



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

XXIV CICLO DEL DOTTORATO DI RICERCA

**SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA IN NEUROSCIENZE E SCIENZE COGNITIVE –
INDIRIZZO PSICOLOGIA**

ASPETTI TEMPORALI NELLA PERCEZIONE E NELL'ESECUZIONE DI MOVIMENTI COMPLESSI

Settore scientifico-disciplinare **M-PSI/01**

**DOTTORANDO
MAURO MURGIA**

**COORDINATORE DI INDIRIZZO
PROF. TIZIANO AGOSTINI**

**RELATORE
PROF.SSA ALESSANDRA GALMONTE**

ANNO ACCADEMICO 2010 / 2011

INDICE

<i>Introduzione</i>	pag. 1
CAPITOLO I	
<i>La psicologia sperimentale applicata al movimento umano</i>	pag. 4
1.1. Definizione dell'ambito di ricerca	pag. 4
1.2. Cenni storici	pag. 5
1.3. Metodi e paradigmi	pag. 6
1.4. Strumenti e tecnologie	pag. 11
1.5. Potenzialità applicative in ambito motorio e sportivo	pag. 13
CAPITOLO II	
<i>L'elaborazione delle informazioni temporali: differenze sensoriali</i>	pag. 16
2.1. Il concetto di tempo in psicologia	pag. 16
2.2. L'apprendimento per modellamento	pag. 17
2.3. Il controllo senso-motorio	pag. 19
2.4. Il ruolo della memoria	pag. 21
2.5. Aspetti percettivi	pag. 24
CAPITOLO III	
<i>Il movimento umano e gli aspetti temporali</i>	pag. 26
3.1. Basi biologiche e funzionali	pag. 26
3.2. Le afferenze sensoriali influenzano il ritmo del movimento?	pag. 31
3.3. La percezione del movimento umano	pag. 33
3.4. Meccanismi comuni tra percezione e azione	pag. 36

CAPITOLO IV

<i>La percezione del ritmo nei movimenti complessi</i>	pag. 41
4.1. Introduzione	pag. 41
4.2. Esperimento 1	pag. 43
4.2.1. Metodo	pag. 43
4.2.2. Risultati	pag. 46
4.2.3. Discussione dei risultati	pag. 47
4.3. Esperimento 2	pag. 49
4.3.1. Metodo	pag. 49
4.3.2. Risultati	pag. 50
4.3.3. Discussione dei risultati	pag. 54

CAPITOLO V

<i>Fattori temporali nel riconoscimento del proprio movimento</i>	pag. 56
5.1. Introduzione	pag. 56
5.2. Esperimento 3	pag. 58
5.2.1. Metodo	pag. 58
5.2.2. Risultati	pag. 62
5.2.3. Discussione dei risultati	pag. 65

CAPITOLO VI

<i>La temporalità nella riproduzione di modelli prestazionali</i>	pag. 67
6.1. Introduzione	pag. 67
6.2. Esperimento 4	pag. 70
6.2.1. Metodo	pag. 70
6.2.2. Risultati	pag. 72
6.2.3. Discussione dei risultati	pag. 76

CAPITOLO VII

<i>Conclusioni</i>	pag. 78
7.1. Considerazioni applicative	pag. 78

7.2. Parallelismo tra ricerca di base e ricerca applicata	pag. 79
7.3. Interpretazione dei risultati secondo la <i>Theory of Event Coding</i>	pag. 80
7.3.1. <i>Percezione del ritmo</i>	pag. 80
7.3.2. <i>Riproduzione dei modelli</i>	pag. 81
7.3.3. <i>Riconoscimento del proprio movimento</i>	pag. 82
7.4. Una proposta di implementazione: il modello T.I.M.E.	pag. 82
7.5. Sviluppi futuri	pag. 85

<i>Bibliografia</i>	pag. 86
----------------------------	---------

Introduzione

I processi di percezione e azione costituiscono uno dei principali campi di ricerca indagati dagli psicologi sperimentali. Tradizionalmente l'analisi di questi fenomeni avviene in laboratorio, in situazioni in cui è possibile manipolare e controllare rigorosamente tutte le variabili. Tuttavia l'attenzione al controllo delle variabili, *conditio sine qua non* per qualsiasi disciplina che intenda fregiarsi di una credibilità scientifica, ha determinato uno studio di tali processi in situazioni spesso troppo diverse dall'ambiente naturale dell'uomo. L'approccio sperimentale alla psicologia dello sport e del movimento umano, spostando il *locus* dell'analisi del comportamento da ambienti artificiali a reali, si pone come obiettivo l'ecologicità nella sperimentazione. Sebbene risulti molto difficoltoso isolare e controllare le variabili in situazioni naturalistiche, questa disciplina ha raggiunto l'obiettivo di garantire un adeguato rigore metodologico senza però rinunciare al contesto ecologico. Entro tale prospettiva sarà illustrato un lavoro che si prefigge tre macro-obiettivi.

Il primo obiettivo concerne la sperimentazione di strategie d'intervento tese a migliorare la prestazione umana in ambito motorio e sportivo. Partendo dalla letteratura del settore si evidenzieranno alcuni aspetti critici delle strategie di modeling e si cercherà di ricostruire la sequenza dei processi che determinano l'efficacia di tali tecniche, partendo dal tipo di stimolazione sensoriale, attraverso l'analisi temporale del movimento, per arrivare infine alla misurazione della prestazione.

Il secondo obiettivo riguarda il confronto tra alcuni fenomeni studiati nell'ambito della ricerca di base e analoghi fenomeni esaminati in un contesto naturalistico. Saranno evidenziate, nello specifico, alcune differenze di modalità sensoriale nell'elaborazione del materiale temporale e si dimostrerà come sia possibile riscontrare effetti paralleli, aumentando progressivamente il grado di complessità dell'oggetto di studio.

Il terzo obiettivo, *dulcis in fundo*, rappresenta il cuore del presente lavoro e consiste nell'interpretare le evidenze sperimentali derivanti dagli esperimenti sul campo entro un unico corpus teorico. L'inquadramento dei risultati in uno schema teorico unitario permetterà quindi di proporre un'implementazione dello stesso relativamente alla percezione e all'azione degli aspetti temporali legati al movimento umano.

L'elaborato nel suo complesso è strutturato in sette capitoli, tre teorici, tre sperimentali e uno conclusivo. Il primo capitolo descrive l'approccio generale che sarà

utilizzato negli esperimenti, definendo pertanto l'approccio sperimentale alla psicologia dello sport e del movimento umano. In particolare, dopo una breve introduzione storica, verranno descritti i principali ambiti di indagine che rientrano tra gli interessi di questa disciplina e si offrirà una descrizione dei metodi e dei paradigmi di ricerca più utilizzati. Verrà dedicato ampio spazio anche agli strumenti utilizzati, evidenziando analogie e differenze rispetto a quelli tradizionali della psicologia sperimentale di laboratorio.

Il secondo capitolo si focalizza sull'elaborazione delle informazioni temporali e, nello specifico, descrive le differenze di modalità sensoriale esaminando in modo particolare la capacità dell'uomo di processare questi stimoli presentati in forma uditiva e visiva. Si illustrerà come la modalità di presentazione determini delle differenze in diversi processi cognitivi, attraverso un'analisi della letteratura di studi condotti sull'apprendimento di sequenze ritmiche, sul controllo senso-motorio, sulla memoria di lavoro e sulla percezione. Da tale analisi emergerà un generale *bias* a favore della modalità acustica.

Il terzo capitolo descrive il movimento umano dal punto di vista cognitivo e biologico, dedicando ampio spazio agli aspetti temporali legati all'azione. Verranno brevemente illustrate le basi anatomo-fisiologiche del movimento e alcuni modelli cognitivi che ne spiegano gli aspetti funzionali. Si esporranno anche gli aspetti percettivi del movimento umano e l'influenza dei sistemi motori nei processi di acquisizione delle informazioni. Si descriverà infine la teoria della codifica degli eventi (Hommel et al., 2001) la quale costituisce il background entro il quale si interpreteranno i risultati.

Nel quarto capitolo si presenterà il primo lavoro empirico sulla percezione del ritmo associato al movimento umano. Attraverso due esperimenti si valuterà la capacità delle persone esperte e non esperte di discriminare tra ritmi associati a sequenze di passi di tip-tap eseguiti da un'insegnante. Tale abilità verrà analizzata sia attraverso il dominio visivo sia attraverso quello acustico, evidenziando quindi le differenze di modalità sensoriale. In particolare si confermerà la maggior sensibilità del sistema acustico rispetto a quello visivo, estendendo la validità esterna di precedenti lavori condotti in laboratorio.

Il quinto capitolo propone un esperimento che studierà la capacità di golfisti esperti di riconoscere il proprio movimento dal suono prodotto dalla mazza. Manipolando gli aspetti temporali di suoni propri e di altri golfisti, si valuterà quindi l'abilità dei partecipanti nel confrontare la struttura temporale del movimento

somministrata acusticamente con quella derivante dall'esperienza motoria. Si evidenzierà un'influenza dei sistemi motori sugli aspetti percettivi, fornendo un ulteriore contributo empirico all'idea di un sistema di codifica comune tra percezione e azione.

Il sesto capitolo descrive l'ultimo esperimento, nel quale si utilizzeranno le indicazioni derivanti dai precedenti tre esperimenti per orientare alcune scelte metodologiche e per derivare le ipotesi. In particolare, in virtù del ruolo dell'esperienza motoria descritta nel terzo capitolo, si analizzerà l'effetto di due *training* basati sul *modeling*, con stimoli acustici e visivi generati dal movimento individuale di ciascun atleta. Si ipotizzerà che l'efficacia di tali *training*, finalizzati a standardizzare il movimento dello swing nel golf, sarà influenzata dalla modalità di presentazione degli stimoli sulla base dei primi due esperimenti. Anche in questo caso sarà confermato il *bias* a favore della modalità acustica.

Nel settimo e ultimo capitolo, si delineeranno le conseguenze applicative derivanti dai quattro esperimenti e si descriveranno alcune considerazioni di natura metodologica e teorica. Si osserverà con particolare attenzione il parallelismo tra fenomeni indagati in laboratorio e sul campo, evidenziando come l'accurato controllo delle variabili determini risultati attendibili e coerenti. Si illustrerà infine un quadro riassuntivo dei risultati, proponendo un modello di implementazione della teoria della codifica degli eventi e tracciando entro tale background uno schema sul possibile funzionamento dell'elaborazione degli aspetti temporali legati al movimento.

CAPITOLO I

La psicologia sperimentale applicata al movimento umano.

1.1. Definizione dell'ambito di ricerca

La psicologia sperimentale è quel ramo della psicologia che utilizza il metodo sperimentale nello studio dei processi cognitivi. Nella sua dimensione applicata al movimento umano consiste nell'indagine dei fenomeni cognitivi connessi con i comportamenti motori (Agostini, Righi, & Galmonte, 2005). Tali fenomeni sono principalmente individuabili nei processi di percezione e azione, sebbene altri processi cognitivi, tra i quali ad esempio l'attenzione e la decisione, siano stati spesso oggetto d'indagine da parte degli studiosi dei meccanismi psicologici del movimento umano. Le finalità della ricerca secondo tale approccio sono principalmente due. Da un lato l'obiettivo, secondo i canoni della ricerca di base, è quello di sviluppare modelli teorici di funzionamento cognitivo, capaci di fornire previsioni circa le capacità degli esseri umani di elaborare informazioni provenienti dalle afferenze sensoriali e di attuare delle risposte motorie. Dall'altro invece l'obiettivo è applicare tali conoscenze di base al fine di sviluppare le abilità (*skills*) connesse ad attività motorie complesse, da quelle più comuni, quali camminare, correre e saltare, a quelle più specifiche per particolari categorie di persone (si pensi ad atleti e ballerini).

Gli sviluppi di tali studi trovano principalmente applicazione nel settore della psicologia dello sport e dell'esercizio fisico, con il fine di migliorare le prestazioni atletiche (Vickers, 2007), ma spesso hanno anche dei risvolti in discipline sanitarie, ad esempio per quanto riguarda la riabilitazione motoria in pazienti neuropsicologici (Thaut et al., 2007). In entrambi i casi l'obiettivo è quello di aiutare le persone ad esprimere le proprie potenzialità, attraverso l'uso di tecniche e tecnologie mirate ad allenare gli aspetti cognitivi alla base della produzione motoria, sebbene in settori molto diversi tra loro.

Nonostante si possa essere tentati dallo stabilire una priorità morale, prima ancora che scientifica, delle applicazioni in ambito neuropsicologico rispetto a quelle in ambito sportivo, occorre tuttavia considerare che i contributi della psicologia sperimentale al settore dell'attività fisica e dello sport possono avere anch'essi un forte impatto sulla salute delle persone se: 1) li si osserva come un insieme di metodi e tecniche non invasivi, salutari ed efficaci per potenziare le prestazioni motorie; 2) li si

considera come tecniche supportive per superare i propri limiti senza mettere a repentaglio la propria salute; 3) li si immagina, in futuro, come delle valide strategie alternative all'assunzione di sostanze proibite e alla messa in atto di pratiche dopanti.

1.2. Cenni storici

I primi studi che hanno indagato i processi cognitivi associati al movimento umano sono stati condotti prevalentemente nell'ambito del controllo motorio, la disciplina che studia la capacità del sistema nervoso di regolare e dirigere il movimento. Uno dei primi scienziati che si è occupato del controllo motorio è stato William James, il quale, alla fine del 1800, ha elaborato un modello noto come "circuitto aperto". Secondo tale modello il movimento umano sarebbe regolato centralmente e non sarebbero ammessi feedback provenienti dai sistemi periferici. Contrapposto a tale modello vi è invece il controllo motorio a "circuitto chiuso", proposto da von Holst (1954) secondo il quale le informazioni periferiche avrebbero un ruolo fondamentale nel modulare il movimento, attraverso sistemi di feedback. Queste due visioni classiche sono state successivamente sviluppate e integrate in modelli più complessi che, in un background cognitivista, definiscono i concetti di programma motorio (Keele, 1968) e programma motorio generalizzato, ponendo ancora una volta l'attenzione su un controllo centralizzato, sebbene con diversi gradi di influenze periferiche (Schmidt, 1975). La teoria di Schmidt in particolare ha avuto un grande seguito e rappresenta ancora oggi uno dei due approcci teorici più solidi e accreditati, assieme alla più recente teoria dei sistemi dinamici di Kelso (1995), la quale è principalmente centrata sugli aspetti periferici e dinamici del movimento.

Gli studi che hanno determinato lo sviluppo delle teorie sul controllo motorio sono stati condotti prevalentemente nell'ambito della ricerca di base, esaminando quasi esclusivamente comportamenti motori semplici. Per quanto concerne lo studio dei processi cognitivi in ambiti motori più complessi, tra i primi lavori si annoverano quelli condotti attorno agli anni '20 dello scorso secolo ad opera di Coleman Roberts Griffith, il quale condusse numerosi esperimenti con atleti (Guicciardi, 2003). Sebbene verso gli anni '60 si sia gradualmente sviluppato un movimento scientifico attorno alla psicologia dello sport, i lavori di quegli anni erano orientati a indagare principalmente gli aspetti della personalità degli atleti, oltre a quelli sociali, motivazionali e clinici, mentre gli aspetti cognitivi erano trattati in maniera più sporadica. Solo a partire degli anni '80, probabilmente grazie anche allo sviluppo tecnologico e alla conseguente maggiore

diffusione di computer e strumenti per l'analisi della prestazione umana, si è sviluppato un crescente interesse verso i processi cognitivi legati ai movimenti complessi.

Negli ultimi trent'anni sono stati condotti numerosi studi sperimentali legati al movimento umano e gli aspetti percettivi sono stati probabilmente quelli che maggiormente hanno destato l'attenzione dei ricercatori. Tra le modalità sensoriali sicuramente la visione è stato il processo maggiormente indagato, visto il ruolo dominante che questo senso ha per gli esseri umani. Infatti sono stati condotti numerosi studi per descrivere il comportamento di ricerca delle informazioni visive da parte degli atleti (Vickers, 2007), altri per determinare quali parti del corpo degli avversari fornissero maggiori informazioni (Hagemann et al., 2010). Sono stati inoltre studiati gli effetti della visione di alcuni modelli di prestazione e ne è stata studiata la capacità degli atleti di replicare tali modelli (McCullagh, Ste-Marie, & Law, *in press*).

Meno studiati invece sono stati altri canali sensoriali, quali l'udito e il tatto. Queste vie percettive sono state esaminate nell'ambito del biofeedback e del neurofeedback, per indurre un maggior controllo dell'attivazione psico-fisiologica in atleti, mentre in pochi casi sono state indagate le loro influenze nella performance sportive (Effenberg, 1996, Takeuchi, 1993). Altri scienziati invece si sono interessati degli aspetti applicativi del controllo motorio, determinando tempi di reazione, programmazione e riprogrammazione motoria in situazioni sportive con diversi gradi di complessità (Le Runigo, Benguigui, & Bardy, 2010; Teixeira et al., 2006). Oltre ai meccanismi di percezione e azione, sono stati spesso indagati anche i processi decisionali in situazioni di gioco (Raab et al., 2005; Vaeyens et al., 2007).

1.3. Metodi e paradigmi

Lo sviluppo degli studi sperimentali sui processi cognitivi in psicologia dello sport e dell'attività fisica è stato seguito di pari passo dallo sviluppo di paradigmi di ricerca e metodi di studio. Per quanto sia difficile catalogare in maniera esaustiva i paradigmi di ricerca impiegati, si cercherà comunque di offrire una panoramica dei metodi di studio più utilizzati.

Tra i metodi sperimentali d'indagine privilegiati nel settore psico-sportivo sicuramente l'analisi dei movimenti oculari in questi anni ha rappresentato (e tutt'ora rappresenta) un importante e attivo filone di ricerca. L'assunzione alla base di tali lavori è che gli atleti abbiano dei comportamenti di ricerca visiva tali da permettere loro di percepire le informazioni più importanti della situazione con la quale interagiscono e, di

conseguenza, trascorrono una quantità di tempo maggiore ad osservare alcuni fenomeni più salienti piuttosto che altri meno informativi. Per logica ne consegue che atleti di alto livello nella stessa disciplina avrebbero dei comportamenti di ricerca visiva simili tra loro e ciò è stato anche verificato sperimentalmente. Inoltre è stato dimostrato che i tempi di fissazione delle varie componenti della scena visiva, in particolare delle parti del corpo degli avversari e degli strumenti, si differenziano a seconda del livello degli atleti (Vickers, 2007). Questo fatto lascia quindi supporre che uno dei fattori che permette agli atleti di raggiungere l'eccellenza sia prettamente percettivo, pertanto in quest'ottica gli sportivi che riescono a selezionare e a cogliere le informazioni più importanti avrebbero maggiori possibilità di avere una carriera brillante.

Attraverso lo studio dei movimenti oculari addirittura è stato possibile inferire le previsioni che gli atleti effettuano circa le dinamiche di gara. Ad esempio Land & McLeod (2000) hanno dimostrato che i giocatori di cricket seguono la traiettoria della palla sino a quando intuiscono il punto di rimbalzo, in seguito compiono una saccade anticipatoria proprio nella zona in cui prevedono che la pallina impatti, attendono che ciò avvenga e successivamente seguono di nuovo la traiettoria della palla sino a quando la colpiscono. Oltre ad aver descritto la strategia visiva utilizzata normalmente dai giocatori di cricket, sono emerse ancora una volta delle differenze temporali tra atleti di alto e basso livello, in particolare questi ultimi inizierebbero il movimento saccadico in ritardo rispetto ai primi. Tali differenze corroborano ulteriormente la teoria secondo cui una ricerca visiva ottimale contribuirebbe al raggiungimento dell'élite agonistica.

Un altro metodo largamente impiegato per l'analisi delle strategie visive è stato lo studio delle capacità predittive di azioni videoregistrate e trattate con le tecniche di occlusione (Hagemann et al., 2010). Queste prevedono l'utilizzo di video di situazioni sportive che ritraggono un avversario diretto (ad esempio un tennista avversario impegnato in un servizio) che vengono occluse in alcuni momenti dell'azione e/o in alcune aree salienti. Possono quindi venire applicati due diversi tipi di occlusioni, quelle spaziali e quelle temporali.

Le occlusioni spaziali prevedono la sostituzione dell'intera immagine dell'azione con una schermata nera. L'oscuramento del video può avvenire in diversi momenti, in modo che chi osserva l'azione e deve intuirne l'esito abbia una quantità di informazioni a disposizione che correla positivamente con la latenza della schermata nera. In sintesi, se l'immagine viene oscurata quando l'azione è quasi conclusa l'osservatore avrà a disposizione una grande quantità di informazioni e sarà più facile

predirne l'esito, se invece l'occlusione avviene nei momenti iniziali le informazioni disponibili saranno minori e sarà molto più difficile inferirne il risultato. Tale metodo è stato usato per indagare le differenze di expertise nella predizione dell'azione utilizzando gli indizi visivi anticipatori. Questi lavori hanno dimostrato che gli atleti esperti riescono a cogliere le informazioni salienti elicitate dagli avversari prima dei non esperti, intuendo in anticipo l'esito dell'azione (Gherzil, 2010). Di conseguenza gli esperti avrebbero maggior tempo a disposizione per programmare correttamente la loro risposta e anche per questo otterrebbero dei risultati migliori.

Le occlusioni spaziali invece sono realizzate oscurando solo una parte specifica della scena visiva. In questo caso la finalità è quella di esaminare se un elemento del nucleo "avversario-strumenti" è maggiormente informativo rispetto ad altri. In quest'ottica tale metodo si configura come controprova dei lavori sulla ricerca visiva basata sui movimenti oculari. Questa tecnica postula che se un elemento fondamentale della scena visiva viene occluso la capacità di predire l'azione viene conseguentemente compromessa, mentre ciò non avverrebbe (o avverrebbe in misura minore) con l'occlusione di un elemento visivo che veicola informazioni più marginali. Anche in questo caso evidenze sperimentali hanno dimostrato differenze di strategie visive utilizzate a seconda del livello di expertise, le quali in genere correlano con quelle emerse dai lavori sui movimenti oculari (Vickers, 2007; Hagemann et al., 2010). Questi lavori hanno contribuito ad individuare le zone del corpo e/o degli strumenti avversari che veicolano le informazioni più importanti al fine di inferire l'azione avversaria, con evidenti numerose applicazioni ai fini del miglioramento della prestazione.

Il miglioramento delle performance è un obiettivo che è stato perseguito anche da numerosi studi sul modellamento o *modeling*. L'idea alla base di tali ricerche è che le persone siano in grado di acquisire delle indicazioni dalla visione di filmati o dall'ascolto di suoni relativi a prestazioni motorie eseguite correttamente e, conseguentemente, possano utilizzare tali informazioni per eseguire altrettanto correttamente lo stesso gesto osservato o ascoltato. Numerosi lavori hanno indagato le differenze tra l'uso di modelli individuali, creati sulle performance della stessa persona, o creati dalle performance di esperti. Altri studi si sono interessati dell'efficacia dell'apprendimento a seconda del grado di expertise e dell'età dei soggetti, altri ancora hanno indagato differenze di modalità sensoriale e di complessità del compito. In generale si è dimostrata l'efficacia di tali paradigmi attraverso numerose evidenze empiriche e in particolare sembra che i modelli individuali o modelli di persone che

hanno capacità simili a colui che dovrebbe apprendere determinino maggiori risultati rispetto a modelli d'élite (per una rassegna più completa si veda McCullagh, Ste-Marie, & Law, *in press*).

In questi anni anche gli aspetti motori sono stati indagati in situazioni sportive o motorie complesse. Facendo riferimento alla teoria dei programmi motori generalizzati (Schmidt, 1975), sono stati creati setting sperimentali per indagare le capacità degli atleti di programmare e riprogrammare il proprio movimento e le soglie temporali che permettono agli atleti di eseguire tali processi in maniera corretta (Murgia & Righi, *in press*).

Per quanto riguarda l'abilità di programmare l'azione sono state create delle situazioni che vincolano il tempo a disposizione per selezionare e caricare alcuni parametri che definiscono la compilazione del movimento. Utilizzando questo paradigma gli atleti (ad esempio calciatori e tennisti) vengono testati in condizioni reali e viene chiesto loro di indirizzare la palla nella direzione di un indicatore visivo, in genere una luce che si accende in corrispondenza del loro bersaglio (la porta nel caso del calcio, l'area di fondo campo nel caso del tennis). Il bersaglio viene generalmente diviso in settori e la comparsa dell'indicatore visivo può avvenire in uno solo dei diversi settori che varia casualmente ad ogni prova. Quello contrassegnato dalla luce accesa rappresenta il target dell'atleta in quella data prova. L'accensione della luce avviene generalmente poche centinaia di millisecondi prima che il giocatore colpisca la palla e si valuta l'accuratezza degli atleti nell'indirizzare la palla nel settore contrassegnato dall'indicatore, in diverse condizioni temporali (Gherzil, 2010; Pin, 2008). Questo metodo permette di eliminare i tempi necessari per il processo decisionale sul "dove" indirizzare la palla (la scelta è operata a monte dallo sperimentatore), per cui si valuta se il tempo a disposizione è sufficiente per completare la compilazione del programma motorio, definendo la direzione del movimento. Tale metodo ha permesso di determinare le soglie oltre le quali non si può attendere per direzionare la palla e, allo stesso tempo, costituisce un utile paradigma per allenare questo tipo di abilità.

Per quanto concerne la riprogrammazione motoria, ovvero la capacità di modificare un'azione già in atto, sono stati proposti dei paradigmi simili a quello precedentemente descritto. Ad esempio è stato suggerito di fornire uno stimolo visivo prima dell'inizio della prova e, dopo l'avvio dell'azione, un secondo stimolo discordante con il precedente e dominante rispetto a questo. Il secondo stimolo sarebbe presentato solo in una percentuale ridotta di trials (20-25%). In questo modo gli atleti

sarebbero indotti a coordinarsi per rispondere correttamente alla situazione “standard” in cui viene presentato un solo stimolo e, nel caso della comparsa del secondo stimolo, sarebbero costretti a modificare il loro movimento, in un arco di tempo manipolabile dallo sperimentatore (Murgia & Righi, *in press*). In questo caso sarebbe misurabile il “costo” temporale del modificare qualitativamente un movimento (ad esempio tirare a destra vs. tirare a sinistra).

Altri lavori hanno utilizzato metodi per valutare le soglie di tempo per modifiche non qualitative bensì temporali dell’azione. Ad esempio Texeira e colleghi (2006) hanno creato un setting in cui i partecipanti dovevano colpire una palla posizionata all’estremità di una pista elettronica, su cui si muoveva uno stimolo luminoso. Veniva chiesto loro di colpire la palla nel momento esatto dell’arrivo dello stimolo all’estremità della pista. La velocità dello stimolo era costante sino a un certo punto, questa però in alcuni casi veniva manipolata (rallentata o accelerata) quando lo stimolo raggiungeva una determinata posizione in prossimità dell’estremità della pista, per mandare fuori tempo le persone. Questo metodo ha permesso di individuare le soglie di tempo necessario alle persone per adattare il proprio movimento ai cambiamenti temporali delle situazioni con cui esse devono interagire.

Altri paradigmi sono stati creati per lo studio dei processi decisionali in situazioni complesse (Raab et al., 2005). Questi lavori spesso si sono avvalsi di test “ibridi”, ovvero compiti di laboratorio (spesso di tipo motorio, simili a quelli richiesti dagli sport indagati) in cui veniva chiesto ai partecipanti di interagire con situazioni sportive proiettate attraverso degli schermi giganti. Ad esempio Vaeyens e colleghi (2007) presentavano filmati figuranti scene dinamiche di scambi di pallone nel calcio in cui i partecipanti erano rappresentati nel video da un giocatore contrassegnato da una maglia di colore diverso. Ad un certo punto il giocatore riceveva il pallone e il video veniva occluso completamente da una schermata nera. In quel momento al partecipante era chiesto di prendere rapidamente la decisione di passare il pallone ad un giocatore piuttosto che a un altro (tra quelli del video), secondo la soluzione che riteneva più opportuna, calciando un pallone che si trovava di fronte a lui. Venivano misurati i tempi di reazione, l’accuratezza della scelta e i movimenti oculari. Tale lavoro, assieme ad altri, ha permesso di individuare differenze di strategie visive sottostanti ai processi decisionali dovute all’expertise, le quali erano associate a più rapide strategie di decisione.

1.4. Strumenti e tecnologie

Leggendo il precedente paragrafo ci si sarà resi conto che operare in un settore di ricerca così complesso richiede spesso un livello di tecnologia piuttosto avanzato e una strumentazione tanto complessa almeno quanto la disciplina. In alcuni casi gli strumenti necessari alla realizzazione degli esperimenti non sono nemmeno presenti in commercio e devono essere costruiti *ad hoc* per far fronte alle necessità dei ricercatori. Ciò implica che coloro che si dedicano alla sperimentazione in tale ambito devono possedere anche delle abilità tecniche (che spesso esulano anche dalle normali competenze di chi fa ricerca in psicologia) che gli consentano di creare nuovi apparati o adattare le strumentazioni a disposizione per perseguire i fini dei propri studi.

Tra gli strumenti indispensabili per la ricerca in questa disciplina innanzitutto vanno annoverati gli apparecchi che permettono di registrare e conseguentemente riprodurre la prestazione. Ciò è importante da un lato per creare dei database di immagini e suoni che possono essere usati come stimolo, dall'altro per avere un maggior controllo del setting sperimentale e talvolta anche per ottenere dei dati sulla cinematica e sulla temporalità degli eventi. Pertanto sono necessarie, ad esempio, delle videocamere con diverse funzionalità: talvolta occorrono strumenti ad altissima risoluzione temporale, mentre altre volte servono filmati ad elevata risoluzione spaziale con una qualità dell'immagine che rimanga nitida anche quando proiettata su monitor di grandi dimensioni. Spesso è necessario ricorrere anche alla registrazione di suoni, in quel caso ci si avvale di microfoni di varie dimensioni, a volte piccolissimi dal peso di poche decine di grammi per poter essere applicati sull'atleta o sui suoi strumenti, altre volte panoramici e di grandi dimensioni per catturare dei suoni a distanza. Questi vanno connessi a dei registratori digitali che possono essere collegati via wireless o, in alcuni casi, anch'essi di piccolissime dimensioni e applicati direttamente sugli atleti. In generale rientrano in questa categoria tutti quegli apparecchi che ci permettono di immortalare il movimento e di riprodurlo in un secondo momento.

