelli ottenuti con metodologie oggettive di misurazione devono essere comparati, comunque, con molta cautela. I ragazzi tendono a sovrastimare la loro percezione dell'attività fisica vigorosa, infatti sono stati riscontrati elevate differenze tra strumenti di valutazione auto-compilati e oggettivi²⁷. Di contro, nel valutare la loro prestazione in attività fisiche di tipo moderato, i ragazzi, utilizzando strumenti soggettivi di valutazione, tendono a sottovalutare i livelli raggiunti, che strumenti oggettivi segnalano con soglie più elevate²⁸.

²⁴J.F Sallis *et al.*, *Bias in estimating caloric expenditure from physical activity in children*, in *Journal of Sports Medicine*, 11, 1991, pp. 203-209

²⁵W.H.M. Saris, *The assessment and evaluation of daily physical activity in children: a review*, in *J Acta Pediatric Scand*, 318, 1985, pp. 37-48

²⁶M. Harro, *Validation of a questionnaire to assess physical activity of children ages 4-8 years*, in *J Res Q Exerc Sport*, 68, 1997, pp. 259-268

²⁷R. Pate *et al.*, *Compliance with physical activity guidelines: prevalence in a population of children and youth*, in *J Ann Epidemiol*, 12, 2002, pp. 303-308

²⁸M. Sleaf - K. Tolfrey, *Do 9-to-12-yr-old children meet existing physical activity recommendations for health?*, in *J Med Sci Sports Exerc*, 33, 2001, pp. 591-596

Una possibile spiegazione è ascrivibile al fatto che questa tipologia di attività tende ad essere sporadica, non pianificata e quindi meno facilmente viene memorizzata dal ragazzo, per cui una valutazione con metodologie oggettive non sarà influenzata da questi particolari specifici. Dati comparabili in maniera significativa sono stati invece riscontrati utilizzando uno strumento per misurare la frequenza cardiaca e i diari giornalieri in riferimento alla valutazione delle attività di tipo MVPA di 30 ragazzi di 15 anni; dallo studio effettuato gli autori hanno concluso che i due strumenti indicati sono assolutamente paragonabili per quantificare l'energia spesa da un gruppo di adolescenti e il tempo impiegato nello svolgimento di attività di tipo MVPA²⁹. Nonostante i metodi auto-compilati presentino le lacune appena descritte, moltissimi studi sull'attività fisica dei ragazzi sono stati condotti utilizzando queste tecniche che, come appena descritto, sono le più economiche e la meno invasive. Diversi survey, a carattere multinazionale, su tematiche relative l'attività fisica dei giovani, commissionati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità, sono stati sviluppati utilizzando come strumento di rilevamento dati i questionari. Il primo fu proposto nel 1983/1984 e coinvolse 4 stati Europei, mentre nel 2001/2002 è stato commissionato un survey in cui gli stati europei coinvolti erano 22. Gli studi condotti hanno selezionato campioni rappresentativi dagli stati che hanno aderito all'iniziativa, anche se i questionari non sono stati somministrati, ovviamente, in periodi perfettamente coincidenti. I dati ottenuti nel survey del 2002 non sono confrontabili con quelli ottenuti nei survey precedenti perché il questionario utilizzato aveva degli item più specifici per valutare la percezione dell'attività fisica di tipo moderato svolta sia durante il periodo scolastico che fuori dai contesti formativi. L'unico dato in possesso dei partecipanti, prima di iniziare la somministrazione del questionario, era la definizione di attività fisica: "qualsiasi

²⁹U. Ekelund *et al.*, *Total daily energy expenditure and patterns of physical activity in adolescents assessed by two different methods*, in *Scand J Med Sci Sport*, 9, 2004, pp. 257-264

attività che determina un incremento della frequenza cardiaca e una variazione della frequenza della respirazione per periodi variabili. L'attività fisica può essere svolta durante l'attività sportiva, l'attività scolastica, giocando con gli amici o camminando per raggiungere la scuola. Esempi di attività fisica sono correre, camminare velocemente, pattinare, andare in bicicletta, danzare, nuotare, giocare a calcio, basket e football.”³⁰.

3.3 La valutazione oggettiva dell'attività fisica

I metodi e le tecniche in cui sono stati utilizzati strumenti per la valutazione oggettiva dell'attività fisica proposti negli ultimi anni sono stati numerosi. In questo lavoro, però, tratteremo solo quelli che sono stati sperimentati per la valutazione dell'attività fisica dei ragazzi in età scolastica.

3.3.1 Calorimetria indiretta

Una delle tecniche più utilizzate per la valutazione dell'attività fisica dei giovani attraverso tecniche di calorimetria indiretta è chiamata **Acqua doppiamente marcata** o *DWL - Double Water Labelled*. Questo strumento, attraverso una soluzione chimica applicata alla saliva dei ragazzi, determina il livello di CO_2 dal quale è possibile risalire, attraverso opportune formule matematiche, al valore della spesa energetica totale (TEE). La TEE comprende, a sua volta, la spesa energetica basale (BEE), l'effetto termico del cibo e il livello dell'attività fisica. E' opportuno sottolineare, comunque, come essendo la TEE un conseguenza fisiologica dell'attività fisica, questo limiti l'affidabilità dello strumento in esame per la valutazione dell'attività fisica stessa. Sebbene questa tecnica sia, comunque, molto potente e accurata per la valutazione del dispendio energetico giornaliero, soffre di una serie di limiti. Rispetto ad altri strumenti di calorimetria indiretta, come

³⁰C. Currie *et al.*, *Young people's health in context*, World Health Organisation, Copenhagen, 2004

la camera metabolica, il confronto dei dati ha dimostrato un margine di errore di circa il 5% di quelli ottenuti con la DWL ³¹. Il costo dei liquidi utilizzati è molto elevato ed necessario, inoltre, che la dieta dei soggetti interessati, durante tutto il periodo dello studio, deve essere di tipo controllato affinché la misura del TEE sia accurata. In letteratura, i contributi scientifici in cui è stata utilizzata la DWL sono tutti orientati verso un'associazione dell'attività fisica o con il livello di attività fisica prodotta (PAL - Physical Activity Level) o con il consumo calorico associato all'attività specifica (AEE - Activity-related energy expenditure). Particolarmente interessante è stato il contributo di Hool e dei suoi collaboratori che hanno elaborato, in seguito ad una rivisitazione completa della letteratura specifica, uno studio con lo scopo di, intrecciando 17 differenti lavori condotti su giovani europei, definire delle soglie per i valori di PAL e AEE correlati all'età e al sesso dei partecipanti ³². Il campione aveva un'età che andava dai 3 ai 16 anni. I valori riscontrati dimostrarono che non vi erano significative differenze di genere per quanto riguarda il PAL, mentre i ragazzi possedevano livelli di AEE superiori a quelli delle ragazze; inoltre, fu individuato una crescita lineare dei valori dei due parametri all'aumentare dell'età. In un successivo contributo Hoos spiego questo fenomeno attraverso la differenza sia nella massa muscolare che nelle ore di sonno: i ragazzi, crescendo, trascorrono più tempo svolgendo attività fisica, sottraendolo dalle ore di sonno, il tutto con un struttura fisica che necessita livelli di attività più elevati ³³. In diversi contributi presenti in letteratura, inoltre, la DWL è stata utilizzata per stimare l'affidabilità di nuove tecniche proposte per la valutazione dell'attività

³¹W.H.M. Saris, *New development in the assessment of physical activity in children*, in J. Coudert e E. Van Praagh (cur.), *Pediatric work physiology*, Parigi: Masson, 1992, pp.107-114

³²M.B.Hoos *et al.*, *Physical activity levels in children and adolescents*, in *Int J Obes*, 89, 2003, pp. 605-609

³³M. B. Hoos *et al.*, *Physical activity level measured by doubly labeled water and accelerometry in children*, in *Eur J Appl Physiol*, 89, 2003, pp. 624-626

fisica. Sebbene gli accelerometri sono stati considerati, grazie a studi condotti su soggetti di 6 e 9 anni ³⁴, in grado di fornire significative relazioni tra PAL e AEE, O'Connor ha dimostrato, comparando i livelli di consumo energetico, che non esiste alcuna correlazione tra le misure ottenute con la DWL rispetto a quelle ottenute con accelerometri e diari di attività ³⁵. Emons e i suoi collaboratori hanno invece determinato che le misure relative alla spesa energetica totale giornaliera ottenuta con il misuratore della frequenza cardiaca è sovrastimato del 12 % rispetto alle stesse effettuate con la tecnica del DWL, su bambini con età compresa tra gli 8 e i 9 anni ³⁶. Eston e i suoi collaboratori studiarono, successivamente, il consumo calorico durante una serie di attività di un gruppo di ragazzi, con età compresa tra gli 8 e i 10 anni, attraverso l'utilizzo del DWL, misuratore della frequenza cardiaca, accelerometro e misuratore di passi. I risultati prodotti significarono una forte correlazione di tutti i valori ottenuti con la VO_2 e suggerirono, quindi, un ampio utilizzo del misuratore di passi per la valutazione dell'attività fisica dei giovani ³⁷ ³⁸. Le innovazioni in campo tecnologico attuali hanno ridimensionato, significativamente i pesi e le gli ingombri di queste attrezzature, sebbene risultino ancora troppo onerose per i bambini ³⁹.

³⁴U. Ekelund *et al.*, *Physical activity assessed by activity monitor and doubly labeled water in children*, in *J Med Sci Sports Exerc*, 33, 2001, pp. 275-281

³⁵O. O'Connor *et al.*, *Measuring physical activity in children: a comparison of four different methods*, in *J Pediatr Exerc Sci*, 15, 2003, pp. 202-215

³⁶H.J.G. Emons, *Comparison of heart rate monitoring combined with indirect calorimetry and the doubly labelled water method for the measurement of energy expenditure in children*, in *Eur J Appl Physiol*, 65, 1992, pp. 99-103

³⁷R.G. Eston *et al.*, *Validity of heart rate, pedometry, and accelerometry for predicting the energy cost of children's activity*, in *J Appl Physiol*, 84, 1998, pp. 362-371

³⁸L. Louie *et al.*, *Validity of heart rate, pedometry and accelerometry for estimating the energy cost of activity in Hong Kong Chinese boys*, in *J Pediatr Exerc Sci*, 11, 1999, pp. 229-239

³⁹N. Armstrong - J.R. Welsman, *op. cit.*, 2006

3.3.2 Osservazione diretta

L'osservazione diretta rappresenta una tecnica per la valutazione dell'attività fisica che le ultime innovazioni tecnologiche hanno reso particolarmente attrattiva e praticata dai ricercatori del settore. L'utilizzo, delle nuove tecnologie, però, non pervade completamente il processo di valutazione, per cui l'intervento dell'uomo nei processi di codifica e rielaborazione delle immagini acquisite, rappresentando uno step necessario, ha introdotto una serie di limitazioni all'applicazione di detta tecnica. Sirad e Pate, in una critica review di 7 studi proponenti 7 diverse tecniche di osservazione diretta, hanno dimostrato che la percentuale di *agreement inter-operatore*, durante differenti sessioni di osservazione sugli stessi bambini, è compresa tra 84-99%⁴⁰, ma questo presuppone che gli operatori siano sempre presenti nel luogo in cui l'attività fisica viene espletata. Questa condizione, che già di per se rende difficoltosa l'applicabilità in contesti differenti, comunque sempre di breve durata e con bassissima continuità temporale, è stata inoltre dimostrato essere causa di alterazione dei pattern di movimento osservati: la presenza degli operatori influenza, in qualche modo, i bambini coinvolti nello studio, con percentuali anche del 16% del campione⁴¹. Gli studi più ampi e significativi sulla valutazione dell'attività fisica degli adolescenti attraverso le tecniche dell'osservazione diretta furono condotti da Sleap e Warburton

⁴⁰J. Sirad - R. Pate, *Physical activity assessment in children and adolescent*, in *J Sport Med*, 100, 2001, pp. 126-131

⁴¹J. Pahl et al., *Children's activity rating scale (cars): description and calibration*, in *J Res Q Exerc Sport*, 61, 1990, pp. 26-36

⁴² ⁴³ ⁴⁴. In questi studi essi osservarono 93 ragazze e 86 ragazzi con età compresa tra i 5 e gli 11 anni, per un periodo medio di osservazione di circa 418 minuti per soggetto. Il campione fu osservato in diverse situazioni, come la scuola, la ricreazione, il tempo libero, i week-end e le vacanze; il 29,3% del tempo di osservazione venne speso dai ragazzi in attività di tipo MVPA. I risultati di questa serie di lavori possono essere così riassunti:

- il 20% del campione osservato spendeva almeno 20 minuti al giorno in attività di tipo MVPA;
- il 5% del campione osservato spendeva almeno 5 minuti al giorno in attività di tipo MVPA;
- non furono individuate significative differenze di genere;
- i soggetti pre-adolescenti praticavano pochissima attività fisica, anche sotto forma di gioco, durante il tempo libero.

I risultati ottenuti vennero definiti dagli autori particolarmente preoccupanti, soprattutto per il valore dell'ultima conclusione prodotta ⁴⁵. L'osservazione diretta ha tratto grande vantaggio dalla rivoluzione tecnologica degli ultimi anni, sebbene microprocessori e videocamere di ultima generazione non hanno potuto eliminare del tutto, problematiche legate ai tempi di elaborazione dei dati e alla necessaria presenza degli operatori. Quest'ultima, inoltre, rappresenta un elemento di disturbo per i soggetti coinvolti nell'attività fisica e può rappresentare una criticità in termini di oggetti-

⁴²M. Sleaf - P. Warburton, *Physical activity levels of 5-11 year old children in England determined by continuous observation*, in *J Res Q Exerc Sport*, 63, 1992, pp. 238-245

⁴³M. Sleaf - P. Warburton, *Physical activity levels of preadolescent children in England*, in *Br J Phys Educ Res Suppl*, 14, 1994, pp. 2-6

⁴⁴M. Sleaf - P. Warburton, *Physical activity levels of 5-11-year-old children in England: cumulative evidence from three direct observation studies*, in *Int J Sports Med*, 17, 1996, pp. 248-253

⁴⁵M. Sleaf - P. Warburton, op. cit., 1996

ività dei risultati prodotti da un'elaborazione human-depended delle riprese acquisite.

3.3.3 Misurazione della frequenza cardiaca

La misurazione della frequenza cardiaca rappresenta una delle metodologie oggettive per la valutazione dell'attività fisica più utilizzate nella comunità scientifica che si occupa del movimento, ma non solo. L'utilizzo di questa metodologia si basa sul principio secondo il quale un ragazzo che mostra livelli di frequenza cardiaca più elevata risulta avere una propensione all'attività e al movimento più elevata di chi, costantemente, mantiene livelli più modesti. La misurazione della frequenza cardiaca rappresenta, inoltre, un parametro di valutazione dell'attività motoria, praticata in un lasso di tempo abbastanza ampio, sia oggettivo che ripetibile. Detta misurazione, però, è anche indirettamente, soprattutto per attività fisiche a bassa intensità, l'espressione di alcuni elementi stressogeni del sistema cardio-respiratorio ⁴⁶ ⁴⁷. Diversi altri fattori connessi all'attività fisica possono influenzare la frequenza cardiaca, come: ansia, lo stress emozionale, la fatica, l'attivazione di specifici gruppi muscolari, contrazione muscolare, il livello di allenamento, l'assunzione di cibo, lo stato di idratazione, la temperatura ambientale e l'umidità ⁴⁸. Grazie all'evoluzione tecnologica che ha caratterizzato il XX secolo, sono stati sviluppati strumenti per la misurazione della frequenza cardiaca dedicati, specificatamente, all'applicazione in ambito sportivo. La configurazione tipo che viene proposta è formata da un sensore/trasmittitore che è indossato all'altezza dello sterno con elettrodi o fasce, ed un ricevitore/microcomputer indossato come se fosse un orologio da polso. Questa

⁴⁶N. Armstrong, *Patterns of physical activity among 11 to 16 year old British children*, in *British Med Jou*, 301, 1990, pp. 203-205

⁴⁷N. Armstrong, *Young people's physical activity patterns as assessed by heart rate monitoring*, in *J Sports Sci*, 16, 1998, pp. S9-S16

⁴⁸N. Armstrong, *op. cit*, 1998

configurazione risulta essere socialmente accettabile, garantisce una piena libertà di movimento, non altera in alcun modo i pattern di movimento dei giovani che la indossano e risulta assolutamente discreta alla vista. Queste tecnologie sono in grado di memorizzare lunghe sessioni di valutazione, anche se, comunque, le attività fisiche dei giovani, soprattutto di tipo MV-PA, sono caratterizzati da frequenze intense ma di breve durata. Sebbene questi sistemi di telemetria sono ampiamente utilizzati, non sono esenti da difficoltà e problematiche di utilizzo, soprattutto legate alle interferenze elettroniche che possono determinare *spurie* (interferenze a bassa frequenza) o *burst* (interferenze ad alta frequenza) nei segnali d'uscita dei dispositivi ⁴⁹ ⁵⁰. Dette problematiche hanno guidato Harro e Riddoch nella definizione di 24 differenti metodologie per l'interpretazione dei dati che aiutano i ricercatori nell'elaborazione degli stessi, ma rendono difficoltoso il raffronto fra le diverse ricerche. Queste, a loro volta, sono per lo più indirizzate alla stima del dispendio energetico o a fornire livelli di soglie utili a caratterizzare i differenti pattern di attività fisica. L'utilizzo dei dati direttamente forniti dai misuratori di frequenza cardiaca presenta numerose difficoltà per la classificazione dell'attività fisica, per cui una tecnica molto utilizzata è quella del FLEX HR ⁵¹. Questa tecnica permette di determinare il livello del consumo calorico e il pattern di movimento attraverso una relazione diretta con l'equivalente valore di VO_2 , sperimentata al di sopra di una specifica soglia, chiamata *punto di FLEX*; al disotto di questa soglia la relazione è variabile. Questa tecnica è stata validata per bambini, adulti e atleti e il suo utilizzo in diversi lavori scientifici ha determinato la definizione di banche dati signi-

⁴⁹M. Harro - C. Riddoch, op. cit., 2000

⁵⁰N. Armstrong, op. cit., 1998

⁵¹M.B.E. Livingstone *et al.*, *Daily energy expenditure in free-living children: comparison of heart rate monitoring with the doubly labelled water method*, in *Am J Clin Nutr*, 56, 1992, pp. 343-352

ficative, raggruppate in funzione delle categorie precedentemente indicate ⁵²
⁵³. In letteratura è dunque possibile individuare diverse espressioni della
frequenza cardiaca sia come indice che come soglia, soprattutto in ricerche
relative alla valutazione dell'attività fisica nei giovani. Nella tabella 3.1 sono
stati raggruppati gli studi condotti sui giovani Europei utilizzando, per un
periodo non inferiore ai 3 giorni, strumenti di rilevamento telemetrico della
frequenza cardiaca a partire dagli anni ottanta e fino al 2006; queste ricerche
rappresentano, inoltre, una interessantissima e significativa banca dati per
i ricercatori del settore che utilizzano, ancora, la frequenza cardiaca per la
valutazione dei pattern di movimento o per l'intensità dell'attività fisica ⁵⁴.
Come sarà possibile evincere dai risultati proposti i parametri di riferimento
per la valutazione dell'attività fisica sono i valori di HR (frequenza cardiaca)
intorno 140 e i 160 battiti al minuto (bpm), in quanto valori riferimento di
attività di tipo moderate e vigorose rispettivamente.

⁵²M.B.E. Livingstone *et al.*, *Simultaneous measurement of free-living energy expenditure by the doubly labelled method and heart rate monitoring.*, in *Am J Clin Nutr*, 52, 1990, pp. 59-65

⁵³U. Ekelund *et al.*, *Energy expenditure assessed by heart rate and doubly labeled water in young athletes*, in *J Med Sci Sports Exerc*, 34, 2002, pp. 1360-1366

⁵⁴N. Armstrong - J.R. Welsman, *op. cit.*, 2006

Ricerche	Campione	Periodo	Risultati
(Armstrong, Balding, Gentle, & al., 1990)	163 ragazze, 103 ragazzi; età: 11-16; Inghilterra	4d HR	I ragazzi hanno valori di $HR > 139bpm$ per percentuali di tempo superiori a quelle delle ragazze (6,2% vs. 4,3%), registrati durante 3 giorni della settimana, mentre il Sabato questa differenza aumenta (5,6% vs. 2,6%). Una significativa correlazione negativa è stata individuata con le ragazze ($r=-0,27$ (Settimana), $r=-0,21$ (Sabato)), ma non con i ragazzi. Durante la settimana, il 51.5% delle ragazze e il 35.9% dei ragazzi praticano attività fisica per periodi superiori ai 10 minuti con $HR > 139bpm$, mentre il sabato le percentuali diventano 93,3% e 70,7% rispettivamente.
(Armstrong & Bray, 1990)	11 ragazze, 13 ragazzi; età: 10-11 anni; Inghilterra	6d HR	Gli adolescenti trascorrono l'8,8% del loro tempo con $HR > 139bpm$, mentre la percentuale di mantenimento di questa frequenza al di sotto dei 10 minuti è di 33.4%. Se si considerano i valori di $HR > 159bpm$ sono raggiunti solo dal 3,6% degli adolescenti e il 62.5% di loro mantiene questa frequenza per periodi inferiori ai 10 minuti. Non sono state individuate significative differenze di genere
(Armstrong & Bray, 1991)	65 ragazze, 67 ragazzi; età: 10-11 anni; Inghilterra	4d HR	In questo studio non sono state individuate significative differenze di genere nella percentuale di tempo trascorso con $HR > 139bpm$ durante i tre giorni della settimana né il sabato. Gli adolescenti hanno fatto registrare valori di $HR > 159bpm$ soprattutto durante la settimana (4.5% vs. 3.5%) piuttosto che il sabato (1.8% vs. 1.8%). Inoltre, il 25 % delle ragazze e il 19% dei ragazzi mantiene una frequenza di $HR > 139bpm$ per un periodo inferiore ai 10 minuti.

continua nella pagina successiva

Ricerche	Campione	Periodo	Risultati
(Biddle, Mitchel, & Armstrong, 1991)	20 ragazze e 26 ragazzi; età: 12, 2 anni; Inghilterra	3d HR	In questa ricerca non sono state riscontrate significative differenze di genere nella valutazione dell'attività fisica di tipo moderato durante 3 giorni settimanali, mentre i ragazzi hanno fatto registrare una più prolungata attività di tipo vigoroso (2.7% vs. 1.9%). Le percentuali di mantenimento di una frequenza superiore ai 139 bpm per periodi superiori ai 10 minuti sono di 54,1% per i ragazzi e 65,7% per le ragazze, mentre le corrispettive per attività di tipo vigoroso sono di 35.1% e 8,6% rispettivamente
(Riddoch, Mahoney, Murphy, & al, 1991)	22 ragazze e 23 ragazzi; età: 11-16 anni; Irlanda del Nord	2-4d HR	Non sono state riscontrate significative differenze di genere nelle attività di tipo moderate svolte giornalmente e valutate in rispetto al $VO_2peak - [HR > 50\%diVO_2]$ (ragazzi: 24 minuti, mentre le ragazze 17). I ragazzi hanno raggiunto, invece, percentuali superiori a quelle delle ragazze in periodi di tempo dedicati ad attività di tipo vigoroso (8 minuti vs. 4minuti). In particolare sono i ragazzi più giovani a dedicarsi a questo tipo di attività e, comunque, rispetto alle ragazze. E' stata riscontrata, inoltre, una correlazione negativa ($r=-0,48$) tra l'età e il tempo giornaliero dedicato all'attività fisica dai ragazzi; detta negatività non è stata riscontrata nelle ragazze.
(McManus & Armstrong, 1995)	100 ragazze e ragazzi; età: 11,1 anni; Inghilterra	3d HR	I ragazzi praticano più attività fisica delle ragazze, sia di tipo moderato che vigoroso, con percentuali di 9,1% vs. 7,3% - 4,3% vs. 3,0% rispettivamente. Con riferimento alla capacità di sostenere lo stesso ritmo per periodi non superiori ai 10 minuti, le percentuali diventano 22% vs. 30% - 49% vs. 57%, percentuali raggruppate per attività di tipo moderato e vigoroso rispettivamente.

continua nella pagina successiva

Ricerche	Campione	Periodo	Risultati
(Falgairrette, Bedu, Fellmann, & al, 1991)	34 ragazze e 30 ragazzi; età: 6-11 anni; Francia	7d HR	La frequenza cardiaca connessa ad attività fisica giornaliera varia leggermente con l'età, sebbene nelle ragazze si registrano flessioni più significative. L'attività è comunque più costante nei giorni settimanali che nel week-end.
(Sallo & Silla, 1997)	29 ragazze e 25 ragazzi; età: 7 anni; Estonia	4d HR	I ragazzi hanno una frequenza superiore a 139 bpm per il 7,9% del tempo osservato, mentre non risultano differenze di genere. La capacità di mantenere tale frequenza per periodi inferiori a 10 minuti rivela percentuali differenti tra ragazzi e ragazze, pari a 64% e 55% rispettivamente
(Welsman & Armstrong, 1997)	31 ragazze e 26 ragazzi; età: 6-9 anni; Inghilterra	3d HR	Dallo studio condotto è emerso che i ragazzi trascorrono molto più tempo delle ragazze sia in attività di tipo moderato che vigoroso. Il 23% dei ragazzi e il 31% delle ragazze, però, non riescono a mantenere costante il valore di $HR > 139bpm$ per più di 10 minuti, mentre per valori di $HR > 159$ le percentuali diventano 69% e 83% rispettivamente. I valori di HR mostrano, inoltre, un flessione con l'aumentare dell'età.
(Gavarry, Bernard, Giacomoni, & al., 1998)	38 ragazze e 28 ragazzi; età: 11-16 anni; Francia;	7d HR	Il 32% degli adolescenti, in seguito allo studio condotto, può essere classificato come attivo, in base alle linee guida dell'ACSM (American College of Sport Medicine, 1988). Non sono state riscontrate differenze di genere.
(Manios, Kafatos, & Markakis, 1998)	38 ragazze e 28 ragazzi; età: 6 anni; Grecia	3d HR	La ricerca ha dimostrato che i ragazzi che vivono nelle aree urbane praticano attività fisica per periodi significativamente inferiori dei coetanei che vivono in periferia. L'attività motoria è molto più praticata, per entrambe le categorie, durante i giorni della settimana. piuttosto che nel weekend.

continua nella pagina successiva

Ricerche	Campione	Periodo	Risultati
(Welsman & Armstrong, 2000)	40 ragazze e 42 ragazzi; età: 14-15 anni; Inghilterra	4d HR	Lo studio è stato condotto solo su attività fisica di tipo moderato ($HR > 139bpm$) ed ha dimostrato che il 67,3% dei ragazzi e il 59,5% delle ragazze pratica giornalmente 30 minuti di attività fisica, mentre il 28,8% dei ragazzi e il 54,8% delle ragazze la svolge per periodi di almeno 10 minuti continuamente.
(Ekelund, Poortvleit, Nilsson, & al., 2001)	40 ragazze e 42 ragazzi; età: 14-15 anni; Svezia	3d HR	Analizzando esclusivamente le attività di tipo MVPA i ricercatori hanno scoperto che non ci sono differenze di genere nel periodo di attività spesso, mentre il dispendio energetico dei ragazzi è più elevato di quello delle ragazze.
(Sleap & Tolfrey, 2001)	36 ragazze e 43 ragazzi; età: 10,6 anni; Inghilterra	4d HR	Le ragazze praticano attività motoria per un periodo complessivo settimanale di 105 minuti di tipo moderato e 38 di tipo vigoroso. I ragazzi, 118 minuti e 50 minuti rispettivamente.
(Vermorel, Vermet, Bitar, & al., 2002)	29 ragazze e 31 ragazzi; età: 12-16 anni; Francia	5d HR	Il livello medio di consumo calorico giornaliero decresce significativamente con l'età nei ragazzi, mentre tale effetto è assente nelle ragazze. Detto livello medio è del 21% più alto nei giorni scolastici per gli adolescenti più attivi, ma il 7% più basso per quelli più sedentari.