Dopo aver ottenuto immagini e suoni associati alla prestazione in molti casi è necessario applicare delle modifiche al materiale registrato. In queste circostanze ci si avvale di personal computer dotati di software di *editing* video e audio. Attraverso i programmi di *editing* video è possibile tagliare delle parti di immagini che non desideriamo, applicare delle occlusioni spaziali e/o temporali, inserire spezzoni di immagini precedentemente registrati o effetti speciali di vario genere, escludere o amplificare l'audio, inserire suoni e combinarli con immagini e via dicendo.

Analogamente i software di editing di materiale acustico permettono di tagliare porzioni di suono, eliminare i rumori di fondo e/o alcune frequenze non desiderate, inserire pause o spezzoni di altri suoni e così via. Avere confidenza con l'utilizzo di questi programmi è una *conditio sine qua non* per coloro che attualmente si occupano di ricerca in psicologia sperimentale e ciò vale ancor di più per chi opera con fenomeni complessi come quelli motori. Grazie a queste nuove tecnologie è infatti possibile sviluppare disegni sperimentali che prevedono la manipolazione di variabili che sino a qualche anno fa era molto difficile, se non impossibile, esaminare.

Una volta creati gli stimoli occorrono degli strumenti appropriati per la somministrazione. Sebbene in alcuni casi tali apparati non differiscano da quelli normalmente impiegati negli esperimenti di psicologia cognitiva, talvolta occorrono degli strumenti particolari, specie quando la somministrazione deve essere effettuata in situazioni naturalistiche o in *setting* costruiti in laboratorio che riproducono ecologicamente degli scenari sportivi. In questi casi si utilizzano spesso dei monitor capaci di riprodurre la grandezza delle persone in scala 1:1 per rendere il *setting* maggiormente realistico, oppure delle cuffie wireless che permettano di ascoltare dei suoni durante la prestazione senza che questa sia disturbata da cavi elettrici. In ambito applicativo piuttosto che sperimentale, recentemente si sta diffondendo anche l'utilizzo dei *tablet pc* per la loro versatilità e praticità, nonché per la possibilità che offrono di filmare una prestazione e rivederla immediatamente.

Esistono inoltre altri strumenti creati per fornire stimoli (visivi o sonori) che però non si avvalgono della riproduzione di immagini o suoni legati al movimento. Si tratta di apparati che emettono segnali temporalmente programmati o come conseguenza di altri stimoli fisici (suoni, immagini o movimenti). Ad esempio i sistemi di fotocellule e luci usati negli studi della programmazione e della riprogrammazione motoria precedentemente descritti rientrano in questa categoria.

Tuttavia gli strumenti che maggiormente differenziano la psicologia sperimentale dello sport dalle altre discipline psicologiche sono quelli che consentono di misurare la prestazione. Sotto questo punto di vista la psicologia si sta avvicinando sempre più alle tecnologie utilizzate dalle altre scienze dello sport, le quali prevedono una misura fisica sempre più complessa della prestazione e delle attività psicofisiologiche della macchina-uomo impegnata in attività agonistiche. Ad esempio si utilizzano spesso delle pedane sensibili alla pressione esercitata dal corpo umano per rilevarne gli spostamenti e ricavarne di conseguenza i tempi di reazione. Si usano

sistemi di fotocellule che permettono di rilevare gli spostamenti delle persone all'interno di una data area, registrando spazio-temporalmente tutto ciò che accade all'interno del sistema. Affianco alle più comuni (per la psicologia) rilevazioni dei movimenti oculari, si impiegano ulteriori apparecchi per rilevare l'accelerazione e la potenza del movimento, la velocità di esecuzione di gesti atletici e la velocità di spostamento degli attrezzi (ad esempio di un pallone). Infine vengono utilizzati apparecchi per misurare i parametri fisiologici connessi con l'attività fisica, ad esempio cardiografici da polso, spirometri o altri macchinari per determinare variazioni fisiologiche.

1.5. Potenzialità applicative in ambito motorio e sportivo

Sin qui sono stati esposti diversi metodi sperimentali utilizzati in psicologia dello sport con scopi principalmente di ricerca, tuttavia trattandosi di una disciplina prettamente applicativa è interessante descrivere anche l'utilità delle tecniche sviluppate negli ultimi trent'anni di ricerca e il loro potenziale impiego nel mondo dello sport. Per fare ciò si proverà a riassumere i vantaggi derivabili dall'utilizzo di tali strumenti attraverso tre concetti chiave: anticipazione, standardizzazione e ottimizzazione.

Il concetto di anticipazione è un concetto fondamentale nello sport ed è strettamente connesso con il successo. Anticipare significa arrivare prima degli altri e mettersi quindi in una condizione diretta o indiretta di vantaggio. Ad esempio nel calcio se un attaccante anticipa un difensore avrà grosse probabilità di arrivare vicino alla porta e calciare, nella scherma se un tiratore sferra un attacco in anticipo rispetto alla parata avversaria andrà a punto, mentre nelle gare di atletica leggera, banalmente, vince chi taglia il traguardo prima degli avversari. Partendo dal principio che l'anticipazione nello sport è un elemento desiderabile comune, trasversale alle diverse discipline, non stupisce che la maggior parte dei metodi descritti in precedenza abbiano indagato diversi fattori temporali del movimento umano e che si prefiggano di migliorare questi aspetti. In quest'ottica si possono interpretare le finalità dei lavori sulla ricerca visiva e sulle occlusioni spaziali. Questi hanno come obiettivo quello di individuare quali tra le informazioni elicitate dagli avversari siano le più salienti e, conseguentemente, fare in modo che gli atleti possano allenarsi a individuare gli indizi più rilevanti della scena visiva tralasciando gli altri meno importanti. In questo modo gli atleti non perderebbero tempo ad elaborare informazioni poco utili e potrebbero più rapidamente inferire le mosse avversarie, anticipando quindi la propria risposta con conseguenti maggiori

probabilità di successo. Analogamente gli studi sulle occlusioni temporali si configurano come possibili training atti sviluppare negli atleti una sensibilità a cogliere in anticipo gli indizi utili per preparare risposte rapide e accurate (Gherzil, 2010). Se le tecniche di occlusione temporale stimolano la dimensione percettiva, parimenti altre tecniche si prefiggono di potenziare la dimensione del controllo motorio (Murgia et al., 2008). Infatti i setting sperimentali sulla programmazione e riprogrammazione motoria si candidano al potenziamento delle abilità cognitive sotto una duplice prospettiva, da un lato per programmare in poche centinaia di millisecondi la direzione di un movimento, dall'altro per correggere rapidamente la propria azione in seguito a inattesi cambiamenti.

Un secondo concetto chiave è quello di standardizzazione. Uno degli obiettivi della psicologia dello sport è quello di ridurre l'altalenanza delle performance, ovvero di fare in modo che gli atleti non abbiano cali di rendimento. Pertanto la standardizzazione si configura come un livellamento prestativo verso l'alto, mirato cioè all'espressione della massima potenzialità della persona. Per tentare di raggiungere tale obiettivo sono state utilizzate diverse tecniche dall'imagery al modeling. Mentre l'imagery rimane un fenomeno sperimentalmente difficile da controllare, il modeling è stato oggetto di numerosi lavori empirici. L'obiettivo del modeling è quello di fare in modo che l'atleta riproduca dei movimenti in modo standard, ovvero che apprenda la corretta esecuzione di un gesto motorio e replichi lo stesso movimento "ottimale". I modelli individuali sembrano essere quelli più efficaci (McCullagh, Ste-Marie, & Law, *in press*), questo dimostra ancora una volta che il miglioramento non si realizza in quanto superamento del proprio limite, ma come espressione delle potenzialità individuali. L'atleta di medio livello non diventerà quindi improvvisamente un campione, tuttavia potrà ambire a esprimersi sui suoi livelli massimi e di conseguenza incrementare le sue prestazioni medie. Ciò è stato recentemente dimostrato anche in uno studio sul sollevamento pesi, in cui la potenza espressa dagli atleti in sincronizzazione con un modello acustico non superava il limite individuale registrato in assenza di stimolazione, tuttavia la potenza mediamente espressa nelle varie prove sperimentali era più alta e meno variabile rispetto alle prove di controllo, evidenziando quindi un positivo effetto di standardizzazione del rendimento (Murgia et al., *submitted*).

L'ultimo concetto che si ritiene fondamentale in questa disciplina è quello di ottimizzazione della performance. Il concetto di ottimizzazione è più ampio rispetto ai due precedenti ed è inteso come conseguenza dei processi di anticipazione dell'azione e

standardizzazione del rendimento. Ad esempio, nel momento in cui un atleta viene messo nelle condizioni di percepire correttamente e selettivamente le informazioni che gli consentono di attuare una rapida risposta motoria, si può affermare di aver ottimizzato la sua performance sotto quell'aspetto. Allo stesso modo se un atleta, in seguito all'applicazione di un training di modellamento prestazionale, apprende a riprodurre costantemente un movimento corretto, si può parimenti affermare di aver ottimizzato quel particolare aspetto motorio. In generale parliamo di ottimizzazione della prestazione quando, in seguito a un training percettivo, motorio, decisionale o di altro tipo, l'atleta raggiunge un livello di performance che è prossimo al proprio limite.

CAPITOLO II

L'elaborazione delle informazioni temporali: differenze sensoriali

2.1. Il concetto di tempo in psicologia

Sebbene il concetto di tempo sia stato ampiamente oggetto di riflessioni e dibattiti filosofici, lo studio scientifico del tempo e di come questo sia percepito dall'uomo inizia con la nascita della psicofisica. Ernst Mach già nel 1860 condusse i primi studi sul "senso del tempo" per testare la legge di Weber, aprendo la strada a un filone di ricerca che si sarebbe rapidamente propagato tra gli studiosi tedeschi dell'epoca. Uno dei pionieri della disciplina, Sigmund Exner, nel 1873 studiò la durata minima dell'intervallo tra due eventi, affinché questi fossero percepibili come due fenomeni distinti. Nei suoi lavori analizzò sia intervalli temporali ottenuti dalla rapida successione di stimoli sonori (due click), sia intervalli ottenuti dalla successione di eventi visivi (due scintille). Exner trovò che mentre due suoni venivano percepiti come distinti con un intervallo di soli 2 millisecondi, le due scintille cessavano di essere riconosciute come tali con intervalli inferiori ai 40 millisecondi, riscontrando sin da allora una particolare sensibilità del sistema uditivo nella percezione del tempo (Roeckelein, 2008).

A lungo gli studiosi hanno parlato di tempo in termini di senso. Il "time sense" era appunto quel senso che permetteva di percepire la temporalità degli eventi nei suoi vari aspetti. Solo dagli anni '70 dello scorso secolo si è iniziato a considerare il tempo non come un senso bensì come una qualità legata ai fenomeni. L'idea di considerare il concetto di tempo come informazione, definibile in termini di successione di eventi, è stata suggerita da Michon (1972) e ha avuto un notevole influsso per le successive teorizzazioni. L'autore, in quello che è stato definito il "postulato di equivalenza", ha affermato quindi che il tempo deve essere considerato un attributo con uno status pari a quello di altre qualità che noi percepiamo, come la grandezza, l'intensità, il colore e così via (Brown, 2008). Nell'accezione di "informazione" il tempo sarebbe quindi un'esperienza che possiamo acquisire tramite i normali canali sensoriali.

Il sistema percettivo umano è strutturato in modo tale che l'acquisizione di alcune informazioni sia esclusivamente a carico di un canale sensoriale, viceversa altri tipi di stimoli sono percepiti in modo ridondante attraverso più canali. Mentre il colore, ad esempio, è percepibile solo tramite la vista, le informazioni temporali possono essere

trasmesse dalla vista, dall'udito e dal tatto (Grondin & McAuley, 2009). D'altro canto il fatto che determinati stimoli siano percepibili attraverso più canali non significa che queste vie di trasmissione abbiamo tutte la stessa sensibilità. Anzi, è stato dimostrato che in molti casi, quando vi è una ridondanza, vi è una dominanza di un senso rispetto agli altri. È probabile pertanto che un canale sensoriale, nel corso dell'evoluzione della specie, si sia strutturato in modo da dedicarsi principalmente ad alcune funzioni piuttosto che ad altre. L'acquisizione delle informazioni spaziali, ad esempio, è un processo che prevede una dominanza della vista rispetto all'udito. Viceversa, come già anticipato, sembra che l'udito abbia una maggiore sensibilità per gli aspetti temporali. Tale maggiore sensibilità è stata riscontrata in numerosi studi e sembra coinvolgere diversi processi cognitivi.

2.2. L'apprendimento per modellamento

L'elaborazione e l'acquisizione di informazioni temporali sono dei fenomeni che sono stati ampiamente studiati nell'ambito dell'apprendimento motorio, attraverso l'utilizzo delle tecniche di *modeling*. In generale questo settore di studi indaga come le persone apprendano a riprodurre delle sequenze temporali di movimenti semplici, in seguito all'esposizione di modelli presentati in modalità visiva o acustica. Alla base di questo filone di studi ci sarebbe quindi la capacità delle persone di acquisire informazioni attraverso esperienze vicarie (esposizione a modelli). L'efficacia di queste tecniche dipenderebbe dalla capacità di coloro che dovrebbero apprendere di trasformare le informazioni presentate in rappresentazioni cognitive, ritenibili e riproducibili, delle performance (Carroll & Bandura, 1982).

Uno dei primi lavori che ha confrontato la modalità visiva e quella acustica sotto questo aspetto è stato condotto da Doody, Bird e Ross (1985). Gli autori, partendo dalla considerazione che l'apprendimento osservazionale è stato per lungo tempo il metodo privilegiato per fornire un modello di esecuzione di un'azione, si chiedono però se tale modello sia il più appropriato quando il compito da eseguire ha una forte connotazione temporale. Secondo le ipotesi di Doody e colleghi il sistema acustico sarebbe infatti più adatto a rappresentare quel tipo di informazioni e, di conseguenza, anche la ritenzione di quei dati e la riproduzione motoria del modello ne avrebbero un vantaggio. Pertanto l'acquisizione di compiti motori che implicano un'accuratezza temporale risulterebbe più facile con l'utilizzo di modelli acustici piuttosto che visivi.

Per testare la loro ipotesi, Doody e colleghi hanno ideato un esperimento in cui i soggetti dovevano riprodurre una sequenza motoria che prevedeva il posizionamento di alcune barre di legno in una sequenza predefinita nel tempo complessivo di 2100 ms. I partecipanti erano assegnati ad una delle quattro condizioni sperimentali: modello audio, modello video, modello audiovisivo, controllo. Il modello audio consisteva nella presentazione del suono prodotto dal corretto pattern ritmico dell'azione (l'esecuzione del compito produceva infatti un particolare suono); quello video consisteva nella presentazione muta di un videotape di una performance correttamente eseguita; quello audiovisivo consisteva nella combinazione dei due modelli precedenti; mentre ai componenti del gruppo di controllo non era fornita alcuna indicazione. I partecipanti prendevano parte a una sessione di apprendimento nella quale venivano esposti ai modelli ed erano sottoposti a delle prove pratiche del compito, ricevendo anche un feedback sull'accuratezza dei loro tempi di esecuzione. Successivamente, nella fase di test, dovevano eseguire il compito senza modelli e senza feedback e veniva valutata l'accuratezza temporale della riproduzione della sequenza motoria. I risultati, come da ipotesi, hanno evidenziato una performance migliore nella condizione audio ed audiovisivo, suggerendo quindi che le informazioni acustiche (a prescindere dalla presenza o meno di quelle visive) siano un fattore critico per l'apprendimento motorio di sequenze temporali. Tra le varie interpretazioni dei risultati, gli autori suggeriscono che la presentazione di un modello acustico (ma non di uno visivo) potrebbe aver fornito ai soggetti le basi ritmiche per lo sviluppo del programma motorio da svolgere (Schmidt, 1975).

McCullagh & Little (1989) in uno studio successivo, hanno cercato di replicare questi risultati, adducendo alcune modifiche al disegno sperimentale e in particolare isolando il fattore "conoscenza del risultato". In sintesi volevano studiare se il solo feedback del risultato durante la sessione di acquisizione portasse a una rappresentazione mentale del movimento più efficace rispetto alla presentazione dei modelli. I risultati del loro lavoro effettivamente dimostrano che la conoscenza del risultato in assenza di modelli portava i partecipanti a commettere un errore temporale mediamente inferiore rispetto alle condizioni video, audio e audiovisivo. Tuttavia i risultati ottenuti dai partecipanti nelle ultime due condizioni risultavano migliori rispetto a quelli ottenuti nella condizione video. Gli autori hanno quindi evidenziato l'importante ruolo dei feedback durante la fase di acquisizione, suggerendo come questo

fattore, combinato con un modello di tipo acustico, possa massimizzare l'apprendimento in compiti motori in cui gli aspetti temporali risultano salienti.

Ulteriori e più recenti lavori hanno esaminato il ruolo dei modelli acustici nell'acquisizione di compiti motori ritmici e tutti concordano nell'efficacia di questa tecnica (Han & Shea, 2008). In generale sembra che tale tipo di presentazione fornisca delle informazioni sul ritmo e sulla durata dell'azione, le quali sarebbero accuratamente rappresentate. Conseguentemente, tali informazioni sarebbero disponibili per fornire un supporto temporale durante l'esecuzione del movimento.

Per quanto concerne le difformità di apprendimento riscontrate nell'applicazione di modelli acustici e visivi, queste in realtà potrebbero essere il riflesso di differenze di elaborazione mentale che si collocano a diversi livelli. Pertanto tali differenze potrebbero essere più o meno associate a diversi processi cognitivi coinvolti nell'acquisizione di informazioni, nella loro memorizzazione e nell'esecuzione del movimento. A questo punto è quindi necessario approfondire ulteriormente il ruolo del controllo senso-motorio, della memoria e della percezione.

2.3. Il controllo senso-motorio

Quali sono le relazioni tra sistemi sensoriali e sistema motorio nell'esecuzione di sequenze ritmiche? Per rispondere a questa domanda si è spesso usato un paradigma di ricerca noto come "sincronizzazione senso-motoria". Tale paradigma ha permesso di studiare la capacità degli esseri umani di sincronizzare un proprio movimento (in genere *tapping*) con degli stimoli esterni, di tipo uditivo, visivo o tattile. L'obiettivo di questi lavori è quello di studiare il legame funzionale tra i sistemi sensoriali e il sistema motorio, al fine di sviluppare modelli teorici su eventuali vie di connessione più o meno dirette tra le aree sensoriali e motorie. Studiare la funzionalità significa quindi esaminare le caratteristiche peculiari di ogni sistema senso-motorio, la sensibilità a particolari fenomeni e le soglie temporali di funzionamento.

Questi fenomeni sono stati largamente studiati da Bruno Repp, il quale si è particolarmente soffermato sulle differenze tra visione e udito. Partendo dal presupposto che gli studi sulla memoria e quelli sui giudizi percettivi espliciti rivelino gli aspetti consapevoli dell'elaborazione temporale, Repp e Penel (2002) hanno deciso di indagare il *temporal processing* attraverso un compito di sincronizzazione senso-motoria per studiare gli aspetti più profondi, inconsapevoli, del fenomeno. Nel loro lavoro hanno ideato una situazione sperimentale in cui i partecipanti erano impegnati in un compito di

tapping in sincronizzazione con un ritmo che poteva essere presentato in maniera unimodale (visivamente o uditivamente) o bimodale, combinando entrambe le modalità. Gli stimoli forniti avevano un ritmo costante e presentavano un intervallo di 500 millisecondi tra loro, tuttavia uno stimolo poteva subire uno spostamento (*shifting*) all'interno della sequenza, in modo tale da risultare in anticipo o in ritardo rispetto all'intervallo standard di 500 millisecondi. Nelle condizioni bimodali lo spostamento poteva avvenire in una sola modalità o in entrambe le modalità e in questo caso gli spostamenti avevano una direzione opposta, generando un conflitto tra visione e udito. Veniva misurata la variabilità nel tapping, la capacità di riconoscere lo *shifting* e l'entità delle correzioni involontarie. I risultati, per quanto concerne le condizioni unimodali, hanno evidenziato una maggior variabilità nel tapping, una minor detezione dello *shifting* e minori correzioni involontarie nelle condizioni video rispetto a quelle audio. Nelle condizioni bimodali, nonostante il compito prevedesse di focalizzare l'attenzione sugli stimoli visivi, le correzioni involontarie tendevano a seguire in ogni caso gli stimoli acustici. Gli autori hanno concluso sostenendo che la dominanza acustica sulla visione per quanto concerne l'elaborazione temporale avverrebbe ad un livello profondo e inconscio del nostro sistema cognitivo.

A ulteriore conferma dei precedenti risultati, gli stessi autori hanno condotto un secondo studio in cui era chiesto ai partecipanti di sincronizzarsi con un ritmo presentato in maniera unimodale, visivamente o acusticamente (Repp & Penel, 2004). Questa volta però erano introdotti dei distrattori nella modalità opposta. I risultati hanno dimostrato che nella condizione visiva i partecipanti tendevano a seguire il ritmo dei distrattori uditivi, compromettendo quindi la prestazione. Viceversa, nella condizione uditiva l'effetto dei distrattori visivi erano minimi. Tali risultati evidenziano quindi che il movimento ritmico è in qualche modo "attratto" dai suoni piuttosto che dagli stimoli visivi. Tale asimmetria, secondo gli autori, suggerisce un'innata tendenza del sistema acustico all'elaborazione temporale.

Un altro aspetto interessante è la determinazione delle soglie temporali di sincronizzazione a seconda della modalità di presentazione di stimoli ritmici. Alcuni studi hanno evidenziato come anche in questo caso vi sia una maggior sensibilità del sistema acustico rispetto a quello visivo. Già dai primi lavori (Dunlap, 1910) infatti si evidenzia che la capacità di sincronizzazione con stimoli presentati visivamente si perde quando la frequenza ritmica (chiamata *interonset interval* o IOI) è inferiore a un battito ogni 333 millisecondi ("*1/3 di secondo*" secondo l'autore), mentre la stessa capacità

rimarrebbe intatta ad una frequenza di un battito ogni 250 millisecondi per stimoli presentati acusticamente.

In uno studio successivo si è approfondito questo fenomeno (Bartlett & Bartlett, 1959). Anche in questo caso veniva chiesto di produrre un movimento di tapping in sincronizzazione con un ritmo, tuttavia il tapping doveva essere effettuato per ogni sequenza di battiti, anziché per ogni battito. Così facendo sarebbe stato possibile esaminare il coordinamento senso-motorio senza avere il limite fisico della produzione motoria, la quale non potrebbe andare oltre i 6-8 battiti al secondo (Repp, 2003). I risultati hanno così evidenziato che la sensibilità dei soggetti era ancora più alta di quanto emerso dal precedente studio, infatti alcuni soggetti riuscivano a mantenere la sincronizzazione con intervalli di frequenza pari a 167 millisecondi. Tuttavia la numerosità del campione analizzato era piuttosto bassa (cinque soggetti) e i risultati troppo variabili per giungere a delle conclusioni generalizzabili. Altri lavori, utilizzando diversi metodi, sono giunti a conclusioni piuttosto diverse, per cui sino a poco tempo fa era difficile da un'analisi della letteratura evincere quali realmente fossero le soglie.

Per ovviare a questa lacuna, in anni più recenti Repp (2003) ha ulteriormente indagato questo aspetto con l'obiettivo di chiarire la durata degli intervalli oltre la quale le persone non sono più in grado di sincronizzarsi con ritmi visivi e uditivi. Per raggiungere il suo obiettivo Repp ha messo a punto due condizioni sperimentali nelle quali i soggetti dovevano sincronizzarsi in rapporto 1:1 (un movimento di tapping per ogni battito) con una sequenza di battiti presentati visivamente o uditivamente, inoltre ha aggiunto una terza condizione, solo uditiva, in cui era chiesto di sincronizzarsi con i battiti in rapporto di 1:4 (un movimento di tapping ogni quattro battiti). In questa terza condizione avrebbe così studiato la precisione del sistema acustico-motorio ovviando ai limiti fisici del sistema motorio. Come in precedenza venivano manipolati gli intervalli IOI, al fine di determinarne le soglie. I risultati hanno evidenziato che effettivamente le persone riescono a sincronizzarsi con intervalli di circa 100 millisecondi nella condizione audio (con rapporto 1:4), andando quindi anche oltre i limiti puramente motori, mentre il limite per quanto riguarda i ritmi presentati visivamente sono stati registrati attorno ai 400 millisecondi.

2.4. Il ruolo della memoria

Dopo aver constatato l'esistenza di differenze di modalità per quanto riguarda il controllo senso-motorio, occorre ora approfondire quale sia il ruolo di altri processi

cognitivi relativamente all'elaborazione di informazioni temporali. In particolare il funzionamento della memoria ha ricevuto una notevole attenzione da parte degli scienziati. È quindi possibile che vi sia anche in questo caso un canale privilegiato per le informazioni uditive? Arthur Glenberg e collaboratori hanno lavorato per anni nel tentativo di rispondere a questo quesito.

Glenberg e Swanson (1986), attraverso la loro *Temporal Distinctiveness Theory of Recency and Modality Effects*, hanno postulato che gli stimoli uditivi hanno una migliore codifica temporale rispetto agli stimoli visivi e che i fattori temporali avrebbero un ruolo fondamentale nel recupero delle informazioni. Sebbene questa teoria sia stata concepita in un senso più ampio, coinvolgendo anche gli aspetti verbali della memoria e non solo quelli relativi alle sequenze ritmiche di eventi, negli anni successivi gli autori hanno rivolto la loro attenzione proprio a quest'ultimo fenomeno.

Glenberg e collaboratori (1989) hanno quindi studiato la memorizzazione di ritmi visivi e uditivi al fine di vagliare la predittività di questa teoria, nel tentativo di estenderne in tal modo la validità e le aree di applicazione. In particolare hanno condotto una serie di esperimenti in cui gli stimoli consistevano in pattern di flash visivi o beep uditivi la cui durata poteva essere breve (250 millisecondi) o lunga (750 millisecondi). Ai partecipanti era chiesto di rievocare la sequenza ritmica proposta premendo due pulsanti che indicavano rispettivamente la sequenza breve e quella lunga. I risultati hanno evidenziato che i partecipanti rievocavano meglio la sequenza quando questa era presentata attraverso la modalità uditiva piuttosto che visiva, confermando le ipotesi degli autori.

In un successivo lavoro condotto da Glenberg e Jona (1991) gli autori si proponevano di indagare ulteriormente questo fenomeno, nel tentativo di capire quale fosse l'origine di questo effetto. In particolare si chiedevano se alla base ci fosse semplicemente una più accurata codifica dei segnali uditivi rispetto a quelli visivi o se la superiorità uditiva fosse dovuta all'organizzazione del materiale in unità di informazione (*chunk*), la quale avverrebbe, in questo caso, più facilmente con stimoli acustici che visivi. Per vagliare queste ipotesi i partecipanti venivano esposti a una sequenza di stimoli uditivi o visivi, brevi (200 millisecondi) o lunghi (600 millisecondi). Un dettaglio importante, rispetto allo studio precedente, riguarda la manipolazione dell'intervallo interstimolo (ISI), ovvero la quantità di tempo tra uno stimolo e quello successivo. In una condizione l'intervallo era costante ed era pari a 200 millisecondi, quindi l'unità temporale formata dalla somma "ISI + stimolo breve" risultava pari a 400

millisecondi, mentre quella “ISI + stimolo lungo” era esattamente il doppio, pari a 800 millisecondi. In tal modo sarebbe stato piuttosto facile creare delle unità di informazione, in virtù della regolarità ritmica degli stimoli. In altre due condizioni invece, l’ISI era variabile (da 144 a 266 millisecondi) e randomizzato, oppure era variabile in alcuni momenti e costante in altri. In entrambe queste condizioni organizzare gli stimoli in unità sarebbe stato più difficile. I risultati hanno dimostrato che mentre l’effetto di superiorità acustica veniva confermato nella condizione di ISI costante, al contrario, quando era più difficile organizzare il materiale in unità, allora l’effetto di modalità spariva e le prestazioni nella condizione audio non differivano da quella video. Sembrerebbe quindi che il vantaggio del sistema uditivo rispetto a quello visivo sia dovuto all’organizzazione degli stimoli in unità ritmiche.

Sempre nello stesso articolo gli autori hanno condotto un secondo esperimento in cui testavano la prestazione a seconda della durata totale delle unità ritmiche. Secondo le loro ipotesi, l’organizzazione automatica in unità avverrebbe per stimoli non superiori ai 2 secondi, in tal modo questi potrebbero essere rappresentati nella memoria ecoica (Treisman, 1964). Per testare ciò gli autori hanno utilizzato la stessa condizione “costante” dell’esperimento precedente (ISI + stimolo lungo = 800 millisecondi) e altre due condizioni in cui questa somma era pari rispettivamente a 1600 e 2400 millisecondi. I risultati hanno evidenziato che effettivamente quando si incrementava l’intervallo temporale tra gli stimoli il vantaggio del sistema uditivo veniva proporzionalmente eliminato. Quindi mentre le sequenze rapide di stimoli verrebbero riconosciute come un’unità ritmica, quando viceversa le sequenze sono rallentate si perderebbe l’effetto *gestalt* e queste sarebbero più difficili da memorizzare. Questo studio, quindi, suggerisce che il nostro sistema mnestico sfrutterebbe le caratteristiche ritmiche del materiale acustico, a patto che l’unità ritmica sia breve e percepibile come tale.

Questi risultati sono stati confermati più recentemente anche da Collier e Logan (2000), i quali hanno utilizzato un *same-different task* per studiare lo stesso fenomeno. Anche nel loro lavoro hanno riscontrato che allungando proporzionalmente la durata delle unità ritmiche (quindi rallentando il tempo) l’effetto di unità gestaltica svanisce e il vantaggio associato alla modalità acustica tende gradualmente ad assottigliarsi fino a scomparire.

Sebbene con alcune interessanti eccezioni, questi lavori sembrano in ogni caso confermare che il sistema uditivo abbia sempre un vantaggio rispetto a quello visivo per quanto concerne l’elaborazione dei fenomeni temporali. Questo fatto, che è già stato

riscontrato in altri processi, sarebbe quindi valido anche per i compiti di memoria. Tale aspetto sembra quindi essere un meccanismo generale ricorrente della macchina-uomo e comune ai diversi processi cognitivi esaminati sinora.

2.5. Aspetti percettivi

La rassegna di lavori mostrati sino a questo punto ha evidenziato un generale *bias* a favore del sistema acustico nell'elaborazione delle informazioni temporali, tuttavia resta ancora da capire l'origine di tale fenomeno. Infatti occorre comprendere se tali divari emergono sin dal primo *step* di elaborazione, ovvero quello di acquisizione degli stimoli, oppure se al contrario questi affiorano successivamente. Potrebbe infatti esserci una differenza già a livello percettivo che si ripercuoterebbe nei livelli successivi di elaborazione o, viceversa, si potrebbe avere un sostanziale "pareggio" tra visione e udito per quanto concerne l'acquisizione degli stimoli. In questo caso le differenze di modalità sarebbero attribuibili esclusivamente alle elaborazioni successive.

Da un'analisi della letteratura proposta da Allan (1979) si evince come il tema delle differenze tra visione e udito nella percezione del tempo fosse un argomento poco studiato sino alla fine degli anni '70. Riportando le sue parole: "*It is somewhat surprising that there are no systematic comparisons of the discriminability of filled vs. empty intervals, or of visual vs. auditory signals*" (Allan, 1979, p. 347). L'autore, nella sua revisione, pur citando alcuni lavori in cui l'udito sembra essere più sensibile della vista, sottolinea la necessità di ulteriori studi per esaminare gli effetti descritti. In anni successivi queste ricerche sono state effettivamente condotte per esaminare quegli aspetti della percezione del tempo "irrisolti" secondo Allan e ci si riferisce un particolare a: 1) le differenze tra intervalli pieni e vuoti (filled vs. empty)¹; 2) le differenze di modalità (visual vs. auditory).

Uno dei primi lavori in merito riguarda uno studio condotto da Rousseau, Poirier e Lemyre (1983). Questi autori attraverso un compito di discriminazione della durata hanno indagato l'effetto della modalità. Nello specifico hanno studiato le differenze nella discriminazione di intervalli temporali che erano marcati, rispettivamente all'inizio e alla fine, da stimoli: audio-audio, video-video, audio-video, video-audio. Ciò che hanno notato questi studiosi è che intervalli marcati unimodalmente presentavano una

¹ Per intervalli vuoti si intendono quei periodi di tempo che sono marcati (visivamente o acusticamente) da un segnale iniziale e uno finale, in assenza di stimolazione tra questi; gli intervalli pieni sono invece dei periodi di tempo in cui una stimolazione (visiva o acustica) è costante e continua per tutta la durata dell'intervallo stesso.

più facile discriminazione temporale, mentre intervalli marcati in modo cross-modale risultavano di più difficile discriminazione. Inoltre per quanto concerne gli stimoli unimodali, i risultati nella condizione acustica risultavano migliori di quelli nella condizione visiva.

Sempre in quegli anni si è analizzato anche il contributo degli intervalli vuoti o pieni in relazione alla modalità di presentazione degli stimoli (Grondin, 1993). Tale tematica è stata al centro di un acceso dibattito scientifico, il quale ha portato alla produzione di un gran numero di esperimenti dai risultati spesso contrastanti. I primi lavori, ad esempio, evidenziavano una maggior facilità di discriminazione da parte degli stimoli pieni rispetto a quelli vuoti (Abel, 1972; Rammsayer & Lima, 1991), tuttavia negli anni successivi è stato dimostrato il contrario (Getty, 1975). Utilizzando diversi metodi quali *forced-choice* (FC) e *single-stimulus* (SS), Grondin (1993) ha trovato che i partecipanti discriminavano più accuratamente la durata di intervalli vuoti rispetto a quelli pieni. Ciò è emerso per entrambe le modalità di presentazione (uditiva e visiva), sebbene la modalità uditiva è sembrata essere meno sensibile a questo fattore. Ad esempio in uno degli esperimenti è risultato che per intervalli di 50 millisecondi non c'erano differenze tra stimoli vuoti e pieni per la sola modalità uditiva, mentre per intervalli sino a 250 millisecondi le differenze dipendevano sostanzialmente dal metodo utilizzato. Viceversa le prestazioni rilevate in modalità visiva sembravano risentire maggiormente dell'effetto filled/empty. Questi risultati sono stati ulteriormente confermati da lavori più recenti i quali hanno chiarito il ruolo di questo effetto e la sua interazione con le modalità di presentazione degli stimoli (Grondin et al. 1998), nonché ribadito la maggior sensibilità del sistema percettivo acustico su quello visivo in diversi compiti percettivi e attraverso differenti paradigmi (Grondin & McAuley, 2009).

Alla luce di tali evidenze possiamo quindi tracciare un quadro più chiaro della situazione. Le differenze di elaborazione temporale attribuiscono all'udito un ruolo principale, mentre il ruolo della vista sarebbe subordinato o comunque complementare. Tale asimmetria sembra essere un meccanismo comune, evidenziato da un funzionamento analogo dei processi di percezione e dei più profondi processi di controllo senso-motorio. Parimenti tale fenomeno è stato riscontrato in compiti di memoria, così come in quelli di apprendimento di sequenze motorie. Tali evidenze nel loro complesso delineano quindi un fenomeno che sembra incidere trasversalmente sul funzionamento globale del sistema cognitivo, conferendo pertanto al sistema uditivo un ruolo principale per l'elaborazione delle informazioni temporali.

CAPITOLO III

Il movimento umano e gli aspetti temporali

3.1. Basi biologiche e funzionali

Il movimento umano è il prodotto di una complessa interazione tra un continuo flusso di stimoli sensoriali provenienti dal mondo esterno e dalla propriocezione governati a diversi livelli dal sistema motorio. È importante sottolineare la presenza di livelli in quanto l'organizzazione gerarchica è una caratteristica fondamentale della struttura che controlla il movimento umano. In particolare possono essere individuati tre macrolivelli di controllo motorio per opera del midollo spinale, del tronco encefalico e della corteccia motoria. Tali livelli sono implicati, a seconda del grado di complessità, nella produzione di movimenti riflessi, movimenti ritmici e movimenti volontari (Bear, Connors, & Paradiso, 2002). I movimenti riflessi riguardano azioni involontarie in risposta a particolari stimolazioni periferiche e non rientrano negli scopi di questa trattazione. Viceversa i movimenti ritmici e quelli volontari ricoprono un ruolo importante nello studio dei fenomeni che si intendono approfondire.

I movimenti ritmici comprendono le attività motorie che si ripetono ciclicamente, spesso in modo stereotipato. In questa categoria rientrano comportamenti quali ad esempio la deambulazione, la respirazione e la masticazione. Tali comportamenti, una volta avviati, verrebbero controllati in buona parte da alcune strutture che determinano la ritmicità del movimento. Queste strutture sono note come generatori centrali di schemi motori (GCS) o *central pattern generator* (CPG) e avrebbero quindi la funzione emettere dei segnali elettrici regolari marcando, tra le altre cose, anche la frequenza e il timing dei muscoli scheletrici coinvolti nella locomozione (Kandel, Schwarz & Jessel, 2000).

Da modelli animali e studi su pazienti che hanno subito lesioni ai sistemi nervosi, è stato possibile identificare alcune aree che si occupano di queste attività, le quali sarebbero situate nel midollo spinale e nel tronco dell'encefalo. In queste zone, che sarebbero quindi la sede del CPG, sono state infatti individuate delle cellule che avrebbero la particolare caratteristica di attivare spontaneamente e in maniera indipendente degli impulsi elettrici a cadenza regolare, anche in assenza di stimolazioni esterne, in maniera analoga ad un orologio. Inoltre sembra che anche altre regioni siano

coinvolte nel determinare il timing del movimento, tra queste vi sarebbero in particolare il cervelletto e i gangli della base.

Anche comportamenti quali nuotare, correre e pedalare una bicicletta sarebbero controllati in parte da circuiti automatici che regolano il ritmo, tuttavia non è chiaro se questi “orologi” siano una parte del CPG o siano un costrutto neuropsicologico a parte. Resta al momento molto difficile comprendere come delle singole cellule possano combinarsi in unità funzionali, dando origine a impulsi elettrici che regolano la corsa, le pedalate di un ciclista e le bracciate di un nuotatore. Tra le cose che sembrano relativamente chiare, o quantomeno ad oggi condivise, c'è l'organizzazione funzionale di queste strutture. Ad esempio sembra che il central pattern generator non sia un'entità unica di coordinamento generale, al contrario pare che vi siano più sistemi i quali, con differenti funzioni, organizzano e sincronizzano l'esatta sequenza di innervazione muscolare che permette il movimento. In questo modo il CPG sarebbe quindi una sorta di network che coordina i vari aspetti dei movimenti ciclici, quali la sequenza di contrazione dei muscoli, i rapporti temporali tra questi e la velocità di esecuzione (Rowland, 2011).

Tuttavia occorre non cadere nell'errore di considerare il CPG (e le eventuali altre strutture che regolano il ritmo) come un'entità isolata in grado di compiere atti motori in completa autonomia. Queste aree sono dei centri di controllo automatico di processi ritmici, ma sono comandate da strutture superiori (cognitivamente da processi di decisione) e allo stesso tempo sono influenzate da strutture cerebrali che raccolgono informazioni sensoriali dall'esterno, permettendoci quindi di interagire con l'ambiente. Pertanto un atleta che si allena correndo per strada potrà, ad esempio, modulare la propria andatura in relazione alla sua volontà di aumentare o diminuire la propria velocità, oppure interrompere bruscamente la propria azione in seguito all'evento inatteso di un'automobile che non rispetta un attraversamento pedonale. Quindi, riassumendo, i movimenti ritmici possono essere mantenuti costanti da circuiti che operano a un livello gerarchico medio-basso (principalmente dal midollo spinale e il tronco dell'encefalo), tuttavia un controllo volontario o determinato da stimoli esterni può intervenire nella modifica del pattern ritmico.

Il controllo motorio volontario viene esercitato prevalentemente dalla corteccia motoria che rappresenta il più alto livello del sistema motorio. In un sistema organizzato gerarchicamente, la corteccia motoria avrebbe pertanto la capacità di coordinare i movimenti volontari mediando l'azione del tronco dell'encefalo e del midollo spinale,

coadiuvata da altre aree del sistema nervoso, in particolare il cervelletto e i nuclei della base. Un'importante caratteristica dei movimenti volontari è quella di correggere l'azione sulla base dell'esperienza presente e pregressa. Per cui le persone sono in grado di rilevare i segnali ambientali e correggere conseguentemente la loro azione, in un sistema di controllo a *feedback*. Allo stesso tempo, tramite gli organi di senso, siamo in grado di riconoscere in anticipo le situazioni che in passato hanno generato delle modifiche del nostro comportamento e il nostro sistema motorio è in grado di inviare dei messaggi preparatori alla situazione che si sta per verificare. Tale meccanismo di controllo è noto come *feedforward* (Kandel, Schwarz & Jessel, 2000).

Da un punto di vista funzionale esistono diversi modelli e teorie che, partendo da presupposti spesso molto diversi tra loro, offrono una spiegazione del movimento umano. Uno dei modelli più importanti è quello di Schmidt e Wrisberg (2000) e descrive il processo di azione attraverso quattro sistemi: esecutore, effettore, feedback e comparatore (figura 1). Il sistema esecutore identifica gli stimoli percettivi, sceglie la risposta più adeguata in base all'ambiente percepito e carica il corrispondente programma motorio. Il sistema effettore riceve informazioni dal sistema esecutivo e porta a compimento l'azione desiderata. I circuiti di feedback controllano l'attività del sistema effettore, fornendo informazioni circa l'esecuzione dell'azione. I circuiti di feedback più semplici si trovano a livello locale e sarebbero disponibili per azioni di durata compresa tra i 30 e i 50 millisecondi. Tali feedback non sarebbero controllabili volontariamente. Viceversa i circuiti più complessi forniscono informazioni propriocettive e esteroceptive (per alcune delle quali occorrerebbero almeno 300 millisecondi) elaborate dal sistema comparatore. Quest'ultimo elabora i dati provenienti dal sistema esecutivo e li compara con quelli provenienti dai circuiti di feedback. Se i dati non presentano un adeguato *matching* viene inviato un messaggio di errore al sistema esecutore in modo da aggiustare l'azione. Secondo questo modello sarebbero quindi disponibili dei feedback a diversi livelli. I movimenti più lenti beneficerebbero di feedback visivi, uditivi e propriocettivi, mentre i movimenti più rapidi non avrebbero il tempo di utilizzare tutte queste informazioni, disponendo solamente di alcuni feedback propriocettivi.

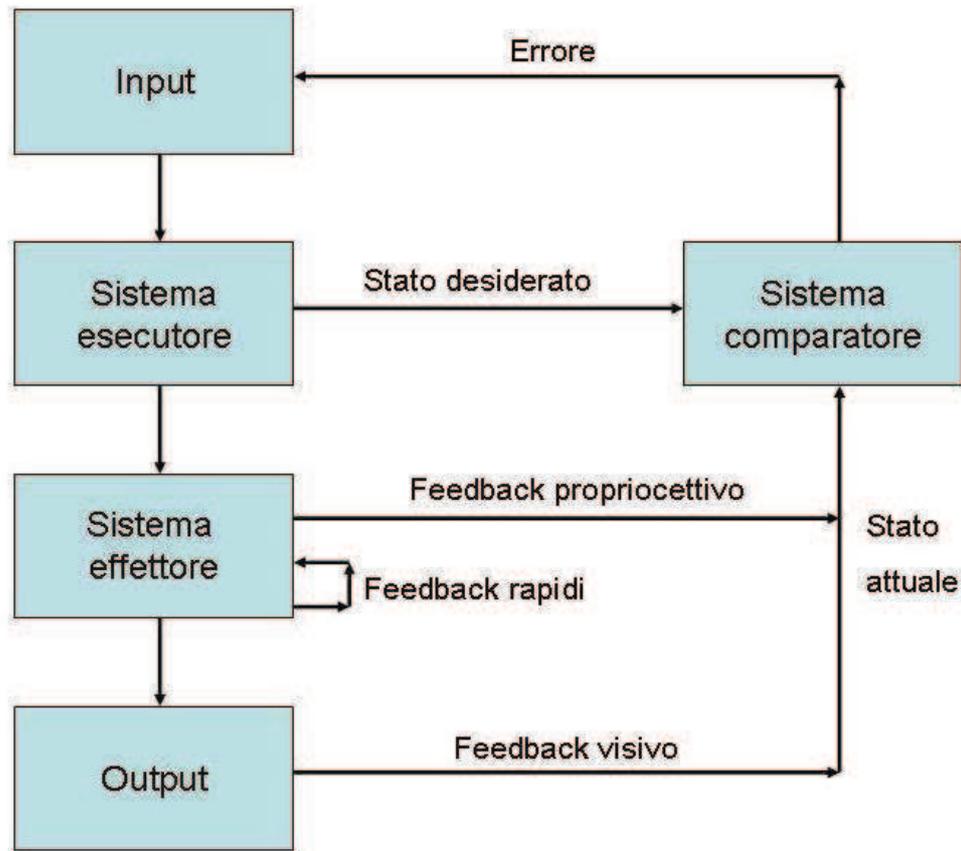


Figura 1. Modello del controllo motorio modificato da Schmidt e Wrisberg (2000).

Una parte fondamentale di questo modello riguarda il programma motorio che viene caricato dal sistema esecutore, definendo quale tipo di azione sia richiesta e come questa vada eseguita. Schmidt (1975) ha proposto una teoria nota come *Schema Theory* dell'apprendimento motorio, basata sul concetto dei programmi motori generalizzati (PMG) o *generalized motor programs* (GMP). Secondo la presente teoria, dato che sarebbe impossibile imparare e immagazzinare ogni specifico pattern motorio, le persone apprenderebbero uno schema generale per ogni classe di movimenti. Schmidt sostiene che vi siano alcune caratteristiche generali e invarianti del movimento che costituirebbero appunto gli schemi motori e altre caratteristiche (parametri) che andrebbero definite di volta in volta. Pertanto nella fase di produzione del movimento le persone richiamerebbero uno schema motorio appreso e definirebbero i parametri in base alla situazione. Tra le caratteristiche invarianti dei programmi motori vengono elencati da Schmidt il tempo relativo, la forza relativa e la sequenza di movimenti. Tra i principali parametri da specificare invece ci sarebbero la durata totale, la forza totale, la direzione del movimento e gli arti effettori. Per gli scopi di questo lavoro si ritiene utile

soffermarsi sugli aspetti temporali, quindi verranno analizzati in particolare il tempo relativo e la durata totale.

Il tempo relativo (*relative timing*) di un'azione è la proporzione della durata delle varie componenti di un movimento. Tale proporzione definirebbe una ritmicità dell'azione, per tale motivo spesso il tempo relativo viene anche definito da alcuni autori come ritmo o struttura ritmica del movimento. Immaginiamo che un movimento sia composto da tre parti (figura 2) e che queste abbiano rispettivamente una durata di 100, 300 e 200 millisecondi. In questo caso il tempo relativo sarà dato dal rapporto tra le tre componenti, ovvero 1:3:2. Questo rapporto sarebbe una parte invariante della struttura di uno schema motorio. Ciò significa che, una volta appreso lo schema di un dato movimento, le persone, nel riprodurre tale azione, applicherebbero sempre la stessa proporzione di durata delle sue componenti.



Figura 2. Tempo relativo e durata totale.

La durata complessiva (*overall duration*), definita anche tempo assoluto, è data dalla somma della durata di ogni componente del movimento. In questo esempio quindi corrisponderebbe a $100 + 300 + 200 = 600$ millisecondi. A differenza del tempo relativo, la durata complessiva sarebbe un parametro da specificare nella fase di compilazione del programma motorio. La durata totale sarebbe quindi variabile e dipenderebbe dal contesto. Riassumendo, il processo di produzione motoria dovrebbe prevedere il caricamento di un programma con alcune caratteristiche invariabili, quali il tempo relativo, e la specificazione di alcune caratteristiche variabili, quali la durata assoluta. Pertanto, secondo tale teoria, al variare della durata assoluta di un movimento rimarrebbe costante la proporzione delle sue componenti. Tale fenomeno è stato spesso studiato e verificato sperimentalmente e, a distanza di oltre trentacinque anni dalla formulazione originale della teoria, sembra ancora un punto di forza di questo approccio (Summers & Anson, 2009).

3.2. Le afferenze sensoriali influenzano il ritmo del movimento?

A questo punto occorre chiedersi se sia possibile influenzare il ritmo del movimento utilizzando degli stimoli sensoriali. Ovvero è possibile intervenire in qualche modo per modulare la ritmicità dei movimenti? Quanto i sistemi motori sono sensibili alle perturbazioni provenienti dal mondo esterno? Quali stimolazioni avrebbero le maggiori probabilità di influenzare il CPG e le altre strutture che regolano il timing dell'azione motoria?

Per rispondere a queste domande si considererà prima di tutto un fenomeno descritto da Rowland (2011). Quest'autore, nello spiegare i processi di regolazione temporale dell'azione, descrive un fenomeno comune a tutti coloro che hanno assistito alle regate delle *dragon boat* (letteralmente barche drago). Queste sono delle canoe, il cui equipaggio è composto da venti rematori e un timoniere, che si sfidano annualmente, secondo la tradizione cinese, in occasione dell'omonima festa delle barche drago. Una particolarità di queste imbarcazioni è che l'equipaggio è composto anche da un ventiduesimo elemento, il quale, munito di tamburo, marca il ritmo di remata degli atleti. Quindi, a seconda della situazione, lui altera la frequenza dei battiti inducendo un cambiamento nel ritmo dei rematori. Rowland sostiene che il tamburino in quel momento si comporti esattamente come le strutture interne che regolano il ritmo dell'azione umana. In realtà, oltre al chiaro esempio proposto dall'autore, vi è un aspetto ancora più importante che non è stato sottolineato, ovvero il fatto che proponendo dall'esterno un suono con cadenza ritmica è possibile modulare la temporalità del movimento degli atleti. Sembra dunque possibile che dei segnali esterni aventi una cadenza ritmica abbiano in qualche modo la capacità di interferire con gli "orologi interni" del nostro organismo, determinando degli effetti sulla produzione motoria.

Questa spiegazione è stata adottata anche dagli organizzatori della maratona di New York, i quali nel 2007 vietarono l'uso di dispositivi per la riproduzione musicale durante la gara. Tra le motivazioni degli organizzatori veniva appunto sottolineato che i lettori di file mp3 avessero la possibilità di influenzare le prestazioni e in un certo senso l'uso di tali apparecchi poteva configurarsi come illecito, quasi alla stregua del doping.

L'utilizzo di stimoli acustici, come ampiamente illustrato nel secondo capitolo, avrebbe effettivamente la capacità di portare le persone a sincronizzarsi anche involontariamente con il ritmo ascoltato (Repp & Penel, 2002; 2004). Tali studi confermano quindi l'osservazione di Rowland e in un certo senso i timori degli organizzatori della maratona di New York. Tuttavia l'effetto degli stimoli acustici non

sembra limitarsi ai soli processi di sincronizzazione “in diretta”, ma sono stati anche descritti effetti di standardizzazione temporale del movimento in compiti di memoria e di apprendimento. In quest’ultimo caso è stato evidenziato come sia possibile utilizzare dei modelli acustici per migliorare l’acquisizione e la successiva riproduzione di sequenze motorie semplici. Tuttavia non è stato ancora dibattuto l’effetto di questi modelli sulle componenti temporali del programma motorio. Quali sono pertanto gli effetti del modeling uditivo sul tempo relativo e sulla durata totale dei movimenti?

Un lavoro di Shea e colleghi (2001) ha indagato questo aspetto. I partecipanti dovevano riprodurre una determinata sequenza motoria, la quale consisteva nel premere dei bottoni sulla tastiera del computer in un certo ordine e per una certa durata di tempo. Tale compito veniva testato in condizioni di modeling acustico o senza modello. Inoltre, in un secondo esperimento, veniva manipolato l’effetto della pratica fisica sull’apprendimento. Le variabili dipendenti erano l’accuratezza del tempo relativo e della durata totale di esecuzione della sequenza. I risultati sommariamente hanno evidenziato che il solo modello acustico, anche in assenza di pratica fisica, portava ad un miglioramento dell’accuratezza del tempo relativo di esecuzione della sequenza. Tuttavia ciò non accadeva per la durata totale. In questo caso la pratica fisica giocava un ruolo importante e i risultati migliori erano ottenuti solo quando il modello acustico era combinato con la pratica fisica. Pertanto sembrerebbe che l’applicazione del modellamento acustico riesca a produrre effetti sul sistema cognitivo tali da indurre una modulazione di entrambi gli aspetti temporali nella produzione dell’azione. Ciò sembra essere valido sia per il tempo relativo che per quello assoluto, sebbene in quest’ultimo caso sia necessaria anche la pratica fisica.

Alla luce di tali evidenze, occorre una riflessione tesa a definire un quadro più completo degli effetti delle afferenze sensoriali sulla produzione motoria. Innanzitutto, rispondendo ai quesiti iniziali, sembra evidente che sia possibile intervenire con stimoli esterni per regolare gli aspetti temporali del movimento e in quest’ottica le stimolazioni uditive sarebbero il canale privilegiato. Il tempo relativo, almeno per quanto concerne il modeling, sembra essere l’aspetto temporale più suscettibile a questo tipo di stimoli, sebbene anche la durata totale risulti influenzabile. In una prospettiva più ampia, si possono classificare gli effetti che le stimolazioni acustiche hanno sulla produzione motoria, distinguendo gli effetti di questi input su tre livelli: tali effetti possono essere “in diretta” (nei compiti sincronizzazione senso-motoria), possono avere un

“trasferimento immediato” (nei compiti di memoria a breve termine), ma possono anche avere una più lunga durata con l’utilizzo delle tecniche di modeling.

3.3. La percezione del movimento umano

Un elemento di fondamentale importanza nello sport riguarda l’abilità di percepire i movimenti propri e dell’avversario. Il pioniere degli studi sul movimento biologico è lo svedese Gunnar Johansson che ha inventato il metodo dei “punti-luce” (Johansson, 1973; 1976). Questo studioso, con lo scopo di esaminare la percezione del movimento corporeo, aveva creato dei filmati in cui limitava la disponibilità delle informazioni visive. Per raggiungere il proprio obiettivo aveva videoregistrato, in condizioni di assenza di illuminazione, alcuni attori mentre questi indossavano con una calzamaglia nera alla quale erano state applicate 10-12 lampadine nelle giunture (ginocchia, caviglie, gomiti, anche), in modo tale che nei video creati risultassero visibili solo dei puntini luminosi (punti-luce). Tali registrazioni ritraevano gli attori mentre questi erano impegnati in diversi tipi di movimento tra cui correre, saltare, andare in bicicletta, danzare, ecc.

I filmati così ottenuti erano successivamente mostrati a degli osservatori i quali erano ignari del contenuto. Gli osservatori, grazie ai punti-luce, riconoscevano piuttosto facilmente che si trattava di esseri umani in movimento ed erano inoltre capaci di riconoscere il tipo di attività intrapresa dagli attori (Wolfe et al., 2007). Ciò che forse sorprende maggiormente è la rapidità con cui i partecipanti estraevano tali informazioni: erano infatti sufficienti appena 200 millisecondi affinché tutti i partecipanti riuscissero ad individuare che la dinamica delle luci corrispondeva a quella di un corpo umano, mentre dopo soli 400 millisecondi addirittura la totalità dei soggetti riusciva ad riconoscere il tipo di attività intrapresa (Stucchi e Olivero, 1999).

L’aspetto interessante dell’effetto scoperto da Johansson è la capacità del nostro sistema visivo di accedere, tramite gli aspetti cinematici, alle informazioni sulle dinamiche dell’azione. Infatti, la valutazione accurata degli aspetti cinematici (velocità, traiettoria e accelerazione) consentirebbe ai soggetti di inferire la dinamica motoria sottostante (Runeson, 1994; Runeson e Frynholm, 1983). La possibilità di inferire gli aspetti dinamici ha suggerito anche un utilizzo applicativo di questa tecnica, che è stata utilizzata per mettere a punto dei training finalizzati a migliorare il processo di percezione-azione in vari sport (Shim et al., 2005; Williams et al., 2002).

La tecnica dei punti-luce è stata ampiamente utilizzata anche in lavori che si prefiggevano di indagare il riconoscimento delle persone impegnate in diversi compiti motori. In particolare, grazie a questi studi, è stato dimostrato che le persone sono in grado di riconoscere il proprio movimento rispetto a quello di altri individui impegnati nella medesima azione (Auvray et al 2011; Hohmann et al 2011; Loula et al 2005). Questa capacità è stata attribuita da diversi autori all'influenza del sistema motorio sui processi percettivi. In tale ottica Schütz-Bosbach & Prinz (2007) introducono il concetto di bi-direzionalità percettiva e motoria per indicare una mutua connessione tra percezione e azione. Secondo tale prospettiva gli esseri umani userebbero il loro sistema motorio per comprendere il significato del movimento biologico che osservano. Dato che il sistema motorio giocherebbe un ruolo cruciale nella percezione del movimento, le persone sarebbero esperte circa le loro azioni passate e quindi più abili a riconoscere sé stesse rispetto ad altre persone impegnate negli stessi atti motori.

La ricerca sul riconoscimento del proprio movimento si è focalizzata principalmente sulla percezione visiva e il suo ruolo nel riconoscimento del movimento sembra abbastanza chiaro. Viceversa le conoscenze circa il ruolo del sistema uditivo sono piuttosto limitate. Un recente lavoro di Sevdalis e Keller (2010) ha indagato, attraverso due esperimenti, l'effetto dei cues visivi e uditivi sull'identificazione dell'esecutore del movimento. Nel primo esperimento i partecipanti erano registrati durante l'esecuzione di tre tipi di performance (ballare, camminare e applaudire) in sincronizzazione con tre brani musicali. I partecipanti venivano testati in due condizioni: in una condizione (visiva) venivano presentati dei filmati muti figuranti le performance loro e di altre persone, nell'altra (audiovisiva) venivano usati gli stessi video a cui era associato il suono della musica con cui erano stati registrati i filmati. I partecipanti dovevano riconoscere l'esecutore del movimento (sé stessi o altri). I risultati non hanno rilevato delle differenze tra la condizione visiva e quella audio-visiva e gli autori hanno affermato che la musica non facilitava il compito di riconoscimento.

Nel secondo esperimento gli autori si sono concentrati solo sul movimento del battito delle mani. Questa volta hanno manipolato il numero degli indizi visivi e aggiunto una seconda condizione audio-visiva in cui oltre alla musica veniva presentato anche il suono del battito di mani prodotto dai partecipanti. Anche nel secondo esperimento non sono emerse differenze tra le condizioni. Gli autori hanno quindi concluso che le informazioni uditive venivano ignorate dai partecipanti, in quanto non producevano effetti aggiuntivi riguardo all'identificazione dell'esecutore, suggerendo

pertanto un ruolo dominante degli stimoli visivi su quelli uditivi. Un'interpretazione alternativa potrebbe tuttavia indicare che il riconoscimento del proprio movimento attraverso le informazioni uditive viene ridotto nelle presentazioni bimodali. Infatti la possibilità di testare una condizione solamente acustica non era stata considerata nel disegno di ricerca di Sevdalis e Keller, i quali si erano limitati ad analizzare solo la condizione visiva unimodale e la combinazione audiovisiva. Considerando la natura ritmica del suono prodotto dal movimento, sarebbe infatti lecito ipotizzare risultati diversi rispetto quelli evidenziati in questo lavoro.

Altri studi hanno investigato, in assenza di stimoli visivi, il ruolo della percezione acustica nell'identificazione degli esecutori di azioni motorie, trovando risultati molto diversi da quelli descritti da Sevdalis e Keller. Questi lavori hanno esaminato movimenti fortemente caratterizzati da componenti ritmiche. I compiti indagati sono stati principalmente di produzione musicale come per esempio suonare il pianoforte o altri strumenti (Keller et al., 2007; Gingras et al., 2011; Repp & Keller, 2010; Repp & Knoblich, 2004). Tuttavia è stato indagato, in condizione unimodale, anche il riconoscimento del suono prodotto dal battito di mani (Flach et al 2004; Repp, 1987).

Per studiare il riconoscimento del proprio suono da parte dei pianisti Repp e Keller (2010) hanno creato due esperimenti in cui manipolavano la temporalità dell'esecuzione. Ai partecipanti veniva chiesto di suonare dei pezzi musicali, i quali venivano registrati dallo sperimentatore. Ai suoni prodotti venivano artificialmente apportate delle variazioni temporali e il compito dei soggetti era quello di individuare tali modifiche. In questo modo è emerso che i pianisti erano in grado di riconoscere le alterazioni dei rapporti temporali all'interno della sequenza musicale quando il suono era il proprio, in misura maggiore rispetto a quando il suono era stato prodotto da altri. Risultati analoghi sono stati ottenuti anche in altri studi (Keller et al., 2007; Repp & Knoblich, 2004).