Tabella 3.1: Dati sull'attività fisica dei giovani Europei rispetto a ricerche condotte utilizzando misuratori di frequenza cardiaca con periodi di registrazione superiori ai tre giorni

Volendo produrre una breve disquisizione sui dati raccolti nella tabella 3.1 è possibile apprezzare come Armstrong sia tra gli autori più presenti nell'analisi del movimento in età scolare utilizzando la frequenza cardiaca come parametro di valutazione. Complessivamente, durante questo ventennio di ricerche, il suo gruppo di lavoro ha valutato più di 1230 giovani, con età compresa tra i 5 e i 17 anni. Armstrong ha raggruppato il campione osservato in tre categorie: *first-school* (primi anni della nostra scuola elementare), in cui erano presenti 93 ragazze e 95 ragazzi con età media paria a 7,2 anni; *middle-school* (l'equivalente della nostra scuola media) in cui erano presenti 263 ragazze e 271 ragazzi con età media pari a 11,5 anni); *high-school* (il biennio della nostra scuola superiore) in cui erano presenti 265 ragazze e 220 ragazzi, con età media pari a 15 anni. In ogni categoria è stato possibile apprezzare come i ragazzi spendessero più tempo delle ragazze in attività fisica sia di tipo moderato che di tipo vigoroso; inoltre, dette attività, sono state sempre associate a frequenze cardiache superiori a 139 e 159 pulsazioni al minuto rispettivamente. Sempre sullo stesso campione, al fine di meglio comprendere i differenti livelli di attività fisica, sono state valutate le percentuali di giovani che riuscivano a mantenere una frequenza costante per periodi di 5, 10 e 20 minuti; queste valutazioni sono state suddivise per attività di tipo moderato e vigoroso. Dagli studi condotti e presentati nella tabella 3.1, comunque, è possibile giungere alle seguenti conclusioni:

- i ragazzi sono, in percentuale, più attivi delle ragazze, sia in attività fisica in cui la $HR > 139bpm$ che in attività con $HR > 159bpm$;
- non è stato possibile individuare un pattern di movimento caratteristico dei giovani europei, in quanto le due tipologie di attività fisica hanno trend differenti per nazione, età e frequenza;
- il livello di attività fisica è inversamente proporzionale all'età, per cui i più attivi sono risultati essere i più giovani.

3.3.4 La valutazione dell'attività fisica utilizzando i contapassi

Il contapassi rappresenta il più semplice device meccanico utilizzabile per la valutazione dell'attività fisica. Un primo studio utilizzando questo strumento è stato condotto nel 1926, sebbene un nostro famoso connazionale, Leonardo Da Vinci, lo aveva progettato e usato per misurare una distanza attraverso il numero di passi prodotti per coprirlo. I contapassi sono sensori di movimento in grado di registrare l'accelerazione e la decelerazione lungo una direzione di movimento e sono normalmente usati per stimare o la distanza di una passeggiata o il numero di passi rispetto ad un arco temporale definito. Dall'analisi della letteratura scientifica prodotta utilizzando questo strumento si è giunti alle seguenti conclusioni:

- Un periodo temporale di almeno sei giorni è sufficiente per ottenere dati affidabili sull'attività fisica dei giovani, prevedendo, quindi, una misurazione anche durante i week-end;
- Rowlands e i suoi collaboratori hanno esaminato dettagliatamente l'uso dei contapassi e hanno postulato che rappresentano uno strumento poco costoso, riutilizzabile e oggettivo per la valutazione su larga scala dell'attività fisica, soprattutto per quanto riguarda le fasce d'età comprese tra i 7 e i 16 anni ⁵⁵;
- il principale svantaggio dei contapassi è rappresentato dall'impossibilità di poter determinare, con esattezza, i pattern di movimento e il livello dell'attività fisica;

Nella tabella 3.2 sono indicati i più significativi risultati descritti in letteratura in ricerche, condotte in Europa su adolescenti con età compresa tra i 6

⁵⁵A.V. Rowlands *et al.*, *Measurement of physical activity in children with particular reference to the use of heart rate and pedometry*, in *J Sport Med*, 24, 1997, pp. 258-272

e i 18 anni, in cui sono stati utilizzati i contapassi ⁵⁶.

⁵⁶N. Armstrong - J.R. Welsman, op. cit, 2006

Ricerche	Campione	Periodo	Risultati
(Verschuur, Kemper, & Besseling, 1984)	215 ragazze e 195 ragazzi; età: 13-14 anni; Olanda	3d contapassi	I ragazzi praticano molta più attività fisica “pesante” delle ragazze: in media 99 minuti i ragazzi e 1 minuto le ragazze.
(Skalik, Fromel, Sigmund, & al., 2001)	58 ragazze e 66 ragazzi; età: 16-18 anni; Repubblica Ceca, Polonia e Svezia	7d contapassi e accelerometri	Il consumo calorico giornaliero è stato individuato, in media, in 9,7 kcal/kg/d nelle ragazze e in 11,2 kcal/kg/d nei ragazzi. In tutti e tre gli stati, inoltre, il livello di attività fisica dei ragazzi è risultato superiore a quello delle ragazze.
(Loucaides, Chedzoy, & Bennett, 2003)	127 ragazze e 129 ragazzi; età: 11-12 anni; Cipro	4d contapassi	La ricerca ha dimostrato che i ragazzi che vivono in città sono molto più attivi in inverno che in estate, mentre i ragazzi che abitano in periferia hanno un trend opposto. Inoltre le ragazze sono meno attive dei ragazzi
(Raustorp, Pangrazi, & Stahle, 2004)	435 ragazze e 457 ragazzi; età: 7-14 anni; Svezia	4d contapassi	Il campione è stato raggruppato in base all'anno di nascita e i dati dimostrano che i ragazzi sono più attivi delle ragazze. La fascia d'età che pratica più attività fisica è quella dei 10 anni, in cui non ci sono differenze di genere. La fascia d'età tra i 13 ei 14 anni, invece, ha fatto registrare un brusco calo del numero di passi registrati durante le varie attività.
(Cardon & De Bourdeaudhuij, 2004)	41 ragazze e 51 ragazzi; età: 6-13 anni; Belgio	6d contapassi	Il numero medio di passi giornaliero è risultato essere significativamente più elevato nei ragazzi che nelle ragazze (16628 ± 3527 vs 13002 ± 3644), mentre non è stata notata una significativa differenza tra i diversi giorni della settimana. Il numero di passi, invece, decresce all'aumentare dell'età

Tabella 3.2: Dati sull'attività fisica dei giovani Europei rispetto a ricerche condotte utilizzando contapassi in periodi non inferiori ai 3 giorni

I risultati proposti dimostrano come le risultanze prodotte dai contapassi abbiano una coerenza tra i diversi stati interessati e evidenziano che i ragazzi sono più attivi delle ragazze, in tutte le fasce d'età osservate.

3.3.5 La valutazione dell'attività fisica utilizzando l'accelerometro

Gli accelerometri sono sensori di movimento più sofisticati dei contapassi, sono assemblati con un trasduttore piezo-elettrico ed un microprocessore che converte i dati dell'accelerazione in un segnale compatibile con le piattaforme di elaborazione dati. La grandezza degli accelerometri è inferiore a quella dei misuratori di frequenza cardiaca e sono indossati dai soggetti, con delle fasce, all'altezza del bacino. Gli accelerometri rappresentano una tecnica oggettiva, riutilizzabile e non invasiva per la misurazione dell'attività fisica, sebbene richiedono un significativo movimento del segmento corporeo su cui vengono posti ⁵⁷. Trost ha prodotto un interessante studio sia sugli accelerometri uni-assiali che su quelli triassiali, affermando che possono essere usati in maniera efficace per la valutazione dell'attività fisica giornaliera degli adolescenti. ⁵⁸ Una critica che venne mossa fu quella delle dimensioni degli accelerometri triassiali, che, grazie all'evoluzione della micro-elettronica, hanno raggiunto dimensioni sensibilmente più ridotte. Sirad e Pate, invece, produssero una disamina critica degli accelerometri utilizzati per la valutazione dell'attività fisica, comparando i risultati ottenuti con le altre tecniche utilizzate per gli stessi fini e descritte nelle sezioni precedenti di questo capitolo. Essi dimostrarono che i coefficienti di correlazione tra i vari modelli di accelerometro e le altre tecniche andavano da $r=-0,09$ a $r=0,95$ ⁵⁹; da un punto di vista statistico, i valori dei coefficienti di correlazione dimostrarono che gli accelerometri sono paragonabili alle tecniche più diffuse e

⁵⁷J. Sirad - R. Pate, op. cit., 2001

⁵⁸S.G. Trost, op. cit., 2001

⁵⁹J. Sirad - R. Pate, op. cit., 2001

consolidate. Un'altra problematica connessa con l'utilizzo degli accelerometri è rappresentata dall'elaborazione dei dati grezzi forniti. In letteratura sono state presentate diverse tecniche di calibrazione per individuare la miglior procedura da seguire ed in particolare Freedson e i suoi collaboratori hanno studiato questa problematica. Essi dimostrarono che negli studi in cui si volevano tracciare gli aspetti comportamentali dell'attività fisica, i dati grezzi rappresentano gli indicatori più efficaci ⁶⁰. In Europa lo studio più significativo sull'utilizzo degli accelerometri per la valutazione dell'attività fisica fu condotto da Ekelund, su un campione di 2185 soggetti di 4 differenti Nazioni, con età compresa tra i 9 e i 15 anni, in periodi di osservazione di 3 e 4 giorni ⁶¹. I risultati ottenuti confermarono che tra i giovani europei vi è una significativa differenza di genere nell'esecuzione dell'attività fisica, sia tra gli adolescenti di 9 anni, che tra i ragazzi di 15 anni, con i ragazzi nettamente più attivi delle ragazze. Lo stesso studio dimostrò, inoltre, che tra i ragazzi di 9 anni il 97% effettua almeno 60 minuti di attività fisica come previsto dalle linee guida UKHEA ⁶², ma questa percentuale decresce sensibilmente negli adolescenti di 15 anni, rispettivamente 82% di ragazzi e 62% per le ragazze. In controtendenza rispetto a quanto detto dalle succitate linee guida, Santos e i suoi collaboratori hanno dimostrato, invece, che la percentuale di tempo spesa per attività di tipo MVPA aumenta all'aumentare dell'età in un campione significativo di ragazzi portoghesi ⁶³. Nella tabella 3.3 sono riassunti altri significativi studi condotti sui giovani europei utilizzando gli accelerometri.

⁶⁰P. Freedson *et al.*, *Calibration of accelerometer output for children*, in *J Med Sci Sports Exerc*, 37 (Suppl. 11), 2005, pp. S523-S530

⁶¹U. Ekelund *et al.*, *op. cit.*, 2004

⁶²S. Biddle, *op. cit.*, 1998

⁶³P. Santos *et al.*, *Age and gender-related physical activity: a descriptive study in children using accelerometry*, in *J Sports Med Phys Fitness*, 43, 2003, pp. 85-89

Ricerche	Campione	Periodo	Risultati
(Raudsepp & Pall, 1998)	23 ragazze e 19 ragazzi; età: 8-9 anni; Estonia	4d accelerometri	I dati ottenuti dimostrarono un'elevata riproducibilità dei risultati durante la settimana piuttosto che durante il weekend.
(Skalik et al., 2001)	58 ragazze e 66 ragazzi; età: 16-18 anni; Repubblica Ceca, Polonia e Svezia	7d contapassi e accelerometri	Il consumo calorico giornaliero è stato individuato, in media, in 9,7 kcal/kg/d nelle ragazze e in 11,2 kcal/kg/d nei ragazzi. In tutti e tre gli stati, inoltre, il livello di attività fisica dei ragazzi è risultato superiore a quello delle ragazze.
(Nilsson, Ekelund, Yngve, & al., 2002)	6 ragazze e 10 ragazzi; età: 7,5 anni; Svezia	4d accelerometri	La ricerca ha dimostrato che i ragazzi sono coinvolti in più di 60 minuti giornalieri di attività fisica di tipo moderato
(Guerra, Santos, Ribeiro, & al., 2003; Santos, Guerra, Ribeiro, & al., 2003; Mota, Guerra, & al., 2002)	93 ragazze e 64 ragazzi; età: 8-16 anni; Portogallo	3d accelerometri	Il campione è stato raggruppato in base all'anno di nascita e i dati dimostrano che i ragazzi sono più attivi delle ragazze nelle attività di tipo MVPA. I dati ottenuti dimostrano che tale attivismo si manifesta con percentuali più elevate al crescere dell'età e determina un costante impegno giornaliero di almeno 60 minuti
(Mallam, Metcalf, Kirby, & al., 2003)	95 ragazze e 120 ragazzi; età: 7-10,5 anni; Inghilterra	5d accelerometri	In generale, le ragazze hanno palesato una minor propensione all'attività fisica rispetto ai ragazzi. Nessun altro dato significativo è stato quantificato.
(Ekelund, Yngve, & Sjoström, 2004)	2185 bambini; età: 9-15 anni; Danimarca, Portogallo, Estonia e Norvegia	4d accelerometri	I ragazzi sono più attivi delle ragazze sia nel gruppo di 9 anni che in quello di 15 anni, anche se il gruppo di 9 anni è più attivo di quello di 15 anni. In entrambi i gruppi, inoltre, le percentuali di tempo impiegate in attività di tipo MVPA fanno registrare valori più elevati per i ragazzi piuttosto che per le ragazze, valori che seguono lo stesso trend indicato per le differenze d'età.

Tabella 3.3: Dati sull'attività fisica dei giovani Europei rispetto a ricerche condotte utilizzando gli accelerometri in periodi non inferiori ai 3 giorni

3.4 Riflessioni sulle metodologie presentate

Come dimostrato dai numerosi e diversificati contributi presenti in letteratura la valutazione dell'attività fisica dei ragazzi e degli adolescenti rappresenta, sicuramente, un' tematica interessante ma complessa e di difficile interpretazione allo stesso tempo. Le diverse tecniche proposte hanno, ognuna, i propri punti di forza e i propri punti di debolezza, per cui non è stato ancora possibile identificare quella che, più delle altre, può essere utile per gli obiettivi prefissati. Le metodologie soggettive per la valutazione del livello di attività fisica sono lo strumento più adoperato in letteratura, grazie alla loro semplicità di progettazione, definizione e utilizzo, nonché ai costi relativamente contenuti necessari per la loro produzione. Le metodologie oggettive, però, rappresentano uno strumento più adeguato per la valutazione dei pattern di movimento, soprattutto nei periodi transitori presenti nello sviluppo motorio di ogni ragazzo. L'Europa, a parte il Lussemburgo, è stata tutta oggetto di studi di settore attraverso almeno una delle metodologie proposte, sebbene un numero limitato di stati, Estonia, Svezia, Francia, Portogallo ed Inghilterra, sono quelli in cui l'attenzione dei ricercatori è stata più costante nel tempo ed ha fornito i risultati più consistenti e significativi. Indipendentemente dalle metodologie scelte, dallo stato in cui è stata condotta la ricerca e il campione interessato, gli studi proposti hanno fornito alcune indicazioni precise:

1. I ragazzi Europei sono molto più attivi delle ragazze, indipendentemente dallo stato e dall'età. Questa differenza è ancora più significativa attenzionando il coinvolgimento in attività fisiche più intense.
2. Il livello di attività fisica decresce all'aumentare dell'età, senza alcuna differenza di genere.
3. L'attività fisica, a differenza di quanto indicato nelle linee guida, non è un elemento centrale della vita dei giovani Europei, indipendentemente

se l'attività è di tipo moderato o vigoroso.

In sintesi, i dati sul coinvolgimento dei giovani Europei in attività motorie sono disponibili, così come è possibile definire soglie ed indici utili a tracciare i differenti livelli di detta attività. Le differenti metodologie, i differenti approcci e l'utilizzo di strumentazioni non sempre uguali impedisce, però, di definire con precisione il ruolo dell'attività fisica come strumento di promozione del benessere dei giovani europei, per cui è necessario provare a definire, all'interno delle linee guide, protocolli specifici e ben definiti in cui fornire ai ricercatori metodologie univoche e condivisibili, che portino a risultati significativi e, allo stesso tempo, comparabili in maniera oggettiva fra loro.

3.5 Il compendio sulle attività fisiche

Come è stato possibile apprezzare, ancor prima dell'Europa, l'America si è dimostrata molto attenta alle correlazioni tra attività fisica e salute. Il proliferare di indagini di tipo *self-reported*, o auto-compilate, ha fatto crescere l'interesse verso questa relazione ma, al tempo stesso, ha evidenziato una criticità nell'individuare una procedura di codifica univoca per l'attività fisica, classificandola per tipologia ed intensità. Questa esigenza è figlia della mancata possibilità, che si presentava ai ricercatori americani agli inizi degli anni 90', di comparare studi effettuati utilizzando procedure e strumenti non univoci e standardizzati. La risposta a questa esigenza è rappresentata dal **Compendio delle attività fisiche**, cioè una lista codificata di attività che permettesse ai ricercatori di superare le difficoltà appena descritte⁶⁴. Il compendio è stato realizzato utilizzando i dati estrapolati da differenti studi sull'attività fisica, in cui sono stati adoperati sia strumenti per valutazioni

⁶⁴B. E. Ainsworth *et al.*, *Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities*, in *J Medicine and science in sports and exercise*, 25, 1993, pp. 71-91

sogettive, come i diari, che metodi con osservazione diretta. Ogni attività è stata codificata rispetto alla sua funzione, alla sua specificità e alla sua intensità, per cui potrà essere sarà possibile adoperare detta codifica in studi sia di tipo clinico che epidemiologico. Ogni attività è stata associata ad un livello di consumo energetico determinato attraverso i dati presenti in differenti e disparati contributi proposti in letteratura. L'intensità di detto livello per attività è stata scelta come il valor medio di consumo energetico ottenuto dagli otto contributi, ritenuti dagli autori del compendio, come i più significativi proposti dalla comunità scientifica⁶⁵. Il seguito che ha avuto la diffusione di detto compendio ha orientato gli autori, aiutati da nuovi collaboratori, a proporre, nel 2000, una seconda edizione del compendio, in cui sono state inserite nuove tipologie di attività fisica e riviste quelle già presenti in funzione delle risultanze estrapolate dai contributi sviluppati nel periodo che è intercorso tra le due edizioni⁶⁶

3.5.1 Lo schema di codifica

La codifica delle attività ha seguito uno schema a livelli, definiti rispettivamente in *attività generali*, *attività specifiche*, *MET* e *esempi di attività*. I primi due elementi sono stati utilizzati per individuare, per ogni attività, un codice univoco a cinque cifre che tenesse traccia di questi due livelli. Un esempio di codifica è rappresentato nella tabella 3.4.

Attività principali	Attività Specifica	MET value	Esempi
01	009	08,5	Bici da cross
Andare in bicicletta	BMX	MET	esempio

Tabella 3.4: Esempio di codifica di un'attività fisica

⁶⁵B. E. Ainsworth *et al.*, op. cit., 1993

⁶⁶B. E. Ainsworth *et al.*, *Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities*, in *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32, 2000, pp. S48-S65

01-Andare in bicicletta	08-Giardinaggio	15-Sports
02-Esercizi di allenamento	09-Vari	16-Trasporto
03-Ballare	10-Suonare	17-Camminare
04-Andare a pesca o a caccia	11-Lavorare	18-Attività di mare
05-Attività domestiche	12-Correre	19-Attività invernali
06-Riparazioni domestiche	13-Cura personale	
07-Inattività	14-Attività Sessuali	

Tabella 3.5: Le attività principali individuate nella prima edizione del compendio

01-Andare in bicicletta	08-Giardinaggio	15-Sports
02-Esercizi di allenamento	09-Vari	16-Trasporto
03-Ballare	10-Suonare	17-Camminare
04-Andare a pesca o a caccia	11-Lavorare	18-Attività di mare
05-Attività domestiche	12-Correre	19-Attività invernali
06-Riparazioni domestiche	13-Self-Care	20-Attività religiose
07-Inattività	14-Attività Sessuali	21-Attività volontarie

Tabella 3.6: Le attività principali individuate nella seconda edizione del compendio

Le due categorie aggiunte nella seconda versione del compendio testimoniano l'apertura anche verso alcune minoranze presenti in America in cui i culti religiosi, soprattutto dei più anziani, rappresentano attività giornaliere significative. Altrettanto importanti sono diventate le attività di volontariato, che spesso sono connesse a manifestazioni di attività motorie.