Un altro movimento complesso che è stato oggetto di studio nella letteratura dell'auto-riconoscimento uditivo è il battito di mani. In un esperimento esplorativo Repp (1987) ha registrato il suono prodotto dai partecipanti mentre questi erano impegnati nell'applaudire secondo le loro normali abitudini (e quindi il loro normale ritmo). Successivamente ai soggetti venivano presentate le registrazioni di sé stessi e di un gruppo di altre persone (che assieme a loro partecipavano all'esperimento) e veniva chiesto loro di indicare il nome dell'esecutore degli applausi. Repp ha trovato che i

partecipanti non riuscivano a riconoscere il battito delle altre persone del loro gruppo, ma erano in grado di identificare i propri applausi.

Ci sono state diverse interpretazioni per spiegare i risultati di Repp: l'identificazione di sé stessi, infatti, poteva essere dovuta a differenze personali nella configurazione delle mani (che producevano suoni qualitativamente diversi), oppure essere dovuti al pattern temporale del movimento (tempo e ritmo). Per testare queste ipotesi Flach e collaboratori (2004) hanno condotto due esperimenti. Nel primo hanno sostanzialmente replicato l'esperimento di Repp, confermandone i risultati, e nel secondo hanno invece manipolato i suoni prodotti dai partecipanti. In una condizione infatti, ai partecipanti venivano presentati dei suoni che mantenevano solo la struttura temporale degli applausi originali, eliminando tutte le altre differenze. Anche in questa condizione i partecipanti riuscivano ad identificare i loro movimenti, perciò gli autori hanno attribuito la capacità di identificare il proprio battito di mani alla struttura temporale.

I risultati di Flach e collaboratori sono in linea con le ipotesi avanzate da Repp e Keller (2010): sembra che l'accuratezza del *matching* tra le informazioni temporali acustiche e le aspettative temporali sia sufficiente a identificare sé stessi come esecutori di sequenze motorie, anche in assenza di altri *cues*. Questi autori inoltre suggeriscono un meccanismo comune tra i processi di sincronizzazione, auto-riconoscimento e percezione delle deviazioni temporali. Secondo questa prospettiva, la rappresentazione motoria delle nostre azioni ci permetterebbe pertanto di riconoscere le nostre azioni rispetto a quelle di altri, di riconoscere le alterazioni temporali apportate ai suoni dei nostri movimenti e anche di sincronizzare il nostro movimento con registrazioni acustiche di nostre azioni passate (Keller et al., 2007).

3.4. Meccanismi comuni tra percezione e azione

Le osservazioni di Keller e colleghi (2007) inducono a pensare che i processi percettivi e quelli motori non siano tra loro indipendenti, bensì che condividano dei meccanismi comuni. Possiamo considerare l'azione indipendentemente dalla percezione e viceversa? Sino a qualche anno fa la corrente di pensiero dominante prevedeva l'esistenza di due fenomeni relativamente indipendenti tra loro. In quest'ottica la percezione era un processo passivo di acquisizione degli stimoli (input), mentre la produzione motoria era un processo di risposta (output). Tra questi vi era uno stadio di elaborazione che avveniva ad un livello gerarchicamente superiore. Sebbene tale

approccio sia ancora diffuso, negli ultimi quindici anni si sono sviluppate delle teorie che contrastano questa visione (Borghi, Giannelli & Scorolli, 2008). Una delle più importanti tra queste, la teoria della codifica di eventi (Hommel et al., 2001), sarà utilizzata come background teorico generale per interpretare sommariamente le evidenze sperimentali che si proporranno di seguito.

La teoria della codifica di eventi (*Theory of Event Coding*, TEC) prevede che i processi di percezione e azione condividano e operino attraverso un unico meccanismo di rappresentazione. In quest'ottica il processo di acquisizione di informazioni e quello di produzione motoria coinciderebbero nel modo di rappresentare internamente gli eventi esterni o, per meglio dire, le interazioni tra gli eventi e la persona che percepisce/agisce. Percezione e azione costituiscono quindi un processo interdipendente, quasi unitario, che integra funzionalmente gli eventi “da percepire” e “da produrre”. Secondo questa prospettiva la percezione è un processo di attiva raccolta di informazioni grazie anche all'azione (ad esempio i movimenti oculari); mentre l'azione ha bisogno di essere guidata costantemente da informazioni sensoriali per interagire con l'ambiente.

Il concetto di “evento” costituisce un insieme di informazioni relative agli stimoli acquisiti e alle azioni da pianificare. Tali informazioni prendono il nome di caratteristiche (*features*) degli eventi e sarebbero codificate e conservate in un unico sistema di rappresentazione comune per i processi percettivi e motori. Le caratteristiche sono pertanto qualità associate agli eventi (ad esempio, la forma o grandezza degli oggetti), codificate in modo separato e indipendente tra loro. La rappresentazione delle caratteristiche da un lato deriva dall'integrazione delle informazioni sensoriali (ma anche dalla memoria), dall'altro integra informazioni che influiscono su più sistemi del movimento.

Un punto centrale di questa teoria è dato dal tipo di rappresentazione delle caratteristiche degli eventi, le quali sarebbero rappresentate in forma distale, piuttosto che prossimale. Cioè le persone non si formerebbero delle rappresentazioni associate alle particolari informazioni acquisite dai vari organi di senso, piuttosto si creerebbero delle rappresentazioni delle caratteristiche distali degli eventi, più astratte e indipendenti dalla modalità, che integrano le informazioni provenienti dai diversi canali sensoriali. In questo modo, ad esempio, l'informazione di un'ambulanza che arriva alla nostra sinistra non sarà codificata dalla particolare immagine retinica del veicolo, né dalla particolare differenza di intensità interaurale del suono della sirena, piuttosto ci si creerà una

rappresentazione più astratta della posizione dell'ambulanza integrando le informazioni visive e acustiche. Tale forma di rappresentazione sarebbe di fondamentale importanza per l'interazione con l'ambiente. Ad esempio, se una persona intende sollevare una tazza è importante che disponga delle caratteristiche distali dell'evento con cui deve interagire. La facilità con cui si esegue questo compito lascerebbe supporre, secondo gli autori, che le persone avrebbero a propria disposizione informazioni quali, ad esempio, distanza, posizione e dimensione, in una unica forma di rappresentazione condivisa tra i processi percettivi e quelli di pianificazione del movimento.

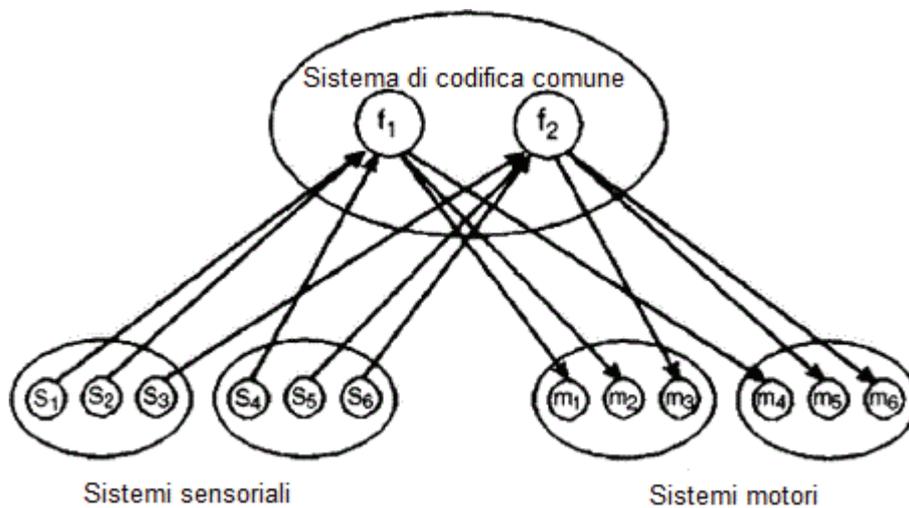


Figura 3. Schema descritto da Hommel e colleghi (2001).

Per chiarire ulteriormente il funzionamento dei processi di rappresentazione secondo Hommel e colleghi, si osservi lo schema riassuntivo proposto nella figura 3. In basso a sinistra si trovano due insiemi che indicano due sistemi sensoriali, ad esempio visione e udito. I sottoinsiemi S_1, S_2 , e S_3 sono quindi informazioni visive, mentre S_4, S_5 e S_6 sono informazioni uditive. Immaginiamo di giocare a tennis e di dover codificare la posizione del nostro avversario e il tempo che la pallina impiegherà ad arrivare verso di noi, in base alle informazioni visive e uditive a nostra disposizione. La posizione dell'avversario sarà data principalmente dalle informazioni visive fornite dall'immagine retinica del tennista (S_1 e S_2) e meno da quelle uditive, ad esempio il rumore del suo spostamento (S_4). Viceversa il tempo di arrivo della palla sarà in buona parte veicolato dalle informazioni uditive, quali il rumore dell'impatto della racchetta avversaria con la palla e del rimbalzo di questa sul nostro campo (S_5 e S_6) e

dall'immagine retinica della palla (S3). Quindi integrando tali informazioni sensoriali ci rappresenteremo le caratteristiche distali della “posizione dell'avversario” (F1) e del “tempo di arrivo della palla” (F2) le quali, a questo punto, sono indipendenti dalla modalità sensoriale. Immaginiamo ora che i due insiemi dei sistemi motori (in basso a destra) rappresentino il movimento delle gambe e quello delle braccia. La rappresentazione della posizione dell'avversario e del tempo di arrivo della pallina sarà necessaria per programmare l'azione di risposta. Infatti per la pianificazione della corsa (movimento delle gambe) si utilizzeranno le informazioni spaziali (M1 e M2) e temporali (M3), così come il tiro di risposta (movimento delle braccia) sarà determinato dalla posizione dell'avversario (M4) e dal tempo di arrivo della palla (M5 e M6).

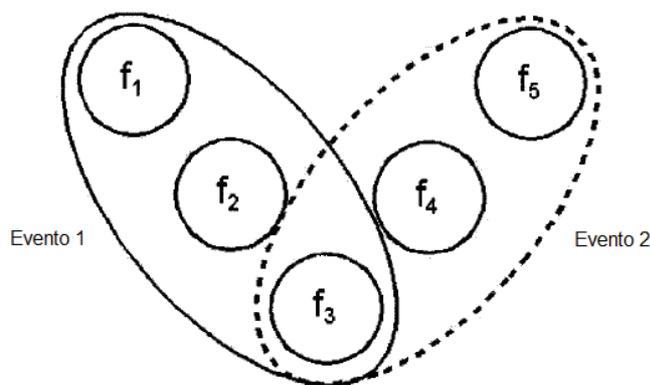


Figura 4. Integrazione e attivazione delle caratteristiche degli eventi.

Come si è visto gli eventi vengono codificati sotto forma di caratteristiche rappresentate in maniera indipendente le une dalle altre. In altre parole la rappresentazione degli eventi è distribuita in network specializzati per singole caratteristiche. Tali caratteristiche sarebbero successivamente integrate ad un livello di rappresentazione più elevato. Il processo di integrazione (*binding*) avverrebbe in seguito all'attivazione delle *features* che appartengono agli eventi che devono essere percepiti o attuati. Tuttavia tale attivazione rischierebbe di coinvolgere anche altri eventi oltre a quello richiesto in un dato momento, dato che certe caratteristiche sono condivise da più eventi (Figura 4). Immaginiamo un evento 1 con caratteristiche F1, F2 e F3 e un evento 2 con caratteristiche F3, F4 e F5. L'attivazione delle caratteristiche dell'evento 1 genererebbero anche un'attivazione dell'evento 2 con cui condivide F3. Tuttavia nel momento in cui le caratteristiche dell'evento 1 iniziano il processo di *binding*, la

caratteristica F3 rimarrebbe associata solo a all'evento 1, inibendo gli altri candidati con caratteristiche simili. Tale processo avverrebbe in maniera analoga sia nella fase di percezione degli stimoli sia in quella di pianificazione dell'azione.

Un ultimo punto importante riguarda il diverso peso attribuito ad alcune caratteristiche piuttosto che ad altre, a seconda del contesto e in funzione degli obiettivi. In alcuni casi infatti non è necessario percepire o attivare tutte le caratteristiche legate ad un evento e si opera una sorta di selezione. Il processo di attribuzione di un peso diverso agli stimoli avverrebbe in maniera analoga sia nella percezione che nella pianificazione motoria: nel primo caso questa selezione viene operata dall'attenzione, nel secondo caso dall'intenzione. I processi di attenzione e intenzione (in funzione degli obiettivi) possono attivare in anticipo i codici relativi alle caratteristiche rilevanti rispetto a quelle non rilevanti per un dato contesto. Lo stimolo o la preparazione di un movimento quindi attiveranno ulteriormente solo quelle caratteristiche più attive rispetto alle altre non salienti (e di conseguenza meno attive). Tale processo permetterà alle caratteristiche più attive di essere associate tra loro con maggiore facilità e probabilità, per effetto dei meccanismi di *binding* appena descritti.

CAPITOLO IV

La percezione del ritmo nei movimenti complessi

4.1. Introduzione

Il ritmo è un concetto ampiamente utilizzato nella terminologia sportiva e, più in generale, quando si parla di movimento umano. Questo termine è comunemente impiegato con differenti accezioni per riferirsi a costrutti molto diversi tra loro, ad esempio per descrivere la velocità di andatura di atleti impegnati in gare di corsa o per definire la rapidità delle azioni di gioco. Tuttavia in questo lavoro il ritmo è inteso ancora in un'altra accezione, avvicinandosi piuttosto alla descrizione suggerita da Schmidt (1975) del tempo relativo. Quindi si definisce il ritmo come il rapporto temporale delle diverse parti di un movimento complesso.

La percezione del ritmo è un'abilità necessaria per lo svolgimento di numerose attività quotidiane che prevedono un movimento. Ad esempio nella musica le persone devono avere la capacità di percepire correttamente il ritmo prodotto da altri musicisti, al fine di eseguire dei movimenti che producano suoni coerenti con il ritmo percepito, tramite l'utilizzo di strumenti musicali. Ciò accade in maniera analoga anche nella danza, disciplina nella quale i ballerini devono muovere il proprio corpo rispettando la ritmicità imposta dalla musica. In ambito sportivo tale abilità è richiesta prevalentemente nelle attività che richiedono movimenti in sincronia con altri atleti o con la musica, quali ad esempio il nuoto sincronizzato e la ginnastica ritmica.

Nonostante la percezione del ritmo del movimento umano coinvolga tante attività, sorprende la mancanza di lavori che abbiano valutato le abilità di atleti, musicisti e ballerini nel percepire il ritmo delle loro performance. Gli scienziati si sono ampiamente interessati alla discriminazione di intervalli temporali (che sono alla base della discriminazione del ritmo), tuttavia tali lavori sono stati sempre condotti nell'ambito della ricerca di base e prevedevano l'utilizzo di stimoli artificiali (Grondin & McAuley, 2009), piuttosto che stimoli creati dal movimento umano.

Per ovviare a questa lacuna si è pertanto deciso di studiare la capacità delle persone di percepire il ritmo del movimento e, in particolare, si è deciso di analizzare le differenze tra stimoli presentati visivamente e acusticamente. Precedenti lavori hanno dimostrato differenze di modalità nella percezione di stimoli artificiali, evidenziando una maggiore sensibilità da parte del sistema acustico (Grondin et al. 1998; Grondin &

McAuley, 2009). Non sappiamo tuttavia se ciò accade anche per quanto riguarda il movimento umano, oppure se la quotidiana esperienza della visione di altri esseri umani impegnati in attività fisiche può in qualche modo ridurre il gap emerso nelle ricerche di base.

Lo studio di questo fenomeno avrebbe numerose finalità applicative nell'ambito della attività motorie e nelle relative tecniche di insegnamento. Se in tali settori risulta necessario proporre dei metodi di allenamento che favoriscano l'apprendimento degli aspetti temporali del movimento, è importante che questi metodi utilizzino i canali che sono cognitivamente sensibili alle abilità che si intendono insegnare. Per tale motivo se dovesse essere confermata una maggiore sensibilità percettiva al ritmo del movimento umano da parte delle vie acustiche rispetto a quelle visive, tale evidenza dovrebbe indurre insegnanti e allenatori ad utilizzare il canale uditivo per l'insegnamento degli aspetti temporali connessi alle attività fisiche.

Per approfondire tale fenomeno si è scelto di condurre due esperimenti su un'attività fortemente caratterizzata da aspetti ritmici, quale il tip-tap (*tap dance*). Questa disciplina è un tipo di ballo basato sul tapping prodotto attraverso gli arti inferiori e, per la sua connotazione prettamente ritmica, è stato definito anche "*rhythm dance*". Tale ballo si configura come un tipo di produzione musicale effettuata direttamente con il movimento del corpo. Infatti, attraverso il ballo, vengono prodotti dei suoni seguendo il tempo di brani musicali di accompagnamento. Rispetto a un normale compito musicale non vengono tuttavia usati strumenti, ma il suono viene prodotto dall'impatto della scarpe del ballerino sul suolo. La caratteristica importante di questa disciplina, per quanto riguarda lo studio della produzione del ritmo, è che rispetto ai normali compiti tapping (che in genere prevedono solo il movimento delle dita o al massimo delle mani) il tip-tap è un'attività motoria complessa che implica il movimento dell'intero corpo ed è per questo motivo paragonabile ad uno sport (Rees, 2003).

In questo lavoro quindi, attraverso due esperimenti, si studierà la capacità di percepire il ritmo, da parte di ballerini esperti e di persone non esperte, prodotto durante alcune sequenze pre-registrate di passi di tip-tap. Gli obiettivi generali di questo studio sono pertanto: 1) valutare la capacità delle persone di discriminare tra diversi ritmi prodotti in modalità uditiva; 2) valutare la capacità delle persone di discriminare tra diversi ritmi prodotti in modalità visiva; 3) confrontare tali capacità di discriminazione a seconda della modalità di presentazione degli stimoli; 4) valutare le differenze tra esperti e non esperti di tip-tap.

4.2. Esperimento 1

In questo primo esperimento verranno considerati solamente i primi tre punti degli obiettivi generali. Pertanto si vorrà: indagare la capacità di discriminare il ritmo di sequenze motorie da parte del sistema acustico e di quello visivo e confrontare queste due modalità, ipotizzando una maggiore sensibilità del sistema acustico rispetto a quello visivo. Per il momento saranno testati solo soggetti esperti nel campo del tip-tap, mentre non verranno considerati partecipanti non esperti.

4.2.1. Metodo

Partecipanti. In questo esperimento sono stati testati 16 ballerini tutti esperti di tip-tap, di età compresa tra i 18 e i 61 anni ($M = 35,5$; $DS = 16,4$), reclutati in diverse accademie di danza del Friuli Venezia Giulia, del Veneto e della Puglia. Per la realizzazione degli stimoli ci si è avvalsi inoltre di un'insegnante di tip-tap con oltre 10 anni di esperienza. I partecipanti alla fase sperimentale hanno riferito di praticare questa disciplina da almeno 3 anni e di non avere particolari problemi di udito. Eventuali problemi di vista erano opportunamente corretti tramite l'utilizzo di occhiali o lenti a contatto. Tutti i partecipanti erano volontari e non sono stati pagati per prendere parte al presente studio.

Materiali e strumenti. Una videocamera digitale Panasonic, modello HDC-SD80, è stata utilizzata per videoregistrare i filmati che sarebbero stati usati come stimolo. Un microfono Style Line ECM-925 P, collegato ad un mixer, rilevava il suono prodotto dall'insegnante durante l'esecuzione delle prove stimolo. Tale suono veniva registrato da un laptop computer HP G62, con sistema operativo Windows 7 e processore Pentium. Lo stesso computer è stato utilizzato per l'editing del materiale audio e video, con l'ausilio dei software Goldwave 5.58 e Microsoft Movie Maker 2.6. Gli stimoli venivano riprodotti sempre con l'ausilio del medesimo PC. Per la somministrazione degli stimoli acustici ci si serviva delle cuffie Sennheiser HD515 (distorsione armonica totale $<0.2\%$).

Creazione degli stimoli. Al fine di svolgere il presente esperimento è stato necessario creare degli stimoli audio e video. Gli stimoli impiegati erano costituiti da registrazioni acustiche e visive di sequenze motorie realizzate dall'insegnante di tip-tap. Le prove erano condotte in una sala isolata acusticamente per evitare l'interferenza di rumori esterni sulle registrazioni audio. La telecamera è stata posizionata in modo da inquadrare solamente le gambe e i piedi dell'insegnante, al di sotto dell'altezza delle ginocchia. Questa particolare inquadratura avrebbe obbligato i partecipanti a focalizzare

la loro l'attenzione sulla ritmica del gesto atletico, eliminando altri cues che avrebbero potuto interferire sul compito.

È stato chiesto all'insegnante di effettuare 10 sessioni da 10 prove ciascuna. Nello specifico all'insegnante veniva chiesto di eseguire delle sequenze di 8 battute musicali seguendo un ritmo "even" (costante) a un tempo di 132 bpm, in sincronizzazione con un metronomo presentato per via acustica. La metà delle prove è stata eseguita in maniera ritmicamente corretta, l'altra metà in modo non corretto. In queste ultime prove veniva infatti chiesto all'insegnante di sbagliare appositamente il ritmo di un appoggio.

Le prove eseguite dall'insegnante sono state catalogate in due distinte categorie: "even" e "uneven". Le prove even dovevano rispondere a due criteri: essere giudicate "even" dall'insegnante e da un secondo giudice esperto, in maniera indipendente; avere una percentuale di errore tra il ritmo prodotto dall'insegnante e il ritmo del metronomo inferiore all'8% (± 36 millisecondi) per ogni appoggio. Le prove uneven dovevano rispondere sempre a due criteri: dovevano essere giudicate "uneven" dall'insegnante e da un secondo giudice esperto, in maniera indipendente; avere una percentuale di errore tra il ritmo prodotto dall'insegnante e il ritmo del metronomo inferiore al 8% per tutti gli appoggi tranne uno, il cui errore doveva essere compreso tra il 12% e il 16%.



Figura 5. Esempio di sequenza visiva nella condizione video.

In base ai criteri descritti sono state selezionate 5 prove even e 5 prove uneven. Da queste sono stati successivamente estratti 20 stimoli, 10 audio (5 even e 5 uneven) e

10 video (5 even e 5 uneven). È importante sottolineare che gli stimoli audio e quelli video sono stati estratti dalle stesse prove, in modo che la modalità di presentazione fosse l'unica differenza tra le due condizioni.

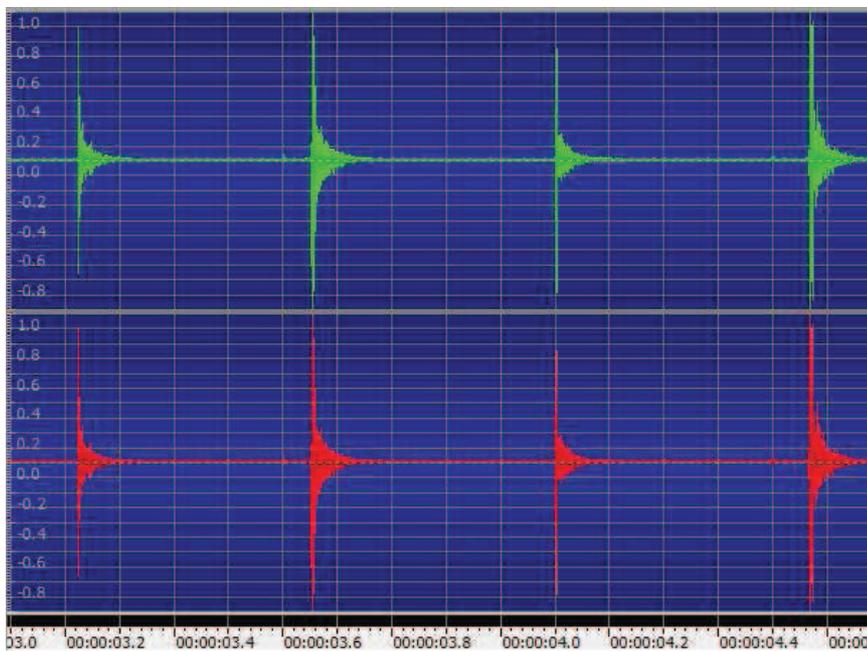


Figura 6. Rappresentazione grafica di una porzione di stimolo uditivo.

Disegno sperimentale e procedura. Nel presente studio è stato utilizzato un disegno di ricerca *within subjects* in cui veniva manipolata la modalità di presentazione (audio o video) degli stimoli. L'ordine di presentazione degli stimoli è stata controbilanciata per modalità sensoriale, di conseguenza la metà dei partecipanti era esposta prima a un blocco di stimoli audio e successivamente a uno di stimoli video, mentre l'altra metà era esposta all'ordine di presentazione inverso, in modo da tenere sotto controllo il possibile effetto confondente di questa variabile. L'ordine degli stimoli even o uneven era randomizzato all'interno di ogni blocco. La somministrazione degli stimoli era preceduta da un metronomo a doppia modalità audio-video, che produceva segnali luminosi in associazione al ritmo scandito acusticamente. Gli stimoli erano presentati in due fasi distinte:

- *Fase di familiarizzazione con il compito.* In questa fase venivano presentate alcune sequenze ritmiche di prova con l'unica richiesta di osservare o ascoltare gli stimoli, ponendo particolare attenzione agli aspetti ritmici di questi (in questa fase non venivano raccolti i dati);

- *Fase sperimentale.* In questa fase venivano presentati gli stimoli (nell'ordine audio-video o video-audio) uno per volta. Dopo ogni stimolo lo sperimentatore chiedeva ai partecipanti di esprimere una valutazione sul ritmo (even o uneven) di ogni sequenza di passi.

Venivano rilevati l'accuratezza del giudizio e il grado di confidenza circa le risposte fornite. Per quanto riguarda l'accuratezza, il riconoscimento del ritmo degli stimoli veniva valutato in termini dicotomici, per cui i partecipanti dovevano semplicemente riferire oralmente allo sperimentatore se la prova osservata o ascoltata era "even" o "uneven". Per quanto concerne il grado di confidenza, veniva richiesto ai partecipanti di indicare il valore, in percentuale, del grado di certezza relativamente alla risposta appena fornita, per ogni prova esaminata. Entrambe le valutazioni venivano fornite immediatamente dopo ogni singola osservazione.

4.2.2. Risultati

Si voleva esaminare il ruolo della modalità di presentazione degli stimoli sull'abilità di riconoscimento del ritmo, per riscontrare un'eventuale maggior sensibilità del sistema acustico rispetto a quello visivo. In linea con quanto emerso dall'analisi della letteratura, i risultati hanno confermato questa ipotesi (figura 7). Un *t-test* a misure ripetute ha infatti evidenziato una differenza statisticamente significativa tra le condizioni audio e video, in favore della modalità acustica ($t_{(15)} = 3,45$; $p < .005$).

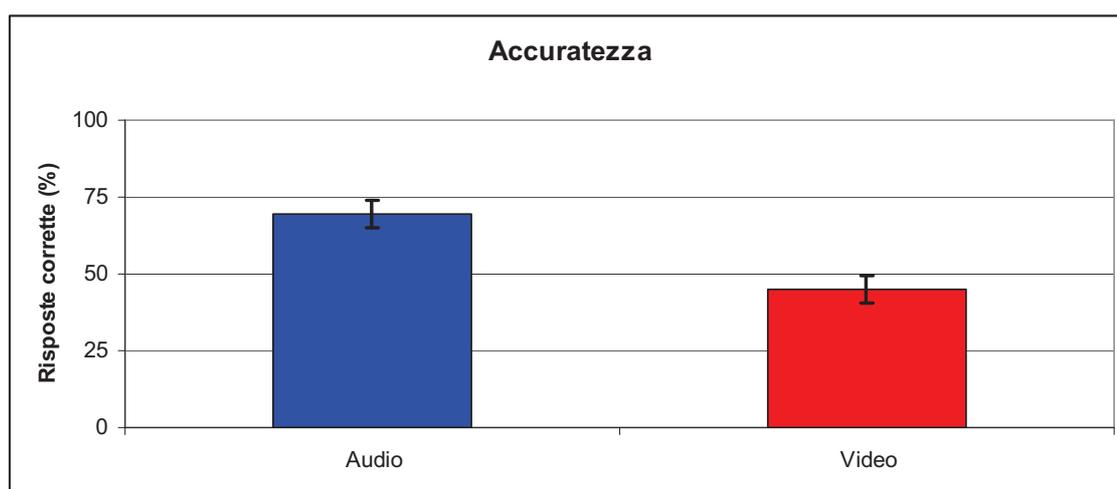


Figura 7. Accuratezza delle risposte fornite nelle modalità audio e video, espressa in percentuale.

L'analisi dei dati relativi al grado di confidenza ha suggerito che i partecipanti confidavano nella correttezza delle loro risposte nella condizione audio maggiormente che in quella video (figura 8). Anche in questo caso l'applicazione di un *t-test within subjects* ha evidenziato una differenza statisticamente significativa tra le condizioni ($t_{(15)} = 3,23$; $p < .01$).

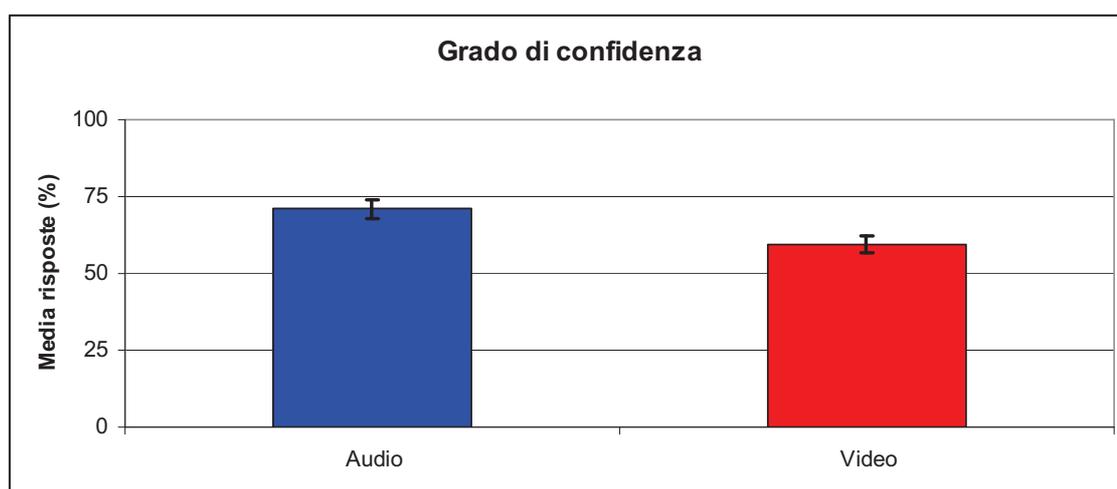


Figura 8. Grado di confidenza riportato dai soggetti circa l'accuratezza dei propri giudizi.

Inoltre si voleva valutare, all'interno di ogni condizione di modalità sensoriale, la capacità di discriminare tra stimoli even e uneven. Per quanto concerne la modalità acustica è emerso che i partecipanti avevano una capacità di discriminazione superiore al caso (50%). Infatti l'applicazione di un *one sample t-test* ha evidenziato una significatività statistica ($t_{(15)} = 4,21$; $p < .001$). È stato inoltre calcolato il *rate* degli *hits* (risposta even con stimolo even), dei *misses* (risposta uneven con stimolo even), delle *correct rejections* (risposta uneven con stimolo uneven) e dei *false alarms* (risposta even con stimolo uneven). In questo modo sono stati analizzati i dati secondo la teoria di detezione del segnale ($d' = 1.02$, $c = -0.05$), a ulteriore conferma del *bias* di risposta e quindi della capacità da parte dei soggetti di discriminare tra stimoli even e uneven.

Viceversa, per quanto concerne la condizione visiva, i soggetti non sono stati in grado di discriminare tra gli stimoli. In questo caso le risposte dei partecipanti non differivano dal caso e non sono emersi *bias* di risposta.

4.2.3. *Discussione dei risultati*

In questo esperimento si voleva studiare la capacità delle persone di discriminare tra diversi ritmi, utilizzando le informazioni uditive e visive associate a dei movimenti

umani complessi. Nello specifico si è scelta un'attività motoria come il tip-tap, in cui la componente ritmica dell'azione svolge un ruolo particolarmente importante, e si è deciso di limitare quest'analisi alle persone esperte in tale disciplina. Esaminando la letteratura di riferimento si è constatato che diversi studi hanno suggerito una maggior sensibilità da parte del sistema acustico per l'elaborazione degli aspetti temporali, tuttavia tali studi sono stati condotti nell'ambito della ricerca di base, utilizzando stimoli artificiali, e non era chiaro se tale superiorità del canale uditivo poteva essere analogamente riscontrata nella percezione del movimento umano.

I risultati ottenuti sono in linea con quelli della letteratura e confermano il ruolo dominante dell'udito rispetto alla vista nella percezione del ritmo. Nella condizione uditiva infatti i partecipanti riuscivano a individuare in maniera più accurata, rispetto alla condizione visiva, le differenze di ritmo. La stessa differenza tra visione e udito viene analogamente confermata anche dai dati sul grado di confidenza. In questo caso le persone sembrano essere più certe delle proprie risposte quando gli stimoli venivano presentati acusticamente rispetto a quando erano presentati visivamente.

Il ruolo dell'udito nella percezione del ritmo viene confermato anche analizzando le abilità di discriminazione all'interno della stessa condizione acustica. Infatti i risultati evidenziano che i soggetti hanno delle capacità di discriminazione che sono significativamente superiori al caso, pertanto si può affermare che le persone effettivamente avevano la capacità di individuare le prove even e quelle uneven e di distinguerle tra loro in un compito di percezione esplicita. Coerentemente anche l'analisi effettuata secondo la teoria della detezione del segnale ha ulteriormente confermato la capacità dei partecipanti di discriminare i diversi ritmi eseguiti dall'insegnate di tip-tap.

Viceversa, la capacità di elaborare stimoli ritmici da parte della visione sembra essere piuttosto compromessa in questo tipo di compito. Infatti l'accuratezza delle risposte dei partecipanti, oltre ad essere significativamente inferiore a quella emersa nella condizione uditiva, non differisce nemmeno dal caso. Pertanto le informazioni fornite in questa condizione non erano sufficienti per consentire ai partecipanti di individuare e distinguere i ritmi delle sequenze di passi.

Tale risultato potrebbe indurre a pensare che le persone, seppur esperte, non riescono a sfruttare questo canale. Alternativamente si può ipotizzare che la scelta della soglia di variazione ritmica era sufficiente per una discriminazione uditiva, ma troppo bassa per essere percepita visivamente. In quest'ultimo caso un incremento della soglia

consentirebbe ai partecipanti di percepire le differenze ritmiche anche attraverso il canale visivo e, allo stesso tempo, la capacità di discriminazione attraverso il canale uditivo dovrebbe risultare ancora più marcata. Tale ipotesi sarà testata nel secondo esperimento.

4.3. Esperimento 2

In questo secondo esperimento, al fine di studiare la capacità del sistema visivo di discriminare le variazioni ritmiche, si utilizzerà una soglia di variazione ritmica più elevata rispetto a quella usata precedentemente. Il campione sarà allargato e includerà anche soggetti non esperti, per i quali si ipotizzano una minor accuratezza nelle risposte e un più basso grado di confidenza. Inoltre verrà aggiunta una condizione audiovisiva per indagare se i partecipanti traggono un vantaggio dalla combinazione delle informazioni sensoriali o se, viceversa, esibiscono risultati analoghi alle altre modalità di presentazione.

4.3.1. Metodo

Partecipanti. In questo secondo esperimento sono stati testati 18 ballerini esperti di tip-tap, di età compresa tra i 19 e i 66 anni ($M= 31,76$; $DS = 14,9$), e 18 persone senza alcuna esperienza pratica nel ballo e nella musica, la cui età variava tra i 22 e i 57 anni ($M= 28,8$; $DS = 12,01$). I partecipanti sono stati reclutati presso l'Università di Trieste, la California State University East Bay e alcune scuole di ballo del Friuli Venezia Giulia e dell'area metropolitana di San Francisco. Come nel precedente esperimento, i ballerini hanno riferito di praticare questa disciplina da almeno 3 anni e di non avere particolari problemi di udito o di vista. Tutti i partecipanti erano volontari e non sono stati pagati per prendere parte al presente studio. Alcuni di loro hanno ricevuto una “*coffee gift card*” del valore di 5 dollari, ma non erano a conoscenza di questo omaggio prima dell'esperimento.

Materiali e strumenti. Sono stati utilizzati gli stessi materiali e strumenti del primo esperimento.

Creazione degli stimoli. Gli stimoli sono stati creati dal database di prove eseguite dall'insegnante in occasione del primo esperimento. Gli stimoli *even* erano gli stessi utilizzati nel primo esperimento, mentre quelli *uneven* differivano per la percentuale di variazione ritmica. L'errore ritmico di un appoggio infatti questa volta doveva essere compreso tra il 16% e il 20% rispetto al ritmo del metronomo (in precedenza il *range* era tra il 12% e il 16%). Anche in questa occasione sono state

selezionate 5 prove even e 5 prove uneven. Da queste sono stati estratti 30 stimoli, 10 audio (5 even e 5 uneven), 10 video (5 even e 5 uneven) e 10 bimodali ottenuti dalla combinazione degli audio e dei video relativi alla stessa prestazione (5 even e 5 uneven). Gli stimoli audio, video e audiovideo erano tutti estratti dalle stesse prove.

Disegno sperimentale e procedura. Questo esperimento prevedeva un disegno di ricerca misto, le cui variabili erano la modalità di presentazione degli stimoli (audio, video o audiovideo; *within subjects*) e il livello di expertise (esperti o inesperti; *between subjects*). La presentazione degli stimoli è stata controbilanciata per modalità sensoriale, di conseguenza i partecipanti erano sottoposti a tre blocchi di prove (audio, video e bimodali) e assegnati casualmente a uno sei ordini di presentazione (A-V-B; A-B-V; B-A-V; B-V-A; V-B-A; V-A-B). Per ciascuno dei sei ordini di presentazione sono stati testati sei soggetti (tre esperti e tre non esperti). L'ordine degli stimoli even o uneven era randomizzato all'interno di ogni blocco. La procedura era identica a quella del primo esperimento.

4.3.2. Risultati

In questo studio si voleva esaminare l'effetto di due variabili sulla capacità di discriminare tra ritmi even e uneven. In particolare si è esaminato l'effetto della modalità, quello dell'expertise e la loro interazione sull'accuratezza delle risposte fornite dai partecipanti (figura 9). Un'analisi della varianza a disegno misto ha rivelato un effetto significativo per la variabile modalità, $F_{(2, 68)} = 8,10$; $p < .001$, una tendenza alla significatività per la variabile expertise², $F_{(1, 34)} = 2,32$; $p = .137$, mentre l'interazione tra i fattori expertise e modalità è risultata non significativa.

Effetto della modalità di presentazione. Analizzando in maniera più approfondita la modalità di presentazione si evince che non vi era differenza tra l'accuratezza delle risposte dei partecipanti nella condizione audio e in quella audiovideo, mentre in entrambe queste condizioni l'accuratezza è stata superiore a quella riscontrata nella condizione video. A conferma di tali affermazioni, l'applicazione di due *t-test within subjects* ha rivelato rispettivamente una differenza statisticamente significativa tra i risultati emersi nella condizione audio e quelli emersi in quella video, $t_{(35)} = 3,88$; $p < .001$, e tra i risultati in condizione audiovideo e quelli in

² Tale probabilità è intesa sulle due code della distribuzione. Tuttavia, ipotizzando una maggior accuratezza da parte degli esperti rispetto ai non esperti (e non viceversa), il p valore andrebbe dimezzato. Un'analisi t-test per gruppi indipendenti (esperti vs. inesperti) a una coda ha infatti evidenziato: $t_{(35)} = 1,52$; $p = .068$.

condizione video, $t_{(35)} = 3,15$; $p < .005$. Una terza analisi che confrontava le due condizioni audio (con e senza video) non ha rivelato significatività statistiche.

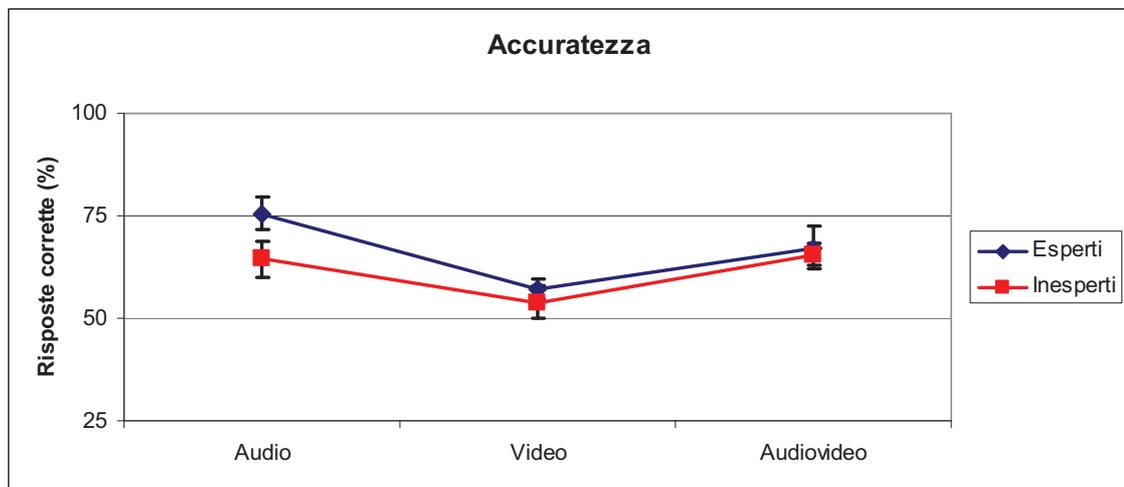


Figura 9. Accuratezza delle risposte fornite nelle modalità audio, video e audiovideo, espressa in percentuale e separata in base alle categorie di expertise.

Per quanto concerne la capacità di discriminare i ritmi even e uneven per ogni singola modalità, è emerso che in tutte le condizioni di presentazione la capacità discriminatoria era superiore al caso. Nello specifico l'applicazione di tre *one sample t-test* ha evidenziato risultati significativi per la condizione audio, $t_{(35)} = 6,43$; $p < .001$, video, $t_{(35)} = 2,34$; $p < .05$, e audiovideo, $t_{(35)} = 5,70$; $p < .001$. Come in precedenza, è stato calcolato il *rate* degli *hits* (risposta even con stimolo even), dei *misses* (risposta uneven con stimolo even), delle *correct rejections* (risposta uneven con stimolo uneven) e dei *false alarms* (risposta even con stimolo uneven). Utilizzando tali *rates* è stato possibile derivare i punteggi dei bias di risposta, secondo la teoria della detezione del segnale, per le modalità audio ($d' = 1.05$, $c = -0.05$), video ($d' = 0.28$, $c = -0.11$) e audiovideo ($d' = 0.86$, $c = -0.14$).

I risultati appena descritti sono in larga parte in linea con quelli relativi ai due gruppi considerati separatamente. Per quanto concerne il gruppo di esperti, l'analisi generale ha rivelato un effetto significativo della modalità di presentazione, $F_{(2, 34)} = 5,84$; $p < .01$. Per confrontare le differenze tra le diverse modalità sono stati applicati dei set di *t-test* a misure ripetute. Tali analisi hanno rivelato una differenza tra le condizioni audio e video, $t_{(17)} = 3,87$; $p < .001$, e tra le condizioni audiovideo e video, $t_{(17)} = 2,09$; p

< .05, evidenziando in entrambi i casi una minor accuratezza nella condizione video. Non sono emerse invece differenze tra le due condizioni audio.

La capacità di discriminare tra ritmi even e uneven è risultata superiore al caso per tutte le condizioni. Anche in questo caso tre *one sample t-test* hanno rivelato delle significatività statistiche per le condizioni audio, $t_{(17)} = 6,29$; $p < .001$, video, $t_{(17)} = 2,85$; $p < .05$, e audiovideo, $t_{(17)} = 3,38$; $p < .005$. Gli score dei *bias* di risposta in questo caso erano pari a $d' = 1.38$, $c = 0.001$, per la modalità audio, $d' = 0.37$, $c = -0.16$ per quella video, e $d' = 0.89$, $c = -0.01$ per quella audiovideo.

Relativamente al gruppo di inesperti sono emersi dei risultati leggermente differenti rispetto a quelli degli esperti. L'analisi generale è risultata marginalmente significativa, $F_{(2, 34)} = 3,08$; $p = .059$. I confronti tra le modalità di presentazione sono stati calcolati, come in precedenza, con dei set di *t-test within subjects*. Similmente al gruppo di esperti, anche tra i non esperti l'accuratezza delle risposte è risultata maggiore nella condizione audio rispetto a quella video, $t_{(17)} = 1,84$; $p < .05$, e in quella audiovideo sempre rispetto a quella video, $t_{(17)} = 2,30$; $p < .05$. Anche in questo caso non sono emerse differenze tra le due condizioni audio.

Analizzando la capacità dei partecipanti di discriminare tra gli stimoli per ogni condizione di presentazione, si evince che gli inesperti non riescono a discriminare tra ritmi even e uneven nella condizione video. Quando gli stimoli venivano presentati visivamente infatti le risposte dei soggetti non differivano dal caso. Viceversa, l'accuratezza delle risposte nelle condizioni audio, $t_{(17)} = 3,25$; $p < .005$, e audiovideo, $t_{(17)} = 5,50$; $p < .001$, era superiore al caso. I punteggi relativi ai bias di risposta sono stati rispettivamente $d' = 0.74$, $c = 0.09$, per la condizione audio, e $d' = 0.83$, $c = -0.28$, per la condizione audiovideo.

Effetto dell'expertise. L'effetto dell'expertise, come già visto, è solo tendente alla significatività. Per comprendere se tale tendenza è dovuta ad una particolare condizione di presentazione degli stimoli sono state condotte delle analisi separate. In particolare dei set di *t-test* per campioni indipendenti hanno indagato le differenze tra esperti e non esperti per ogni singola modalità: audio, video e audiovideo. I risultati hanno evidenziato una differenza statisticamente significativa tra l'accuratezza delle risposte di ballerini esperti e quelle di persone non esperte nella sola condizione audio, $t_{(35)} = 1,84$; $p < .05$. Viceversa, nelle altre condizioni non sembrano esserci differenze tra esperti e non esperti.

Grado di confidenza. L'applicazione di un'analisi della varianza a disegno misto ha evidenziato un effetto generale significativo per il fattore modalità, $F_{(2, 68)} = 15,76$; $p < .001$. La variabile expertise è risultata marginalmente significativa³, $F_{(1, 34)} = 2,81$; $p = .10$, mentre dall'interazione non è emersa una significatività statistica. L'effetto del fattore modalità è risultato significativo anche considerando separatamente gli esperti, $F_{(2, 34)} = 9,23$; $p < .001$, e i non esperti, $F_{(2, 34)} = 7,07$; $p < .005$. I risultati sono riportati nella figura 10.

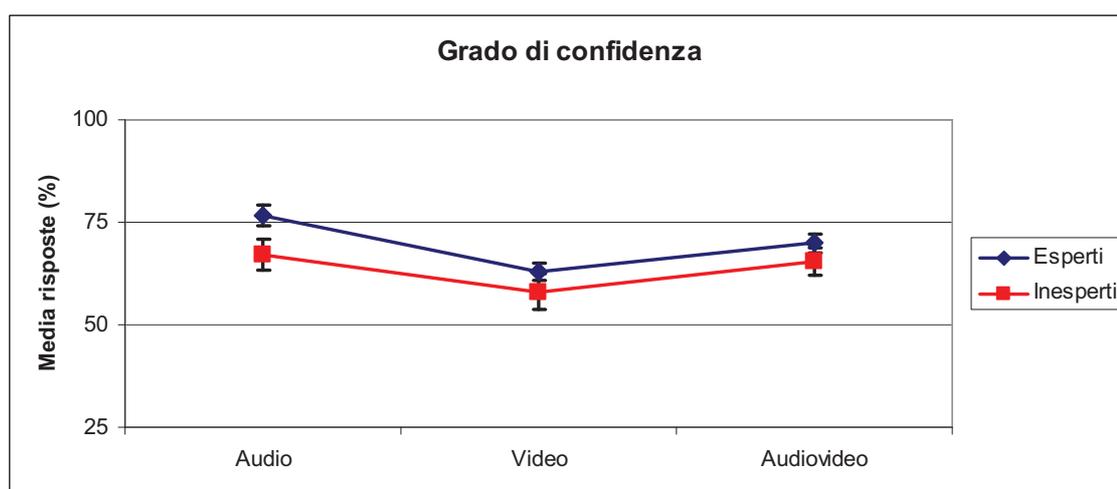


Figura 10. Grado di confidenza riportato dai soggetti circa l'accuratezza dei propri giudizi.

Il confronto tra le modalità, relativamente al grado di confidenza, ha rivelato da parte dei soggetti una maggior confidenza sulla correttezza delle proprie risposte nella condizione audio rispetto a quella video, $t_{(35)} = 5,54$; $p < .001$, e rispetto a quella audiovideo, $t_{(35)} = 1,93$; $p < .05$. Lo score di quest'ultima tuttavia era significativamente più alto rispetto a quello della condizione video, $t_{(35)} = 3,79$; $p < .001$. Ulteriori analisi condotte separatamente sui gruppi hanno portato ai medesimi risultati.

Relativamente alla variabile expertise, il grado di confidenza riferito dai partecipanti sembra essere in linea con il trend emerso dagli score dell'accuratezza della risposta. Anche in questo caso infatti vi è un effetto generale marginale, tuttavia analizzando i risultati singolarmente per ogni modalità emerge una differenza nella condizione acustica. Nello specifico, il grado di confidenza riferito dagli esperti nella

³ Come in precedenza (si veda la nota 2), il p valore è calcolato sulle due code della distribuzione. Coerentemente con le ipotesi formulate sarebbe invece opportuno considerare solo una coda e, conseguentemente, dimezzare il p valore. Un t-test per campioni indipendenti calcolato su una coda evidenzia tale risultato: $t_{(35)} = 1,68$; $p = .051$.

condizione uditiva è risultato maggiore rispetto a quello esibito dai non esperti nella stessa modalità, $t_{(35)} = 2,17$; $p < .05$. Le stesse differenze non sono invece state riscontrate nelle condizioni video e audiovideo.

4.3.3. *Discussione dei risultati*

In questo secondo esperimento si volevano indagare principalmente tre aspetti: la capacità delle persone di discriminare i ritmi presentati visivamente, utilizzando una soglia più alta rispetto a quella dell'esperimento precedente; la capacità di discriminazione tra ritmi presentati in modalità audiovisiva e il conseguente confronto di questi risultati con quelli ottenuti dai partecipanti nelle due condizioni unimodali audio e video; il ruolo dell'expertise nella capacità di discriminare tra ritmi even e uneven.

Il primo di questi aspetti era quindi relativo alla capacità di discriminare tra stimoli even e uneven presentati visivamente. I risultati generali hanno evidenziato che i partecipanti erano in grado di discriminare tra questi ritmi quando nelle sequenze uneven figurava un appoggio con un errore ritmico compreso tra il 16% e il 20%. Questo *range* percentuale sembrerebbe quindi sufficiente per discriminare i ritmi associati al movimento umano presentati visivamente. Tuttavia tale effetto è risultato solamente all'interno del gruppo di esperti, viceversa le risposte dei non esperti non differivano dal caso. Sembra quindi che l'esperienza sia un fattore importante nella percezione dei ritmi presentati visivamente.

Relativamente al secondo punto, le risposte dei partecipanti ottenute nella condizione audiovisiva sono risultate in linea con quelle raccolte nella condizione unimodale acustica. Non sembra pertanto esserci un vantaggio dalla presentazione congiunta di stimoli audio e video relativi alla stessa prova. Visto il parallelismo tra i dati emersi nelle due condizioni acustiche (con e senza video), sembrerebbe che i soggetti tendano in ogni caso ad utilizzare maggiormente le informazioni uditive, anche quando queste sono accompagnate da quelle visive.

Esaminando, in generale, il confronto tra le modalità di presentazione degli stimoli si ha una conferma dei risultati emersi nel primo esperimento. I dati dimostrano ulteriormente il ruolo dominante del sistema acustico rispetto a quello visivo nella percezione del ritmo associato al movimento umano. L'accuratezza delle risposte in entrambe le condizioni audio (con e senza video) è sempre superiore a quelle della condizione video unimodale e anche il grado di confidenza riportato dai partecipanti circa le proprie risposte è costantemente più elevato nelle condizioni audio rispetto a

quella unimodale video. Tuttavia, si evince anche un vantaggio della condizione unimodale audio rispetto a quella audiovideo.

L'ultimo fenomeno che si è voluto indagare è quello relativo all'expertise. I risultati generali hanno evidenziato un modesto effetto generale di questa variabile, solo tendente alla significatività. Tale tendenza tuttavia ha suggerito un'analisi più dettagliata del fenomeno, in seguito alla quale è emerso un effetto significativo dell'esperienza solo nella condizione acustica, sia per quanto concerne l'accuratezza delle risposte, sia per quanto riguarda il grado di confidenza. Sembra pertanto che l'esperienza determini un vantaggio nel percepire il ritmo quando questo viene presentato acusticamente ma non nelle altre modalità. Tuttavia, ci si trova nella paradossale situazione in cui i ritmi visivi sono discriminabili dagli esperti e non dagli inesperti, ma tali condizioni non differiscono tra loro. Sorprende inoltre l'assenza di un effetto di expertise nella condizione audiovisiva. È difficile formulare delle ipotesi sul perché di questi fenomeni, i quali meriterebbero futuri approfondimenti.

Analizzando sommariamente i risultati di questi due primi esperimenti, si può affermare che vi è una dominanza acustica anche nella percezione di ritmi associati a movimenti complessi, in linea con quanto emerso dalla letteratura di base (Grondin et al. 1998; Grondin & McAuley, 2009). Tuttavia, una possibile minaccia alla validità di questo studio riguarda il mancato controllo dell'effetto filled/empty (Allan, 1979), derivante dalla scelta di non manipolare gli stimoli naturali. In questo caso mentre gli intervalli degli stimoli acustici potevano essere considerati "empty", gli intervalli degli stimoli visivi erano piuttosto atipici sotto questo profilo. Infatti non si può affermare che ci fosse un'assenza di stimolazione tra gli onset e gli offset visivi, come nei classici stimoli empty, tuttavia non si può tantomeno asserire che la stimolazione fosse continua come negli stimoli filled tipicamente usati in ricerca di base. Tali intervalli possono essere piuttosto definiti come "filled-discontinui", fenomeno che non risulta trattato nella letteratura scientifica e i cui effetti andrebbero analizzati in futuro.

CAPITOLO V

Fattori temporali nel riconoscimento del proprio movimento

5.1. Introduzione

La percezione del movimento umano è essenziale in numerose attività della vita quotidiana. Spesso infatti ci si trova nella situazione di dover percepire i movimenti di altre persone e di dover (inter)agire in conseguenza di ciò che percepiamo. In diverse situazioni sportive, ad esempio, è necessario identificare rapidamente le azioni degli avversari e regolare la propria azione motoria in funzione di queste. Inoltre altre attività, quali il ballo, il nuoto sincronizzato, il pattinaggio, il suonare uno strumento musicale, prevedono che le persone percepiscano rapidamente il proprio movimento e quello altrui e sincronizzino le proprie azioni motorie con quelle di altre persone. Quindi in tali attività la percezione dei fattori temporali del movimento proprio e altrui gioca un fattore cruciale e la percezione uditiva è altamente coinvolta in tali processi.

La ricerca che si è interessata del riconoscimento dei movimenti propri e altrui, come peraltro si è già sottolineato alla fine del terzo capitolo, si è focalizzata principalmente sulla percezione visiva (Auvray et al., 2011; Hohmann et al., 2011; Loula et al. 2005), piuttosto che su quella uditiva. Questi lavori hanno dimostrato che è possibile riconoscere il proprio movimento dalla sola cinematica dell'azione, attribuendo in tale processo un ruolo importante all'esperienza motoria e in generale ai sistemi motori (Schütz-Bosbach & Prinz, 2007).

Per quando concerne la percezione uditiva, quasi tutti i lavori si sono focalizzati sul riconoscimento dell'esecutore della musica prodotta attraverso un pianoforte (Keller et al., 2007; Repp & Keller, 2010; Repp & Knoblich, 2004), mentre pochissimi studi hanno indagato il suono prodotto come conseguenza di movimenti più complessi. Questi ultimi lavori hanno portato i loro autori a conclusioni spesso molto diverse tra loro, probabilmente a causa di numerose differenze metodologiche, sia relativamente alle variabili considerate sia relativamente ai compiti sperimentali. In tali lavori Sevdalis e Keller (2010) hanno suggerito che i suoni corrispondenti ai movimenti non favorivano il riconoscimento dell'esecutore, quando questi cues acustici erano combinati con video figuranti azioni registrate con la tecnica dei punti-luce, mentre altri autori (Flach et al., 2004; Repp, 1987) sono giunti a conclusioni diametralmente opposte.

In questi ultimi lavori è stato inoltre determinato il ruolo fondamentale degli elementi temporali nel riconoscimento del proprio movimento. Tali aspetti sono stati isolati da altre variabili e si è dimostrato che effettivamente la struttura temporale forniva i cues necessari per il riconoscimento dell'esecutore dell'azione motoria. Tuttavia nessuno dei precedenti lavori ha indagato quali specifici fattori temporali sono alla base del riconoscimento. Tantomeno nei precedenti lavori sono state apportate delle manipolazioni alla struttura temporale affinché questa potesse essere studiata con il metodo sperimentale. Pertanto il presente lavoro si propone di indagare il ruolo della percezione acustica e il contributo di specifici fattori temporali nell'identificazione delle azioni eseguite da sé stessi e da altri individui in un compito motorio complesso come lo swing nel golf.

Si è scelto di usare lo swing perché tale gesto è composto da due movimenti della parte superiore del corpo (backswing e downswing) e, per questo motivo, era più facile determinare la proporzione temporale tra questi elementi, rispetto ad altri movimenti complessi.⁴ Come descritto nel terzo capitolo, si possono individuare due fattori temporali nel movimento: il tempo relativo e la durata totale (Schmidt, 1975). In questo caso specifico il tempo relativo del movimento sarà dato dalla proporzione temporale tra backswing e downswing, mentre la durata totale corrisponderà alla somma della singola durata di ognuna di queste due componenti. Entrambi i fattori appena descritti rappresentano la struttura temporale del gesto motorio e per tale motivo si vuole investigare il loro contributo nel riconoscimento del proprio movimento. Si vorrà quindi comprendere se questi fattori vengono effettivamente usati nel riconoscimento e, se ciò accade, in che modo vengono utilizzati. Potrebbero infatti fornire informazioni in maniera indipendente l'uno dall'altro o essere integrati in una gestalt (Klapp and Jagacinski 2011; Righi, Galmonte, & Agostini, 2006).

Queste ipotesi non sono state vagliate in precedenza e, in generale, sembra che ci siano diversi punti che al momento sono poco chiari nella letteratura del riconoscimento del proprio suono associato a movimenti complessi. Con il fine di colmare queste lacune, si cercherà quindi di affrontare tali argomenti e di rispondere ad alcune domande: prima di tutto, i golfisti esperti sono in grado di distinguere il proprio movimento da quello di altri golfisti utilizzando il suono? Più in dettaglio, sono in grado

⁴ Essendo il movimento composto da due principali componenti era relativamente semplice stabilire la proporzione della durata temporale tra i due elementi. Se fossero stati usati movimenti con più componenti sarebbe risultato molto più complesso manipolare il tempo relativo del gesto motorio.

di distinguere il suono corrispondente al proprio movimento da quello di altri golfisti quando entrambi i fattori temporali sono uguali a quelli associati alle loro azioni? E quando entrambi i fattori temporali (o solo uno di questi) sono diversi da quelli corrispondenti al loro movimento?

Ci si aspetta che i partecipanti possano riconoscere il proprio movimento rispetto a quello di altri golfisti usando il suono. Tuttavia ci si aspetta anche che i golfisti riconoscano erroneamente come proprio il suono di altri giocatori, quando sia il tempo relativo sia la durata totale del movimento di questi ultimi sono uguali ai propri. Inoltre ci si aspetta che i partecipanti siano capaci di identificare correttamente i movimenti di altri quanto entrambi i fattori temporali sono diversi dai loro. Infine, ci si aspetta una maggiore incertezza quando un solo fattore temporale è identico al proprio mentre l'altro è diverso. In queste circostanze si ipotizzano dei giudizi attorno al livello del caso.