Le **attività specifiche** individuano, invece, le diverse tipologie di attività che possono essere raggruppate in uno dei livelli generali di attività fisiche. Ogni attività specifica è espletata attraverso il pattern di movimento e l'intensità (es, tennis moderato o vigoroso); attività fisiche per cui non è stato possibile individuare anche solo uno dei precedenti parametri sono classificate come *“generalì”*. La prima edizione del compendio prevedeva 476 attività specifiche. Nella seconda edizione sono state aggiunte, sia in

funzione delle nuove attività generali che di alcune nuove attività che si sono affermate nel tempo, altre 129 attività. Ad integrazione delle nuove attività, inoltre, la seconda edizione del compendio ha previsto la modifica di 94 tipologie di attività: alcune sono state rimosse, mentre per altre è stata effettuata una nuova classificazione in funzione delle definizioni di nuovi pattern o di nuovi livelli d'intensità. Ad esempio nella prima versione del compendio *guardare la televisione* era stato codificato come 07010 (sdraiato) o 07020 (seduto) e raggruppato con altre specifiche attività con medesimi pattern come stare seduto in macchina o stare sdraiato a non far niente. Successivi studi hanno dimostrato, però, che guardare la televisione, a differenze di altre, rappresenta un'attività di tipo sedentario significativamente collegata con i fenomeni di inattività, sovrappeso o obesità, soprattutto in America, per cui è stata ricodificata. Nella versione di aggiornamento del compendio il guardare la televisione è stato separato da altre tipologie di attività sedentarie; una dettagliata descrizione delle modifiche apportate al compendio è possibile leggerla nelle tabelle 2 e 3 del compendio pubblicato nel 2000⁶⁷

3.5.2 Intensità dell'attività e calcolo del MET

Ogni attività presente all'interno del compendio, oltre a possedere uno specifico codice identificativo, è caratterizzata da un livello d'intensità determinato dal consumo energetico necessario per quell'attività ed espresso in **MET - Metabolic Equivalent Task** o consumo calorico per attività fisica. I valori indicati per attività fisica sono individuati come multipli di 1 MET o come il rapporto fra il dispendio energetico stimato per una specifica attività rispetto a quello stimato in condizioni di assoluto riposo (metabolismo basale). I valori di MET associati ad ogni singola attività, nella prima edizione del compendio, corrispondono ai "più rappresentativi" tra quelli presenti in

⁶⁷B. E. Ainsworth *et al.*, op. cit., 2000

letteratura o in fase di pubblicazione. I MET individuati per le categorie non classificate nei precitati lavori, invece, sono stati individuati per analogia con le attività fisiche similari. Nell'aggiornamento del 2000, oltre alle dovute integrazioni connesse con le nuove discipline sportive, alcuni livelli di attività fisica sono stati aggiornati in funzione dei nuovi dati presentati dalle diverse comunità scientifiche interessate alle tematiche del movimento. Come per i livelli espressi nel 1993, ogni attività è stata codificata in funzione dei valori espressi per popolazioni adulte, in assenza di handicap o altre possibili patologie che possano condizionare, significativamente, l'efficienza meccanica o metabolica di ogni soggetto valutato. Specifici lavori sono stati sviluppati per le equivalenti valutazioni in soggetti giovani, con età compresa tra 8 e 18 anni, come verrà descritto nel prossimo capitolo. I singoli livelli d'intensità per attività fisica, quindi, possono essere utilizzati per classificare, in maniera univoca, il livello raggiunto da differenti soggetti attraverso una comparazione del consumo energetico. Il consumo energetico può essere valutato in $kcal * kg^{-1}(massa corporea) * h^{-1}$, $kcal * min^{-1}$ o $kcal * 24h^{-1}$. Il modo più accurato per determinare il costo energetico in kcalorie di un'attività fisica è, comunque, quello di misurare il metabolismo basale di ogni soggetto e moltiplicarlo per il MET individuato nel compendio per quell'attività fisica: nel dettaglio detta procedura determina il dispendio energetico delle diverse attività come multipli del dispendio energetico a riposo di ogni soggetto. Un'altra procedura utilizzabile per determinare il dispendio energetico prodotto nell'esecuzione di uno specifico task motorio è descritto nella formula letterale presentata in 3.1 o nell'equivalente espressione rispetto alle singole unità di misura presente in 3.2.

$$EE = MET * Massa * Tempo \quad (3.1)$$

$$kcal = MET * kg * h \quad (3.2)$$

La formula presentata in 3.1 permette, quindi, di individuare il consumo energetico rispetto alla costituzione fisica di un individuo e al tempo impiegato in quella specifica attività fisica. Ad esempio, se un soggetto di 60 kg esegue per 40 minuti un sessione di ciclismo a media intensità, il cui MET di riferimento è 4, il dispendio energetico sarà:

$$EE = 4 * 60 * (40/60) = 160kcal$$

che corrisponde a $4kcal * min^{-1}$. Il meccanismo per la determinazione del livello di dispendio energetico per attività fisica non è stato alterato nella revisione al compendio pubblicata nel 2000. In detto lavoro, però, sono stati ribaditi alcuni elementi di criticità nelle formule sopra esposte, in quanto una più dettagliata procedura dovrebbe tener conto, oltre che del peso, anche delle diversa costituzione della massa muscolare di ogni soggetto, del sesso, dell'efficienza di movimento e di alte condizioni contingenti nell'esecuzione di un task motorio. Gli autori hanno però riaffermato, in quella sede, come il compendio abbia solo la finalità di codificare le diverse tipologie di attività fisica, di essere usato per studi di natura epidemiologica e non clinica e, comunque, di permettere una comparazione tra differenti studi, e quindi differenti procedure e tecniche, di valutazione dell'attività fisica.

Capitolo 4

ITS- Intelligent Tutoring System: Modello Studente e Interfacce specifiche per l'Educazione Motoria

Il primo capitolo di questo lavoro di tesi ha delineato quelle che sono le nuove frontiere verso cui il mondo della scuola e dell'insegnamento si devono dirigere al fine di integrare, nei propri processi, le nuove tecnologie informatiche. Le *digital literacy* è diventata, infatti, condizione *sine qua non* per assicurare che il processo formativo dei nostri studenti sia al passo con una società sempre più tecnologicamente globalizzata. In questo capitolo, dopo aver descritto le caratteristiche e le specifiche tecniche dei sistemi *ITS - Intelligent Tutoring System* che rappresentano, al pari di altri, soluzioni informatiche specificatamente implementate per la didattica, verrà proposta una implementazione parziale di questi sistemi, ideata e progettata durante il mio percorso di dottorato, per il supporto alle attività formative proprie dell'attività motoria nelle scuole. Trattandosi di un sistema rivolto ad utenti

non adulti, nel presente capitolo verrà presentato, inoltre, il compendio delle attività fisiche standardizzato su una popolazione di giovani, compresa tra i 5 e i 18 anni. Detto compendio rappresenta la soluzione adeguata per la codifica dell'attività fisica dei giovani necessaria per le finalità del modello studente del sistema ITS proposto.

4.1 I sistemi ITS

Le nuove tecnologie informatiche hanno raggiunto una così ampia diffusione che anche la definizione dei processi formativi ha richiesto, nei loro confronti, una nuova attenzione da parte delle istituzioni preposte alla loro definizione. Oggi le istituzioni formative, di ogni ordine e grado, sono caratterizzate dall'utilizzo di soluzioni tecnologiche nei diversi momenti distintivi delle attività espletate. Soprattutto nelle università e nei centri di formazione per adulti e/o lavoratori, si è affermato l'utilizzo delle nuove tecnologie per la didattica. In questi contesti si è assistito ad una crescita inarrestabile di modelli d'insegnamento-apprendimento a distanza, le cui peculiarità specifiche sono in termini di flessibilità spazio-temporale, facilità d'utilizzo ed efficacia. E' chiaro che un approccio tecnologico della didattica presuppone un cambiamento radicale di tutto il sistema formativo e degli stakeholders coinvolti. I docenti devono acquisire nuove professionalità e competenze, compreso, inoltre, la capacità di gestire gruppi anche in assenza di un confronto personale diretto. Gli allievi, allo stesso tempo, si troveranno di fronte a modelli d'insegnamento in cui il loro ruolo muta radicalmente: l'utilizzo di tecnologie informatiche permette loro di diventare i veri protagonisti dei diversi momenti formativi in cui sono coinvolti. E' chiaro che, come ampiamente discusso nel primo capitolo di questo lavoro di tesi, i nuovi contesti che si vengono a realizzare sono caratterizzati da potenziali rischi legati alla libertà concessa agli allievi di approcciarsi alla formazione. E' proprio in questo scenario che trova la sua massima funzionalità la figura dei tutor,

il cui compito è quello di sostenere, stimolare e accompagnare i discenti nel loro percorso di formazione e aiutarli a sviluppare capacità cognitive per mezzo di quegli strumenti che Norman definisce “*artefatti cognitivi*”, ovvero le nuove tecnologie informatiche ¹. Sebbene molto meno diffuse di altre tecnologie per la didattica, anche le mansioni dei tutor a supporto delle attività di apprendimento di tipo specializzato sono state “digitalizzate” in appositi sistemi informatici, chiamati **ITS - Intelligent Tutoring System**. I primi sistemi informatici sviluppati a supporto delle attività formative furono inquadrati all’interno del progetto *CAI - Computer Aided Instruction*. Questi programmi utilizzavano sistemi di *data mining*, come gli alberi di decisione, per indirizzare lo studente tra le diverse unità didattiche realizzate a seconda della risposta fornita ². I limiti di queste tecnologie, però, consistevano nella mancanza di elementi in grado di differenziare gli studenti tra loro e, quindi, le loro differenti necessità formative. In particolare i sistemi CAI non consentivano di individuare i punti di forza della preparazione di uno studente, per cui i classici compiti di un tutor, come l’individuazione di percorsi formativi specifici e personalizzati, non potevano essere espletati in maniera compiuta ³. Questi sistemi soffrivano, quindi, della mancanza di flessibilità, scalabilità ed adattabilità offerta dalle soluzioni informatiche già sviluppate. Durante i primi anni novanta, però, si è assistito all’entrata in scena di nuovi approcci di data mining basati sull’utilizzo di tecniche d’intelligenza artificiale. Questi nuovi strumenti, che in maniera spesso sinergica rispondevano alle lacune palesate dalle precedenti soluzioni informatiche, sono alla base di un tecnologia per la didattica, ed in particolare per le attività di tutoraggio,

¹D.A. Norman, *La caffettiera del masochista*, Milano: Giunti Editore, 1996

²M. Urban-Lurain, *Intelligent tutoring systems: An historic review in the context of the development of artificial intelligence and educational psychology*, in *J. ITS*, 1996

³F. Bennett, *Computers as tutors: solving the crisis in education*, in *Educational Technology & Society*, 2, 1999, pp. 4-8

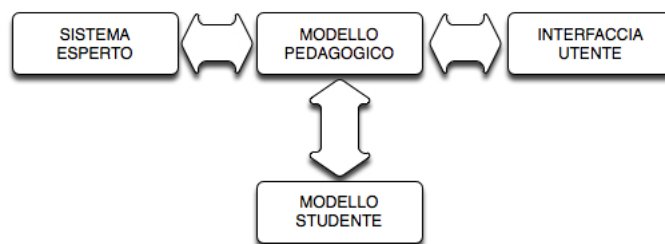


Figura 4.1: Architettura di base di un ITS

chiamata, appunto, ITS ⁴. La peculiarità di questi sistemi è rappresentata dall'utilizzo di specifici algoritmi informatici in grado di gestire ogni studente in maniera differente dall'altro, utilizzando un *modello studente* in grado di poter tracciare la storia dei singoli processi di apprendimento. Inoltre, a differenza delle soluzioni informatiche CAI, il sistema tende ad adattarsi alle caratteristiche dello studente in maniera flessibile, avvicinandosi ai suoi modi di ragionare. E' chiaro che proprio queste caratteristiche, cioè l'adattabilità e la possibilità di avvicinarsi al suo modo di ragionare, sono l'emblema delle potenzialità educative dei sistemi ITS.

4.1.1 L'architettura di base di un ITS

La struttura di base di un ITS è di tipo modulare, come rappresentato in figura 4.1; ogni elemento è in relazione bidirezionale con gli altri, al fine di essere funzionale agli obiettivi prefissati, cioè modularità, flessibilità ed efficacia. La rappresentazione in figura 4.1 è quella suggerita da McTaggart che descrive l'interazione dei quattro componenti individuati come l'elemento fondamentale per far sì che lo studente assimili nuove conoscenze e le inserisca nel suo schema mentale ⁵. Il **sistema esperto** rappresenta il contenitore

⁴H.L. Burns - C.G. Capps, *Foundations of intelligent tutoring systems: An introduction*, in *Foundations of intelligent tutoring systems*, DTIC Document, 1989

⁵J. McTaggart, *Intelligent Tutoring Systems and Education for the future*, in *J 512X Literature Review April*, 30, 2001, p. 2

dei saperi che dovranno essere forniti allo studente attraverso formalismi di rappresentazione specifici per ogni disciplina. Questo componente è stato pensato per permettere una formazione altamente specialistica, in cui l'esperto di dominio può, attraverso detto sistema, generare automaticamente le soluzioni ai problemi formulati nel corso del processo di insegnamento, descrivere gli step seguiti per la risoluzione dei problemi e confrontare i processi di inferenza dello studente stesso con quelli corretti ed implementati nel sistema. Il **modello pedagogico** contiene le strategie che devono essere usate per veicolare contenuti verso specifici studenti. L'implementazione di questo modulo implica la pianificazione della presentazione degli argomenti, dei case studies da risolvere in funzione della strategia didattica adottata e delle informazioni scambiate con gli altri moduli del sistema. Un' esempio di strategia didattica presuppone la scelta sulle tempistiche con cui fornire spiegazioni ed esempi allo studente per aiutarlo nella comprensione di uno specifico argomento o esercizio. Questo modulo è deputato, inoltre, a stabilire le modalità d'interazione e di rappresentazione dei materiali dello studente. Il **modulo studente** è deputato ad interpretare le risposte fornite dallo studente formulando ipotesi sulle conoscenze che hanno permesso di produrre tali risposte. Rappresenta, sicuramente, il modulo più interessato dalle ricerche scientifiche, soprattutto per le ricerche connesse al settore dell'intelligenza artificiale ⁶. Nel seguito di questo capitolo verrà discusso, in particolare, l'implementazione di questo modulo affinché sia funzionale all'utilizzo nella didattica dell'attività fisica. L'**interfaccia utente**, infine, controlla il flusso delle comunicazioni da e verso l'utente, traducendo le informazioni dal sistema all'utente, e viceversa. Particolare attenzione, quindi, dovrebbe essere posta nella progettazione di interfacce usabili, soprattutto se destinate a studenti di scuole di primo ordine o a studenti con disabilità.

⁶M.S. Ali - A.A. Ghatol, *A neuro-fuzzy inference system for student modeling in web-based intelligent tutoring systems*, in *Proc. of International Conference on Cognitive Systems*, 2004, pp. 14-19

4.2 Il modulo studente

Come anticipato nella sezione precedente il modello studente, quindi, è deputato a produrre il giudizio del sistema sulla conoscenza dello studente. Le peculiarità di questo componente, quindi, sono legate alla sua capacità di valutare il comportamento dei discenti in funzione delle conoscenze preesistenti e del grado di apprendimento raggiunto. Per questo motivo, infatti, una implementazione informatica del modello studente non può prescindere dall'utilizzo di tecnologie che garantiscano un approccio personalizzato per singolo studente. Utilizzando i parametri in ingresso al sistema, il modello studente deve essere in grado di fornire output utili alle finalità formative implementate dalle tecnologie per la didattica. I modelli studenti proposti in letteratura sono di tipo qualitativo, ossia non numerici o fisici, ma descrivono i processi in termini di relazioni spaziali, temporali o causali ⁷. Alcune delle implementazioni dei modelli studenti, però, non tengono conto pienamente di tutti gli aspetti del comportamento dei discenti ma sono più vicini all'utilità computazionale che alla rappresentazione fedele della realtà ⁸. In sintesi, quindi, il modello studente è una rappresentazione approssimata, ma qualitativa, delle conoscenze dello studente che tiene presente specifici aspetti del suo comportamento. Una conseguenza della numerosità delle possibili definizioni associabili ai modelli studente ha determinato una serie di diverse tassonomie di detti sistemi. McCalla ne suggerisce una collegata ai diversi usi del modello studente proposti nelle diverse implementazioni dei sistemi ITS: ⁹

- *Correttivo*: il modello studente è dedicato all'individuazione delle differenze tra il modello corretto e la conoscenza dello studente, indiriz-

⁷J.W. Clancey, *Qualitative student models*, Annual review of computer science, Annual Review Inc., Palo Alto, USA, 1986

⁸J. Self *et al.*, *Bypassing the Intractable Problem of Student Modelling*, 1990

⁹G.I. McCalla, *The central importance of student modelling to intelligent tutoring*, in *New Directions for Intelligent Tutoring Systems*, 91, 1992, pp. 107-131

zando l'ITS nel prendere i correttivi adatti.

- *Elaborativo*: il modello si deve preoccupare di far accrescere le conoscenze dello studente, proponendo nuovi argomenti o migliorando quelli già parzialmente padroneggiati;
- *Strategico*: nella correlazione con altri elementi costitutivi, il modello studente può registrare diversi aspetti delle performance degli studenti, come la rappresentazione esplicita delle strategie d'insegnamento adottate insieme alle percentuali di successo correlate.
- *Diagnostico*: il modulo registra diverse informazioni sui livelli raggiunti dagli studenti e le fornisce al tutor come risposta a specifiche query;
- *Valutativo*: attraverso il modello studente sarà possibile accertarsi dei diversi livelli raggiunti dall'allievo nei task assegnati.

L'ultima tipologia di modello è quella che è stata scelta, in questo lavoro di tesi, per l'implementazione del modello da dedicare ad un ITS per l'educazione motoria. Più nello specifico, il modello proposto permetterà di identificare le relazioni tra il livello degli studenti (input del sistema) e la base di conoscenza (valutazione dell'attività fisica), al fine di fornire una valutazione allo studente seguendo le scale ordinali comunemente utilizzate dai docenti. E' chiaro, quindi, che il modello studente dovrà essere implementato utilizzando delle soluzioni informatiche che permettano allo stesso tempo di:

- gestire informazioni minimali e spesso imprecise, fornite per mezzo di interfacce digitali;
- rappresentare il modello di ragionamento dei docenti che, chiaramente, dovrà adattarsi alle diverse tipologie di conoscenze degli studenti e non può essere unico.

Le soluzioni scelte per rispondere alle suddette esigenze sono la **Logica Fuzzy**, che permette di gestire dati confusi in maniera opportuna, e le **Reti Neurali** che garantiscono le condizioni di adattabilità e scalabilità necessarie per non irrigidire lo schema di valutazione del sistema. Nei prossimi paragrafi verranno descritti i principi di funzionamento di queste due tecnologie e i punti di forza che hanno determinato la loro scelta. Entrambe queste tecnologie appartengono al settore dell'informatica chiamato Intelligenza Artificiale e verranno utilizzate, in detto ITS, con un approccio ibrido Neuro-Fuzzy.

4.3 La Logica Fuzzy

Intorno agli anni 60', il mondo dei controlli automatici e delle teorie dei sistemi erano alla base della nascita dei primi elettrodomestici che, da lì a poco, avrebbero pervaso la vita di milioni di persone. Tra i più attivi studiosi di questi sistemi è da annoverare, sicuramente, il Prof. *Lotfi A. Zadeh*, incardinato presso l'Università della California di Berkley. Il Prof. Zadeh, a metà degli anni 60, iniziò a percepire che i modelli matematici utilizzati per classificare le grandezze rappresentative del mondo reale, come i semplici concetti di *caldo* e *freddo*, non erano adeguatamente idonei. Detti modelli, infatti, avevano una visione estrema della realtà, per cui un concetto caldo non poteva assumere, come accadeva nel mondo reale, codifiche associate ai diversi livelli di temperatura registrati, ma esclusivamente era o caldo o freddo. Fu subito chiaro a Zadeh che, in un periodo in cui, tra l'altro, si cominciavano a diffondere i primi sistemi esperti e si cominciava a formalizzare la rappresentazione della conoscenza, l'approccio *booleano*¹⁰ utilizzato fino a quel momento non era più sufficiente. Per definire uno nuovo modello egli partì dal concetto che sta alla base della matematica e della logica, cioè il concetto di insieme. In matematica si definisce *insieme* un raggruppamento

¹⁰La logica booleana codifica tutto in 0 e 1

di elementi che condividono, tra loro, almeno una caratteristica distintiva. Ad esempio, con riferimento a caldo e freddo, i due insiemi potrebbero essere costituiti da tutti quegli oggetti che hanno una temperatura superiore allo 0 ed inferiore allo 0 rispettivamente. E' chiaro, però, che una codifica di questo tipo è espressione della logica booleana. Zadeh, invece, propose un'estensione del concetto d'insieme, che definì **insieme fuzzy**, da cui deriveranno tutti quegli elementi, come l'aritmetica, la logica e le misure che stanno alla base della **Logica Fuzzy**. I sistemi basati su detta logica hanno la caratteristica distintiva di approcciarsi a problemi del mondo reale attraverso rappresentazioni informatiche che, a differenza dei suoi precursori, utilizzano codifiche non booleane, così come spesso avviene nel modo di ragionare degli uomini. Un sistema fuzzy, quindi, può essere visto come una *black box*, in cui l'input è rappresentato da grandezze reali, l'elaborazione avviene utilizzando i dettami della logica fuzzy, e l'output è nuovamente un valore rappresentativo del mondo reale. Ciò che avviene all'interno della black box è spiegato nei prossimi paragrafi.

4.3.1 Insiemi Fuzzy: il processo di fuzzificazione

Riprendendo in esame il concetto temperatura, distinta in caldo e freddo, e la definizione data per insieme, nella sua accezione classica in ambito matematico, diremo, inizialmente, che caldo e freddo rappresentano due diversi insiemi in cui sono presenti tutti quegli oggetti che hanno una *funzione di appartenenza*, di tipo booleano, con uno di essi. Ad esempio, una tazza di cioccolata calda, per definizione, avrà una funzione di appartenenza massima con l'insieme denominato *caldo*, mentre una bevanda ghiacciata avrà i medesimi valori di appartenenza con l'insieme denominato *freddo*. In figura 4.2 sono stati rappresentati i due insiemi con i relativi elementi di appartenenza. In letteratura, per evitare di generare confusione, questi insiemi sono definiti *crisp*. Certamente, alcune delle cose inserite nei due insiemi so-

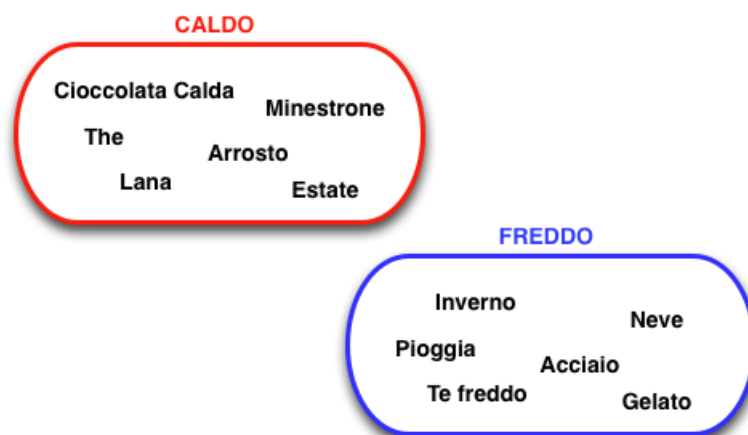


Figura 4.2: Esempio di insiemi crisp

no, esclusivamente, fredde o calde, mentre per altre, l'appartenenza ad uno, all'altro o, possibilmente, anche ad entrambi, dipende dalle singole specifiche proprietà. Infatti, prendendo in riferimento il concetto d'estate, se ci si riferisce ai paesi del nord Europa, non è difficile prevedere che, per alcuni periodi, le temperature raggiunte siano tali che una sua classificazione all'interno dell'insieme freddo non sia errata. Diviene, allora, importante poter definire quanto un elemento dell'universo del discorso possenga una certa proprietà, o, in altri termini, quanto possa appartenere all'insieme degli elementi che posseggono quella proprietà. E' possibile, dunque, definire una funzione di appartenenza per un insieme, che ritorni un valore nell'intervallo tra 0 e 1, cioè tra quello che è considerato vero e quello che è considerato falso. Questo permette di determinare "quanto" si ritiene che un elemento dell'universo del discorso appartenga all'insieme, cioè permette di dare un grado di appartenenza all'insieme non necessariamente booleano. Si prenda in esame il grafico 4.3 in cui è possibile apprezzare, con riferimento alla variabile temperatura, diverse funzioni che denotano l'appartenenza ai differenti livelli. Nel grafico in figura 4.3 è possibile vedere che la temperatura media ad Agosto a Parigi, quindi in piena estate, secondo le definizioni di

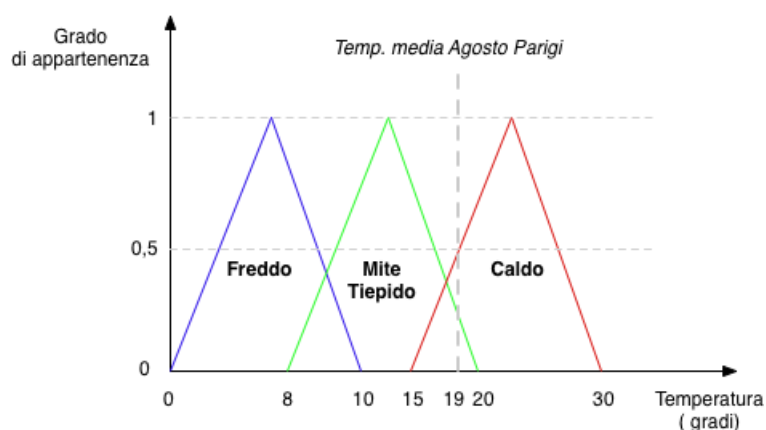


Figura 4.3: Esempio di alcune funzioni di appartenenza

appartenenza date per freddo, mite e caldo, appartiene sia a caldo, come da insieme crisp, che a mite, cioè ad una classificazione intermedia. A questi insiemi, però, non appartiene in ugual maniera: il livello di appartenenza a mite è più basso (circa 0,3) del livello di appartenenza a caldo (circa 0,5). Questa tipologia di codifica delle funzioni di appartenenza permette di utilizzare insiemi Fuzzy per rappresentare concetti in ambienti in cui la rilevazione degli stessi può essere approssimata o incerta, e dà un grande potere descrittivo. Il grafico in figura 4.3 è definito *Fuzzy Set* o *membership function* della grandezza temperatura. La definizione di insieme Fuzzy non è che un'estensione della definizione classica di insieme. L'insieme Fuzzy ha una frontiera che non è più una linea netta di demarcazione tra gli elementi che appartengono agli insiemi definiti e quelli che non vi appartengono, ma un'area in cui si trovano elementi classificabili come appartenenti all'insieme con un certo grado. In funzione di questa caratteristica Zadeh definì i suoi insiemi *Fuzzy*, cioè *sfumati*, e fu proprio l'incertezza legata a questo termine che ostacolò, in una prima fase, la diffusione di questa logica. Le potenzialità nascoste dietro a questi sistemi vennero per prime apprezzate in Europa nel 1974 quando Ebrahim Mamdani definì delle regole in grado di sfruttare gli insiemi Fuzzy per modellare il comportamento necessario a controllare un

reattore di un cementificio ¹¹. Attraverso gli insiemi Fuzzy (o Fuzzy Set), e le relative funzioni d'appartenenza è quindi possibile codificare quantità numeriche in letterali, il che rappresentò, per il periodo, uno straordinario strumento per la nascente scienza dell'intelligenza artificiali. Il processo di trasformare, nel dominio Fuzzy, grandezze del mondo reale è comunemente chiamato **fuzzificazione**. Nell'esempio rappresentato nel grafico in 4.3 ci dice che una temperatura di 19 gradi è codificata con un grado di appartenenza di 0,3 a mite e 0,6 a caldo. Vedremo, successivamente, che queste codifiche rappresentano il primo step di elaborazione dei sistemi Fuzzy.

4.3.2 Il motore inferenziale: le regole Fuzzy

Nella costruzione di una logica che avesse tutte le caratteristiche dei suoi predecessori, Zadeh definì tutti gli elementi che ne compongono la struttura, cioè gli operatori logici, i quantificatori, i modificatori e i meccanismi inferenziali. In questo lavoro di tesi, però, si ritiene superfluo approfondire tutti questi concetti, mentre risulta fondamentale parlare dei meccanismi inferenziali, cioè delle regole con cui è possibile definire i sistemi Fuzzy. E' stato detto che il primo a introdurre delle regole per sistemi Fuzzy fu Mamdani, il quale definì un modo per mettere in relazione una descrizione di una situazione in termini linguistici con un'azione da svolgere, espressa anch'essa per mezzo di espressioni letterali. Il *modus ponens* dei sistemi Fuzzy è espressione del classico meccanismo utilizzato per dedurre informazioni da postulati noti. Ciò che sta alla base delle regole Fuzzy, e dei sistemi Fuzzy in generale, è la rappresentazione dei dati in termini di *variabili linguistiche* e *valori linguistici*. Ad esempio, con riferimento alle temperature, l'espressione "l'estate è calda" è composta dalla variabile linguistica "estate" e dal valore linguistico "calda". E' chiaro che i valori linguistici sono l'espressione numerica delle diverse funzioni di appartenenza in cui possono

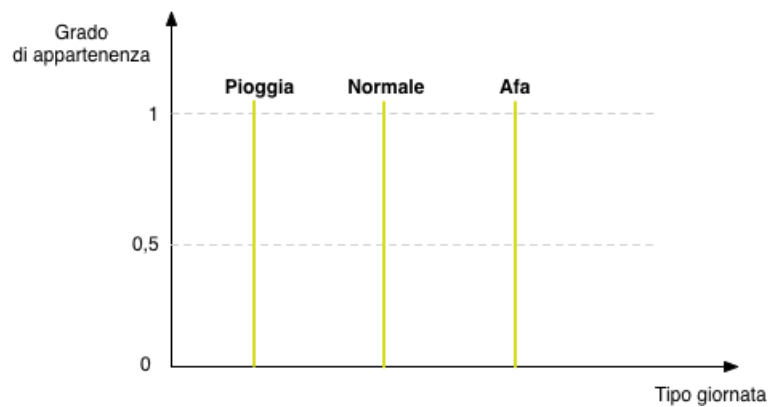
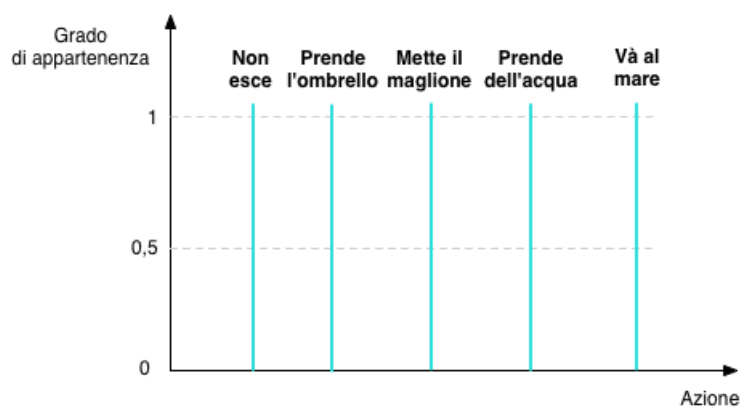
¹¹M. Sugeno, *Industrial applications of fuzzy control*, North-Holland, 1985

R1: IF temperatura è fredda **AND** giornata è piovosa **THEN** prendo l'ombrello
R2: IF temperatura è mite **OR** giornata è normale **THEN** prende il maglione
R3: IF temperatura è calda **NOT** giornata è normale **THEN** va al mare

Figura 4.4: Esempio di alcune regole Fuzzy

essere codificate le variabili linguistiche. Le regole Fuzzy sono definite nella forma *Antecedente-Consequente*, dove entrambi gli elementi sono espressione di variabili-valori linguistici definiti nell'universo del discorso in esame. Le regole Fuzzy sono costruite utilizzando il costrutto *IF-THEN*, cioè **if** (X is A) **then** (Y is B). Un esempio pratico di quanto detto, con riferimento alle temperature, potrebbe essere: *Se l'estate è calda allora la temperatura è alta*. Come è possibile notare, quindi, non solo gli antecedenti devono essere fuzzificati rispetto ad un'opportuna funzione di appartenenza, ma anche i conseguenti. Le funzioni di appartenenza, come quella mostrata in figura 4.3, possono avere non solo la forma triangolare ma, in base al sistema e all'esperienza del progettista, possono essere rappresentate con qualsiasi forma geometrica, regolare e non regolare, purché questa sia la più rappresentativa per il sistema in esame. Le regole Fuzzy, inoltre, sono spesso composte da più antecedenti, uniti tra loro con gli operatori logici *AND*, *OR* e *NOT*, rappresentativi dell'unione, dell'esclusione e della negazione rispettivamente. Nella figura 4.4 è possibile apprezzare tre diverse regole che utilizzano gli operatori precedentemente indicati. Nella figura 4.5 è possibile apprezzare, invece, la funzione d'appartenenza per codificare una giornata, mentre in figura 4.6 si può osservare la funzione di appartenenza per descrivere le azioni che un soggetto può compiere prima di uscire di casa.

Nelle regole sono stati utilizzati tutti e tre gli operatori logici presentati, cioè l'unione (regola N.1), che prevede il verificarsi contemporaneamente di entrambi gli antecedenti, l'esclusione (regola N.2), che prevede il verificarsi di almeno una delle due condizioni degli antecedenti e, infine, la negazione, in cui si deve verificare solo la condizione del primo antecedente. Dai grafici

Figura 4.5: Funzioni di appartenenza *Tipologia giornata*Figura 4.6: Funzioni di appartenenza *Azione*

4.5 e 4.6 è possibile vedere un utilizzo di funzioni definite *singletone*, adoperate, spesso, quando la codifica delle variabili linguistiche è immediata; questo tipo di scelta, inoltre, semplificherà notevolmente il successivo step dei sistemi Fuzzy, cioè la definizione di un output che tenga conto delle regole della logica Fuzzy. Trattandosi di un semplice esempio, e ipotizzando che la giornata sia “normale”, le regole sono state formulate senza prevedere l’attivazione di due conseguenti contemporaneamente, ma può anche accadere che si attivino più regole contemporaneamente con differenti codifiche dei conseguenti. Inoltre, per le motivazioni precedentemente citate, si omette di trattare quali sono le procedure utilizzate per la trasmissione tra antecedenti e conseguenti in funzione dei diversi gradi di appartenenza alle rispettive funzioni. Nell’esempio proposto, infatti, essendo la temperatura *mite e calda*, ma la giornata *normale*, si potrà attivare solo la regola N. 2.

4.3.3 Il processo di defuzzificazione

Dopo aver fuzzificato le variabili linguistiche con le proprie funzioni di appartenenza e aver applicato le regole, il sistema ottiene il valore di uno o più conseguenti, determinato dal numero di regole che si attivano. Nell’esempio proposto, utilizzando i grafici 4.3, 4.5, 4.6 e le regole rappresentate in 4.4, come precedentemente detto, sarebbe possibile attivare esclusivamente un conseguente, cioè *prende il maglione*, che è espressione della regola N. 2. L’ultimo step da eseguire per ricondurre il sistema alla rappresentazione del dominio reale è quello chiamato *defuzzificazione*, cioè la trasformazione del valore linguistico del conseguente ad un valore rappresentativo del mondo reale. Questo processo può essere espletato in diversi modi, sebbene la regola della media pesata, o baricentro, risulti essere quella più adoperata. In figura 4.7 è possibile apprezzare, nella sua interezza, gli elementi costituenti un sistema Fuzzy. E’ opportuno ricordare che l’insieme delle regole che costituiscono il motore inferenziale è spesso definito anche *modello Fuzzy*. I

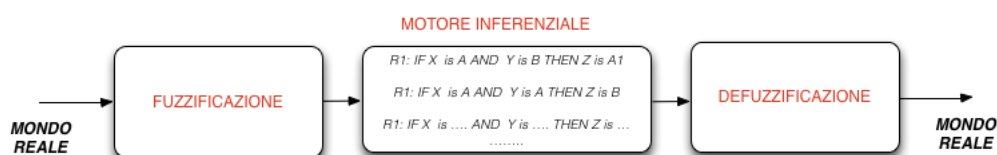


Figura 4.7: Rappresentazione di un sistema Fuzzy

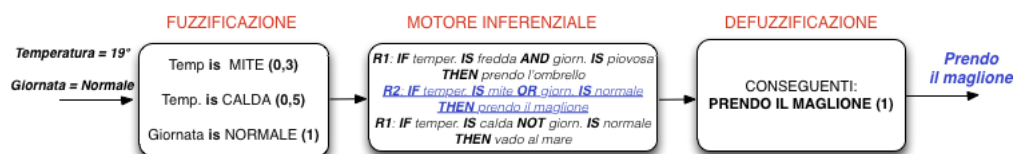


Figura 4.8: Rappresentazione del sistema Fuzzy per l'esempio proposto sulle Temperature

sistemi Fuzzy non sono adoperati esclusivamente nel campo dell'automazione dei sistemi, ma anche per la rappresentazione dell'incertezza e dei modelli della conoscenza, nei sistemi di supporto alle decisioni e nei sistemi di interpretazione dei segnali. Nel grafico 4.8 è stato rappresentato il funzionamento del sistema Fuzzy nello specifico esempio descritto nei paragrafi precedenti.

4.4 Le Reti Neurali Artificiali

La logica Fuzzy introdotta da Zadeh può essere considerata come uno dei capisaldi su cui si fonderà quel settore dell'informatica chiamato *soft computing*, il cui fine, a differenza dell'approccio procedurale dell'informatica pura, sarà quello di definire *spesso soluzioni approssimate* e non *trovare sempre la soluzione esatta*. Questo approccio diventò ancora più significativo quando si intrapresero le prime ricerche sulla rappresentazione della conoscenza. E' chiaro, infatti, che i PC sono diventati, nel corso del tempo, sempre più precisi e performanti in alcune attività umane, come sviluppare calcoli o recuperare informazioni di un archivio, che presupponevano un approccio non simbolico al problema, ma un approccio basato su automatismi semplici. Detto approccio, però, risultò alquanto fallimentare quando, invece, si provò ad utilizzare il computer per processi umani, per lo più di natura cognitiva, come il riconoscimento di un'immagine in un quadro. Il riconoscimento di una precisa forma all'interno di una rappresentazione grafica, infatti, non può essere realizzato, esclusivamente, con algoritmi sequenziali ma necessita di una capacità di ragionamento e di selezione che non appartiene, sicuramente, all'approccio procedurale degli algoritmi stessi. In questo scenario si afferma l'idea per cui, utilizzando approcci di *reverse engineering*, i problemi di natura cognitiva e percettiva possono essere risolti dalle macchine solo se queste sono state programmate ispirandosi all'approccio celebrale utilizzato dall'uomo per espletare i medesimi task. Detto approccio, basato sul funzionamento delle reti neuronali biologiche, è caratterizzato dalla capacità di apprendere dall'esperienza, il che rende possibile anche l'esecuzione di processi di tipo cognitivo e percettivo. Il neurone, con la sua struttura articolata in *soma, dendriti e assone* e il suo meccanismo di interazione con gli altri attraverso i processi di *sinapsi* diventò, quindi, fonte di ispirazione per quel settore dell'informatica, e dell'intelligenza artificiale in particolare, individuato dal termine **Reti Neurali Artificiali**. L'obiettivo dei ricercatori

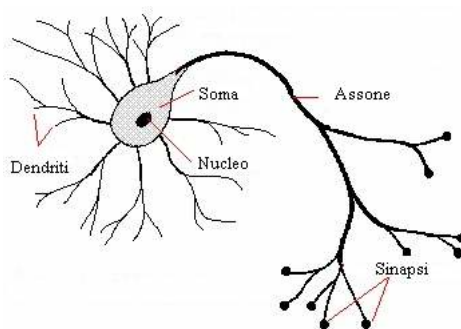


Figura 4.9: Rappresentazione delle sinapsi del cervello

diventò, quindi, riuscire a replicare informaticamente la struttura delle reti neurali biologiche e la loro facilità e semplicità di apprendimento, espletato attraverso le configurazioni delle sinapsi biologiche.

4.4.1 Le caratteristiche delle reti neurali artificiali

Una rete neurale artificiale è la rappresentazione informatica del sistema celebrale presente nel cervello dell'uomo. Nella progettazione di una rete neurale l'elemento centrale è rappresentato dal neurone che, attraverso opportuni link, è collegato con gli altri elementi della rete. Analizzando le figure 4.9 e 4.10 è possibile apprezzare, in quest'ultima, la similitudine con cui vengono implementate le reti neurali artificiali rispetto alle reti neurali biologiche.

Come è possibile notare dalla figura 4.10 il sistema riceve in ingresso degli input, che possono arrivare dal mondo esterno così come da altri neuroni. Per ogni livello, identificato con colori differenti, sono rappresentati i neuroni che costituiscono la rete. Ogni neurone può ricevere più segnali di input attraverso la sua connessione, ma produce un solo segnale di output, che può essere destinato, però, a più neuroni. I collegamenti tra i neuroni simboleggiano l'equivalente dell'assone e dei dendriti rappresentati in figura 4.9. Il processo di sinapsi, successivo all'apprendimento, avviene per mezzo dei *pesi* associati ai vari link presenti nella rete neurale. Nella tabella 4.1 è

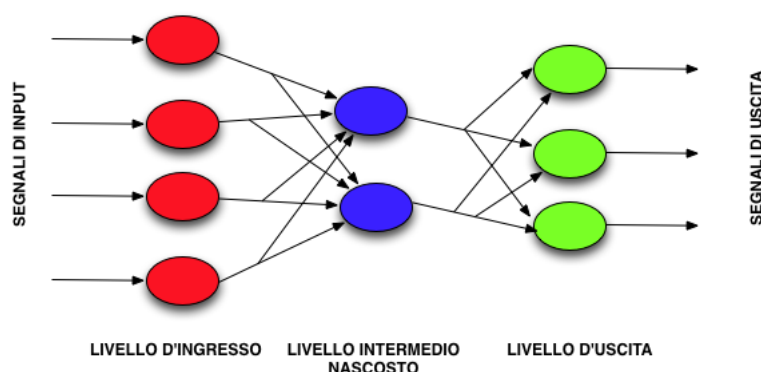


Figura 4.10: Rappresentazione di una rete neurale artificiale

possibile apprezzare, ulteriormente ed in maniera puntuale, le analogie tra le due reti.

Rete neurale biologica	Rete neurale artificiale
Soma	Neurone
Dentrite	Segnali di input
Assone	Segnali di uscita
Sinapsi	Link <i>pesati</i>

Tabella 4.1: Analogia tra reti neurali biologiche ed artificiali

Come anticipato, ogni link, nell'implementazione delle reti neurali artificiali, ha associato un "peso numerico". Questi pesi, come si vedrà nei suggestivi paragrafi, rappresentano l'elemento fondamentale su cui si implementano i meccanismi di apprendimento delle reti neurali. Ogni neurone può essere paragonato ad un'unità di elaborazione, il cui funzionamento è legato ad una *soglia di attivazione* dipendente sia dagli input che dai pesi dei link a cui è connesso. Nella costruzione di una rete neurale artificiale è fondamentale scegliere, a priori, il numero di neuroni che dovranno comporla e la tipologia dei collegamenti, cioè è necessario definire *l'architettura delle rete neurale*. Successivamente è necessario scegliere l'algoritmo di apprendimento con cui istruire la rete neurale e, infine, adoperare un dataset significativo per gli obiettivi della rete neurale con cui allenare la stessa af-

finché sia in grado di compiere, con le dovute configurazioni dei pesi sui link, il compito per cui è stata progettata. Questi sono gli elementi e gli step fondamentali che devono essere eseguiti per la costruzione di una rete neurale e, al tempo stesso, sono gli elementi distintivi delle diverse tipologie e caratteristiche che le reti neurali possono assumere. E' chiaro, inoltre, che qualsiasi scelta venga presa dal progettista è finalizzata agli obiettivi specifici che la rete deve raggiungere.

4.4.2 Gli algoritmi di apprendimento

Nel paragrafo precedente è stato indicato come il neurone sia l'unità fondante su cui si sviluppa il funzionamento di una rete neurale. Ciascuna unità, che può trovarsi in ognuno dei livelli di cui è composta una rete, riceve un segnale da uno dei link a cui è connesso e, in funzione della propria configurazione, se il segnale ricevuto supera una certa soglia, si attiva. Non appena un'unità diventa attiva, essa emette un segnale che viene trasmesso lungo i canali di comunicazione fino alle altre unità a cui è collegata; ciascun punto di connessione agisce come un filtro che trasforma il messaggio ricevuto in un segnale inibitorio o eccitatorio, aumentandone o diminuendone, nel contempo, l'intensità a seconda delle proprie caratteristiche implementative. L'intensità del segnale ricevuto dipende dal segnale stesso e dalle caratteristiche dei link che lo trasportano. Il legame input-output, ovvero la funzione di trasferimento della rete, non viene programmato ma è semplicemente ottenuto da un processo di apprendimento basato su dati empirici. I processi di apprendimento rappresentano l'aspetto più significativo di una rete neurale, al di là delle architetture scelte. Attraverso l'apprendimento, la rete muta i suoi parametri interni, cioè i pesi dei link, al fine di adattarsi alle caratteristiche del task da risolvere. Le tipologie di apprendimenti dipendono dal ruolo rivestito dal supervisore della rete, per cui è possibile distinguerli in:

- **supervisionato:** il supervisore è in possesso di un insieme di dati completo, destinato all'addestramento della rete e per questo definito *learning dataset*, comprendente tipici segnali di input e i corrispondenti segnali di output corretti, entrambi espressione dell'ambiente con cui la rete deve interagire. La rete viene sottoposta ad opportuno algoritmo di addestramento, solitamente di tipo *back-propagation*, il quale utilizza il dataset allo scopo di modificare i parametri della rete al fine di minimizzare la funzione d'errore relativo all'insieme di addestramento. Un addestramento con successo permetterà alla rete di riconoscere la relazione incognita che vi è tra l'ingresso e l'uscita, così che possa essere in grado anche di fare previsioni laddove le uscite non saranno disponibili. L'obiettivo di questo approccio di addestramento è, quindi, quello di permettere alla rete di prevedere il valore di uscita associato ad un determinato ingresso valido, basandosi esclusivamente su un numero limitato di esempi di corrispondenze. In ultima ipotesi, inoltre, la rete dovrebbe essere in grado, grazie ad una propria capacità di generalizzazione, di giungere a soluzioni anche con casi ignoti.
- **per rinforzo:** a differenza dell'apprendimento con supervisione, l'algoritmo per rinforzo non si basa sulla disponibilità di coppie di dati input-output definite a priori, e corrette, bensì sull'intervento del supervisore solo dopo un primo processo di classificazione da parte della rete. La rete, in funzione di determinati input, giunge ad una conclusione che viene valutata dal supervisore ed, eventualmente, integrata con ulteriori elementi. L'algoritmo di apprendimento, a questo punto, procede in senso opposto per addestrare la rete ad organizzarsi in maniera differente rispetto a quanto prodotto e seguendo i suggerimenti, o rinforzi, forniti dal supervisore. Anche per questo tipo di addestramento, comunque, l'obiettivo è quello di minimizzare una funzione di errore collegata alla scelta dei pesi e alla misura dell'errore rispetto

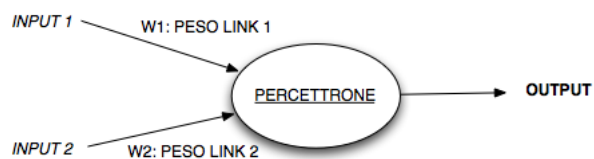


Figura 4.11: Rappresentazione di percettore

alle informazioni del supervisore.

- **non supervisionato:** questa tipologia di addestramento non è collegata ad alcun intervento di un supervisore, né a dataset da utilizzare per l'addestramento della rete. La rete, in funzione della specificità dei dati, tende ad organizzarsi in maniera autonoma, raggruppando i dati in ingresso in opportuni cluster rappresentativi dei dati stessi, utilizzando approcci topologici o probabilistici. Spesso, questa tipologia di addestramento, è associata a reti definite auto-organizzanti, in cui l'obiettivo sarà quello di un'ottimizzazione dell'armonia dei cluster, piuttosto che il minimizzare la funzione d'errore.

Indipendentemente dalla metodologia scelta, il processo di addestramento non è garanzia di un certo risultato da parte della rete neurale. Infatti, nel buon esito di approccio neuronale a problemi del mondo reale, influisce, anche, l'architettura delle reti neurali.