5.2. Esperimento 3

5.2.1. Metodo

Partecipanti. A questo esperimento hanno preso parte 16 golfisti esperti (11 maschi, 5 femmine), la cui età variava dai 20 ai 44 anni ($M=31,44$; $DS=7,14$). Tutti i partecipanti all'esperimento avevano più di 8 anni di esperienza e partecipavano ai più importanti tornei italiani dilettantistici. Il loro livello di performance, secondo il ranking italiano, era compreso tra -3 e 10 HCP⁵. I soggetti hanno riferito di essere destrimani e di non avere problemi di udito. I partecipanti non ricevevano soldi per prendere parte a questo esperimento, tuttavia era stato detto loro che avrebbero ricevuto un dettagliato report individuale circa le proprie prestazioni alla fine dell'esperimento.

Materiali e strumenti. Un microfono Proel HCM03 (sensibilità -42dB; peso 0,023 kg) veniva applicato sulla testa della mazza e era connesso con un registratore digitale Denpa USB24. Questo consentiva di catturare il suono prodotto dalla resistenza dell'aria contro la mazza durante lo swing. Un nastro lungo 100 metri, marcato ogni 5 metri, veniva usato per misurare la distanza tra i partecipanti e la pallina. È stato usato il software Goldwave 5.58 per l'editing delle tracce auditive, mentre gli stimoli venivano riprodotti con il software Windows Media Player 9.0. I partecipanti sentivano i suoni attraverso le cuffie Sennheiser HD515.

⁵ HCP è la sigla usata nel golf per abbreviare la parola "handicap". L'handicap indica il numero medio di colpi, oltre a quelli previsti dal campo (in genere 72), necessari affinché un giocatore completi il percorso.

Creazione degli stimoli. Gli stimoli sono stati registrati presso l'Asolo Golf Club (TV). L'obiettivo di questa fase era rilevare i suoni associati agli swing, per creare delle tracce acustiche che rappresentassero temporalmente il movimento naturale di ogni atleta. Il compito dei partecipanti era quello di colpire la palla, indirizzandola quanto più possibile verso una buca situata a 65 metri di distanza. Ai partecipanti veniva detto che sarebbe stata considerata solo la distanza coperta dal volo della pallina sino al suo primo impatto sul terreno, mentre non sarebbero stati considerati gli spostamenti successivi, in modo da ridurre l'effetto di possibili variabili confondenti (ad esempio la difformità del prato). Ai partecipanti veniva chiesto di eseguire una sessione di 20 tiri, durante i quali il sistema microfono-registratore avrebbe rilevato il suono associato alle loro performance. Dopo ciascun tiro i partecipanti completavano un'autovalutazione soggettiva sul loro movimento tecnico, attribuendo un punteggio su una scala che variava tra 0 (pessimo) a 5 (eccellente). Veniva inoltre misurata la distanza tra il golfista e il punto di impatto della palla, come parametro oggettivo.

Sono state utilizzate entrambe le misurazioni oggettive e soggettive per creare le prove stimolo. Infatti per ogni partecipante venivano selezionati solo tiri con un alto punteggio soggettivo (valutati con un punteggio di 4 o 5), che coprivano una distanza compresa tra 64 e 66 metri. Tutti i tiri che rientravano in questi parametri venivano inclusi in un database. Successivamente veniva calcolata la media del tempo relativo e della durata totale delle prove di ciascun golfista. Per ogni partecipante veniva comparato il tempo relativo di ogni prova con la media individuale di tutte le prove e veniva assegnato un punteggio ad ogni tiro, in base alla posizione di *rank*, partendo dal tiro più vicino alla media (1 punto) e dando punteggi progressivi fino a quello più lontano. La stessa procedura veniva eseguita con la durata totale. Venivano quindi sommati i punteggi di *rank* di entrambi i parametri per ogni prova e veniva quindi selezionato, per ogni giocatore, il tiro che aveva la somma più bassa. I suoni associati a questi tiri venivano considerati come stimoli "propri" per ogni partecipante. Gli stimoli "altrui" venivano scelti dal database. Tutte le tracce venivano pulite dal rumore di fondo selezionando "20% scale" nella funzione noise-reduction del software Goldwave.

Per esigenze sperimentali la durata delle tracce "altrui" veniva modificata replicando o cancellando brevi frammenti del suono originale (sino a 20 millisecondi sia per il backswing sia per il downswing). La replica dei frammenti di suono avveniva simmetricamente a metà della porzione di traccia corrispondente a ogni elemento del movimento (backswing e downswing). Per esempio, se occorreva incrementare il

backswing di 10 millisecondi, veniva calcolato il punto centrale della porzione di traccia corrispondente al backswing and venivano replicati i due frammenti da 5 millisecondi contigui al punto centrale (prima e dopo questo punto). Analogamente, la cancellazione dei frammenti avveniva nel mezzo di ogni elemento e consisteva nella rimozione simmetrica di un frammento nell'area centrale del downswing o del backswing. La modifica della durata delle porzioni di backswing e downswing era necessaria per adattare le tracce del database a quelle richieste dal disegno sperimentale.

Il disegno di ricerca prevedeva una manipolazione dei fattori temporali e consisteva nell'incrementare del 25% il tempo relativo e/o la durata totale dei suoni altrui, rispetto ai suoni propri. Un istruttore di golf dopo aver ascoltato diversi suoni temporalmente manipolati, aveva suggerito che tale incremento risultava percepibile. Dato che il downswing di alcuni partecipanti era molto veloce, un decremento dei fattori temporali associati a quei tiri sarebbe stato troppo facile da individuare. Quindi le tracce altrui sono state modificate (cancellando o replicando piccoli frammenti di suono) in modo da ottenere degli stimoli sperimentali altrui incrementati del 25% rispetto al tempo relativo e alla durata totale dei suoni propri. Inoltre si è deciso di non manipolare il suono proprio, perché la durata dei frammenti necessari per raggiungere un incremento del 25% dei parametri temporali avrebbe ampiamente superato la soglia usata (20 millisecondi), e di conseguenza il suono sarebbe risultato artificiale (per ulteriori dettagli si consulti la tabella 1).

	Condizione 1 OWN		Condizione 2 RU-TU		Condizione 3 RU-TI		Condizione 4 RI-TU		Condizione 5 RI-TI	
	Back	Down	Back	Down	Back	Down	Back	Down	Back	Down
Stimoli (ms)	677	162	677	162	846	202	704	135	880	168
Traccia orig. (ms)	677	162	695	170	862	188	720	155	862	178
Differenza (ms)	0	0	-18	-8	-16	14	-16	-20	18	-10
Durata tot. (ms)	839		839		1048		839		1048	
Tempo relativo (back/down)	4,179		4,179		4,179		5,224		5,224	

Tabella 1. Esempio di manipolazione temporale delle tracce acustiche.

Note: la tabella mostra un esempio delle cinque tracce uditive di un partecipante. Nella riga "stimoli" sono riportate la durata del backswing e del downswing per ogni condizione. La riga "Traccia orig." mostra la durata del downswing e del backswing della traccia originale usata per creare gli stimoli,

mentre “Differenza” indica i millisecondi cancellati o aggiunti per raggiungere la durata necessaria. La “Durata totale” e il “Tempo relativo” rappresentano rispettivamente la somma e la proporzione del backswing e del downswing degli stimoli. È importante sottolineare che la manipolazione era molto piccola perché venivano adattate tracce la cui durata del downswing e del backswing era già molto vicina (meno di 20 millisecondi) a quella desiderata. La stessa manipolazione per le tracce “proprie” sarebbe impossibile da attuare. Infatti se fosse stata incrementata la durata totale tenendo costante quella relativa (come fatto nella condizione 3 per i suoni altrui), la differenza sarebbe risultata: $677\text{ ms} - 846\text{ ms} = -169\text{ ms}$ per il backswing; $162\text{ ms} - 202\text{ ms} = -40\text{ ms}$ per il downswing. In questo caso sia 169 ms, sia 40 ms (in valore assoluto) sarebbero stati molto superiori rispetto alla soglia (20 ms) utilizzata per la manipolazione della durata dei backswing e dei downswing altrui, di conseguenza le tracce sarebbero state facilmente percepite come alterate e/o artificiali.

Per studiare se i partecipanti erano capaci di discriminare tra i suoni artificiali e quelli modificati è stato condotto un test preliminare. Circa tre settimane prima dell’esperimento ogni partecipante era esposto a 12 tracce altrui randomizzate: 6 suoni erano originali, prima della manipolazione e 6 erano gli stessi dopo la manipolazione temporale effettuata come descritto sopra. Tutte le tracce erano pulite dal rumore di fondo. Ai partecipanti veniva detto che alcune tracce erano modificate e altre no. Questi ascoltavano i suoni uno alla volta e dovevano riferire, per ogni traccia, se questa aveva subito una manipolazione. I risultati di questo test preliminare hanno confermato che i partecipanti non riuscivano a individuare le tracce manipolate con il metodo descritto.

Disegno sperimentale e procedura. In questo esperimento è stato impiegato un disegno di ricerca entro i soggetti. Le variabili indipendenti erano l’esecutore del movimento associato ai suoni (partecipante o altro golfista) e i due parametri della struttura temporale, cioè il tempo relativo (uguale o diverso rispetto a quello proprio) e la durata totale (uguale o diversa rispetto a quella propria). Per riferirsi a tempo relativo e durata totale si userà rispettivamente “R” e “T”. Questi due fattori temporali potranno essere uguali (U) o incrementati del 25% (I) rispetto ai fattori temporali delle tracce “proprie”. Quindi verranno create cinque condizioni (si veda tabella 2): (1) suoni propri (questa condizione sarà chiamata “OWN”); (2) suoni di altri aventi uguale tempo relativo e durata totale rispetto ai suoni propri (RU-TU); (3) suoni di altri aventi il tempo relativo uguale e la durata totale incrementata (RU-TI); (4) suoni di altri aventi il tempo relativo incrementato e la durata totale uguale (RI-TU); (5) suoni di altri aventi sia il tempo relativo che la durata totale incrementati (RI-TI). Per ogni condizione lo

stimolo scelto veniva presentato 5 volte. In totale ogni partecipante veniva esposto a 25 stimoli (1 stimolo x 5 volte x 5 condizioni).

Condizioni	Esecutore	Tempo relativo	Durata totale
1. OWN	Partecipante	Proprio	Proprio
2. RU-TU	Altro golfista	Uguale	Uguale
3. RU-TI	Altro golfista	Uguale	Incrementato
4. RI-TU	Altro golfista	Incrementato	Uguale
5. RI-TI	Altro golfista	Incrementato	Incrementato

Tabella 2. Quadro riassuntivo delle condizioni.

I partecipanti erano seduti di fronte allo sperimentatore e indossavano le cuffie. Veniva detto loro: “Ti verranno presentati 25 suoni. Il tuo compito è quello di riconoscere se il suono corrisponde al tuo movimento o al movimento di un altro golfista”. Gli stimoli venivano presentati uno alla volta, in un ordine randomizzato diverso per ogni persona. I partecipanti dovevano riconoscere il proprio suono in un “yes/no task” e dovevano inoltre fornire il loro grado di confidenza relativamente all’accuratezza delle proprie risposte in termini percentuali (da 0 a 100%). I soggetti, prima della fase sperimentale vera e propria, venivano sottoposti a una sessione di familiarizzazione (i cui dati non sono stati considerati per le successive analisi). Non veniva fornito alcun feedback circa l’accuratezza delle risposte né durante questa fase, né durante la successiva fase sperimentale.

5.2.2. Risultati

L’obiettivo di questo studio era comprendere se i golfisti sono capaci di identificare il proprio swing dal suono e se i fattori temporali (tempo relativo e durata totale) costituiscono un *cue* importante per l’identificazione dell’esecutore del gesto motorio. I risultati confermano entrambe le aspettative (Tabella 3).

Analisi generali. Ci si chiedeva se l’esecutore del movimento e i parametri temporali fossero variabili rilevabili da parte di golfisti esperti esposti a suoni corrispondenti al gesto dello swing e i risultati confermano la rilevanza di queste variabili. Un’analisi della varianza a misure ripetute ha rivelato un effetto generale significativo per le condizioni $F_{(4, 60)} = 21.11, p < .001$. Un’analisi *d'* è stata condotta per evidenziare dei potenziali *bias* di risposta. Gli *hits* derivavano dalle risposte “sì” nella condizione OWN, i *misses* erano dati dalle risposte “no” sempre nella condizione OWN,

le *correct rejections* si avevano quando i soggetti rispondevano “no” per tutte le condizioni “altrui”, mentre i *false alarms* erano dati dalle risposte “sì” in queste ultime condizioni. I risultati mostrano che i partecipanti discriminavano effettivamente i movimenti propri da quelli altrui, $d' = 1.85$, $c = -0.43$.

Condizione	Accuratezza %	Hits (out of 5)	Misses (out of 5)	Correct rejections (out of 5)	False alarms (out of 5)	Confidenza %
OWN	91.2 (12.6)	4.56	0.44	–	–	65.7 (14.1)
RU-TU	33.8 (28.9)	–	–	1.69	3.31	58.9 (13.1)
RU-TI	91.2 (17.8)	–	–	4.57	0.43	67.1 (15.4)
RI-TU	57.5 (20.2)	–	–	2.88	2.12	58.0 (17)
RI-TI	93.8 (20.3)	–	–	4.69	0.31	72.2 (14.2)

Tabella 3. Risultati medi rilevati per ogni condizione. Deviazione standard tra parentesi.

Inoltre sono stati applicati dei *one-sample t-test* per ogni condizione per verificare se, in ognuna di queste, le risposte differivano dal caso (50%). L’accuratezza delle risposte era significativamente più alta del livello del caso per la condizione OWN, $t_{(15)} = 13.11$, $p < .001$, e per le due condizioni “altrui” in cui la durata totale era incrementata: sia quando il tempo relativo era uguale a quello dei partecipanti (RU-TI), $t_{(15)} = 9.25$, $p < .001$, sia quando il tempo relativo era incrementato (RI-TI), $t_{(15)} = 8.62$, $p < .001$. Viceversa l’accuratezza era significativamente più bassa del livello del caso quando entrambi i parametri temporali erano uguali a quelli dei partecipanti (RU-TU), $t_{(15)} = -2.24$, $p < .05$. Nella condizione in cui si manipolava solo il tempo relativo ma non la durata totale (RI-TU) invece le risposte non differivano dal caso.

Per valutare il grado di confidenza è stata applicata un’anova a una via a misure ripetute tra le condizioni, la quale ha rivelato un effetto generale significativo, $F_{(4, 60)} = 7.02$, $p < .001$. Utilizzando il test di Pearson, si è analizzata anche la correlazione tra le misure del grado di confidenza e quelle dell’accuratezza, per ogni partecipante in ogni condizione. Le analisi hanno rivelato una correlazione significativa, $r_{(80)} = .406$, $p < .001$.

Effetti della durata totale e del tempo relativo. Uno dei risultati più importanti tra quelli emersi riguarda gli effetti dei fattori temporali sulle risposte dei partecipanti. In queste analisi non saranno considerati i risultati della condizione OWN, ma verranno confrontate sono le condizioni “altrui”. Le differenze di accuratezza delle risposte nelle

quattro condizioni sono state confrontate applicando un'analisi della varianza *within subjects* a due vie. I fattori erano tempo relativo (due livelli: uguale vs. incrementato) e durata totale (due livelli: uguale vs. incrementata). I risultati hanno evidenziando un effetto principale significativo per la durata totale, $F_{(1, 15)} = 29.72, p <.001$, ma nessun effetto significativo per il tempo relativo. L'interazione durata totale x tempo relativo è risultata significativa, $F_{(1, 15)} = 10.06, p <.001$. L'effetto principale della durata totale era dovuto ai diversi punteggi trovati nelle due condizioni con la durata totale uguale ($M = 45.62\%, SD = 9.71\%$) e nelle due con la durata totale incrementata ($M = 92.5\%, SD = 16.37\%$). Per una rappresentazione grafica si veda la figura 11.

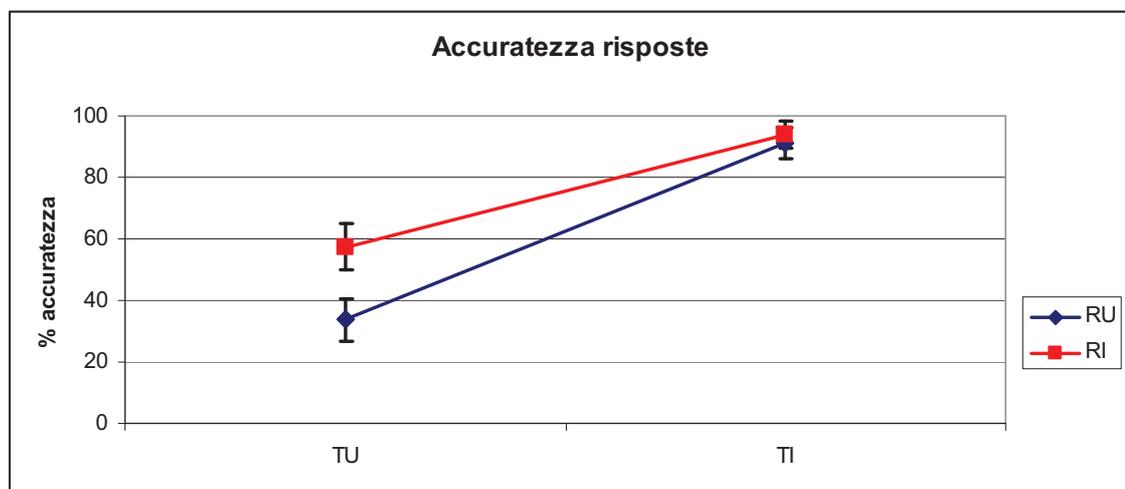


Figura 11. Rappresentazione dell'accuratezza delle risposte nelle condizioni "altrui".

Un'analisi post-hoc ha comparato l'effetto del tempo relativo (uguale vs. incrementato) nelle condizioni in cui la durata totale era uguale a quella del suono dei partecipanti, ovvero sono state confrontate le condizioni RU-TU vs. RI-TU. Un'analisi t-test a misure ripetute con la correzione di Bonferroni ha rivelato una differenza statisticamente significativa, $t_{(15)} = 2.49, p <.01$. Nello specifico l'accuratezza delle risposte era più bassa quando entrambi i fattori temporali sono uguali a quelli dei partecipanti.

Un'anova a misure ripetute 2x2 (tempo relativo x durata totale) è stata applicata anche al grado di confidenza. I risultati hanno rivelato un significativo effetto principale per la durata totale, $F_{(1, 15)} = 15.43, p <.005$, nessun effetto per il tempo relativo e una tendenza alla significatività per l'interazione, $F_{(1, 15)} = 4.11, p = .06$. L'effetto principale per il grado di confidenza, così come per l'accuratezza, era dovuto ai più bassi punteggi

nelle condizioni di durata totale uguale a quella dei partecipanti ($M = 58.47\%$, $SD = 15.09\%$) rispetto alle condizioni dalla durata totale incrementata ($M = 69.25\%$, $SD = 14.06\%$).

Riconoscimento del proprio suono a parità di struttura temporale. Al fine di valutare le differenze nel riconoscimento dei suoni propri e altrui in assenza di differenze nei parametri temporali, sono state confrontate le percentuali di risposte “sì” e del grado di confidenza nelle condizioni OWN vs. RU-TU. Un’analisi *t-test* a misure ripetute ha rivelato una differenza statisticamente significativa, $t_{(15)} = 3.27$, $p < .01$. La percentuale delle risposte “sì” era superiore nella condizione propria ($M = 91.25\%$, $SD = 12.58\%$) rispetto a quella altrui con gli stessi parametri temporali ($M = 66.25\%$, $SD = 28.95\%$). Gli stessi risultati sono stati trovati anche per quanto concerne il grado di confidenza. Infatti è stata applicato un *t-test* a misure ripetute e i risultati hanno mostrato una differenza significativa, $t_{(15)} = 2.49$, $p < .05$. I partecipanti erano maggiormente confidenti nell’accuratezza delle risposte fornite per i suoni propri, rispetto a quelle fornite per i suoni altrui con identici tempo relativo e durata totale.

5.2.3. Discussione dei risultati

Diversi studi hanno dimostrato che è possibile riconoscere le proprie azioni, rispetto a quelle di altri, attraverso il suono. In alcuni di questi lavori i fattori temporali sono risultati essere molto importanti e, per tale motivo, si è deciso di approfondire questo tema. Nessuno dei precedenti lavori ha infatti attuato una manipolazione sistematica dei *cues* temporali e, attraverso tale manipolazione, in questo esperimento si è cercato di determinare se i golfisti esperti fossero in grado di riconoscere il proprio swing attraverso il suono, esplorando nello specifico il ruolo dei singoli fattori temporali nell’identificazione dell’esecutore di questo gesto motorio.

I risultati indicano che i golfisti riuscivano a riconoscere il proprio movimento in oltre il 90% delle prove usando l’informazione uditiva associata all’esecuzione dello swing. Inoltre i partecipanti riconoscevano erroneamente come propri i suoni associati al movimento di altri golfisti, quando la struttura temporale (tempo relativo e durata totale) era uguale a quella dei propri movimenti. Tuttavia, anche quando la struttura temporale era la stessa, i partecipanti potevano discriminare tra i propri suoni e quelli altrui. Questo significa che loro probabilmente usavano anche altre informazioni oltre a quelle temporali. Potrebbero ad esempio aver rilevato diverse accelerazioni o velocità associate a più ampi o più stretti movimenti eseguiti nello stesso lasso di tempo.

Le analisi delle singole condizioni, in linea con le aspettative, hanno evidenziato che i partecipanti riuscivano a individuare i suoni altrui quando entrambi i fattori temporali differivano da quelli dei suoni propri. Sempre in linea con quanto atteso, quando si è incrementato il tempo relativo, ma non la durata totale, i giudizi dei partecipanti erano sui livelli del caso. Al contrario, quando si è incrementata la durata totale, tenendo costante il tempo relativo i partecipanti rigettavano correttamente il suono altrui. Quindi sembra che la durata totale influisca sul riconoscimento più del tempo relativo. Tuttavia il ruolo di quest'ultimo fattore diventa piuttosto importante nell'interazione con la durata totale, producendo un effetto sinergico che induce i partecipanti all'erroneo riconoscimento delle tracce altrui come proprie. I punteggi del grado di confidenza correlano con quelli dell'accuratezza, supportando ulteriormente i risultati appena descritti.

Tali risultati sono coerenti con i precedenti lavori trovati nella letteratura scientifica su questo argomento (Flach et al 2004; Keller et al 2007; Knoblich and Flach 2001; Repp 1987; Repp and Knoblich 2004), in particolare, con la prospettiva della bidirezionalità percettiva e motoria (Schütz-Bosbach and Prinz 2007) e suggeriscono che l'identificazione dell'esecutore del movimento sia basata in larga misura sul riconoscimento della struttura temporale. Il punto di novità di questi risultati è che l'intera struttura temporale porta i golfisti a riconoscere i suoni altrui come propri. Questo fenomeno suggerirebbe che una percezione olistica della struttura temporale è necessaria per un accurato *matching* tra la rappresentazione uditiva e motoria dell'azione. Questo risultato sembra essere in accordo con una concezione del ritmo associato al movimento in termini di Gestalt, come suggerito da Righi, Galmonte & Agostini (2006) e da una recente *review* di Klapp e Jagacinski (2011), che spiega diversi meccanismi del controllo motorio sotto questo approccio teorico. Tuttavia non si può ignorare che la durata totale abbia un importante ruolo nel rigettare correttamente i suoni altrui, più di quanto abbia invece il tempo relativo, pertanto ulteriori ricerche dovrebbero essere condotte per chiarire questo aspetto.

CAPITOLO VI

La temporalità nella riproduzione di modelli prestazionali

6.1. Introduzione

In molti sport è necessario calibrare il movimento seguendo una ritmica che determina la corretta coordinazione di un gesto motorio. La precisa esecuzione temporale dei movimenti può determinarne la riuscita tecnica e può avere come conseguenza un successo o un fallimento dell'azione di un atleta. Le variazioni di tali movimenti, anche per pochi millisecondi, possono infatti compromettere il buon esito di una prestazione. Si pensi all'importanza del timing di un battitore di baseball o di un tennista impegnati nell'intercettazione di una palla, alla coordinazione durante la ricorsa di uno specialista dei salti nell'atletica leggera o di un rigorista nel calcio. Tutte queste attività prevedono una tempistica particolare che ogni atleta individualmente dovrebbe seguire per raggiungere l'obiettivo di ottimizzare la propria azione.

Per sviluppare le skills degli atleti sono state proposte numerose tecniche, la maggior parte di queste basate sulla percezione visiva. Ad esempio sono state spesso testate diverse strategie di modeling visivo per facilitare l'apprendimento di prestazioni motorie complesse su soggetti non esperti e si è visto che, nelle prime fasi dell'acquisizione dei gesti motori, tali modelli possono fornire un valido supporto (McCullagh, Ste-Marie, & Law, *in press*). Tuttavia gli effetti di questi studi sono meno chiari quando si deve ottimizzare la prestazione di atleti che già hanno sviluppato gli schemi motori necessari per produrre un dato movimento. In questo caso sono state proposte delle tecniche alternative basate sull'udito piuttosto che sulla vista (Effenberg, 1996; 2005; Righi et al. 2007).

Le strategie di ottimizzazione della prestazione basate sulla stimolazione uditiva possono essere divise in due categorie: online e offline. Le tecniche online prevedono in genere la sincronizzazione del movimento con uno stimolo proposto in diretta, mentre si sta eseguendo l'azione o, alternativamente, offrono un feedback sonoro che assume diverse intensità e tonalità al variare dei parametri fisici del movimento (accelerazione, velocità, forza). In quest'ultimo caso il feedback sonoro aiuterebbe a modulare il ritmo del movimento in azioni cicliche. Le tecniche offline invece prevedono un distacco temporale tra la presentazione dello stimolo e l'esecuzione del movimento. In questo caso le persone vengono sottoposte a un training prima della gara.

L'efficacia dei feedback sonori online è stata dimostrata in uno studio condotto da Schaffert, Mattes e Effenberg (2011), in cui tale strategia era stata impiegata durante l'allenamento di squadre di canottaggio. I loro risultati hanno evidenziato che nelle fasi in cui era fornito il feedback gli atleti avevano una velocità media più alta rispetto alle fasi in cui tale stimolo non era disponibile. Wuyts e Buekers (1995) hanno invece analizzato l'effetto di modelli online sull'acquisizione di una sequenza di passi di danza. Il compito prevedeva la sincronizzazione ritmica con dei modelli presentati visivamente o acusticamente. Anche in questo caso i risultati hanno evidenziato un immediato beneficio da parte dei ballerini nella condizione acustica (ma non in quella video), tuttavia i partecipanti non erano in grado di ritenere le informazioni temporali a lungo termine e il vantaggio acquisito svaniva in prove successive. Sebbene tali lavori abbiano rivelato un effetto delle tecniche acustiche sulla modulazione del movimento, l'utilizzo in diretta di feedback o modelli sonori risulta di difficile applicazione in gare sportive ufficiali o in esibizioni di danza davanti ad un pubblico. Viceversa, le strategie offline superano questo limite relativo al contesto di applicazione.

L'utilizzo di modelli acustici offline è stato testato quale strategia complementare ai tradizionali protocolli di allenamento nel nuoto. In uno studio di Wang e Hart (2005) era stato applicato un training acustico durante la fase di acquisizione dello stile "a farfalla" nel nuoto. Un gruppo di controllo era sottoposto alle tradizionali modalità che includevano dimostrazioni, istruzioni verbali e pratica fisica, mentre il gruppo sperimentale era esposto allo stesso trattamento con l'aggiunta di un training di modellamento acustico. I risultati hanno evidenziato che i partecipanti sottoposti al training acustico avevano acquisito lo stile meglio di quelli del gruppo di controllo. La prestazione era stata analizzata da un punto di vista sia qualitativo, con valutazioni da parte di giudici esperti i quali avevano rilevato una miglior tecnica (in particolare sulla ritmicità del movimento), sia quantitativo, riscontrando una maggior velocità e un maggior spazio percorso per singola azione. Tuttavia tale tipo di training richiede un tempo relativamente lungo per giungere a dei risultati tangibili.

Altri studi hanno invece testato l'immediato trasferimento delle abilità presentate attraverso modelli individuali, sfruttando le capacità di ritenzione della memoria di lavoro (Agostini et al. 2004; Galmonte, Righi e Agostini, 2004). Ad esempio, in un lavoro di Righi e colleghi (2007) i partecipanti erano dei giovani (ma esperti) tennisti le cui prestazioni, in una fase di baseline, venivano filmate e audioregistrate. In una seconda fase ai partecipanti venivano presentate le registrazioni della loro migliore

performance (modello) in una delle tre modalità: audio, video o audiovideo. Il compito era quello di eseguire cinque blocchi da venti servizi ciascuno (i servizi dovevano essere “prime palle”), subito dopo aver assistito a una serie ripetuta di modelli presentati in una delle tre modalità. La prestazione veniva misurata in termini di percentuale di servizi validi. I risultati hanno dimostrato che i tennisti eseguivano una percentuale più alta di servizi validi nella condizione uditiva, rispetto alla baseline e rispetto alle altre due condizioni di modeling. Un miglioramento rispetto alla baseline era stato riscontrato anche nella condizione audiovisiva, ma non in quella visiva.

Il lavoro di Righi e colleghi ha messo in luce alcuni punti importanti che saranno considerati nel presente esperimento. Il primo è l'utilizzo di modelli naturali individuali, derivanti cioè da una prestazione correttamente eseguita da ciascun soggetto in una fase preliminare. Tale aspetto è importante in quanto, come evidenziato anche nell'esperimento 3, l'utilizzo di registrazioni individuali evocherebbe un coinvolgimento dei sistemi motori nei processi percettivi, fenomeno che potrebbe facilitare l'immediata riproduzione motoria del modello. Il secondo punto nasce dall'osservazione che le migliori prestazioni sono state registrate nella condizione acustica rispetto a quella visiva. Probabilmente tale fenomeno è dovuto alla maggior facilità nella riproduzione degli aspetti temporali del movimento quando venivano presentati i modelli acustici piuttosto che quelli visivi. Tale spiegazione sarebbe conseguente alla maggior sensibilità uditiva, rispetto a quella visiva, nella percezione del ritmo associato ai movimenti complessi, come descritto negli esperimenti 1 e 2. Tuttavia nel lavoro di Righi e colleghi non è stato testato se effettivamente il tempo di esecuzione del movimento veniva modificato (o presumibilmente standardizzato) dalla presentazione dei modelli, né se ciò accadeva in misura maggiore nella condizione acustica piuttosto che in quella visiva.