4.4.3 Le classificazioni delle reti neurali artificiali

Le reti neurali, al di là dell'algoritmo di apprendimento utilizzato, possono essere classificate in funzione delle architetture di rete e degli obiettivi di utilizzo. Con riferimento alle architetture, la più semplice forma architeturale delle reti neurali è rappresentata dal *Percettore* che, come rappresentato in figura 4.11 è caratterizzato da un singolo neurone. Tralasciando gli aspetti implementativi della rete, il percettore, che ha comunque una sua funzione di attivazione, può essere adoperato per suddividere gli ingressi in due

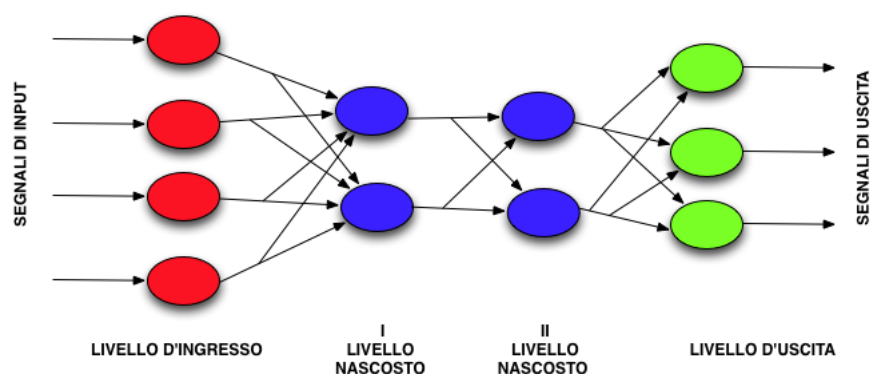


Figura 4.12: Rappresentazione di un perceptrone multilivello

diverse categorie, individuate dagli iperpiani descritti utilizzando gli input della rete e i pesi del link: il perceptrone è, pertanto, capace di apprendere la classificazione di funzioni linearmente separate dai predetti iperpiani. Il perceptrone è anche definito come una rete neurale *single layer*, cioè su singolo livello. In figura 4.12 è rappresentata, invece, una rete neurale denominata **perceptrone multilivello** di tipo *feedforward*, cioè con trasferimento dei segnali d'ingresso solo nella direzione di avanzamento indicata dalle frecce. Tipicamente, una rete multilivello è costituita da un livello di input, da uno o più livelli nascosti¹² e da un livello di output. Ogni livello della rete ha assegnato uno specifico compito. I neuroni d'ingresso non hanno, generalmente, compiti computazionali, mentre sia i neuroni nascosti che quelli di output si; quest'ultimi, infatti, devono trasformare il segnale ricevuto in una grandezza compatibile con l'ambiente esterno. In figura 4.12 è rappresentata un rete neurale a 2 livelli nascosti. Non vi è un limite al numero di livelli nascosti che può possedere una rete multilivello anche se, per vincoli di tipo computazionale, si tende a realizzare reti con non più di 3 livelli nascosti. I livelli nascosti sono quelli che, durante l'addestramento, sono interessati dall'aggiustamento dei pesi relativi ai link di cui è composta la rete e alle

¹²Il termine nascosti si riferisce al fatto che i segnali di input/output di questi neuroni non sono visibili all'ambiente con cui la rete si interfaccia.

funzioni di attivazione possedute dai neuroni. Sebbene sono stati presentati diversi algoritmi di apprendimento per le reti multilivello, il più utilizzato è l'algoritmo di *back-propagation*. L'applicazione di questo algoritmo può essere suddivisa in due fasi. Nella prima la rete viene processata con un *dataset learning* che viene propagato dalla stessa, livello per livello, sino all'output. Se il pattern generato è differente da quello atteso, viene propagato all'indietro, sino al primo livello, un'errore stimato sulla differenza tra output atteso e output ottenuto; per ogni step di propagazione dell'errore i pesi della rete vengono modificati. Questo algoritmo viene applicato a reti multilivello di almeno 2 o 3 livelli nascosti, in cui ogni neurone è completamente connesso con i neuroni del livello adiacente. Questa architettura di rete rappresenta una delle configurazioni più utilizzate nei processi di classificazione ed è stata scelta, infatti, anche per il modello studente presentato in questo lavoro di tesi. Una ulteriore architettura di rete neurale molto utilizzata prende il nome dallo studioso che, per primo, la propose alla comunità scientifica, cioè Jonh Hopfield nel 1982. Questa rete, a differenza di quelle precedentemente descritte, è una rete di tipo ricorrente, in cui gli output calcolati vengono processati all'indietro fino all'input che, per ogni ciclo di processamento, subisce delle modifiche. Il sistema converge non appena l'output diventa costante. Non sempre i processamenti iterativi producono semplici aggiustamenti, per cui spesso le reti non riescono a convergere e diventano instabili. Le reti di Hopfield vengono utilizzate, di sovente, come memorie associative. L'ultima architettura di rete che presento in questa sezione è definita auto-organizzante: tra le architettura proposte è particolarmente nota quella progettata da Hebbian. L'idea che sta alla base di queste architetture trova spunto dalle leggi di Hebb del 1949 sulle capacità eccitatorie del modello biologico delle reti neurali. Egli sosteneva, infatti, che la capacità di apprendimento del nostro cervello è collegata ad un processo eccitatorio che coinvolge i neuroni adiacenti di una particolare zona della corteccia

celebrale. Le due leggi che egli postulò, e sulla base delle quali sono state sviluppate le reti neurali auto-organizzate, sono:

1. Se due neuroni presenti ai due estremi di una connessione sono attivati in maniera sincrona, allora il peso dei loro link deve aumentare;
2. Se due neuroni presenti ai due estremi di una connessione sono attivati in maniera asincrona, allora il peso dei loro link deve diminuire;

Utilizzando questo approccio, le reti di Hebbian sono progettate con l'idea che l'apprendimento è un fenomeno locale, che avviene senza interazione con l'ambiente esterno e può prevedere l'attivazione, come output, anche di più neuroni contemporaneamente. L'altro approccio proposto per le reti auto-organizzanti, noto con il termine *apprendimento competitivo*, prevede, invece, che alla fine della contesa solo un neurone si attivi per indicare l'output della rete. Esaurita la differenziazione delle reti neurali per architettura, si propone, in breve, un classificazione per tipologia di utilizzo:

- **memorie associative:** riescono a fornire l'associazione tra 2 pattern anche in presenza di un pattern d'ingresso non completo. Un classico esempio è rappresentato dall'elaborazione delle immagini digitali;
- **simulatori di funzioni matematiche:** sono in grado di individuare la relazione esistente tra output ed input attraverso i training set utilizzati durante l'addestramento. A termine di detto processo le reti sono in grado di fornire una risposta anche in presenza di un output differente da quello fornito, grazie allo sviluppo di una capacità di interpolazione ed estrapolazione dei dati;
- **classificatori:** con essi è possibile classificare dei dati in specifiche categorie in base a caratteristiche di similitudine. In questo ultimo tipo di rete esiste il concetto di apprendimento non supervisionato o "autoorganizzante", nel quale i dati di input vengono distribuiti

su categorie non predefinite. Anche le reti multilivello feedforward possono essere utilizzate per queste finalità;

Si può concludere questa breve descrizione delle reti neurali dicendo che, sebbene siano una tecnologia sempre più affermata ed utilizzata, rappresentano, ancora, l'emblema un fervido settore di ricerca. Le applicazioni in cui le reti neurali possono trovare una spendibilità sono elevate. Nell'applicazione proposta in questo lavoro di tesi, ad esempio, le reti neurali verranno utilizzate per fornire ai sistemi ITS l'adattabilità del sistema al variare degli input e per garantire detta scalabilità sulla base di un processo di adattamento connesso alla reale esperienza e conoscenza dei discenti. Questo modo di operare sembra essere, inoltre, il più vicino a quello che applicano i docenti nei propri processi di valutazione.

4.5 I sistemi Neuro-Fuzzy

Nelle sezioni 4.3 e 4.4 sono state descritte, con sufficiente livello di approfondimento, due delle tecnologie adoperate nel settore dell'intelligenza artificiale. Di dette tecnologie, in particolare, sono stati esaltati i punti di forza e le potenzialità per le applicazioni più disparate. Zadeh, nel 1991, capì però che per sviluppare tecnologie che si avvicinassero veramente al modello di vita reale era necessario introdurre, in maniera sempre più forte, il concetto che il mondo è fatto di *parole* e non di *numeri*, per cui poteva essere necessario utilizzare, a tal fine, più di una delle tecnologie dell'Intelligenza Artificiale: egli propose la creazione di **modelli ibridi**. I modelli ibridi rappresentano delle soluzioni in cui vengono adoperate almeno due delle tecnologie intelligenti, come le reti neurali, la logica Fuzzy o gli algoritmi genetici. Questi sistemi ibridi rappresentano il cuore di quel settore denominato *soft computing*, in quanto contenitore di quelle soluzioni computazionali in grado di "ragionare" come sistemi intelligenti utilizzando, però, le parole, considerate *valori soft*

e non i numeri, considerati *valori hard*. I sistemi ibridi sono quindi in grado di ragionare utilizzando, a volte, anche informazioni imprecise o incomplete, inferendo le associazioni che si assegnano al cervello dell'uomo. In tutto questo, i sistemi possono fare a meno, nell'interazione con l'ambiente esterno, dei numeri. Riprendendo quanto scritto nell'introduzione del presente capitolo, la valutazione dell'attività fisica rappresenta uno di quei processi in cui, spesso, è necessario ragionare non solo con i numeri ma anche con le parole e tenendo conto di tutte quelle caratteristiche che solo un ragionamento compiuto può apprezzare, come la preparazione pregressa o l'evoluzione di merito. Ribadendo queste indicazioni, si è quindi scelto di adoperare, per il modello studente proposto in questo lavoro di tesi, proprio un approccio ibrido che, a nostro avviso, ben si sposava con i vincoli sopra esposti. La scelta è ricaduta, in particolare, in un sistema **neuro-Fuzzy**, cioè costituito dall'integrazione delle reti neurali con la logica Fuzzy. L'integrazione di dette tecnologie sembra essere un buon compromesso per esaltare i punti di forza di ognuna di esse e, al tempo stesso, colmarne alcune debolezze. Attraverso le reti neurali, infatti, i sistemi Fuzzy vengono dotati di quella capacità di apprendere dal confronto con il mondo esterno che gli manca; le reti neurali, invece, abili a gestire processi computazionali con dati grezzi, per lo più numerici, acquisiscono quella capacità di essere più trasparenti al mondo esterno nella propria elaborazione dei dati. I sistemi neuro-Fuzzy rappresentano, quindi, un promettente approccio di sistemi intelligenti che combinano la capacità di ragionamento e apprendimento delle reti neurali con le abilità di rappresentazione e spiegazione del ragionamento umano per mezzo di approcci linguistici, che sono propri della logica Fuzzy. Il risultato è, quindi, che le reti neurali diventano più trasparenti, mentre la logica Fuzzy può apprendere dall'esperienza: la rete neurale diventa il motore inferenziale del sistema Fuzzy e può essere allenata per sviluppare l'approccio IF-THEN e la codifica in valori di appartenenza propri della logica Fuzzy.

In figura 4.13 si può vedere lo schema di una rete neuro-Fuzzy, che è molto simile a quella del perceptrone multilivello di tipo feedforward proposta in 4.12. Una rete neuro Fuzzy è, generalmente, costituita da 5 livelli: input, output e 3 livelli nascosti, utilizzati per implementare il motore inferenziale e le membership function. Quanto descritto in figura 4.13 è lo schema su cui

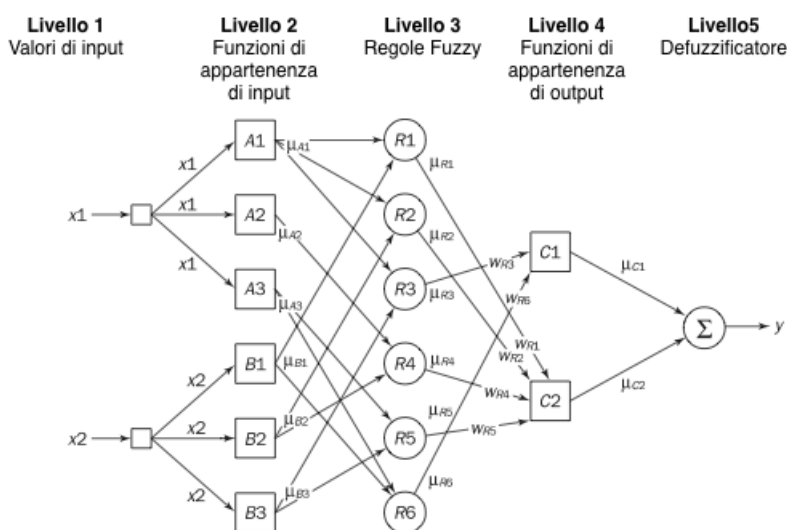


Figura 4.13: Rappresentazione di un sistema ibrido Neuro-Fuzzy

si sviluppa il modello studente proposto per la valutazione dell'attività fisica degli studenti, descritto nel dettaglio nel paragrafo 4.7. A tal fine, inoltre, è necessario introdurre il compendio sviluppato per la codifica dell'attività fisica dei giovani, proposto nel paragrafo 4.6.

4.6 Il compendio dell'attività fisica per i giovani

Nella sezione 3.5 è stato descritto il processo che ha condotto gli autori nella definizione del compendio sulle attività fisiche, adoperato per permettere ai ricercatori di paragonare, in maniera efficiente, gli studi condotti utilizzando differenti strumenti di misura. I compendi proposti, però, sono stati realizzati prendendo a riferimento esclusivamente i livelli di attività fisica per la

popolazione adulta, senza prevedere alcun riferimento ai giovani. Ridley e i suoi colleghi, invece, hanno descritto, in un loro contributo scientifico del 2008, come è stato realizzato, per i giovani, un compendio analogo a quelli trattati nella sezione 3.5¹³. Lo sviluppo del compendio per i giovani è stato fortemente influenzato dalla difficoltà di definire, con precisione, i livelli di attività fisica, differenziandoli tra sedentaria, moderata e vigorosa, attività che tuttora è sempre in fase di affinamento. In letteratura, come ampiamente descritto nel terzo capitolo di questa tesi, sono stati proposti numerosi studi sull'attività fisica dei giovani, con considerevoli contributi alle differenti tecniche e tecnologie utilizzate. La maggioranza dei contributi proposti, comunque, tende ad associare la classificazione dell'attività fisica ai differenti dispendi energetici sperimentati. Lo sviluppo di un compendio ha proprio il ruolo di definire un parametro di classificazione univoco delle attività fisiche, con specifico riferimento al pattern e al livello di intensità, che possa permettere ai ricercatori di effettuare comparazioni funzionali alla ricerca. Inoltre, come descritto anche per il contributo relativo agli adulti, il compendio diventa fondamentale per convertire i dati di osservazioni soggettive o auto-compilati in valori di dispendi energetici. I lavori presenti in letteratura utili alla definizione di un compendio per le attività fisiche dei giovani, comunque, sono molto limitati rispetto a quelli degli adulti, mentre utilizzare i dati degli adulti per risalire agli equivalenti livelli dei giovani è un approccio complicato e pieno di criticità. A conferma di quest'ultima affermazione, infatti, è stato dimostrato che il dispendio energetico per massa corporea tende a diminuire con l'età¹⁴. Inoltre, proprio nell'aggiornamento

¹³K. Ridley *et al.*, *Development of a Compendium of Energy Expenditures for Youth*, in *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 5, n. 1, 2009, pp. 5-45

¹⁴B. Torun, *Inaccuracy of applying energy expenditure rates of adults to children*, in *The American Journal of Clinical Nutrition*, 38, n. 5, 1983, pp. 813-815

al compendio proposto nel 2000¹⁵, è stato dimostrato che utilizzare i dati di VO_2 degli adulti per derivare i dispendi energetici dei giovani è una procedura caratterizzata da sostanziali errori. Sulla base di queste assunzioni, Ridley e Olds hanno quindi eseguito una rivisitazione dei dati pubblicati sul dispendio energetico sperimentato in differenti attività giornaliere da parte dei giovani e degli adulti¹⁶. Il loro lavoro ha interessato quattro differenti metodi utilizzati per assegnare il livello di dispendio energetico ai ragazzi derivandoli dai valori di MET degli adulti attraverso procedure suggerite da diversi autori, come Torun¹⁷, Sallis¹⁸ e alcune organizzazioni internazionali come l'OMS, la FAU e l'ONU. I risultati di questo contributo dimostrarono che, per i quattro differenti metodi studiati, l'utilizzo dei MET degli adulti era appropriato, ma, con specifico riferimento alle attività connesse alla corsa e al cammino, era necessario studiare altre soluzioni, in quanto per dette attività i livelli di MET sono fortemente influenzati dall'età. Essi stessi suggerirono di utilizzare equazioni per la stima dei MET che tengano conto sia dell'età che della velocità con cui i ragazzi svolgono cammino e corsa. Harrel e i suoi colleghi misurarono il costo energetico di 18 differenti attività fisiche condotte da giovani con età compresa tra 8 e 18 anni¹⁹. Sebbene 18 attività sono un numero limitato di elementi per definire un campione significativo, essi conclusero che l'utilizzo dei valori di MET specifici degli adulti, combinati con i livelli di metabolismo basale dei bambini, era la migliore tecnica per assegnare un valore di consumo energetico ad una attività quan-

¹⁵B.E. Ainsworth *et al.*, op. cit., 2000

¹⁶K. Ridley - T. Olds, *Assigning energy costs to activities in children: a review and synthesis*, in *Journal of Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40, n.8, 2008, pp. 1439-1450

¹⁷B. Torun, *Energy cost of various physical activities in healthy children*, Activity, energy expenditure and energy requirements of infants and children, 1990

¹⁸J. Sallis *et al.*, op. cit., 1991

¹⁹J.S. Harrell *et al.*, *Energy costs of physical activities in children and adolescents*, in *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37, n.2, 2005, pp. 329-341

do i dati di misure reali non erano disponibili. Questa deduzione permette di individuare una grossa similitudine nel rapporto tra consumo energetico in attività e riposo dei giovani e degli adulti. I risultati conseguiti in questi ultimi due lavori^{20 21} furono ritenuti sufficienti per definire un compendio delle attività fisiche dei giovani con i rispettivi livelli di MET disponibili²².

4.6.1 Lo schema di codifica

Nella scelta dello schema da seguire per la codifica delle diverse attività fisiche affrontate dai giovani si è certamente tenuto conto di quanto già prodotto nei lavori sugli adulti, anche se è stato riadattato alle diverse caratteristiche degli studi sui ragazzi. Seppur si è mantenuto uno schema a livelli, ogni attività fisica condotta dai ragazzi è stata codificata con 6 differenti numeri, ognuno rappresentativo dei seguenti parametri (elencati in ordine da sinistra a destra, come visibile nello schema riassuntivo presentato nella tabella 4.2):

1. **categorie attività:** 1-sedentaria, 2-spostamenti, 3-giocare/praticare sport, 4- attività scolastiche, 5- cura personale, 6-faccende domestiche, 7- altro;
2. **posizione del corpo:** seduto, sdraiato, all'impiedi;
3. **tipologia di attività:** serve a restringere il campo delle possibili attività previste per ogni categoria;
4. **attività specifica:** campo utilizzato per dettagliare meglio la tipologia di attività;
5. **attività specifica:** campo utilizzato per dettagliare meglio la tipologia di attività;
6. **autovalutazione:** intensità percepita dal soggetto in azione.

²⁰J.S. Harrell *et al.*, op. cit, 2005

²¹K. Ridley - T. Olds, op. cit, 2008

²²K. Ridley - T. Olds, op. cit, 2008

I-categorie attività	II-posizione del corpo	III-tipologia attività	(IV-V)-dettaglio attività	VI-autovalutazione
1= sedentaria	0=addormentato	0=non esegue alcuna attività	individuale	0=non valutabile
	1=sdraiato	1=guardare la TV	attività codificata	
	2=seduto	2=ascoltare la musica	attività non codificata	
	3=all'impiedi	3=leggere		
	4=in movimento	4=conversare		
		5= scrivere		
2= spostamenti	come sopra	0=senza mezzi	individuale	0=non valutabile
		1=con mezzi	attività codificata	1=leggera
			attività non codificata	2=moderato
				3=vigorouso
3= giocare/fare sport		0=individuale	come sopra	come sopra
		1=partner/squadra		
4= attività scolastiche	come sopra	0=non codificata	come sopra	
5= cura personale	come sopra	1=attività igieniche	come sopra	
		2=mangiare		
		3=vestirsi e svestirsi		
6= faccende domestiche	come sopra	1=cucinare	come sopra	
		2=ordinare		
		3=altro		
		4=giardinaggio		
7= altro	come sopra	0=strumenti musicali	come sopra	
		2=attività sociali e familiari		
		3=altro		

Tabella 4.2: La codifica utilizzata per l'attività fisica dei giovani

Nel compendio sono elencate 244 attività, che sono state selezionate dalle equivalenti presenti nel compendio per gli adulti, restringendo la selezione, però, solo a quelle che possono svolgere anche i ragazzi; quest'ultime sono state scelte utilizzando una rivisitazione dei lavori eseguiti con strumenti auto-compilati per la valutazione dell'attività fisica dei giovani e, più in generale, da tutti quei lavori in cui sono stati prodotti risultati significativi per la classificazione dei pattern motori dei ragazzi. Chiaramente il compendio per i giovani annovera un numero minore di attività rispetto a quelle degli adulti, escludendo, ad esempio, le attività lavorative. Le attività presenti in entrambi i compendi, invece, sono state riviste in funzione dei diversi livelli di intensità con cui i ragazzi le possono eseguire. Una delle difficoltà più significative riscontrate per la realizzazione del compendio sui giovani è stata rappresentata, come detto in precedenza, dalla difficoltà di individuare con esattezza i differenti livelli di intensità. Ad esempio, la camminata nel compendio relativo agli adulti ha 30 diverse codifiche, mentre nei giovani ne ha solo 6. I dati per definire tutte le codifiche e i relativi MET sono stati presi dai lavori rivisitati da Ridley e Olds e, con i meccanismi di adeguamento implementati nelle procedure gerarchiche descritte in figura 4.14, dalle analogie con le attività degli adulti²³. Quando invece c'erano ridondanze di dati, la definizione dei MET è stata realizzata attraverso una media pesata dei valori misurati²⁴. Complessivamente, il 35% dei valori inseriti nel compendio è relativo a misurazioni reali effettuate sui giovani. Per la definizione dei differenti livelli delle tipologie di attività, inoltre, sono state utilizzate le codifiche auto-riportate dai numerosi soggetti che, attraverso strumenti auto-compilati, hanno valutato la propria attività motoria. Questo parametro, infatti, è stato propriamente inserito come sesto codice nella codifica delle attività fisiche dei giovani. Le intensità di alcune attività fisiche, inoltre, sono state ottenute utilizzando i risultati misurati o registrati per singoli

²³K. Ridley - T. Olds, op. cit, 2008

²⁴K. Ridley - T. Olds, op. cit, 2008

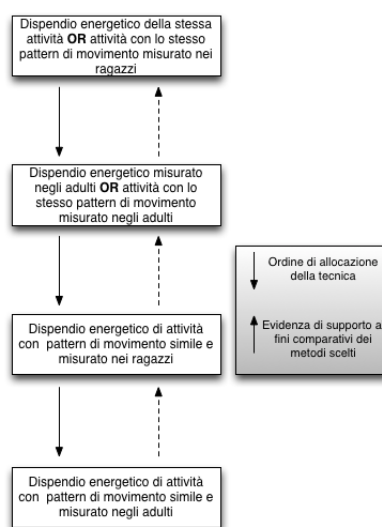


Figura 4.14: Procedura gerarchica di assegnazione del costo energetico alle attività non misurate (Ridley,2008)

gesti motori che, comunque, si ripetono in alcune espressioni di attività sportive più complesse. Ad esempio, il dispendio energetico misurato o stimato per eseguire dei salti e tiri sincronizzati è stato utilizzato come indicatore del livello moderato dell'attività sportiva del Basket. Inoltre, considerato che il livello di attività fisica più facilmente registrato si è dimostrato essere quello moderato, sono stati individuati, attraverso un approccio statistico basato sugli indici di tendenza centrale applicato al campione disponibile, dei coefficienti utili a definire le intensità basse e vigorose utilizzando il relativo livello moderato. Nelle formule 4.1 e 4.2 è possibile vedere in dettaglio questi rapporti:

$$Bassa = Media(moderata) * 0,75 \quad (4.1)$$

$$Alta(vigorosa) = Media(moderata) * 1,25 \quad (4.2)$$

Questi rapporti sono stati derivati dal lavoro di Ridley e Olds in cui si è dimostrato che i coefficienti 0,75 e 1,25 corrispondono, approssimativamente, al valor medio più o meno una volta la deviazione standard rispettivamente. Per esempio il valor medio (moderato) assegnato al salto (in atletica) è 6,0

per cui, utilizzando i rapporti presentati nelle formule 4.1 e 4.2, si sono determinati i seguenti valori di consumo calorico (EE^{25}):

$$EE_{basso} = EE_{moderato} * 0,75 = 4,5$$

$$EE_{vigorouso} = EE_{moderato} * 1,25 = 7,5$$

4.6.2 Determinazione del costo energetico

In letteratura sono presenti alcune ricerche in cui sono stati fatti paragoni e raffronti tra gruppi che praticano attività fisica senza convertire i livelli di MET in altre espressioni, come quelle del dispendio energetico. Il calcolo del dispendio energetico (EE) di un'attività motoria, noto il proprio livello di MET, la tipologia di attività, il metabolismo basale del soggetto (RMR), il peso del soggetto (M) e il tempo impiegato in detta attività fisica (T), può essere determinato dalla formula presente in 4.3

$$EE = MET * RMR * M * T \quad (4.3)$$

Ad esempio, se si considera un bambino di 45 kg, con metabolismo basale pari a $0,025kcal * kg^{-1} * min^{-1}$, che è impegnato per 30 minuti in sessioni moderate di basket (MET=8,2), il dispendio energetico (EE) sarà:

$$EE = MET * RMR * M * T = 8,2 * 0,025 * 45 * 30 = 276,75 cal.$$

4.7 Il modello Neuro-Fuzzy e l'interfaccia Apple-Nike

Come ampiamente detto nel corso di questo lavoro di tesi, la tematica della valutazione dell'attività fisica, per lo più in un contesto particolare come quello educativo, è da considerarsi come una *open-issue* su cui ancora la comunità scientifica continua a lavorare. La valutazione dell'educazione