Utilizzando un paradigma simile a quello proposto da Righi e colleghi, nel presente esperimento si andrà ad indagare l'influenza dei modelli acustici e visivi sullo swing nel golf. Si è scelto di condurre tale esperimento sul golf in modo da poter facilmente individuare i tempi di esecuzione del movimento, in particolare il tempo relativo, utilizzando la stessa procedura seguita nell'esperimento 3. Infatti, rispetto al lavoro di Righi e colleghi, in questo esperimento saranno rilevate sia le prestazioni dei soggetti, sia le misurazioni temporali del movimento, ovvero il tempo relativo e la durata totale dell'esecuzione. Gli obiettivi saranno quindi: 1) verificare e confrontare

l'effetto dei modelli acustici e visivi sulla variabilità temporale del movimento; 2) verificare e confrontare l'effetto di tali tecniche sulla prestazione.

6.2. Esperimento 4.

6.2.1. Metodo

Partecipanti. A questo esperimento hanno partecipato 18 golfisti esperti (11 maschi e 7 femmine) non professionisti, di età compresa tra i 18 e i 48 anni ($M= 31,55$; $DS = 9,61$). Il loro livello di prestazione variava tra -1 e 12 HCP. Tutti i partecipanti avevano più di 7 anni di esperienza e tra questi vi erano 14 destrimani e 4 mancini. Tutti avevano riferito di non avere problemi di udito, mentre eventuali problemi di vista erano opportunamente corretti da lenti a contatto. Come in precedenza, i partecipanti non ricevevano soldi per prendere parte a questo esperimento, tuttavia in cambio della loro disponibilità avrebbero ricevuto un report individuale riassuntivo delle loro prestazioni nei giorni successivi all'esperimento.

Materiali e strumenti. Sono stati impiegati gli stessi materiali e strumenti del terzo esperimento. Oltre a questi è stata utilizzata una videocamera digitale Panasonic, modello HDC-SD80, per videoregistrare i filmati che sarebbero stati usati come modelli video.

Creazione degli stimoli. Per la registrazione degli stimoli il microfono veniva applicato vicino alla testa della mazza, come nell'esperimento 3, mentre la videocamera veniva posizionata a 5,50 metri di distanza in posizione frontale, in modo che l'inquadratura riprendesse interamente il movimento prodotto dai golfisti. Tali strumenti permettevano di rilevare il suono e la cinematica associati alle azioni dei partecipanti. Questi dovevano eseguire 20 tiri in direzione di una buca posizionata a 65 metri di distanza. Come nell'esperimento 3, l'obiettivo dei partecipanti era quello di far arrivare la palla il più vicino possibile alla buca, senza considerare gli spostamenti successivi al primo impatto.

Venivano effettuate tre misurazioni: 1) distanza tra il punto d'impatto della palla e la buca; 2) distanza percorsa dalla palla sino al suo impatto; 3) valutazione soggettiva relativamente al proprio movimento tecnico, su una scala da 0 (pessimo) a 5 (eccellente). Tali parametri sono stati utilizzati per selezionare le prestazioni che sarebbero state impiegate come modelli. A tal fine, il primo criterio era la valutazione soggettiva, la quale doveva essere "eccellente". Per ciascuna prova valutata in modo eccellente, veniva calcolato un indice formato dalla differenza, in valore assoluto, tra la distanza target (65 metri) e quella percorsa dalla palla, a cui veniva sommata la distanza

tra la pallina e la buca. Ad esempio se una palla fosse giunta in prossimità del bersaglio spostata lateralmente, percorrendo una distanza di 64,50 metri, distando 2 metri dalla buca, l'indice sarebbe stato pari a: $(65 - 64,5) + 2 = 2,5$ metri; se invece fosse entrata direttamente in buca l'indice sarebbe stato: $(65-65) + 0 = 0$. Utilizzando tale formula, veniva selezionata come “prova modello” quella con l'indice più vicino allo zero. Questa operazione di individuazione della miglior performance veniva effettuata per ogni partecipante, in modo da determinare un auto-modello per ciascun golfista e poter quindi creare dei training individuali.

Una volta individuate le migliori prove, da ciascuna di queste veniva costruito un training audio e uno video. I training audio venivano creati pulendo il suono associato allo swing dal rumore di fondo, utilizzando l'apposita funzione del software Goldwave. Successivamente veniva costruita una traccia acustica in cui il modello veniva presentato per cinque volte, con un intervallo di cinque secondi tra una presentazione e quella successiva. Analogamente venivano creati i training video, costruendo filmati in cui figurava per cinque volte l'esecuzione dello swing modello, con intervalli di cinque secondi tra le presentazioni. In questi filmati non era disponibile alcuna informazione uditiva.

Disegno sperimentale e procedura. Il disegno si ricerca utilizzato era entro i soggetti. Nella fase sperimentale i partecipanti venivano sottoposti a tre condizioni: modello audio (A), modello video (V) e controllo (C). L'ordine delle condizioni era controbilanciato, pertanto vi erano sei possibili ordini (AVC, ACV, VAC, VCA, CAV, CVA) a ciascuno dei quali erano assegnati casualmente tre soggetti. Ogni condizione prevedeva una sessione di 20 tiri con il bersaglio situato a una distanza di 65 metri, esattamente come nella fase di creazione degli stimoli. L'unica differenza rispetto alla fase preliminare è che nelle due condizioni sperimentali (audio e video) i partecipanti erano esposti all'ascolto o alla visione del training subito prima di ogni tiro. La condizione di controllo invece non prevedeva alcuna stimolazione. Tra una sessione e l'altra era prevista una pausa di circa 10 minuti per permettere ai partecipanti di riposare e agli sperimentatori di rilevare le distanze.

In questo esperimento venivano effettuate cinque tipi di misurazione per ogni tiro: 1) distanza tra il punto d'impatto della palla e la buca; 2) distanza percorsa dalla palla sino al suo impatto; 3) valutazione soggettiva relativamente al proprio movimento tecnico, sulla stessa scala da 0 a 5 impiegata nella fase di registrazione; 4) durata totale del movimento; 5) tempo relativo del movimento. Le prime due venivano misurate

direttamente sul campo, la terza era riportata oralmente dai partecipanti, le ultime due erano derivate dalla registrazione del suono associato al movimento. Attraverso tali misurazioni si ricavano, più o meno direttamente, gli indici tramite i quali sono state operazionalizzate le due variabili dipendenti, ovvero la prestazione e la variabilità temporale del movimento. La prestazione è stata pertanto misurata attraverso la distanza media dalla buca, la valutazione soggettiva e la distanza media dalla misura target di 65 metri (calcolata tramite la differenza, in valore assoluto, tra la misura target e la distanza coperta dalla palla in ogni prova). La variabilità temporale del movimento veniva misurata attraverso la deviazione standard del tempo relativo e della durata totale.

6.2.2. Risultati

Gli obiettivi di questo esperimento erano quelli di verificare l'effetto dei modelli acustici e visivi sulla temporalità del movimento e sulla prestazione. I risultati hanno complessivamente evidenziato che le prove dei partecipanti nella condizione acustica erano associate a una minore variabilità temporale del movimento e a un miglior esito, rispetto alla condizione visiva e a quella di controllo.

Effetti sulla variabilità temporale del movimento. Le analisi effettuate sulla variabilità temporale del movimento hanno confermato un effetto del trattamento su entrambi gli indicatori considerati (Figure 12 e 13). In particolare l'applicazione di un'analisi della varianza a misure ripetute ha evidenziato un effetto principale significativo del trattamento (audio, video o controllo) sulla deviazione standard del tempo relativo, $F_{(2, 34)} = 3.88, p < .05$, e su quella della durata assoluta, $F_{(2, 34)} = 7.50, p < .005$.

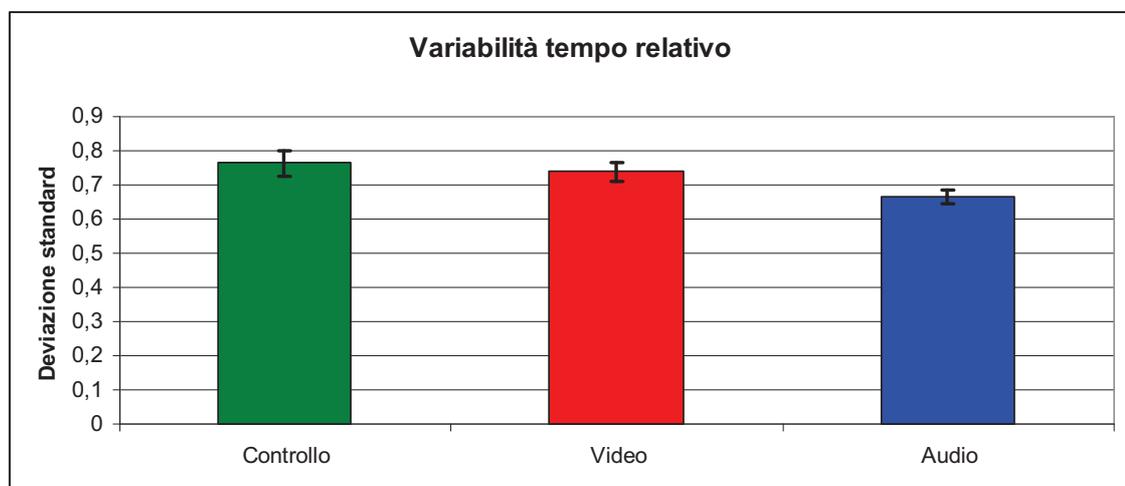


Figura 12. Media delle deviazioni standard relative alla distribuzione del tempo relativo dei tiri per ogni soggetto.

Per confrontare le singole condizioni è stato applicato un set di *t-test* per campioni appaiati. Da tali confronti si evince una minor variabilità del tempo relativo nella condizione acustica rispetto a quella di controllo, $t_{(17)} = 2.83, p <.01$ e a quella visiva, $t_{(17)} = 2.39, p <.05$. Nessuna differenza è stata invece rilevata tra queste ultime due condizioni. Analogamente nelle prove della condizione acustica vi è una minor variabilità della durata totale del movimento rispetto alle prove della condizione visiva, $t_{(17)} = 3.61, p <.005$, e a quelle della condizione di controllo, $t_{(17)} = 2.73, p <.01$. Anche in questo caso non vi era differenza tra i tempi rilevati nella condizione visiva e in quella di controllo.

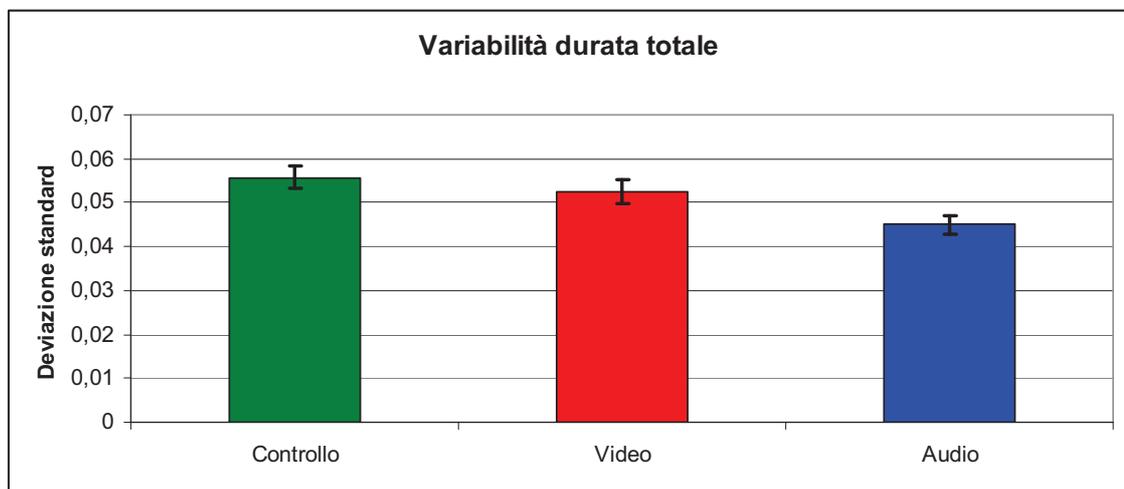


Figura 13. Media delle deviazioni standard relative alla distribuzione della durata totale dei tiri per ogni soggetto.

Effetti sulla prestazione. Le analisi effettuate per verificare gli effetti dei modelli sulla prestazione hanno evidenziato un trend molto simile a quello emerso relativamente alla variabilità temporale del movimento. In questo caso gli indici considerati erano tre: la distanza media dalla buca, la distanza media dalla misura target e la valutazione soggettiva. Tutte e tre le misurazioni sono state influenzate dalla variabile indipendente in modo coerente. L'applicazione dell'analisi della varianza a misure ripetute ha evidenziato un effetto principale significativo del trattamento sulla distanza media dalla buca, $F_{(2, 34)} = 23.91, p <.001$, e sulla distanza media dalla misura target, $F_{(2, 34)} = 28.41, p <.001$ (Figure 14 e 15). Un'analisi non parametrica, calcolata con il test di Friedman, ha rivelato un effetto significativo della variabile indipendente anche per quanto concerne la valutazione soggettiva, $\chi^2_{(2)} = 18.29, p <.001$ (Figura 16).

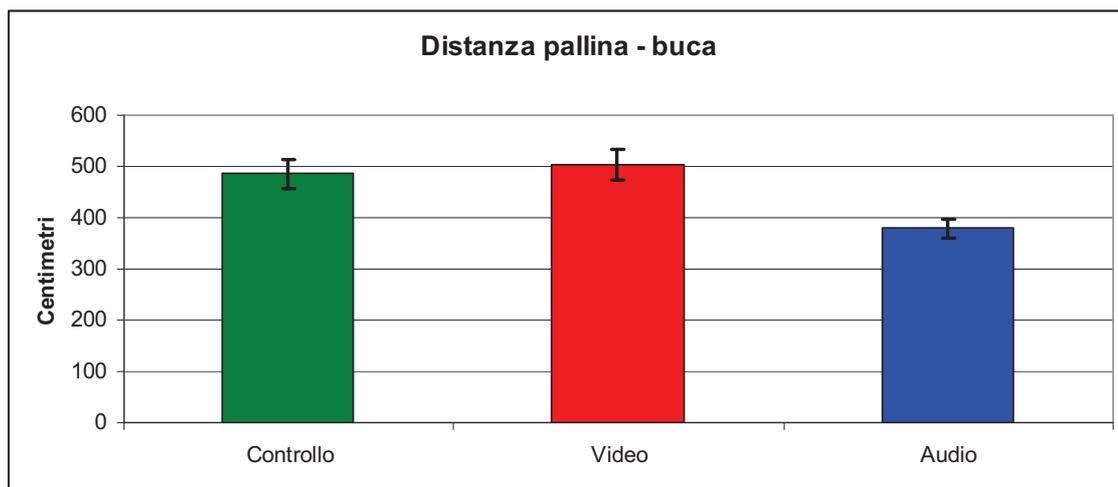


Figura 14. Distanza media tra il punto di impatto della pallina e la buca.

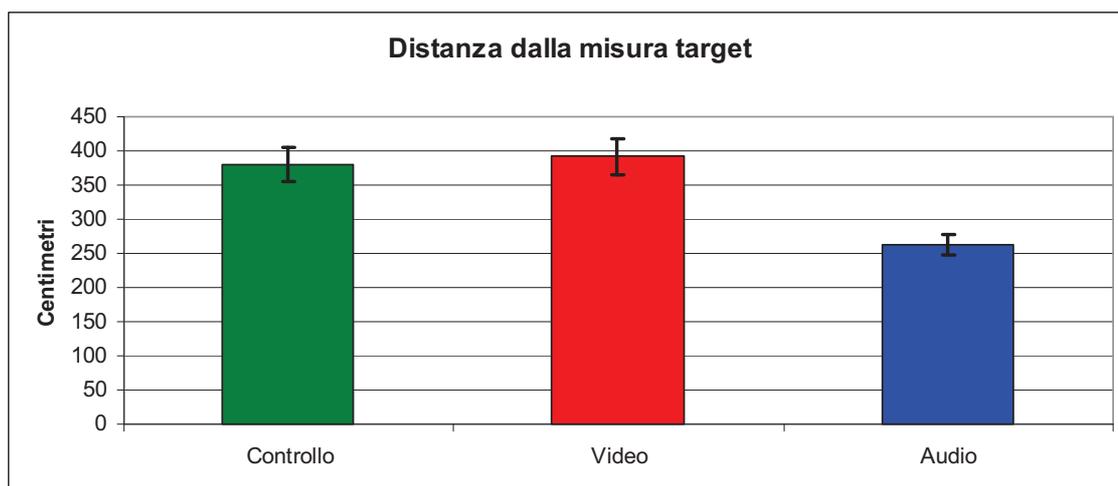


Figura 15. Differenza media tra la misura target e la lunghezza dei tiri.

Da singoli confronti tra le condizioni effettuati attraverso un set di t-test è emersa una superiorità delle prestazioni nella condizione acustica. Nello specifico la distanza tra la pallina e la buca era significativamente minore nelle prove in condizione acustica rispetto a quelle in condizione di controllo, $t_{(17)} = 6.30, p < .001$, e in condizione video, $t_{(17)} = 5.47, p < .001$. La distanza media dalla misura target era ugualmente minore quando i partecipanti erano esposti ai modelli acustici, rispetto a quando erano esposti a quelli visivi, $t_{(17)} = 6.46, p < .001$, e a quando non erano esposti ad alcun trattamento, $t_{(17)} = 6.26, p < .001$. Le valutazioni soggettive esibivano lo stesso trend. Applicando il test di Wilcoxon è emerso che i giudizi sulle prove audio riportati dai partecipanti erano

significativamente migliori di quelli riportati nella condizione di controllo, $Z = 3.46$, $p < .001$, e in quella video, $Z = 3.58$, $p < .001$.

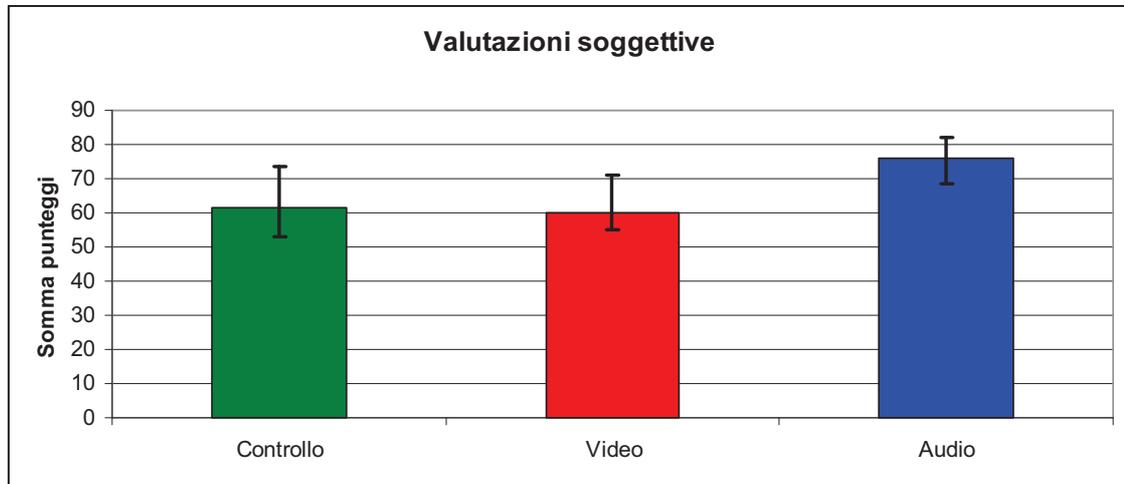


Figura 16. Mediana della somma delle valutazioni soggettive per ciascun atleta. Le barre di errore indicano il venticinquesimo e il settantacinquesimo percentile.

Correlazioni tra le variabili. Per verificare la connessione tra la variabilità temporale del movimento e la prestazione sono stati correlati i relativi indici. Per queste analisi sono state presi in considerazione solo i dati relativi alle prove associate ai modelli acustici, dato che solo in questa condizione sono stati riscontrati degli effetti significativi in precedenza. A tal fine è stato utilizzato il *test di Pearson* per tutte le operazioni tranne quelle relative alla valutazione soggettiva. Le correlazioni tra quest'ultima e le altre variabili sono state effettuate con il *test di Spearman*. Per uno schema riassuntivo si veda la tabella 4.

I risultati hanno evidenziato una correlazione positiva tra le due misure della variabilità temporale del movimento e tra le due misure parametriche della prestazione (distanza media tra palla e buca; distanza media dalla misura target). La valutazione soggettiva invece sembra essere una dimensione indipendente dagli altri due indici della performance. La variabilità sia del tempo relativo sia della durata totale è correlata positivamente con la distanza tra la palla e la buca e con la distanza dalla misura target. Pertanto all'aumentare della variabilità del movimento aumenta anche la distanza (peggiora la prestazione). Vi è inoltre una tendenza alla significatività per la correlazione negativa tra la variabilità del tempo relativo e la valutazione soggettiva. In

questo caso con l'aumentare della variabilità del movimento si avrebbe un peggioramento dei giudizi dei partecipanti circa l'esecuzione del gesto tecnico.

N= 18		<i>Tempo relativo</i>	<i>Durata totale</i>	<i>Distanza buca</i>	<i>Distanza target</i>	<i>Valutazione soggettiva</i>
<i>Tempo relativo</i>	<i>Coefficiente</i>	---	0,503517	0,462805	0,40908	-0,36524
	<i>p valore</i>	---	<.05	<.05	<.05	0,068
<i>Durata totale</i>	<i>Coefficiente</i>	0,503517	---	0,52606	0,577929	-0,05377
	<i>p valore</i>	<.05	---	<.05	<.01	ns
<i>Distanza buca</i>	<i>Coefficiente</i>	0,462805	0,52606	---	0,847984	-0,12616
	<i>p valore</i>	<.05	<.05	---	<.001	ns
<i>Distanza target</i>	<i>Coefficiente</i>	0,40908	0,577929	0,847984	---	-0,29938
	<i>p valore</i>	<.05	<.01	<.001	---	ns
<i>Valutazione soggettiva</i>	<i>Coefficiente</i>	-0,36524	-0,05377	-0,12616	-0,29938	---
	<i>p valore</i>	0,068	ns	ns	ns	---

Tabella 4. Tabella riassuntiva delle correlazioni tra gli indicatori della variabilità del movimento e quelli della prestazione.

6.2.3. *Discussione dei risultati*

In questo esperimento, attraverso l'uso di strategie di modellamento visivo e uditivo, si voleva verificare l'efficacia nel brevissimo termine di tali tecniche applicate allo swing nel golf. A tal proposito risultava di particolare interesse determinare gli effetti dell'applicazione dei modelli sulla temporalità delle azioni al fine di verificare, come ipotizzato in precedenti lavori, se questi tipi di training sono realmente in grado di modellare i fattori temporali del movimento e, di conseguenza, la prestazione.

Lo studio degli effetti del trattamento sui fattori temporali del movimento ha confermato le ipotesi iniziali. I risultati hanno infatti evidenziato che i golfisti erano in grado di sfruttare le informazioni temporali fornite attraverso il canale acustico, ma non attraverso quello visivo. Il tempo relativo e la durata totale delle azioni risultano infatti meno variabili nella condizione acustica rispetto alla condizione visiva e a quella di controllo, suggerendo che l'informazione uditiva riusciva a creare una traccia temporale nella memoria di lavoro che veniva utilizzata nella fase di produzione del movimento. Viceversa analoghe informazioni fornite attraverso il canale visivo non producevano alcun effetto di standardizzazione temporale dell'azione in confronto alle prove di controllo.

Analogamente la prestazione è risultata migliore nella condizione di modeling acustico rispetto a quella di modeling visivo e al controllo. I tre parametri attraverso i quali è stata operazionalizzata la variabile prestazione sono coerenti e congiuntamente suggeriscono che questa tecnica ha un'effettiva capacità di influenzare le performance dei golfisti. Per quanto concerne la spiegazione di tale fenomeno si può affermare che questo sia in buona parte dovuto ai fattori temporali. Infatti l'effetto di standardizzazione temporale del movimento determinato dal *modeling* acustico risulta correlato con la prestazione. Essendo quest'ultima una conseguenza del movimento, si può ragionevolmente sostenere che: le proprietà temporali dei modelli acustici sarebbero state ritenute dai partecipanti; questi ultimi di conseguenza avrebbero eseguito un movimento con caratteristiche temporali simili a quelle del movimento ascoltato; l'esecuzione di un'azione simile a quella del modello avrebbe conseguentemente determinato un aumento medio della prestazione.

Tali risultati sono coerenti con la letteratura di riferimento e adducono ulteriore validità agli studi precedenti circa l'immediato trasferimento delle informazioni acquisite dalla memoria di lavoro attraverso il modeling uditivo (Agostini et al. 2004; Galmonte, Righi e Agostini, 2004 Righi et al., 2007). La novità di questo esperimento risiede nell'individuazione del ruolo di mediazione dei fattori temporali del movimento tra gli stimoli acustici e le performance degli atleti. Tale fenomeno fornisce quindi un supporto empirico a quanto era stato in precedenza ipotizzato ma mai verificato sperimentalmente.

CAPITOLO VII

Conclusioni

7.1. Considerazioni applicative

Nel background scientifico della psicologia sperimentale applicata allo sport si è cercato di sviluppare un corpus di conoscenze attorno al ruolo delle informazioni acustiche e alla loro temporalità associata al movimento umano. Gli esperimenti proposti, in base alla loro spiccata connotazione ecologica, suggeriscono complessivamente numerose indicazioni che allargano il ventaglio degli strumenti disponibili a coloro che si occupano di interventi in psicologia dello sport.

I primi due esperimenti, in particolare, evidenziano che il sistema uditivo, rispetto a quello visivo, è maggiormente sensibile alla percezione di variazioni temporali associate al movimento umano. Tale evidenza ha suggerito la possibilità di sfruttare le proprietà percettive della macchina-uomo per modularne l'azione motoria. Il quarto esperimento ha dimostrato pertanto che è possibile utilizzare la specializzazione acustica per gli aspetti temporali con il fine di modulare il movimento di atleti esperti, inducendo conseguentemente un miglioramento della prestazione. Tale risultato è stato ottenuto grazie all'apporto dei modelli individuali e alle indicazioni ottenute dal terzo esperimento. Questo infatti ha evidenziato che le persone utilizzano la propria esperienza motoria durante i processi di percezione acustica e ciò ha suggerito l'idea di utilizzare, nel quarto esperimento, dei modelli che non fossero neutri, bensì centrati sull'individuo e che rappresentassero esattamente le caratteristiche motorie e temporali di ciascun atleta.

Sommariamente è stato pertanto dimostrato che le proprietà dei modelli utilizzati, in particolare la modalità (acustica) e il contenuto (prestazione individuale), sono efficaci ai fini della standardizzazione della temporalità del movimento. La temporalità proposta sembra vincolare infatti l'azione, la quale in qualche modo risulta "attratta" dalle caratteristiche del modello somministrato. La conseguenza di questa attrazione è un vincolo temporalmente biomeccanico che induce gli atleti a eseguire una performance molto simile al modello anche per quanto concerne il risultato, il quale risulta mediamente vicino ai migliori standard individuali. Le implicazioni di tale strategia sul mondo dello sport sono evidentemente numerose e offrono delle prospettive molto interessanti per il futuro della psicologia applicata.

7.2. Parallelismo tra ricerca di base e ricerca applicata

Gli esperimenti condotti in questo lavoro, assieme ad altri studi descritti in ambito motorio, hanno evidenziato un parallelismo tra i principi evidenziati dalla ricerca di base e quella applicata. Nel secondo capitolo sono stati riportati numerosi studi di laboratorio che hanno evidenziato la superiorità del sistema acustico su quello visivo per quanto concerne l'elaborazione del materiale temporale. Tali lavori sono stati catalogati in quattro tipologie in base al tipo di processi implicati. Nello specifico questo effetto di dominanza acustica è stato visto nei processi di apprendimento, controllo senso-motorio, memoria di lavoro e percezione.

Risultati analoghi sono stati descritti anche in contesti maggiormente ecologici, attraverso l'analisi degli stessi fenomeni, evidenziando come sia possibile traslare in ambito applicativo alcuni principi studiati in laboratorio. Ad esempio i risultati ottenuti nell'ambito della sincronizzazione senso-motoria che prevedevano un compito motorio semplice quale il tapping (Repp & Penel, 2002; 2004) sono stati analogamente riscontrati da Wuyts e Buekers (1995) nell'esecuzione di un compito motorio molto più complesso quale una sequenza di passi di danza. Allo stesso modo l'apprendimento della ritmica di sequenze motorie semplici (Doody, Bird & Ross, 1985) è stato esteso a un esercizio complesso quale il nuoto (Wang & Hart, 2005).

I processi appena descritti erano sufficientemente esaustivi relativamente alla possibilità di trasferire la superiorità acustica da esperimenti di base a studi applicati. Tuttavia, lo stesso fenomeno relativo alla memoria di lavoro, ben documentato in ricerca di laboratorio (Collier e Logan, 2000; Glenberg et al. 1989; Glenberg e Jona, 1991), era stato finora abbastanza trascurato dalla ricerca sul campo. Tale problema era stato affrontato in precedenza dal punto di vista dell'esito della prestazione sportiva (Agostini et al., 2004; Galmonte, Righi e Agostini, 2004; Righi et al. 2007), ma non attraverso una misurazione diretta del movimento. Il quarto esperimento proposto nel presente lavoro ha invece approfondito proprio questo aspetto, confermando il parallelismo tra ricerca di base e ricerca applicata anche per il processo di memoria di lavoro.

Analogamente era stata sinora ignorata la possibilità di studiare, da un punto di vista puramente percettivo, la diversa sensibilità sensoriale nei confronti di intervalli temporali associati al movimento umano. Anche in questo caso tale effetto era ben documentato da studi di laboratorio (Grondin et al., 1998; Grondin & McAuley, 2009), ma mai affrontato in associazione al movimento umano. Gli esperimenti 1 e 2 del

presente lavoro hanno permesso di estendere anche tale fenomeno dal contesto di base a quello applicato, completando quindi il quadro dei processi presi in esame e delineando un parallelismo comune a tutti gli aspetti considerati.