²⁵EE - Energy Expenditure è la traduzione in inglese di dispendio energetico

motoria, definizione attualmente in uso negli ordinamenti scolastici italiani, non solo è portatrice delle criticità intrinseche descritte nel paragrafo 3.2, ma è anche aggravata dall'essere l'espressione del comportamento degli studenti in quel particolare task assegnato, il che rende ancora più complesso il processo di "interpretazione" svolto dal modello studente dei sistemi ITS. Al fine di semplificare le procedure che detto modello deve supportare, si è scelto di implementarlo attraverso un approccio ibrido, costituito dall'integrazione della logica Fuzzy e delle reti neurali. La prima è deputata a gestire, con estrema efficienza informazioni spesso imprecise, come quelle che possono scaturire dall'esecuzione di un compito didattico, e, allo stesso tempo, è capace di rappresentare correttamente l'output del modulo studente, utilizzando le stesse forme linguistiche adoperate dai docenti. La valutazione didattica, inoltre, come definito anche dalle linee guida IMS LIP²⁶, è spesso basata su un approccio IF-THEN, tipico del motore inferenziale Fuzzy, e gestito, esclusivamente, solo con forme linguistiche e non numerali. La rete neurale, invece, non è in grado di gestire bene le forme letterali, ma dota il sistema della capacità di ragionamento tipico di un docente, che valuta ogni sessione di test non solo in riferimento alla specifica sessione, ma anche in riferimento a quanto precedentemente riscontrato in situazioni analoghe. Nel sotto-paragrafo 4.7.2 verranno descritte e dettagliate le scelte effettuate per implementare sia la componente Fuzzy che la componente neurale della soluzione proposta. Un'altra *open issue* dei sistemi ITS è rappresentata dall'interfaccia di comunicazione tra gli studenti e il sistema. Normalmente il mouse e la tastiera sono gli elementi costituenti detta interfaccia, ma questo potrebbe non essere sufficiente per un sistema ITS per la valutazione dell'attività fisica degli studenti, soprattutto alla luce delle problematiche sull'oggettività espresse nel capitolo 3 di questa tesi. Una soluzione per ovviare a tale difficoltà è stata individuata nell'utilizzo di una piattaforma

²⁶IMS LIP Specification - disponibili all'indirizzo <http://www.imsproject.org/>

tecnologica, e non invasiva, descritta nel sotto-paragrafo 4.7.1

4.7.1 L'interfaccia Apple-Nike

L'interazione con qualsiasi piattaforma digitale è normalmente veicolata, quasi esclusivamente, dall'utilizzo di mouse e tastiera; questo schema è naturalmente valido anche per i sistemi ITS, sebbene questo è stato spesso rappresentato come un collo di bottiglia per l'accesso alla reale valutazione degli studenti. Nel caso dell'ITS che si vuole proporre per questa tesi è necessario integrare nella piattaforma digitale altri strumenti che consentano, come proposto nella sezione 3.2, una valutazione oggettiva dell'attività fisica. La soluzione da individuare, inoltre, deve essere assolutamente non intrusiva ed eticamente lecita, in quanto da adoperare su studenti e, probabilmente, minorenni. La scelta per soddisfare un po' tutte le esigenze indicate è ricaduta su una soluzione ibrida, raffigurata in figura 4.15, costituita da un dispositivo portatile AppleTM, come l'Ipod, e una piattaforma costituita da un sensore e da un ricevitore sviluppata dalla NikeTM ed integrabile con detti dispositivi. Lo schema di funzionamento della piattaforma Apple-Nike è il



Figura 4.15: Rappresentazione del sistema Nike - Apple

seguente: prima di iniziare l'attività fisica è necessario inserire il ricevitore nel plug dell'Ipod (la porta utilizzata per la ricarica elettrica) e selezionare

l'applicazione Nike, già presente tra quelle disponibili nel sistema. Successivamente è necessario creare un collegamento solidale tra la scarpa del piede dominante e il sensore. La Nike ha progettato delle calzature con l'alloggio per detto sensore, ma è possibile inserirlo anche con soluzioni artigianali indipendenti dalle scarpe griffate Nike. Una volta indossate anche le scarpette è necessario sincronizzare il sensore con l'Ipod, affinché possa ricevere i segnali relativi all'attività fisica. Il sensore è dotato di un sensibile accelerometro piezoelettrico in grado di percepire i tempi di contatto del piede con la superficie calpestata. Il sistema riceve il segnale ed elabora le informazioni sia in itinere che in finale, fornendo feedback già durante lo svolgimento dell'attività fisica. L'accesso alle informazioni registrate durante detto svolgimento può avvenire sia per mezzo dei software Apple specificatamente sviluppati, che attraverso normali tool di gestione dei file. Per le finalità del sistema ITS proposto verranno acquisite, indipendentemente dai tools adoperati, il numero di calorie consumate durante l'esercizio assegnato, al fine di poterle successivamente compararle con le relative codifiche del compendio descritto nel paragrafo 4.6.

4.7.2 L'architettura del modello studente

Il modello studente, come anticipato nella parte iniziale del presente paragrafo, è stato implementato attraverso un sistema ibrido neuro-Fuzzy, rappresentato nella figura 4.16. Nella figura 4.16 è possibile notare, come già descritto in precedenza, che il sistema integra gli elementi fondanti della logica Fuzzy all'interno di una rete neurale. Il primo livello della rete, individuato come il livello di *input* è caratterizzato da due ingressi: le calorie attese e le calorie consumate. Il primo input è determinato utilizzando la relazione presentata nella formula 3.1, che si riporta di seguito per opportuna conoscenza:

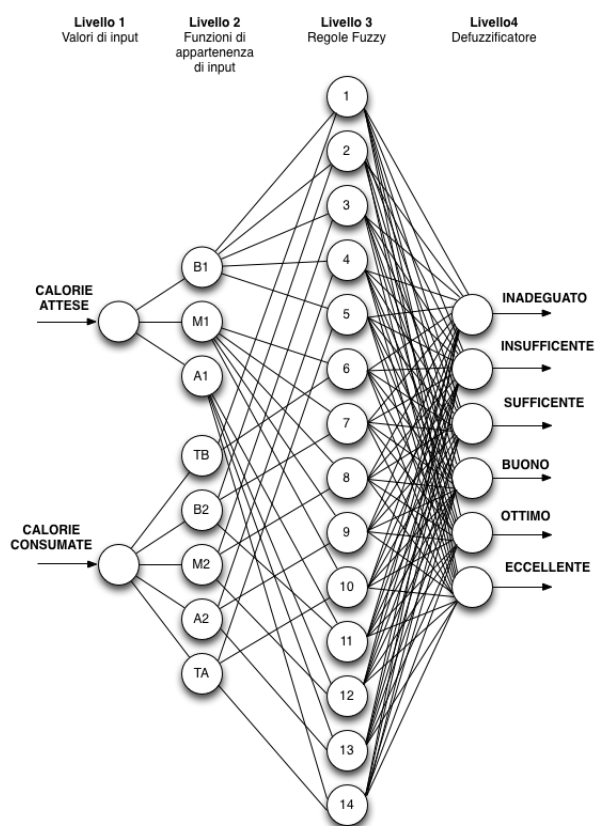


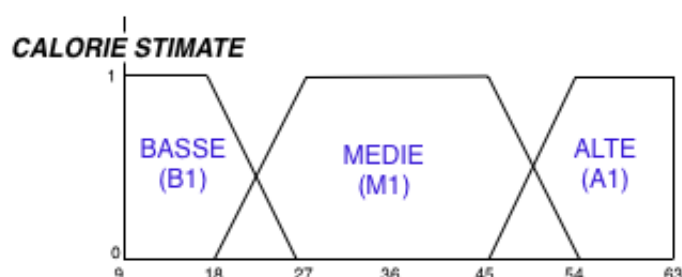
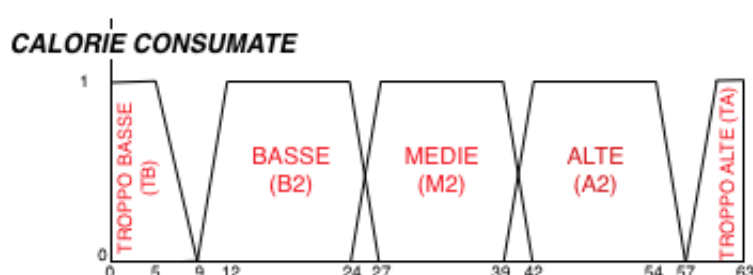
Figura 4.16: Rappresentazione del sistema ibrido scelto per l'implementazione del modello studente

$$EE(\text{DispensioEnergetico}) = MET * Massa * Tempo \quad (4.4)$$

Attraverso detta relazione, quindi, è possibile pre-calcolare, con le limitazioni discusse nel paragrafo 3.5, il livello di dispendio energetico atteso per una delle attività fisiche inserite nel compendio relativo all'età del soggetto. Nello scenario applicativo pensato per questo lavoro di tesi, quindi, il compendio utilizzato sarà quello presentato in 4.6. L'altro parametro di input, invece, sarà determinato empiricamente dal sensore descritto in 4.7.1, indossato durante l'esecuzione del task motorio e successivamente collegato alla postazione di elaborazione dati. Il meccanismo utilizzato per accedere a

detta informazione verrà spiegato nel paragrafo 4.7.3. Il secondo livello della rete neurale corrisponde allo step indicato con il termine *fuzzificazione*, cioè il processo attraverso il quale i dati relativi al mondo reale vengono codificati con la sintassi e la semantica della logica Fuzzy, costituite da variabili linguistiche, valori linguistici e, soprattutto, funzioni di appartenenza: attraverso quest'ultime, infatti, è possibile associare ad ogni variabile linguistica il relativo valore come espressione di appartenenza ad una delle membership definite. Il processo di definizione delle membership è chiaramente connesso sia alla tipologia di variabile che si vuole codificare che all'esperienza del progettista. E' chiaro che, il range di valori codificabili devono essere espressione del range reale all'interno del quale è possibile collocare i valori di input previsti. Per ciò che riguarda il modello studente proposto, in particolare, il valore massimo atteso, per entrambi gli input, è stato determinato ipotizzando un'attività al limite, tra quelle presenti nel relativo compendio, cioè il pattinaggio in linea ad alta velocità (MET: 15.0), praticata da uno studente con un peso di 70 kg per 60 minuti. Con lo stesso criterio, scegliendo però un'attività con un basso MET, individuata nel "*Gioco non strutturato indoor*", con MET pari a 2,3, è stato determinato il valore minimo di calorie consumate, cioè 9,6 Kcalorie. Il valore massimo determinato è, invece 63000 calorie, cioè 63 KCalorie, che corrisponde a circa 4 volte il metabolismo basale giornaliero di un individuo sano di età compresa tra i 10 e i 18 anni. Sebbene però, per le due funzioni di appartenenza sono state utilizzate le stesse forme di membership function, cioè i trapezi, i range relativi ai due input non sono stati suddivisi in ugual maniera, come è possibile apprezzare dalle figure 4.17 e 4.18.

La differente granularità di codifica è stata determinata dalla natura empirica della seconda grandezza il cui andamento, sebbene in un certo senso prevedibile, può essere non scontato, per cui una codifica più granulare è sicuramente più rispondente ad una interpretazione reale della grandez-

Figura 4.17: Funzioni di appartenenza *Calorie stimate*Figura 4.18: Funzioni di appartenenza *Calorie consumate*

za. Inoltre, i range delle singole membership sono stati oggetto di diversi processi di ottimizzazione, soprattutto di natura empirica, processi guidati dai docenti di educazione motoria coinvolti nel progetto. La definizione delle membership, così come quella delle regole, infatti, rappresenta l'emblema dell'*expertise*, cioè del sapere, che loro hanno dovuto fornire al sistema tecnologico per renderlo il più possibile reale rispetto agli schemi di valutazione intrapresi nelle loro attività di docenza. Nonostante ciò, comunque, è possibile ipotizzare successivi miglioramenti e ottimizzazioni, per rendere il sistema ancor di più corrispondente ad un'adeguata codifica della realtà. E' opportuno sottolineare che, in riferimento alle sigle utilizzate in 4.16, relativamente al livello 2, queste trovano rispondenza con le sigle associate alle differenti membership. Il terzo livello della rete rappresentata in 4.16 è identificato, invece, con il termine *regole Fuzzy*. La definizione delle regole Fuzzy, così come previsto nelle specifiche IMS LIP ha seguito l'approccio IF-THEN, tipico, inoltre, dello schema di valutazione utilizzato da diversi

docenti. Nella tabella 4.3 sono descritte le 15 regole implementate per determinare il funzionamento del sistema Fuzzy progettato. E' ovvio che, come descritto nel paragrafo 4.3, nell'esplicitare le regole è necessario individuare anche la codifica del conseguente, opportunamente rappresentata in figura 4.19.

Nr.	Calorie stimate	Calorie consumate	Valutazione
1	Basse (B1)	Veramente Basse (VB)	<i>Insufficiente</i>
2	Basse (B1)	Basse (B2)	<i>Sufficiente</i>
3	Basse (B1)	Medie (M2)	<i>Buono</i>
4	Basse (B1)	Alte (A2)	<i>Ottimo</i>
5	Basse (B1)	Veramente Alte (VA)	<i>Eccellente</i>
6	Medie (M1)	Veramente Basse (VB)	<i>Inadeguato</i>
7	Medie (M1)	Basse (B2)	<i>Insufficiente</i>
8	Medie (M1)	Medie (M2)	<i>Sufficiente</i>
9	Medie (M1)	Alte (A2)	<i>Buono</i>
10	Medie (M1)	Veramente Alte (VA)	<i>Eccellente</i>
11	Alte (A1)	Veramente Basse (VB)	<i>Inadeguato</i>
12	Alte (A1)	Basse (B2)	<i>Insufficiente</i>
13	Alte (A1)	Medie (M2)	<i>Sufficiente</i>
14	Alte (A1)	Alte (A2)	<i>Ottimo</i>
15	Alte (A1)	Veramente Alte (VA)	<i>Eccellente</i>

Tabella 4.3: Regole del motore inferenziale Fuzzy

Le regole verranno attivate in funzione della codifica dei due parametri d'ingresso. Ogni tipologia di membership, cioè i neuroni presenti al livello 2, è opportunamente collegata, esclusivamente, alle regole in cui è presente come antecedente. Lo stesso approccio è stato utilizzato per collegare le regole presenti nel livello 3, ognuna come un singolo neurone, ai neuroni corrispondenti ai singoli antecedenti e presenti nel livello 4. La definizione delle regole è stata oggetto di un processo iterativo di verifica con i docenti della disciplina oggetto di sperimentazione, in quanto rappresentano l'elemento più vicino all'approccio di valutazione implementato dai docenti stessi nelle loro attività d'aula. Come detto per le membership, anche per



Figura 4.19: Funzioni di appartenenza utilizzate per la valutazione dell'attività fisica

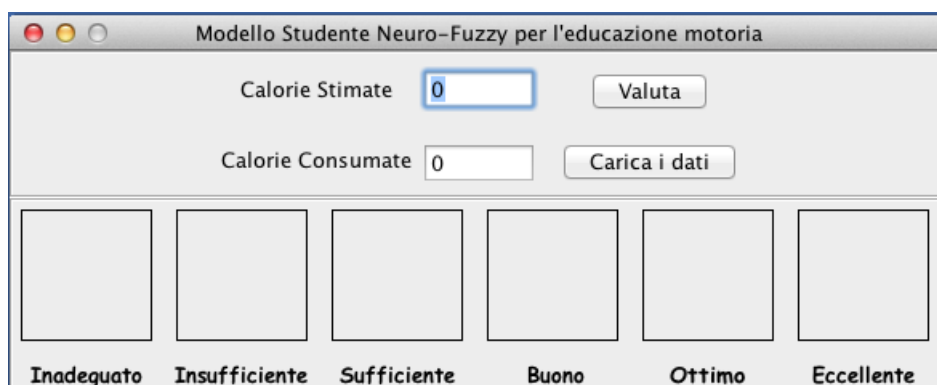
le regole è possibile ottimizzarne la definizione attraverso processi, spesso, basati sull'esperienza. Le attuali regole, così come le membership descritte in precedenza, ad esempio, rappresentano un'evoluzione di un precedente lavoro presentato nel 2010 ad una conferenza internazionale su didattica e apprendimento, in cui uno dei topics era destinato alle nuove tecnologie per la didattica ²⁷. Il numero dei neuroni presenti nel livello 4, invece, rappresenta i 6 differenti gradi di valutazione scelti; questi sono individuati come i più comuni gradi di giudizio presenti nelle scale ordinali con cui vengono giudicati gli allievi dai docenti.

4.7.3 Implementazione

L'implementazione del modello studente descritto nei precedenti paragrafi è stata realizzata utilizzando una piattaforma freeware ed open-source chiamata *Neuroph*, che prevede una specifica applicazione, chiamata *Easy-Neurons*, da utilizzare per implementare le reti neurali ²⁸. La piattaforma è completamente scritta in Java e fornisce una serie di esempi da cui poter iniziare per sviluppare i propri algoritmi e i propri sistemi. Lo sviluppo del

²⁷F. Sgro *et al.*, *A Neuro-Fuzzy Approach for student module of Physical Activity ITS*, in *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 9, 0, 2010, pp.189-193

²⁸Z. Sevarac, *Neuro fuzzy reasoner for student modeling*, in *Proc. of Sixth International Conference on Advanced Learning Technologies*, 2006, pp.740-744



The screenshot shows a software window titled "Modello Studente Neuro-Fuzzy per l'educazione motoria". It contains two input fields: "Calorie Stimate" with the value "0" and a "Valuta" button, and "Calorie Consumate" with the value "0" and a "Carica i dati" button. Below these are six empty boxes representing evaluation categories: "Inadeguato", "Insufficiente", "Sufficiente", "Buono", "Ottimo", and "Eccellente".

Figura 4.20: Interfaccia di inserimento dati

modello studente proposto è stato impostato a partire da un esempio simile già presente in detto framework chiaramente modificato per poter essere utilizzato per le finalità richieste dalla specificità dell'approccio proposto. In figura 4.20 è rappresentata l'interfaccia da utilizzare per l'inserimento dei dati: calorie attese e calorie consumate.

Mentre le calorie attese debbono essere inputate direttamente dallo studente e calcolate attraverso la formula presente in 4.3, le calorie consumate possono sia essere inputate direttamente che caricate, attraverso l'apposito pulsante "Carica Calorie" dal sistema Apple-Nike indossato durante l'attività fisica. Nel caso in cui l'utente non vuole "svestirsi" della piattaforma Apple-Nike può utilizzare direttamente il software già presente nell'Ipod per verificare le calorie consumate. I dettagli relativi le procedure di addestramento e valutazione delle rete verranno successivamente affrontati, con precisione, nel paragrafo 4.8 Il sistema ITS completo, quindi, alla luce degli elementi proposti in questo lavoro di tesi è rappresentato in figura 4.21

4.8 La valutazione del modello studente

Completata la fase di implementazione del modello studente neuro-Fuzzy, l'ultimo step da compiere per poter apprezzare la validità della soluzio-

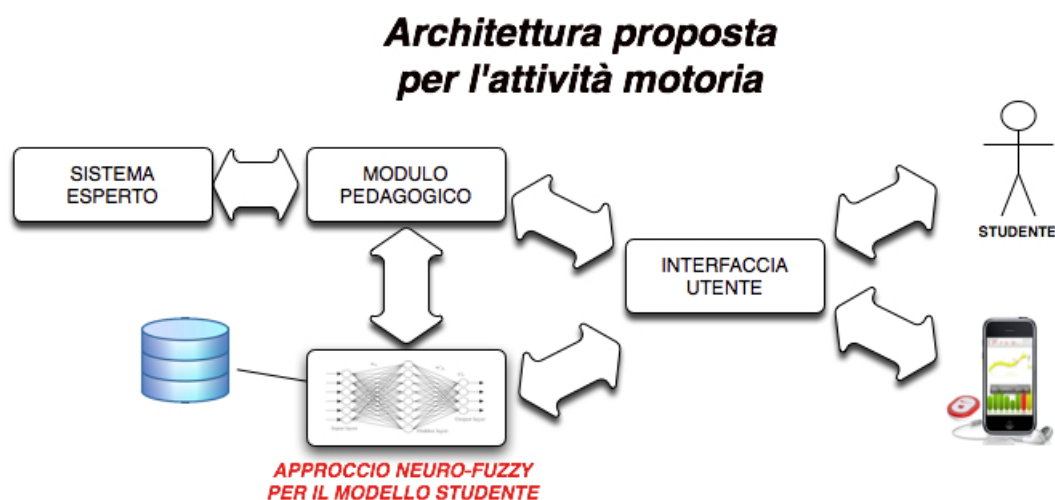


Figura 4.21: ITS a supporto dell'educazione motoria

ne proposta consiste nella valutazione del sistema in condizioni reali. Il raggiungimento di questo obiettivo, comunque è consistito in 3 step iterativi:

1. addestramento della rete;
2. simulazioni di case-studies reali;
3. sperimentazione/validazione della piattaforma con sedute di attività motoria reali.

L'approccio seguito è caratterizzato da una consecutio-temporum di azioni assolutamente imprescindibili, che trovano giusta rispondenza con altri contributi scientifici presenti in letteratura ^{29 30 31}.

²⁹Z. Sevarac, op. cit, 2006

³⁰R. Stathacopoulou *et al.*, *Neural network-based fuzzy modeling of the student in intelligent tutoring systems*, in *Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks*, 5, 1999, pp.3517-3521

³¹R. Stathacopoulou *et al.*, *Neuro-fuzzy knowledge processing in intelligent learning environments for improved student diagnosis*, in *Journal of Information Sciences*, 170, n.2, 2005, pp. 273-307

4.8.1 Addestramento della rete

Trattandosi di una rete neurale, il primo step è consistito nella fase di addestramento. La rete è di tipo multi-layer feedforward, per cui, come descritto nei paragrafi precedenti, si è deciso di utilizzare un algoritmo di addestramento di tipo back-propagation. Il primo training data-set utilizzato contiene 150 ed è stato automaticamente generato dalla piattaforma utilizzata per l'implementazione della rete; gli abbinamenti input-output, richiesti dall'algoritmo di addestramento, sono stati generati sulla base dei valori delle membership e delle regole Fuzzy impostate nel sistema. L'addestramento con detto dataset, però, non garantiva un'adeguata convergenza della rete. Successivamente, intervenendo con alcuni piccoli aggiustamenti al dataset proposto ne è stato definito un secondo, inserito in appendice a questo lavoro di tesi (Appendice A), che garantisce un addestramento senza errori in un numero limitato di iterazioni iterazioni: l'assenza di errori conferma la non contraddittorietà delle regole scelte per il motore inferenziale e, quindi, l'ottimo processo di definizione sia delle regole che delle membership, in termini di forme e range. Il processo di addestramento ha avuto come obiettivo il minimizzare dell'errore per un valore pari a 0,05. Nelle figure 4.22 e 4.23 è possibile apprezzare una vista dell'interfaccia *SmartNet*, presente nella piattaforma *Nuroph* adoperata, utilizzata per la fase di addestramento della rete.

In evidenza cromatica rispetto agli altri sono rappresentati i neuroni che si attivano per classificare, correttamente, i due parametri di input inseriti. La figura 4.22 mostra la valutazione ottenuta con i valori 9 e 5, che a seguito dell'attivazione della regola 1 è *insufficiente*; nella figura 4.23, invece, così come previsto dalla regola 15. con parametri d'ingresso 63 e 60 la valutazione è *eccellente*.