Tale osservazione induce a due brevi considerazioni: una metodologica e una, più generale, epistemologica. Quella metodologica si riferisce al fatto che la difficile sfida di replicare alcuni fenomeni di laboratorio in un contesto difficile, anzi complesso, quale quello dello sport è stata vinta. Si è pertanto riusciti nell'intento di controllare le principali variabili potenzialmente confondenti e di ottenere pertanto risultati che confermano ed estendono la validità esterna dei fenomeni di base indagati. Quella epistemologica invece riguarda il ruolo scientifico della psicologia dello sport e amplia la prospettiva della precedente considerazione. Le evidenze riportate infatti attribuiscono alla psicologia dello sport una maturità tale da permettere a questa giovane scienza di studiare empiricamente la complessità umana nella complessità del suo ambiente. In quest'ottica tale disciplina si arroga quindi il diritto di avere una pari dignità scientifica rispetto ai tradizionali ambiti della ricerca di base, evidenziando metodi e paradigmi che possono parimenti condurre a risultati coerenti e replicabili come quelli di laboratorio, con il plusvalore della validità ecologica derivante dal contesto reale di applicazione.

7.3. Interpretazione dei risultati secondo la *Theory of Event Coding*

La teoria della codifica di eventi, illustrata ampiamente nel terzo capitolo, descrive alcune assunzioni circa il funzionamento dei processi di percezione e azione. Utilizzando tale schema di riferimento si cercherà di interpretare i risultati ottenuti nei quattro esperimenti proposti nel presente lavoro. In particolare si analizzeranno quindi i processi che, secondo la teoria di Hommel e colleghi, favorirebbero la percezione del ritmo, la riproduzione di modelli e il riconoscimento del proprio movimento.

7.3.1. *Percezione del ritmo*

Gli esperimenti 1 e 2, alla luce della teoria di riferimento, fornirebbero delle indicazioni circa il modo attraverso il quale le persone si rappresenterebbero le informazioni temporali legate all'azione. Vista la disparità sensoriale tra visione e udito nella trasmissione di queste informazioni, si potrebbe ipotizzare un maggior numero di vie di conduzione provenienti dal canale acustico (rispetto a quello visivo) nella formazione di *features* che descrivono la temporalità del movimento. Le numerosità delle vie acustiche permetterebbe una rappresentazione più fedele e dettagliata del

materiale temporale rispetto ai canali visivi. Questo determinerebbe la differenza di sensibilità tra i due sistemi percettivi.

Nell'esperimento 1 il *matching* tra lo standard di riferimento fornito e gli stimoli proposti poteva avvenire adeguatamente solo nella condizione audio e non in quella video, a causa probabilmente di una soglia di deviazione temporale degli stimoli troppo bassa. Tale soglia avrebbe permesso quindi un'adeguata elaborazione per il materiale proposto acusticamente ma non visivamente. Viceversa nell'esperimento 2 il *matching* avveniva anche nella condizione video, in virtù della soglia più alta. Nella condizione audiovisiva tuttavia non sono stati evidenziati dei vantaggi rispetto a quella acustica, a dimostrazione del fatto che le vie uditive rappresenterebbero in ogni caso il canale privilegiato. Tale canale potrebbe essere parzialmente sostituito dalle vie visive qualora le informazioni acustiche non fossero disponibili, a patto che le stimolazioni visive siano sufficientemente intense da attivare le *features* degli eventi. L'effetto expertise sembra essere rilevabile solo nella condizione acustica, nella quale ci sarebbe quindi una facilitazione dettata dall'esperienza motoria. Tale esperienza determinerebbe quindi un'attivazione dei network sensibili alle caratteristiche temporali del movimento in misura maggiore tra gli esperti rispetto ai non esperti. Tuttavia tale effetto non sembra essere presente nelle altre due condizioni, sebbene vi siano alcune apparenti contraddizioni che andrebbero ulteriormente indagate.

7.3.2. Riproduzione dei modelli

Il quadro tracciato nel precedente paragrafo è coerente con i risultati emersi nell'esperimento 4 in cui si è dimostrato un maggior effetto dei modelli acustici rispetto a quelli visivi nel modulare i parametri temporali dell'esecuzione di un movimento complesso. In questo caso il numero maggiore di canali acustici dedicati alla temporalità del movimento permetterebbero un'adeguata rappresentazione dei fattori temporali derivanti dai modelli acustici, mentre ciò non avverrebbe per i modelli visivi. Le informazioni rappresentate in forma distale, quindi non come suoni o immagini ma come intervalli e rapporti temporali del movimento, sarebbero immediatamente disponibili nella pianificazione del movimento e quindi riproducibili solo nella condizione uditiva. La standardizzazione del tempo relativo e della durata totale del movimento riscontrata nell'esperimento 4 suggerisce che effettivamente le rappresentazioni temporali dei modelli acustici vincolerebbero la pianificazione e la successiva produzione motoria. Questa teoria quindi spiegherebbe in maniera piuttosto

esaustiva il trasferimento immediato delle informazioni temporali dalla percezione all'azione, in virtù del sistema di codifica comune.

7.3.3. Riconoscimento del proprio movimento

La prospettiva appena delineata viene ulteriormente confermata dall'interpretazione dei risultati dell'esperimento 3, relativo alla discriminazione tra i suoni associati ai movimenti propri e a quelli altrui. In questo caso l'ipotesi del sistema unico di rappresentazione è confermata dal fatto che le persone riescono a riconoscere il proprio movimento in virtù quindi della propria esperienza motoria. Infatti i suoni che presentano un adeguato *matching* con l'esperienza motoria attiveranno più facilmente le caratteristiche temporali. Secondo la teoria di Hommel e colleghi le proprietà temporali associate al movimento sarebbero inizialmente preattivate dall'esperienza motoria e, in seguito, ulteriormente attivate dai suoni che presentano proprietà corrispondenti alle *features* già attive. L'attivazione contemporanea delle caratteristiche "tempo relativo" e "durata totale" permetterebbe, ad un livello più alto, il *binding* e di conseguenza il riconoscimento del proprio movimento. La presentazione di suoni di altri atleti con caratteristiche temporalmente uguali avrebbe un effetto simile sull'attivazione delle caratteristiche temporali implicate nel riconoscimento, portando quindi all'erronea identificazione di sé stessi come esecutori di movimenti che invece erano stati eseguiti da altri atleti. Questo testimonia quindi che le *features* temporali sono quelle che maggiormente influenzano il giudizio delle persone nel riconoscimento acustico del movimento, suggerendo che la trasmissione di informazioni temporali è quella privilegiata da parte delle vie uditive. L'esperimento 3 infatti rovescia la prospettiva di analisi della relazione tra canale uditivo e percezione temporale. Se in precedenza si è evidenziato come le vie uditive siano quelle privilegiate per le informazioni temporali, in questo caso si evince che analogamente le informazioni temporali sono privilegiate per i canali uditivi, suggerendo quindi una corrispondenza biunivoca tra suono e tempo.

7.4. Una proposta di implementazione: il modello TIME

Gli autori della teoria della codifica di eventi, per loro stessa ammissione, hanno proposto uno schema generale, una sorta di *template*, il quale può essere implementato in base al contesto e al tipo di *features* degli eventi. Alla luce delle analisi sinora effettuate si può pertanto ipotizzare un modello che, a partire da questa teoria, implementi lo schema generale proposto da Hommel e collaboratori (2001) e ne

specifici il funzionamento relativo agli aspetti temporali del movimento. Tale modello verrà chiamato TIME, acronimo di *Temporal Information and Movement Execution* (Figura 17).

Il modello TIME prevede che la temporalità del movimento umano sia determinata da due fattori, il tempo relativo e la durata totale, come previsto nella *Schema Theory* di Schmidt (1975). Tali fattori sarebbero quindi le due *features* legate all'azione che ne regolerebbero gli aspetti temporali e ritmici. Numerose evidenze sperimentali hanno suggerito che le vie uditive fornirebbero un contributo maggiore per la rappresentazione di questi aspetti rispetto alla visione e ad altri sensi. In quest'ottica le informazioni rilevate dal sistema acustico in termini di intervalli di intensità e frequenza del suono verrebbero quindi copiosamente inviate, sotto forma distale, ai network di rappresentazione, tralasciando quindi le informazioni prettamente dipendenti dalla modalità sensoriale e conservando il più astratto concetto di temporalità. Un processo analogo avverrebbe nelle vie visive e in altre vie sensoriali, le quali sarebbero meno numerose e avrebbero un minor peso nell'attivazione delle *features* temporali rispetto alle vie uditive.

La rappresentazione delle caratteristiche temporali degli eventi avverrebbe pertanto in forma distale e prevedrebbe l'integrazione delle informazioni sensoriali. Tale rappresentazione avverrebbe all'interno di un sistema di codifica comune, condiviso tra percezione e azione. La condivisione del sistema di rappresentazione permetterebbe quindi un immediato utilizzo delle informazioni temporali nella fase di pianificazione del movimento e nella successiva esecuzione. Relativamente al piano d'azione i parametri temporali avrebbero la possibilità di influenzare i diversi sistemi di controllo motorio che determinano il movimento dei vari muscoli del corpo.

Il *binding* tra il tempo relativo e la durata totale, in linea con quanto previsto dal *template* teorico di Hommel e colleghi, spiegherebbe entrambi i processi di percezione e azione. Per quanto concerne la percezione, questa avverrebbe grazie alla combinazione dei fattori temporali. Tale combinazione determinerebbe la percezione del movimento e spiegherebbe il riconoscimento della propria azione o di azioni familiari. Infatti le azioni proprie e in misura leggermente minore quelle familiari sarebbero preattivate in virtù dell'esperienza motoria. Tale attivazione di base consentirebbe alle caratteristiche "tempo relativo" e "durata totale" di avere un'elevata probabilità di legarsi tra loro quando viene presentato uno stimolo che favorisce il *matching* con le caratteristiche preattivate e quando l'attenzione è orientata verso lo stimolo, determinando quindi la

percezione del movimento. Per quanto riguarda la pianificazione del movimento, il processo sarebbe analogo a quello percettivo. Le caratteristiche “tempo relativo” e “durata totale” necessarie in un dato momento per una determinata azione verrebbero attivate dal contesto e dall’intenzione di compiere quella specifica azione. L’attivazione delle caratteristiche temporali permetterebbe a queste di compiere il *binding*. In questo caso il *binding* delle caratteristiche temporali, assieme alla combinazione di altre caratteristiche, contribuirebbe alla compilazione del programma motorio da eseguire.

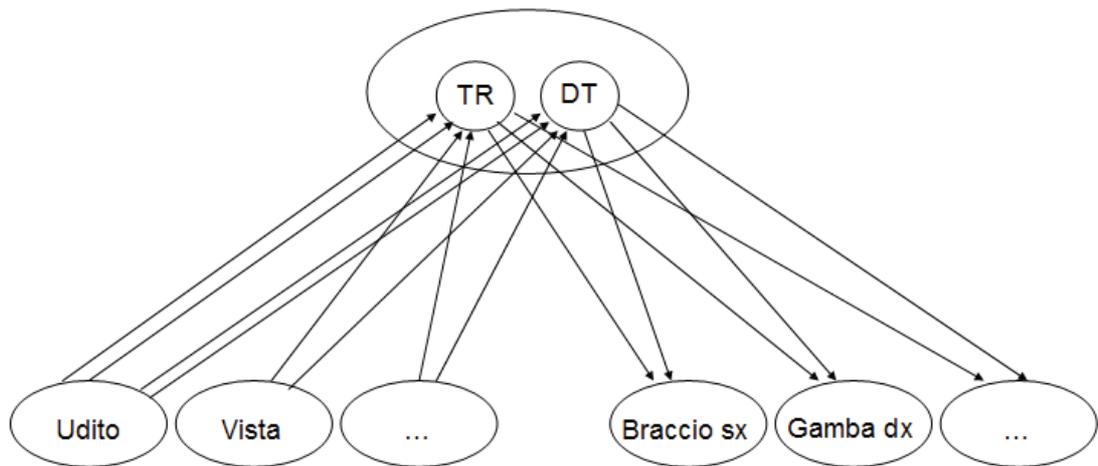


Figura 17. Il modello TIME

A sostegno di tale modello, oltre alle numerose evidenze empiriche addotte da Hommel e collaboratori e ai quattro esperimenti condotti nel presente lavoro, vi sarebbero anche delle recenti evidenze fisiologiche. Uno studio di Chen, Penhune e Zatorre (2008) ha infatti evidenziato delle attivazioni nella corteccia motorie quando i partecipanti erano stimolati con dei ritmi uditivi che fornivano loro delle indicazioni sul movimento. La cosa particolarmente interessante è che gli stessi ritmi uditivi, anche quando erano svincolati dalla pianificazione del movimento, suscitavano nelle persone delle analoghe attivazioni nelle aree motorie. Esisterebbero quindi delle aree, nella corteccia motoria, che sarebbero sensibili ai ritmi presentati attraverso i canali uditivi, anche quando questi non sono legati al movimento, evidenziando una naturale inclinazione delle aree motorie a recepire istruzioni temporali fornite attraverso le vie uditive. Tale evidenza fornisce un’ulteriore prova a sostegno della visione di Hommel e colleghi relativa all’intrinseca relazione tra i processi di percezione e azione. All’interno di questa prospettiva tale prova fornirebbe, nello specifico, un supporto fisiologico

all'idea della corrispondenza biunivoca tra suono e tempo che sta alla base del modello TIME.

7.5. Sviluppi futuri

La proposta di implementazione della teoria della codifica di eventi riassume gran parte delle evidenze sperimentali di laboratorio e spiega coerentemente i risultati degli esperimenti condotti sul campo e descritti nel presente lavoro. Tuttavia esistono ulteriori aspetti che dovrebbero essere indagati e che meritano grande attenzione in futuro. Ad esempio non è chiaro se i sistemi di central pattern generator possano interagire con il sistema di rappresentazione di Hommel e, in tal caso, a che livello questi potrebbero intervenire. Sebbene i CPG controllerebbero principalmente i movimenti stereotipati a un livello gerarchico basso, agendo quindi in maniera indipendente dal controllo volontario e dalla rappresentazione, alcuni autori sostengono che non si può escludere (anzi che è molto probabile) che i CPG abbiano delle influenze anche sul controllo volontario. Tale fenomeno può risultare di sicuro interesse per successivi sviluppi del modello TIME e, più in generale, per tutti gli approcci teorici interessati alla comprensione dei processi di percezione e azione e dell'associazione tra questi.

Per quanto concerne l'applicazione di questi studi e l'utilizzo delle strategie descritte ai fini del miglioramento della prestazione in ambito sportivo, si è comprovata l'efficacia dei modelli acustici quali modulatori della temporalità dell'azione. Recentemente, oltre alle tecniche di modeling visivo e uditivo, è stata proposta una nuova strategia di modellamento basata sulla spazialità del movimento (Righi et al., 2010). Tale tecnica consiste nel fornire un riferimento, sempre basato sullo standard individuale, circa il posizionamento degli arti inferiori durante la rincorsa, un movimento presente in numerosi gesti sportivi. Sarebbe interessante valutare se tale strategia determina anch'essa, in virtù di una costante spazialità del movimento, una standardizzazione anche temporale dell'azione. Tale tecnica, che rappresenta una delle nuovissime frontiere della psicologia applicata allo sport, potrebbe inoltre combinarsi con strategie di tipo uditivo. L'efficacia di questa strategia in diversi contesti motori e la possibilità di utilizzarla in combinazione al modeling acustico costituiscono due aspetti che occorrerebbe indagare per estendere le applicazioni del presente lavoro.

Bibliografia

- Abel, S. M. (1972). Discrimination of temporal gaps. *Journal of the Acoustical Society of America*, 52, 519-524.
- Agostini, T., Righi, G., & Galmonte, A. (2005). Nuove prospettive di ricerca in psicologia dello sport: l'approccio sperimentale. *Giornale Italiano di Psicologia*, 1, 219-226.
- Allan, L. G. (1979). The perception of time. *Perception & Psychophysics*, 26, 340-354.
- Auvray, M., Hoellinger, T., Hanneton, S., & Roby-Brami, A. (2011). Perceptual weight judgments when viewing one's own and others' movements under minimalist conditions of visual presentation. *Perception*, 40, 1081-1103.
- Bartlett, N. R., & Bartlett, S. C. (1959). Synchronization of a motor response with an anticipated sensory event. *Psychological Review*, 66, 203-218.
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2002). *Neuroscienze. Esplorando il cervello*. Milano: Masson.
- Borghi, A., Gianelli, C., & Scorolli, C. (2008). Cognizione embodied e simulazione motoria: studi sul linguaggio. in V. Cardella e D. Bruni (Eds.), *Cervello, Linguaggio, Società, Atti del Convegno 2008 di Codisco* (pp. 37-47). Roma: Squilibri.
- Brown, S. W. (2008). Time and attention: Review of the literature. In S. Grondin (Ed.), *Psychology of Time* (pp.1-50). Bingley, UK: Emerald.
- Carroll, W. R., & Bandura, A. (1982). The role of visual monitoring in observational learning of action patterns: Making the unobservable observable. *Journal of Motor Behavior*, 14, 153-167.
- Chen J. L., Penhune V. B., Zatorre R. J. (2008). Listening to musical rhythms recruits motor regions of the brain. *Cerebral Cortex*, 18, 2844-2854.
- Collier, G. L., & Logan, G. (2000). Modality differences in short-term memory for rhythms. *Memory and Cognition*, 28, 529-538.
- Doody, S. G., Bird, A. M., & Ross, D. (1985). The effect of auditory and visual models on acquisition of a timing task. *Human movement science*, 4, 271-281.
- Dunlap, K. (1910). Reactions to rhythmic stimuli, with attempt to synchronize. *Psychological Review*, 17, 399-416.
- Effenberg, A. O. (1996). *Sonification: ein akustisches Informationskonzept zur menschlichen bewegung*. Schorndorf: Hofmann.

- Effenberg A. O. (2005). Movement Sonification: Effects on Perception and Action. *IEEE Multimedia*, 12, 53-59.
- Flach, R., Knoblich, G., & Prinz, W. (2004). Recognizing one's own clapping: The role of temporal cues. *Psychological Research*, 69, 147–156.
- Galmonte, A., Righi, G., & Agostini, T. (2004). Stimoli acustici come nuovo elemento per il miglioramento della performance nel nuoto. *Movimento*, 20, 73-78.
- Getty, D. J. (1975). Discrimination of short temporal intervals: A comparison of two models. *Perception & Psychophysics*, 18, 1-8.
- Gherzil, A. (2010). *Fattori percettivi in risposta al servizio nel tennis: elementi visivi, acustici e motori*. Tesi di Dottorato in Neuroscienze e Scienze Cognitive - XXII Ciclo, Università degli Studi di Trieste.
- Gingras, B., Lagrandeur-Ponce, T., Giordano, B. L., & McAdams, S. (2011). Perceiving musical individuality: Performer identification is dependent on performer expertise and expressiveness, but not on listener expertise. *Perception*, 40, 1206-1220.
- Glenberg, A. M., & Jona, M. (1991). Temporal coding in rhythm tasks revealed by modality effects. *Memory & Cognition*, 19, 514–522.
- Glenberg, A. M., Mann, S., Altman, L., Forman, T., & Procise, S. (1989). Modality effects in the coding and reproduction of rhythms. *Memory & Cognition*, 17, 373–383.
- Glenberg, A. M., & Swanson, N.G. (1986). A temporal distinctiveness theory of recency and modality effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 12, 3–15.
- Grondin, S. (1993). Duration discrimination of empty and filled intervals marked by auditory and visual signals. *Perception and Psychophysics*, 54, 383-394.
- Grondin, S., & McAuley, J. D., (2009). Duration discrimination in crossmodal sequences. *Perception*, 38, 1542–1559.
- Grondin, S., Meilleur-Wells, G., Ouellette, C., & Macar, F. (1998). Sensory effects on judgments of short time-intervals. *Psychological Research*, 61, 261-268.
- Guicciardi, M. (2003). Introduzione. In M. Guicciardi (ed.), *Psicologia e sport. Metodi e tecniche di ricerca* (pp. 19-32). Milano: Guerini.
- Hagemann, N., Schorer, J., Canal-Bruland, R., Lots, S., & Strauss, B. (2010). Visual perception in fencing: Do the eye movements of fencers represent their information pickup? *Attention, Perception and Psychophysics*, 72, 2204-2214.

- Han, D. W., & Shea, C. H. (2008). Auditory model: Effects on learning under blocked and random practice schedules. *Research quarterly for exercise and sport*, 79, 476-486.
- Hohmann T., Troje, N. F., Olmos, A., & Munzert, J. (2011). The influence of motor expertise and motor experience on action and actor recognition. *Journal of Cognitive Psychology*, 23, 403-415.
- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The theory of event coding (TEC): A framework for perception and action planning. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 849-878.
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception and Psychophysics*, 14, 201–211.
- Johansson, G. (1976). Spatio-temporal differentiation and integration in visual motion perception. *Psychological research*, 38, 379-393.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2003). *Principi di neuroscienze*. Milano: Ambrosiana.
- Keele, S. W. (1968). Movement control in skilled motor performance. *Psychological Bulletin*, 70, 387-403.
- Keller, P. E., Knoblich, G., & Repp B. H. (2007). Pianists duet better when they play with themselves: On the possible role of action simulation in synchronization. *Consciousness and Cognition*, 16, 102–111.
- Kelso, J. A. S. (1995). *Dynamic patterns: The self-organization of brain and behavior*. Cambridge, Mass: The MIT Press.
- Klapp, S. T., & Jagacinski, R. J. (2011). Gestalt principles in the control of motor action. *Psychological Bulletin*, 137, 443-462.
- Knoblich, G., & Flach, R. (2001). Predicting the effects of actions: Interactions of perception and action. *Psychological Science*, 12, 467–472.
- Land, M. F., & McLeod, P. (2000). From eye movements to actions: how batsman hit the ball. *Nature neuroscience*, 3, pp. 1340-1345.
- Le Runigo, C., Benguigui, N., & Bardy, B. G. (2010). Visuo-motor delay, information-movement coupling, and expertise in ball sports. *Journal of Sport Sciences*, 28, 327-337.
- Loula, F., Prasad, S., Harber K., & Shiffar M. (2005). Recognizing people from their movement. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31, 210–220.

- McCullagh, P., & Little, W. (1989). A comparison of modalities in modeling. *Human performance*, 2, 101-111.
- McCullagh, P., Ste-Marie, D., & Law, B. (in press). Modeling: Is What You See, What you Get? In J.L. Van Raalte, & B.W. Brewer (Eds.). *Exploring sport and exercise psychology (3rd ed.)*. Washington, DC: American Psychological Association.
- Michon J. A. (1972). Processing of temporal information and the cognitive theory of time experience. In J. T. Frasier, F. C. Haber, & G. H. Muller (Eds.), *The study of time* (pp. 242-258). New York: Springer-Verlag.
- Milner, A. D. & Goodale, M. A. (1995). *The Visual Brain in Action*. Oxford: Oxford University Press.
- Murgia, M., Gherzil, A., Righi, G., & Agostini, T. (2008). Percezione e azione nel tennis: un paradigma sperimentale per la valutazione della riprogrammazione motoria. *Movimento*, 24, 33-37.
- Murgia, M., & Righi, G. (in press). Programming and reprogramming motor actions: Theoretical issues, paradigms and applications in sports. In A. Galmonte, R. Actis Grosso (Eds.), *Different psychological perspectives on cognitive processes: current research trends in Alps-Adria region*. Newcastle (UK): Cambridge Scholars Publishing.
- Murgia, M., Sors, F., Vono, R., Muroi, A. F., Delitala, L., Di Corrado, D., & Agostini, T. (submitted). Auditory stimulation strategies to enhance performances in bench press exercises. *International Journal of Sport Psychology*.
- Pin, A. (2008). *Indizi visivi, fattori temporali e controllo motorio nel calcio di rigore*. Tesi di Dottorato in Psicologia - XX Ciclo, Università degli Studi di Trieste.
- Raab, M., Masters, S. W., & Maxwell, J. P. (2005). Improving the “how” and “what” decisions of elite table tennis players. *Human Movement Science*, 24, 326-344.
- Rammsayer, T. H., & Lima, S. D. (1991). Duration discrimination of filled and empty auditory intervals: Cognitive and perceptual factors. *Perception & Psychophysics*, 50, 565-574.
- Rees, H. (2003). *Tap dancing: Rhythm in their feet*. Ramsbury, United Kingdom: Crowood.
- Repp, B. H. (1987). The sound of two hands clapping: An exploratory study. *Journal of Acoustic Society of America*, 81, 1100–1109.

- Repp, B. H. (2003). Rate limits in sensorimotor synchronization with auditory and visual sequences: The synchronization threshold and the benefits and costs of interval subdivision. *Journal of Motor Behavior*, *35*, 355-370.
- Repp, B. H., & Keller, P. E. (2010). Self versus other in piano performance: Detectability of timing perturbation depends on personal playing style. *Experimental Brain Research*, *202*, 101–110.
- Repp, B. H., & Knoblich, G. (2004). Perceiving action identity: How pianists recognize their own performances. *Psychological Science*, *15*, 604–609.
- Repp, B. H., & Penel, A. (2002). Auditory dominance in temporal processing: New evidence from synchronization with simultaneous visual and auditory sequences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *28*, 1085–1099.
- Repp, B. H., & Penel, A. (2004). Rhythmic movement is attracted more strongly to auditory than to visual rhythms. *Psychological Research*, *68*, 252-270.
- Righi, G., Ferletic, E., Furlan, D., Pin, A., & Gherzil, A. (2007). Are visual models the best models to learn a specific task in sport training? *Perception 36, ECVF Abstract Supplement*, 179.
- Righi, G., Galmonte, A., & Agostini, T. (2006). Rhythm, a gestalt of human movement? *Gestalt Theory*, *28*, 283–291.
- Righi, G., Vesnaver, E., Feduzi, S., Muroli, A.F. (2010). Timing representation of performance: Spatial versus audio models. *Proceedings of the 1st Sport Psychology and Sport Science Conference – SPASS*, 27.
- Roeckelein, J. E. (2008). History of conceptions and accounts of time and early time perception research. In S. Grondin (Ed.), *Psychology of Time* (pp.1-50). Bingley, UK: Emerald.
- Rousseau, R., Poirier, J., & Lemyre, L. (1983). Duration discrimination of empty time intervals marked by intermodal pulses. *Perception & Psychophysics*, *34*, 541-548.
- Rowland, T. W. (2011). *The athlete's clock: How biology and time affect sport performance*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Runeson, S. (1994). Perception of biological motion: the KSD-principle and the implication of a distal versus a proximal approach. In G. Jansson, S.S. Begstrom, W. Epstein (Eds.), *Perceiving events and objects* (pp. 383-405). Hillsdale: Erlbaum.

- Runeson, S., & Frynholm, G. (1983). Kinematic specification of dynamics as an informational basis for person-and-action perception: expectation, gender, recognition and, deceptive intention. *Journal of experimental psychology: general*, *112*, 585-615.
- Schaffert, N., Mattes, K., & Effenberg, A. O. (2011). An investigation of online acoustic information for elite rowers in on-water training conditions. *Journal of Human Sport and Exercise*, *6*, 392-405.
- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, *82*, 225-260.
- Schmidt, R. A., & Wrisberg, C. A. (2000). *Apprendimento motorio e prestazione*. Roma: Società Stampa Sportiva.
- Schütz-Bosbach, S., & Prinz, W. (2007). Perceptual resonance: Action-induced modulation of perception. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*, 349–355.
- Sevdalis, V., & Keller, P. E. (2010). Cues for recognition in point-light displays of action performed in synchrony with music. *Consciousness and Cognition*, *19*, 617–626.
- Shea, C. H., Wulf, G., Park, J.-H., & Gaunt, B. (2001). Effects of an auditory model on the learning of relative and absolute timing. *Journal of motor behavior*, *33*, 127-138.
- Shim, J., Carlton, L. G., Chow, J. W, & Chae, W.-S. (2005). The use of anticipatory visual cues by highly skilled tennis players. *Journal of motor behavior*, *37*, 2, 164-175.
- Stucchi, N., & Olivero A. (1999). La percezione del movimento biologico. In F. Purghé, N. Stucchi, A. Olivero (Eds.), *La percezione visiva* (pp.633-651). Torino: UTET.
- Summers, J. J., & Anson, J. G. (2009). Current status of the motor program: Revisited. *Human Movement Science*, *28*, 566-577.
- Takeuchi, T. (1993). Auditory information in playing tennis. *Perceptual and Motor Skills*, *76*, 1323-1328.
- Teixeira, L. A., Chua, R., Nagelkerke, P., & Franks I. M. (2006). Reprogramming of interceptive actions: time course of temporal corrections for unexpected target velocity change. *Journal of motor behavior*, *38*, 6, pp. 467-477.
- Thaut, M. H., Leins, A. K., Rice, R. R., Argstatter, H., Kenyon, G. P., McIntosh, G. C., Bolay, H. V., & Fetter, M. (2007). Rhythmic auditory stimulation improves gait more than NDT/bobath training in near-ambulatory patients early poststroke: A

- single blind, randomized trial. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 21, 455-459.
- Treisman, A. (1964). Monitoring and storage of irrelevant messages in selective attention. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 3, 449-459.
- Vaeyens, R., Lenoir, M., Williams, A. M., & Phillipaerts, R. M. (2007). Mechanisms underpinning successful decision making in skilled youth soccer players: An analysis of visual search behaviors. *Journal of Motor Behavior*, 39, 395-408.
- Vickers, J. N. (2007). *Perception, Cognition, and Decision Training: The Quiet Eye in Action*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Von Holst, E. (1954). Relations between the central nervous system and the peripheral organs. *British Journal of Animal Behavior*, 2, 89-94.
- Wang, L., & Hart, M. A. (2005). Influence of auditory modeling on learning a swimming skill. *Perceptual and Motor Skills*, 100, 640-648.
- Williams, A. M., Ward, P., Knowles, J. M., & Smeeton, N. J. (2002). Anticipation skill in a real-world task: measurement, training and transfer in tennis. *Journal of experimental psychology. Applied*, 8, 259-270.
- Wolfe, J. M., Kluender, K. R., Levi, D. M., Bartoshuk, L. M., Herz, R. S., Klatzy, R. L. & Lederman, S. J. (2007). *Sensazione e percezione*. Zanichelli, Bologna.
- Wuyts, I. J., Buekers, M. J. (1995). The effects of visual and auditory models on the learning of a rhythmical synchronization dance skill. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 66, 105-115.