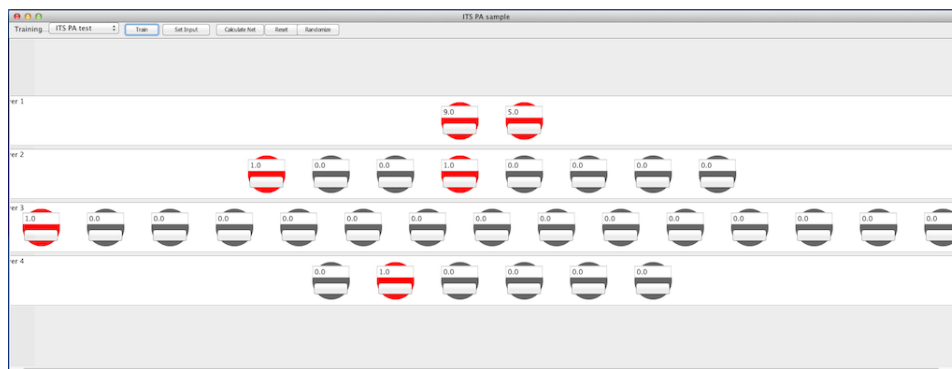


Figura 4.22: SmartNet: interfaccia per l'addestramento della rete neurale - Case 1

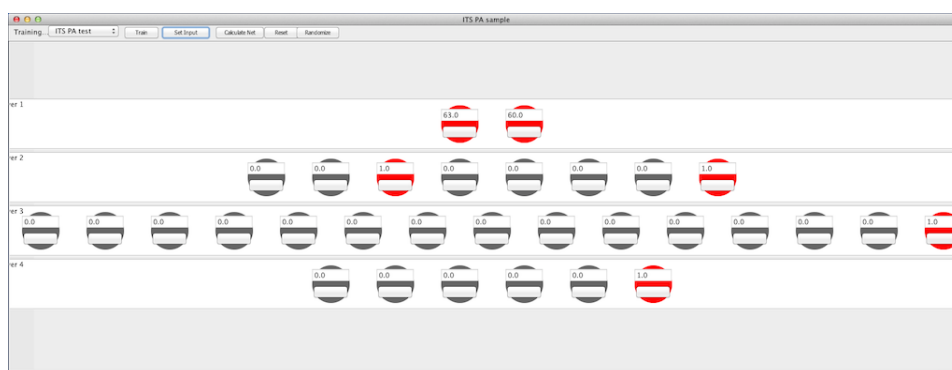
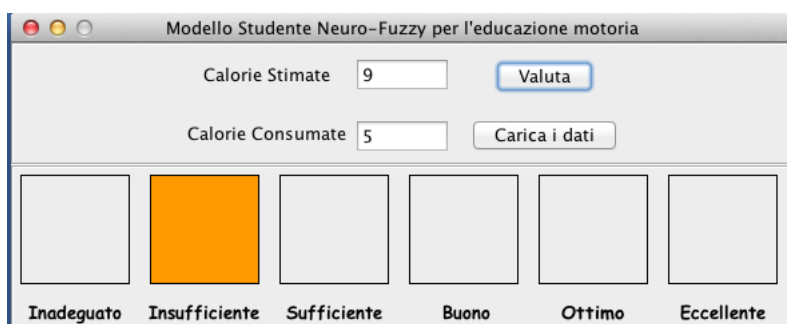
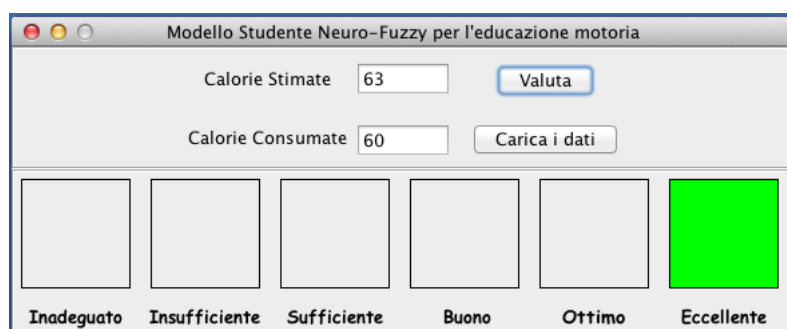


Figura 4.23: SmartNet: interfaccia per l'addestramento della rete neurale - Case 2

4.8.2 Simulazioni di case studies

Ultimata la fase di addestramento della rete, il secondo step del processo di valutazione del sistema proposto è stato basato su un approccio simulativo, già utilizzato in lavori analoghi ³². Attraverso un confronto con docenti universitari dei settori M-EDF/01 e M-EDF/02, segnatamente “Metodi e Didattiche delle attività motorie e Metodi e didattiche delle attività sportive”, sono stati definiti due dataset, di 25 entry cadauno, in cui sono stati scelti, per le stesse tipologie di attività fisica, diversi parametri di input-output. Nel primo, ognuno dei parametri di input scelti prevedeva l'appartenenza univoca con una sezione specifica delle membership, per cui non era possibile prevedere un grado di appartenenza ad una codifica inferiore allo 0,5. Ad esempio, non sono stati inseriti valori, come 50 e 25 rispettivamente, per cui potevano essere attivate, contemporaneamente, le categorie *medie e alte* del grafico in figura 4.17 e/o le categorie *basse e medie* del grafico in figura 4.18. Il test effettuato con questo primo dataset ha avuto una corrispondenza dei risultati attesi pari al 100%, il che era attendibile a seguito dei valori di convergenza ottenuti con la procedura di addestramento effettuata. Il II dataset, invece, conteneva alcuni elementi in cui era possibile l'adesione, con differente grado, a più di una delle diverse regioni che costituiscono le membership sviluppate. Il risultato ottenuto dimostrò una classificazione non univoca dei valori di input. Insieme ai docenti che hanno definito il dataset, quindi, abbiamo deciso quali delle due classificazioni attivate era corretta per i valori di input attesi e, questa informazione, venne aggiunta e/o aggiustata nel dataset di addestramento che venne nuovamente “somministrato” alla rete. Un successivo test adoperando il II dataset ha fornito come risultato una corrispondenza alle classificazioni attese pari al 99%. Nelle figure 4.24 e 4.25 sono proposte le classificazioni proposte dal sistema in risposta a due diverse coppie di input presenti nei dataset definiti.

³²Z. Sevarac, op. cit., 2006

Figura 4.24: Esempio di classificazione *Insufficiente*Figura 4.25: Esempio di classificazione *Eccellente*

4.8.3 Sperimentazione/Validazione in scenari reali

Il terzo step di valutazione è stato condotto in uno scenario reale, cioè sono stati coinvolti alcuni studenti e sono stati fatti eseguire loro specifici esercizi. A differenza di quanto possibile con approcci analoghi per altre discipline, come quelli proposti per l'informatica, la matematica e la fisica³³ ³⁴, la valutazione delle attività motorie, per mezzo dei parametri scelti come input del modello studente proposto, non può prescindere dall'utilizzo di strumenti differenti dai questionari di valutazione, o da esercizi specifici di matematica. In particolare, per le finalità proposte, si è scelto, di concerto con i docenti interessati, di utilizzare una piattaforma tecnologica di *entertainment*, ampiamente diffusa tra gli adolescenti, cioè la Nintendo WiiTM. E' opportuno sottolineare, comunque, che l'utilizzo della Wii rappresenta per noi solo un'alternativa allo svolgimento dell'attività motoria e sportiva in luoghi aperti e con strutture adeguate: la Wii è lo strumento con cui sperimentare la soluzione proposta, non di certo la soluzione perfetta per incrementare il livello di attività fisica dei giovani. La console Nintendo Wii è stata sviluppata per consentire ai fruitori di approcciarsi al mondo dei video-game con una nuova modalità d'interazione, non più limitata all'utilizzo di un joystick o di un jaypad, ma interessata dal movimento del corpo, o di parte di esso. Nel dettaglio i giocatori tengono in mano un *controller*, dotato di interfaccia ad infrarossi per la comunicazione con la console, di un accelerometro triassiale e di alcuni pulsanti, che è possibile apprezzare in figura 4.26. L'interazione con il videogame avviene per mezzo dei movimenti descritti dalla mano che impugna detto controller, movimenti che vengono ricostruiti utilizzando le variazioni di posizione sperimentate, nelle tre coordinate, dall'accelerometro. Questa nuova forma di interazione ha determinato l'affiliazione della console Wii al settore dei

³³R. Stathacopoulou *et al.*, op. cit., 2005

³⁴Z. Sevarac, op. cit., 2006



Figura 4.26: Controller Wii

AVG - Active Video Game. Particolarmente interessanti, per gli obiettivi di valutazione prefissati sono risultate le applicazioni (o video-game) *Wii Fit* e *EA SPORTS Active - Personal Trainer*. L'applicazione *WiiFit* consente di *conciliare l'allenamento da palestra con il divertimento di una console casalinga*.³⁵. Abbinata all'applicazione è venduta un'ulteriore periferica da utilizzare con la console, cioè la *Balance Board*, raffigurata in 4.27. La *Balance Board* utilizza un sistema di comunicazione bluetooth per interfacciarsi con la console ed è dotata di 4 sensori di pressione utilizzati per misurare il centro di gravità e il peso del soggetto che vi è sopra. Il videogame *Wii Fit* contiene una lista di possibili esercizi, suddivisi in esercizi di equilibrio, esercizi per lo yoga, esercizi di allenamento/potenziamento e esercizi aerobici. Particolarmente significativo è, inoltre, la possibilità fornita dal gioco di poter determinare, con significativa precisione, il livello di BMI del soggetto prima dell'avvio dell'attività fisica, utilizzando la Balan-

³⁵Fonte Sito WiiItalia - <http://www.wiitalia.it/games/wii/wii-fit/>



Figura 4.27: Wii Fit Balance Board

ce Board. Questo ci permetterà di poter calcolare, attraverso la relazione 4.3 e il compendio dell'attività fisica, la quantità di consumo calorico da attenderci per gli esercizi che saranno condotti dai soggetti interessati. La scelta degli esercizi, dopo attenta analisi condotta dai docenti che hanno collaborato con me in questo percorso, è ricaduta su esercizi presenti nell'altra applicazione per la Wii citata, cioè EA Personal Trainer. In questa applicazione, infatti, è possibile definire programmi di allenamento personalizzati tra le attività proposte, suddivise in *Cardio Running*, *Esercizi da palestra*, *Simulazioni di sport* e *Stretching*. In particolare sono stati scelti alcuni degli esercizi proposti ed è stato organizzato un allenamento, di durata variabile tra i 25 e i 30 minuti, da sottoporre ad alcuni allievi di una scuola media. Gli stessi e le loro famiglie sono stati in precedenza informati sulle finalità della ricerca, hanno fatto firmare ai propri genitori un consenso informato (vedi Appendice B) per la riservatezza dei dati ed hanno giocato, in maniera libera ed autonoma, con la piattaforma, al fine di familiarizzare con le attività proposte e le modalità d'interazione. Durante questa fase, inoltre, gli stessi hanno indossato la piattaforma Apple-Nike, descritta in 4.7.1, al

fine di indossarla, durante il test, senza alcuna sensazione di ostruzionismo o intrusività. Inoltre, ai fini di una possibile successiva valutazione anche qualitativa del movimento, lo scenario utilizzato per l'esecuzione dei test è stato ripreso da una videocamera. Il programma a cui sono stati sottoposti gli allievi è stato costruito sulla base delle attività presenti nelle 4 categorie indicate in precedenza; ogni due attività è stata prevista una fase di recupero attivo di durata variabile. Ad ogni attività, inoltre, è stato abbinato la relativa codifica rispetto al compendio per le attività motorie presentato nel paragrafo 4.6. Nell'appendice C sono descritte le caratteristiche degli esercizi proposti. Nella tabella 4.4 sono elencati, invece, le attività proposte, con i relativi tempi, le calorie da bruciare previste dall'applicazione e gli estremi delle codifiche del compendio: La realizzazione di un programma di questo tipo incide sulla responsabilizzazione individuale del ragazzo, che dovrà impostare la Wii in base alle sue caratteristiche morfofunzionali e all'effettiva possibilità di realizzare quel tipo e quell'intensità di lavoro in rapporto ai tempi di impegno stabiliti e alle relative pause di recupero. I risultati del lavoro svolto diventeranno, pertanto, un feedback intrinseco che da un lato rassicurano il ragazzo sulla corretta programmazione effettuata, evidenziando, nel contempo, una condizione in cui la console/strumento è gestita dall'utilizzatore e non il contrario, come troppo spesso, purtroppo, si verifica. Tutto ciò necessita della collaborazione del docente di educazione fisica che dovrà aiutare il ragazzo a prendere consapevolezza del proprio livello di abilità attraverso le correlazioni realizzate sui risultati dei test di valutazione effettuati anche scuola. Alla fine della sessione di allenamenti proposti con il programma indicato nella tabella 4.4, i risultati ottenuti sono stati inseriti nel modello studente sviluppato e si è ottenuta una classificazione dell'attività fisica esattamente coincidente con quanto atteso dai docenti che hanno supervisionato i test. Inoltre il consumo calorico stimato dalla piattaforma Apple-Nike è risultato coincidente con quello previsto dal

Attività	calorie	Durata (sec)	Codice	MET
Corsa Lunga	17,8	104	341481	7.7
Recupero	-	20-40	240051	2.9
Corsa lunga casuale	25,6	210	341482	8.5
Recupero	-	40-50	240051	2.9
Flessioni alternate delle braccia	5.1	140	331961	2.1
Recupero	-	20-40	240051	2.9
Bersagli + Sacco	5.9	57	341327	7.5
Recupero	-	50-140	240051	2.9
Salti alternati	4.7	32	341651	4.5
Recupero	-	20-40	240051	2.9
Ballo base	4.3	73	341132	5.5
Recupero	-	20-40	240051	2.9
Basket: passaggio	3,1	50	342031	7.2
Recupero	-	20-40	240051	2.9
Basket:tiro	4,1	76	342031	7.2
Recupero	-	20-40	240051	2.9
Basket:tiro+passaggio	5,1	63	342032	8.2
Recupero	-	20-40	240051	2.9
Basket: casuale	6,11	76	342032	8.2
Recupero	-	20-40	240051	2.9
Basket: casuale	6,11	76	342032	8.2
Recupero	-	20-40	240051	2.9
Corsa Lunga	17.8	104	341481	7.7
Stretching libero	-	180	331590	2.5

Tabella 4.4: Programma di allenamento

videogioco, con una differenza massima nell'ordine del 2%, il che può essere considerato un buon elemento di validazione. Infatti, detta differenza, viene completamente annullata, in termini di significatività ai fini valutativi, dalla gestione Fuzzy dei parametri in ingresso.

Capitolo 5

Conclusioni

In questo lavoro di tesi è stato presentato un approccio informatico a supporto della didattica dell'attività motoria e sportiva nei percorsi curricolari della scuola. L'informatica e le nuove tecnologie, come è stato ampiamente descritto, sono ormai elemento imprescindibile della società e si stanno affermando all'interno di detti percorsi formativi, ancor più, paradossalmente, dell'educazione fisica stessa. Infatti, nelle scuole primarie italiane non sono sempre previste le ore per l'educazione motoria, mentre negli altri ordini scolastici, al massimo, viene praticata dagli studenti per un'ora settimanale. L'indirizzo della scuola italiana, come dimostrato dalle linee guida europee descritte in questo lavoro, è sicuramente in controtendenza rispetto alle diffuse patologie riscontrate nella società attuale, come sovrappeso e obesità, e alla necessità di favorire, da parte di tutti gli stakeholders coinvolti, lo svolgimento, da parte dei giovani, di attività motorie e sportive. Sulla base di queste riflessioni, quindi, la proposta di questa tesi mira a rappresentare una possibile coniugazione tra questi due mondi che, sebbene lontani, possono incontrarsi in interessanti e proficui elementi di interazione. Tra le soluzioni informatiche proposte in ambito didattico-formativo, gli ITS, probabilmente, sembrano essere in ritardo rispetto a tecnologie come l'e-learning, ma rappresentano, comunque, uno strumento utile per aiutare gli

studenti nei processi di crescita culturale. Nello specifico della soluzione proposta in questo lavoro, si è pensato di sviluppare una nuova concezione del modello studente degli ITS, non presente in letteratura con questa specificità, che potesse essere in linea con gli indirizzi internazionali in favore dell'attività fisica dei giovani. Il modello studente per la valutazione dell'attività motoria e sportiva, infatti, sebbene non si vuole assolutamente sostituire alle sapienti e compiute valutazioni offerte dai docenti, si propone come uno strumento piacevole, attuale, ma soprattutto utile, che gli studenti possono utilizzare per svolgere le attività di *educazione motoria*, sia fuori che dentro gli ambienti scolastici, così come svolgono i compiti di matematica o di fisica. La capacità del sistema di valutare, in maniera oggettiva, il risultato dell'allenamento proposto, inoltre, è assolutamente concorde con le specifiche sulla valutazione motoria proposte dalle comunità scientifiche di riferimento. Questo strumento, che come tale può essere utilizzato dagli studenti per migliorare la consapevolezza delle proprie attitudini nelle diverse attività motorie e sportive, fornisce loro feedback precisi e puntuali su quelli che realmente sono i parametri caratterizzanti la loro attività. I docenti, invece, possono sfruttare questa tecnologia sia per monitorare, anche a distanza, le attività che svolgono i propri discenti al di fuori dell'orario scolastico, sia per supportare o rivedere, all'uopo, la valutazione proposta per gli esercizi oggetto di verifica. Le tecnologie di soft-computing adoperate per l'implementazione del modello studente, infatti, forniscono elementi di valutazione oggettivi e non condizionati da altri fattori se non quelli direttamente connessi all'esperienza e alla conoscenza derivate dalla definizione, da parte del docente stesso, del motore inferenziale e dalle regole di addestramento della rete. Questa specificità può permettere, quindi, al docente di utilizzare i risultati ottenuti a supporto dei processi valutativi ordinari. Lo scenario reale in cui è stata valutata l'architettura definita può rappresentare una valida e temporanea alternativa allo svolgimento dell'attività motoria

in spazi aperti. L'utilizzo delle tecnologie di tipo AVG, come nello specifico esempio proposto, rappresenta una soluzione utile ed efficace dell'utilizzo delle console che però, in alcun caso, sono proposte dal sottoscritto come elemento di sostituzione rispetto all'attività fisica condotta in spazi aperti e, soprattutto, in compagnia di altri giovani. La soluzione presentata, invece, rappresenta una base di partenza su cui poter sviluppare altri spunti di ricerca e riflessione. In primo luogo, sarà necessario verificare l'affidabilità della piattaforma neuro-fuzzy con un numero più elevato di soggetti in valutazione. Successivamente, sempre in riferimento a detta architettura, è già in fase di studio la ricerca di nuovi parametri con cui poter valutare l'attività fisica in integrazione, o in parziale sostituzione, dei parametri utilizzati in questa esposizione. Inoltre, come già accennato, è interessante associare, alle valutazioni quantitative prodotte dal modello studente, un approccio più qualitativo, utilizzando strumenti di video-ripresa, come già proposto in alcuni contributi scientifici ¹. In tale direzione è da considerarsi, inoltre, una nuova linea di ricerca che ho intenzione di sviluppare utilizzando, al posto della console Nintendo Wii, la piattaforma Xbox KinectTM, anch'essa proposta come soluzione di Active Video Gaming, ma dotata, direttamente, di due telecamere con cui, attraverso approcci anche di analisi marker-less, poter affrontare un'analisi di tipo quali-quantitativo. In conclusione di questo lavoro, che rappresenta anche la fase finale di un percorso triennale di studi sui temi trattati, posso affermare che il mondo della scuola, per favorire la formazione di un cittadino sano e *connesso*, non può prescindere dall'affrontare con estremo rigore, competenza e costanza sia gli aspetti educativi delle attività motorie e sportive che quelli dell'informatica e delle nuove tecnologie, partendo dal presupposto che l'una non esclude l'altra ma, al massimo, la integra...

¹P. Mango *et al.*, *Performance analysis as a tool to support the teaching didactic*, in *Procedia- Social and Behavioral Sciences*, 9, n.0, 2010, pp. 194-197

Appendice A

Dataset

Di seguito il dataset utilizzato per l'addestramento della rete neurale.

Input1	Input2	Inad.	Insuffic.	Suffici.	Buono	Ottimo	Eccell.	Regola
22.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6
22.5	5.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
22.5	9.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
27.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
27.0	5.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
27.0	9.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
45.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
45.0	5.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
45.0	9.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
47.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11
47.5	5.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
47.5	9.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
54.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
54.0	5.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
54.0	9.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
63.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
63.0	5.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
63.0	9.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
9.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1
9.0	5.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
9.0	9.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
18.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
18.0	5.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
18.0	9.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
22.5	12.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7
22.5	24.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
22.5	25.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
27.0	12.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
27.0	24.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
27.0	25.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
45.0	12.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
45.0	24.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
45.0	25.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Tabella A.1: continua nella prossima pagina

Tabella A.1: continua dalla pagina precedente

Input1	Input2	Inad.	Insuffic.	Suffici.	Buono	Ottimo	Eccell.	Regola
47.5	12.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12
47.5	24.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
47.5	25.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
54.0	12.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
54.0	24.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
54.0	25.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
63.0	12.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
63.0	24.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
63.0	25.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
9.0	12.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	2
9.0	24.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
9.0	25.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
18.0	12.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
18.0	24.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
18.0	25.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
22.5	27.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	8
22.5	39.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
22.5	40.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
27.0	27.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
27.0	39.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
27.0	40.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
45.0	27.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
45.0	39.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
45.0	40.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
47.5	27.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	13
47.5	39.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
47.5	40.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
54.0	27.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
54.0	39.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
54.0	40.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
63.0	27.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
63.0	39.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
63.0	40.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
9.0	27.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	3
9.0	39.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
9.0	40.5	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
18.0	27.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
18.0	39.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
18.0	40.5	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
22.5	42.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	9
22.5	54.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
22.5	57.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
27.0	42.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
27.0	54.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
27.0	57.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
45.0	42.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
45.0	54.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
45.0	57.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
9.0	42.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	4
9.0	54.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	
9.0	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	
18.0	42.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	
18.0	54.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	
18.0	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	

Tabella A.1: continua nella prossima pagina

Tabella A.1: continua dalla pagina precedente

Input1	Input2	Inad.	Insuffic.	Suffici.	Buono	Ottimo	Eccell.	Regola
18.0	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	
47.5	42.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	14
47.5	54.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	
47.5	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	
54.0	42.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	
54.0	54.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	
54.0	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	
63.0	42.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	
63.0	54.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	
63.0	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	
9.0	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	5
9.0	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
9.0	63.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
18.0	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
18.0	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
18.0	63.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
22.5	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	10
22.5	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
22.5	63.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
27.0	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
27.0	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
27.0	63.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
45.0	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
45.0	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
45.0	63.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
47.5	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	15
47.5	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
47.5	63.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
54.0	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
54.0	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
54.0	63.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
63.0	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
63.0	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
63.0	63.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	

Tabella A.1: si conclude dalla pagina precedente

Appendice B

Consenso informato



Consenso per i minori partecipanti a progetti di ricerca Anno Accademico 2010 - 2011

Il/La sottoscritto/a nato/a a il
.../.../.... e residente a - Via esercente
la potestà parentale del minore autorizza
la sua partecipazione alle attività per la ricerca/progetto “Tecnologie infor-
matiche e attività motorie”, (gestito dal Dott. Francesco Sgrò - Università
degli Studi di Salerno) nei limiti e nelle modalità fissate dalla legge.

Firma esercente la potestà parentale

.....

Appendice C

Dettagli attività fisiche

Di seguito la descrizione delle attività fisiche previste nel programma di allenamento proposto nella tabella 4.4 presente nel capitolo 4. In diversi degli esercizi proposti l'allievo dovrà seguire i movimenti eseguiti, a specchio, da un istruttore/docente virtuale.

- **Ballo base:** lo scenario in cui viene coinvolto l'allievo è quello di una palestra durante una lezione di gym dance. Seguendo le istruzioni a video e quelle vocali l'allievo, rappresentato dall'avatar in posizione frontale rispetto allo spazio di esecuzione dei gesti motori, produrrà dei semplici movimenti frontali e laterali a ritmo di musica. La corretta esecuzione degli stessi verrà prontamente evidenziata dal software, così come un'eventuale comportamento motorio errato o fuori tempo.
- **Basket: passaggio:** lo scenario in cui l'allievo dovrà muoversi è quello di un campo da basket all'aperto, tipico dei quartieri americani. L'allievo, attraverso il controller, dovrà passare la palla ai suoi compagni che appariranno nello schermo a frequenza variabile. Gli elementi caratterizzanti il gesto motorio saranno rappresentati dall'intensità con cui passerà il pallone e dal rispetto dei vincoli temporali imposti dal gioco.
- **Basket: tiro:** nel medesimo scenario dell'esercizio descritto in precedenza, l'allievo dovrà confrontarsi con i tiri a canestro, mostrando abilità sia spaziali che temporali. I parametri distintivi il gesto sono i medesimi dell'esercizio precedente, cioè intensità e frequenza di tiro.

- **Basket: passaggio+tiro:** in questo esercizio l'allievo dovrà alternare gli esercizi descritti in precedenza in maniera sequenziale nel medesimo scenario coreografico.
- **Basket casuale:** A differenza del precedente, l'allievo verrà interessato nell'esecuzione di task motori in maniera casuale, attraverso indicazioni sia vocali che visive. Inoltre, in funzione della difficoltà scelta, potrà confrontarsi con avversari che lo ostacoleranno nell'esecuzione dei task motori.
- **Bersagli + sacco:** questo esercizio è probabilmente l'emblema dell'attività cardio, in quanto l'allievo si troverà di fronte ad un sacco di pugilato da colpire. La frequenza dei colpi non è libera ma è guidata dal software. Inoltre, al fine di migliorare le capacità attentive, appariranno alcuni bersagli laterali al sacco che inviteranno l'allievo ad incrociare i movimenti.
- **Corsa lunga:** questo esercizio consente all'allievo di correre in uno scenario tipico dell'attività di esame, cioè una pista di atletica, in cui l'avatar rappresentante l'allievo si muove insieme ad altri ipotetici corridori. La frequenza della corsa è dettata direttamente dai comandi vocali offerti dal gioco, mentre un feedback visivo lo si può avere osservando con attenzione le possibili variazioni di andatura dell'avatar. La frequenza della corsa rimarrà costante durante tutta la durata dell'esercizio.
- **Corsa lunga casuale:** lo scenario è il medesimo del precedente ma, a differenza del suddetto esercizio, la frequenza dell'andatura potrà essere cambiata, a discrezione del sistema, durante l'intera esecuzione dell'attività.
- **Flessioni alternate alle braccia:** utilizzando appositi estensori elastici, l'allievo verrà invitato ad eseguire delle semplici trazioni alle spalle, in maniera alternata. L'uso dell'elastico garantisce una forza resistente direttamente proporzionale alla pressione esercitata dall'allievo stesso che aiuta l'allievo nell'eseguire l'esercizio con sensazioni analoghe all'utilizzo dei bilancieri con i pesi, ma con meno rischi.

- **Recupero:** l'attività di recupero, essenziale per alternare le diverse fasi del programma di esercizi, conterà di un'andatura sul posto, a frequenza costante, ma di durata variabile.
- **Salti alternati:** seguendo le indicazioni su frequenza e intensità, l'allievo dovrà eseguire dei saltelli alternati sul posto.
- **Stretching Libero:** in maniera assolutamente autonoma, l'allievo dovrà eseguire degli esercizi di allungamento utili a stimolare le capacità di stiramento delle fibre muscolari. Essendo un task motorio specificatamente soggettivo, gli allievi dovranno provvedere all'esecuzione in maniera assolutamente autonoma e basata sulla propria percezione corporea del limite.

Bibliografia

- AA.VV. (1997). *Educazione motoria di base*. Roma: Coni-IEI.
- Ainsworth, B., Haskell, W., Leon, A., Jacobs, D., Montoye, H., Sallis, J., et al. (1993). Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Medicine and science in sports and exercise*, *25*, 71-91.
- Ainsworth, B., Haskell, W., Whitt, M., Irwin, M., Swartz, A., Strath, S., et al. (2000). Compendium of physical activities: an update of activity codes and met intensities. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *32*(9), S48-S65.
- Ali, M., & Ghatol, A. (2004). A neuro-fuzzy inference system for student modeling in web-based intelligent tutoring systems. In *Proceedings of international conference on cognitive systems* (p. 14-19).
- Arcelli, E., & Ferretti, F. (1993). *Calcio - preparazione atletica*. Corriere Edizioni.
- Armstrong, N. (1998). Young people's physical activity patterns as assessed by heart rate monitoring. *J Sports Sci*, *16*, S9-S16.
- Armstrong, N., Balding, J., Gentle, P., & al. (1990). Patterns of physical activity among 11 to 16 year old british children. *BMJ*, *301*, 203-205.
- Armstrong, N., & Bray, S. (1990). Primary schoolchildren's physical activity patterns during autumn and summer. *Bull Phys Educ*, *26*, 23-26.
- Armstrong, N., & Bray, S. (1991). Physical activity patterns defined by continuous heart rate monitoring. *Arch Dis Child*, *66*, 245-247.

- Armstrong, N., & Welsman, J. (2006). The physical activity patterns of european youth with reference to methods of assessment. *Sport Medicine*, 36(12), 1067-1082.
- Bar-or, O. (1983). *Pediatric sport medicine for the practitioner*. New York: Springer-Verlag.
- Bennett, F. (1999). Computers as tutors: solving the crisis in education. *Educational Technology & Society*, 2, 4.
- Berners-Lee, T., Hendler, J., & Lassila, O. (2001). The semantic web. *Scientific American*, 284(5), 34-43.
- American College of Sport Medicine. (1988). Physical fitness in children and youth. *Med Sci Sports Exerc*, 20, 422-3.
- De Pascalis, P. (2010). *Il giovane campione*. Roma: Aracne.
- Biddle, S., Mitchel, J., & Armstrong, N. (1991). The assessment of physical activity in children: a comparison of continuous heart rate monitoring, self-report and interview techniques. *Br J Phys Educ Res Suppl*, 10, 4-8.
- Biddle, S., Sallis, J., & Cavill, N. (1998). *Young and active?* London: Health Education Authority.
- Bonaiuti, G. (2006). *E-learning 2.0*. Trento: Erickson.
- Bruner, J. (1960). *The process of education*. Harvard University Press.
- Brunetti, G., La Torre, A., & Vistin, G. (2010). Le basi della prestazione sportiva. In *Allenare l'atleta* (p. 9-36). Roma: SdS.
- Burns, H., & Capps, C. (1989). Foundations of intelligent tutoring systems: An introduction. *Foundations of intelligent tutoring systems*, 1-18.
- Cale, L., & Harris, J. (2001). Exercise recommendations for young people: an update. *Health Education*, 101, 126-138.
- Campora, F. (2006, Marzo 9). *La marcia dei pinguini: il lungo cammino del software libero e del sistema operativo linux alla conquista della scuola primaria in italia - prima parte*. (Rubrica OSS scuola primaria

- di <http://www.dschola.it>)
- Cardon, G., & De Bourdeaudhuij, I. (2004). A pilot study comparing pedometer counts with reported physical activity in elementary schoolchildren. *Pediatr Exerc Sci*, 16, 355-367.
- Caruso, G., Ferlino, L., & Fusillo, F. (2011). So.di.linux@cts.vr: nuove tecnologie open source per una scuola che integra. In *Didamatica2011*.
- Caspersen, C., Powell, K., & Christenson, G. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Reports*, 100(2), 126 - 131.
- Cavalli, E. (2000). Metodologia e tecnologia per l'elearning. In *Atti del xxxviii congresso aica* (p. 759-770).
- Clancey, W. J. (1986). Qualitative student models. In *Annual review of computer science* (p. 381-450). Palo Alto, CA, USA: Annual Reviews Inc.
- Currie, C., Roberts, C., Morgan, A., & al. (2004). *Young people's health in context*. (Tech. Rep.). Copenhagen: World Health Organisation.
- Demidova, E. (2007). Services for knowledge resources sharing and management in an open source infrastructure for lifelong competence development. In *Icalt*.
- Di Mario, A. (2010). La forza e la velocità-rapidità. In *Allenare l'atleta* (p. 79-122). Roma: SdS.
- Ekelund, U., Poortvleit, E., Nilsson, A., & al. (2001). Physical activity in relation to aerobic fitness and body fat in 14-to-15 year-old boys and girls. *Eur J Appl Physiol*, 85, 195-201.
- Ekelund, U., Sjostrom, M., Yngve, A., & al. (2001). Physical activity assessed by activity monitor and doubly labeled water in children. *Med Sci Sports Exerc*, 33, 275-281.
- Ekelund, U., Yngve, A., & Sjostrom, M. (2004). Total daily energy expenditure and patterns of physical activity in adolescents assessed by two

- different methods. *Scand J Med Sci Sports*, 9, 257-264.
- Ekelund, U., Yngve, A., Westerterp, K., & Sjöström, M. (2002). Energy expenditure assessed by heart rate and doubly labeled water in young athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 34, 1360-1366.
- Emons, H., Groenenboom, D., Westerterp, K., & al. (1992). Comparison of heart rate monitoring combined with indirect calorimetry and the doubly labelled water method for the measurement of energy expenditure in children. *Eur J Appl Physiol*, 65, 99-103.
- Eston, R., Rowlands, A., & Ingledeew, D. (1998). Validity of heart rate, pedometry, and accelerometry for predicting the energy cost of children's activity. *J Appl Physiol*, 84, 362-371.
- Faiella, F. (2010). Apprendimento, tecnologie e scuola nella società della conoscenza. *TD - Tecnologie Didattiche*, 50(2), 25-29.
- Falgairrette, G., Bedu, M., Fellmann, N., & al. (1991). Bioenergetic profile in 144 boys aged from 6 to 15 years with special reference to sexual maturation. *Eur J Appl Physiol*, 62, 151-156.
- Ferri, P. (2011). *Nativi digitali*. Milano: Bruno Mondadori.
- Freedson, P., Pober, D., & Janz, K. (2005). Calibration of accelerometer output for children. *Med Sci Sports Exerc*, 37 (11 Suppl), S523-S530.
- Frohner, G. (2003). *Principi dell'allenamento giovanile*. Perugia: Calzetti-Mariucci.
- Fundamental motor skills - a manual for classroom teacher (Computer software manual No. ISBN 0-7306-8916-6). (1996).
- Galliani, L. (2003). *Valutare l'e-learning*. Lecce: Pensa Multimedia.
- Galliani, L. (2006). Metodologie integrate (in aula, in rete, sul campo) per la formazione continua degli insegnanti. *Generazioni*, 5, 245-270.
- Galliani, L. (2009). *Web ontology della valutazione educativa*. Lecce: Pensa Multimedia.
- Gavarry, O., Bernard, T., Giacomoni, M., & al. (1998). Continuous heart

- rate monitoring over 1 week in teenagers aged 11-16 years. *Eur J Appl Physiol*, 77, 125-132.
- Gendarmi, D. (2010). *Collaborative tagging as a community-driven approach to knowledge sharing*. Unpublished doctoral dissertation, Università degli Studi di Bari A. Moro.
- Guerra, S., Santos, P., Ribeiro, J., & al. (2003). Assessment of children's and adolescent's physical activity levels. *Eur Phys Educ Rev*, 9, 75-85.
- Gui, M. (2010). L'uso didattico delle ict. In A. Cavalli & G. Argentinì (Eds.), *Gli insegnanti italiani, come cambia il modo di fare scuola*. Milano: Il Mulino.
- Gunnell, D., Frankel, S., Peters, T., & Davevy, S. (1998). Childhood obesity and adult cardiovascular mortality: a 57-y follow-up study based on the boyd orr cohort. *American Journal Clin Nutr*, 67(6), 1111-1118.
- Harrell, J., McMurray, R., Baggett, C., Pennell, M., Pearce, P., & Bangdiwala, S. (2005). Energy costs of physical activities in children and adolescents. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(2), 329.
- Harro, M. (1997). Validation of a questionnaire to assess physical activity of children ages 4-8 years. *Res Q Exerc Sport*, 68, 259-268.
- Harro, M., & Riddoch, C. (2000). Physical activity. In N. Armstrong & W. Van Mechelen (Eds.), *Paediatric exercise science and medicine* (p. 77-84). Oxford: Oxford University Press.
- Hirtz, P. (1987). Lo sviluppo delle capacità coordinative nell'età scolare e possibilità del loro miglioramento. In Società Stampa Sportive Roma (Ed.), *Didattica del movimento*.
- Hoos, M., Gerver, W., Kester, A., & al. (2003). Physical activity levels in children and adolescents. *Int J Obes*, 27, 605-609.
- Hoos, M., Pasqui, G., Gerver, W., & al. (2003). Physical activity level measured by doubly labeled water and accelerometry in children. *Eur J Appl Physiol*, 89, 624-626.

- Impedovo, S., Campanella, P., Facchini, G., Pirlo, G., Modugno, R., & Sarcinella, L. (2011). Learning management systems: un'analisi comparativa delle piattaforme open-source e proprietarie. In *Didamatica2011*.
- ISTAT. (2010). *Cittadini e nuove tecnologie* (Tech. Rep.).
- Livingstone, M., Coward, A., Prentice, A., & al. (1992). Daily energy expenditure in free-living children: comparison of heart rate monitoring with the doubly labelled water method. *Am J Clin Nutr*, *56*, 343-352.
- Livingstone, M., Prentice, A., Coward, A., Ceesay, S., Strain, J., & al. (1990). Simultaneous measurement of free-living energy expenditure by the doubly labelled method and heart rate monitoring. *Am J Clin Nutr*, *52*, 59-65.
- Livingstone, S. (2010). *Opportunities and risks for children* (K. online, Ed.). Policy Press.
- Loucaides, C., Chedzoy, S., & Bennett, N. (2003). Pedometer-assessed physical (ambulatory) activity in cypriot children. *Eur Phys Educ Rev*, *9*, 43-55.
- Louie, L., Eston, R., & Rowlands, A. (1999). Validity of heart rate, pedometry and accelerometry for estimating the energy cost of activity in hong kong chinese boys. *Pediatr Exerc Sci*, *11*, 229-239.
- Mallam, K., Metcalf, B., Kirby, J., & al. (2003). Contribution of timet- abled physical education to total physical activity in primary schoolchildren: cross-sectional study. *BMJ*, *327*, 592-593.
- Mango, P., Sgrò, F., Pignato, S., Piccolo, A. L., Nicolosi, S., Schembri, R., et al. (2010). Performance analysis as a tool to support the teaching didactic. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *9*(0), 194 - 197.
- Manios, Y., Kafatos, A., & Markakis, G. (1998). Physical activity of 6-year-old children: validation of two proxy reports. *Pediatr Exerc Sci*, *10*, 176-188.

- McCalla, G. (1993). The central importance of student modelling to intelligent tutoring. *New Directions for Intelligent Tutoring Systems*, 91, 107–131.
- McManus, A., & Armstrong, N. (1995). Patterns of physical activity among primary schoolchildren. In R. FJ (Ed.), *Children in sport* (p. 17-23). Bath: University Press.
- McTaggart, J. (2001). Intelligent tutoring systems and education for the future. *512X Literature Review April*, 30, 2.
- Montoye, H., & Taylor, H. (1984). Measurement of physical activity in population studies: a review. *Human Biology*, 56, 195-216.
- Mota, P., J. Santos, Guerra, S., & al. (2002). Differences of daily physical activity levels of children according to body mass index. *Pediatr Exerc Sci*, 14, 442-452.
- Nilsson, A., Ekelund, U., Yngve, A., & al. (2002). Assessing physical activity among children with accelerometers using different time sampling intervals and placements. *Pediatr Exerc Sci*, 14, 87-96.
- Norman, D. (1996). *La caffettiera del masochista: psicopatologia degli oggetti quotidiani*. Milano: Giunti Editore.
- Notti, A. (2009). *Valutazione educativa: sperimentazione dell'ontologia*. Lecce: Pensa Multimedia.
- O'Reilly, T. (2007). What is web 2.0: Design patterns and business models for the next generation of software. *International Journal of Digital Economics*(65), 17-37.
- O'Connor, J., Ball, E., Steinbeck, K., & al. (2003). Measuring physical activity in children: a comparison of four different methods. *Pediatr Exerc Sci*, 15, 202-215.
- Paparella, N. (2008). Going beyond accessibility. an integration perspective through ict. In L. . E. R. W. Joseph (Ed.), *Proceedings of ed-media 2008* (p. 3876-3879).

- Paparella, N. (2009). School and media curriculum. In *Rem - research on education and media* (Vol. 1/2009, p. 81-90). Trento: Erickson Edizioni.
- Pate, R. (1993). Physical activity assessment in children and adolescents. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 33, 321-326.
- Pate, R., Freedson, P., Sallis, J., & al. (2002). Compliance with physical activity guidelines: prevalence in a population of children and youth. *Ann Epidemiol*, 12, 303-308.
- Pate, R., Trost, S., & Williams, C. (1998). Critique of existing guidelines for physical activity in young people. In S. Biddle, J. Sallis, & N. Cavil (Eds.), *Young and active?* (p. 162-176). London: Health Education Authority.
- Pauhl, J., Greaves, K., Hoyt, M., & al. (1990). Children's activity rating scale (cars): description and calibration. *Res Q Exerc Sport*, 61, 26-36.
- Prensky, M. (2001). Digital natives, digital immigrants - first part. In *On the horizon* (Vol. 9, p. 1-6).
- Raudsepp, L., & Pall, P. (1998). Reproducibility and stability of physical activity in children. *Pediatr Exerc Sci*, 10, 320-326.
- Raustorp, A., Pangrazi, R., & Stahle, A. (2004). Physical activity level and body mass index among schoolchildren in south eastern sweden. *Acta Paediatr*, 93, 400-404.
- Ribeiro, J., Sousa, M., Sà, C., Santos, P., Silva, P., Aires, L., et al. (2009). Patterns of moderate to vigorous physical activities and daily compliance with guidelines for youth. *Open Sport Sciences*, 2, 71-75.
- Riddoch, C., Mahoney, C., Murphy, N., & al. (1991). The physical activity patterns of northern irish schoolchildren ages 11 to 16 years. *Pediatr Exerc Sci*, 3, 300-309.
- Ridley, K., Ainsworth, B., & Olds, T. (2008). Development of a compendium

- of energy expenditures for youth. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 5(1), 5-45.
- Ridley, K., & Olds, T. (2008). Assigning energy costs to activities in children: a review and synthesis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(8), 1439-1446.
- Rivoltella, P. C. (2008). *Ragazzi connessi. i preadolescenti italiani e i nuovi media*. Roma: Save the children.
- Rivoltella, P. C. (2009). Il senso del fare mediale. un'indagine della sirem per una ricerca nazionale sulle pratiche medialità di ragazzi, genitori e insegnanti. In *Rem - ricerche su educazione e media* (Vol. 1/2009). Trento: Erickson Edizioni.
- Rowlands, A., Eston, R., & Ingledeu, D. (1997). Measurement of physical activity in children with particular reference to the use of heart rate and pedometry. *Sport Med*, 24, 258-272.
- Sallis, J. (1991). Self-report measures of children's physical activity. *Sch Health*, 61, 215-219.
- Sallis, J., Buono, M., & Freedson, P. (1991). Bias in estimating caloric expenditure from physical activity in children. *Sports Medicine*, 11, 203-209.
- Sallis, J., & Patrick, K. (1994). Physical activity guidelines for adolescents: a consensus statement. *Pediatr Exerc Sci*, 6, 302-314.
- Sallis, J., Patrick, K., & Long, B. (1994). Overview of the international consensus on physical activity guidelines for adolescent. *Pediatr Exerc Sci*, 6, 299-302.
- Sallo, M., & Silla, R. (1997). Physical activity with moderate to vigorous intensity in preschool and first grade schoolchildren. *Pediatric Exerc Sci*, 9, 44-54.
- Santos, P., Guerra, S., Ribeiro, J., & al. (2003). Age and gender-related physical activity: a descriptive study in children using accelerometry.

- J Sports Med Phys Fitness*, 43, 85-89.
- Saris, W. (1982). *Aerobic power and daily physical activity in children*. Meppel (The Netherlands): Kripps Repro.
- Saris, W. (1985). The assessment and evaluation of daily physical activity in children: a review. *Acta Paediatrica Scand*, 318, 37-48.
- Saris, W. (1992). New development in the assessment of physical activity in children. In J. Coudert & E. Van Praagh (Eds.), *Pediatric work physiology* (p. 107-114). Paris: Masson.
- Schimdt, R., & Wrisberg, C. (2008). *Apprendimento motorio e prestazione*. Roma: Società Stampa Sportive Roma.
- Self, J. (1988). Bypassing the Intractable Problem of Student Modelling. In *Proceedings of the intelligent tutoring systems conference, , its'88* (p. 18-24).
- Sevarac, Z. (2006). Neuro fuzzy reasoner for student modeling. In *Sixth international conference on advanced learning technologies* (pp. 740–744).
- Sgrò, F., Mango, P., Pignato, S., Piccolo, A. L., Nicolosi, S., Schembri, R., et al. (2010). A neuro-fuzzy approach for student module of physical activity its. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 9(0), 189 - 193.
- Sibilio, M. (2001). *Il corpo e il movimento: elementi di teoria, tecnica e didattica delle attività motorie per l'età evolutiva*. Napoli: CUEN.
- Sibilio, M. (2002a). *Il corpo intelligente l'interazione tra le intelligenze umane in un percorso laboratoriale a carattere motorio*. Napoli: Ellissi.
- Sibilio, M. (2002b). *Il laboratorio come percorso di ricerca: l'esperienza laboratoriale a carattere motorio nel curriculum formativo degli insegnanti della scuola primaria*. Napoli: CUEN.
- Sibilio, M. (2002c). *Il laboratorio come percorso formativo itinerari laborato-*

- riali per la formazione degli insegnanti della scuola primaria*. Napoli: Ellissi.
- Sibilio, M. (2003). *Le abilità diverse - percorsi didattici di attività motorie per soggetti diversamente abili*. Napoli: Esselibri. (ISBN: 88-244-9105-7)
- Sibilio, M. (2005). *Lo sport come percorso educativo. attività sportive e forme intellettive*. Napoli: Guida.
- Sirad, J., & Pate, R. (2001). Physical activity assessment in children and adolescents. *Sport Med*, 100, 126-131.
- Skalik, K., Fromel, K., Sigmund, E., & al. (2001). Weekly physical activity in secondary school students (a comparative probe into czech, polish and swedish conditions). *Gymnica*, 31, 21-26.
- Sleap, M., & Tolfrey, K. (2001). Do 9-to-12-yr-old children meet existing physical activity recommendations for health? *Med Sci Sports Exerc*, 33, 591-596.
- Sleap, M., & Warburton, P. (1992). Physical activity levels of 5-11 year old children in england determined by continuous observation. *Res Q Exerc Sport*, 63, 238-245.
- Sleap, M., & Warburton, P. (1994). Physical activity levels of preadolescent children in england. *Br J Phys Educ Res Suppl*, 14, 2-6.
- Sleap, M., & Warburton, P. (1996). Physical activity levels of 5-11-year-old children in england: cumulative evidence from three direct observation studies. *Int J Sports Med*, 17, 248-253.
- Stallman, R. (2003). *Software libero pensiero libero* (Vol. I). Viterbo: Stampa Alternativa.
- Stallman, R. (2004). *Software libero pensiero libero* (Vol. II). Viterbo: Stampa Alternativa.
- Stathacopoulou, R., Magoulas, G., & Grigoriadou, M. (1999). Neural network-based fuzzy modeling of the student in intelligent tutoring

- systems. In *International joint conference on neural networks* (Vol. 5, pp. 3517–3521).
- Stathacopoulou, R., Magoulas, G., Grigoriadou, M., & Samarakou, M. (2005). Neuro-fuzzy knowledge processing in intelligent learning environments for improved student diagnosis. *Information Sciences*, *170*(2), 273–307.
- Strong, W., Malina, R., Blimkie, C., & al. (2005). Evidence based physical activity for school-age youth. *Pediatrics*, *146*(6), 732–737.
- Sugeno, M. (1985). *Industrial applications of fuzzy control*. North-Holland.
- Telama, R., Viikari, J., Valimaki, I., & all. (1985). Athereosclerosis precursors in finnish children and adolesctes leisure time physical activity. *Acta Pediatric Scand*, *318*, 169–180.
- Torun, B. (1983). Inaccuracy of applying energy expenditure rates of adults to children. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *38*(5), 813–815.
- Torun, B. (1990). *Energy cost of various physical activities in healthy children* (Vol. 5). Lausanne, Switzerland: International Dietary Energy Consultancy Group.
- Trost, S. (2001). Objective measurement of physical activity in youth: current issues, future directions. *Exercise Sport Sciences*, *29*, 32–36.
- Urban-Lurain, M. (1996). Intelligent tutoring systems: An historic review in the context of the development of artificial intelligence and educational psychology. *ITS*.
- Vermorel, M., Vernet, J., Bitar, A., & al. (2002). Daily energy expenditure, activity patterns, and energy costs of the various activities in french 12–16-y-old adolescents in free living conditions. *Eur J Clin Nutr*, *59*, 819–829.
- Verschuur, R., Kemper, H., & Besseling, C. (1984). Habitual physical activity and health in 13 and 14 year old teenagers. In J. Ilmarinen

- & I. Valimaki (Eds.), *Children and sport* (p. 255-261). New York: Springer-Verlag.
- Welsman, J., & Armstrong, N. (1997). Physical activity patterns of 5 to 11-year-old children. In N. Armstrong, B. Kirby, & J. Welsman (Eds.), *Children and exercise xix: promoting health and well-being* (p. 139-144). London: E and FN Spon.
- Welsman, J., & Armstrong, N. (2000). Physical activity patterns in secondary school children. *Eur J phys Educ*, 5, 145-157.
- Williams, H. G., Pfeiffer, K. A., O'Neill, J. R., Dowda, M., McIver, K. L., Brown, W. H., et al. (2008, April). Motor skill performance and physical activity in preschool children. *Obesity*, 16(6), 1421-1426.