



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TRIESTE

Sede Amministrativa del Dottorato di Ricerca

XX CICLO DEL
DOTTORATO DI RICERCA IN PSICOLOGIA

SONNO E VARIAZIONI DELL'EFFICIENZA DI ATTENZIONE E INIBIZIONE

(Settore scientifico-disciplinare: M-PSI/02)

DOTTORANDO
DAVIDE JUGOVAC

COORDINATORE DEL COLLEGIO DEI DOCENTI
CHIAR. MO PROF. TIZIANO AGOSTINI
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TRIESTE

RELATORE
CHIAR. MO PROF. CORRADO CAVALLERO
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TRIESTE

INDICE

Introduzione	pag. 3
Sonno e attenzione	pag. 8
Il modello di Posner	pag. 12
Orienting	pag. 13
Executive control	pag. 16
Alerting	pag. 18
L'Attention Network Test (ANT)	pag. 21
Sonno e inibizione	pag. 24
Il modello di Logan	pag. 26
Lo Stop Signal Task (SST)	pag. 32
Esperimento 1 – Deprivazione totale di sonno	pag. 34
Introduzione	pag. 34
Metodo	pag. 38
Soggetti	pag. 38
Materiale	pag. 38
Attention Network Test	pag. 38
Stop Signal Task	pag. 42
Scale soggettive	pag. 44
Procedura	pag. 46
Analisi statistiche	pag. 48
Risultati	pag. 50
Scale soggettive	pag. 50
Attention Network Test	pag. 51
Stop Signal Task	pag. 55
Discussione	pag. 57
Esperimento 2 – Confronto in veglia tra due versioni dell'Attention Network Test	pag. 64
Introduzione	pag. 64
Metodo	pag. 65
Soggetti	pag. 65
Materiale	pag. 65
Procedura	pag. 66
Analisi statistiche	pag. 66
Risultati	pag. 67
Discussione	pag. 67

Esperimento 3 – Deprivazione parziale di sonno	pag. 69
Introduzione	pag. 69
Metodo	pag. 72
Soggetti	pag. 72
Materiale	pag. 73
Procedura	pag. 73
Analisi statistiche	pag. 75
Risultati	pag. 76
Dati fisiologici	pag. 77
Scale soggettive	pag. 77
Attention Network Test	pag. 78
Stop Signal Task	pag. 82
Discussione	pag. 82
Esperimento 4 – Confronto in veglia tra due versioni dello Stop Signal Task	pag. 87
Introduzione	pag. 87
Metodo	pag. 88
Soggetti	pag. 88
Materiale	pag. 88
Procedura	pag. 89
Analisi statistiche	pag. 89
Risultati	pag. 90
Discussione	pag. 90
Esperimento 5 – Sindrome delle Apnee Ostruttive del Sonno (OSAS)	pag. 92
Introduzione	pag. 92
Metodo	pag. 95
Soggetti	pag. 95
Materiale	pag. 95
Procedura	pag. 96
Analisi statistiche	pag. 96
Risultati	pag. 97
Attention Network Test	pag. 97
Stop Signal Task	pag. 102
Discussione	pag. 105
Conclusioni	pag. 108
Bibliografia	pag. 113

INTRODUZIONE

Nonostante lo studio relativo agli effetti delle alterazioni dell'architettura del sonno sulle funzioni cognitive sia stato da sempre uno degli argomenti più trattati nell'ambito della ricerca sul sonno, è alquanto sorprendente rilevare come ben poche siano state le conclusioni univoche prodotte da un simile impegno (Wimmer, Hoffmann, Bonato e Moffitt, 1992). Per molti anni le ricerche si sono limitate a studiare gli effetti comportamentali della mancanza di sonno per mezzo di classici compiti di tempi di reazione e, come prevedibile, le scoperte non sono state molto diverse dal senso comune. Ciò che si rilevava era sostanzialmente che i soggetti sottoposti a deprivazione di sonno tendevano a impiegare più tempo per rispondere agli stimoli, soprattutto nei casi in cui i compiti utilizzati erano estremamente monotoni e privi di sforzo cognitivo (Wilkinson, 1966).

Nel 1991, in una puntuale rassegna relativa agli studi sperimentali sulle prestazioni individuali in condizioni di sonnolenza, Dinges e Kribbs sottolineavano come la maggior parte dei lavori presenti in letteratura attribuisse i decrementi osservabili a non meglio precisati "deficit attenzionali". Gli autori lamentavano il fatto che una conclusione di questo tipo fosse altamente aspecifica e dicesse in realtà poco sulla reale influenza della sonnolenza sulle funzioni cognitive. A confermare le perplessità di Dinges e Kribbs basti citare il fatto che nello stesso anno veniva pubblicato un articolo di Mirsky, Bruno, Duncan, Ahearn e Kellam (1991) nel quale si sottolineava l'importanza di non considerare più l'attenzione come un costrutto unitario ma come un'abilità cognitiva multidimensionale. Nonostante ciò, negli anni successivi le cose non cambiarono molto, tanto che Bonnet (2000) nella sua rassegna sosteneva come non si potesse trarre una conclusione diversa se non quella che la conseguenza più evidente della restrizione di sonno è rappresentata dall'aumento della sonnolenza e che tale livello elevato di sonnolenza è anche alla base dei decrementi che si osservano nelle prestazioni degli individui in debito di sonno.

Questa sorta di impermeabilità ha caratterizzato per molto tempo i rapporti tra la psicofisiologia del sonno e le discipline contigue per cui, nonostante gli psicologi cognitivi avessero da tempo dimostrato come l'attenzione rappresentasse un costrutto multidimensionale con precise caratteristiche, gli ipnologi continuavano ad utilizzare

modelli di riferimento ormai superati (Harrison e Horne, 2000). Soltanto negli ultimi anni la multidisciplinarietà è diventata una caratteristica peculiare della ricerca sul sonno, con un progressivo aumento dei lavori in cui l'indagine degli effetti del debito di sonno a carico dei processi cognitivi è stata effettuata a partire dai risultati ottenuti nell'ambito della psicologia cognitiva (Fimm, Willmes, Spijkers, 2006; Nillson, Soderstrom, Karlsson, Lekander, Akerstedt, Lindroth e Axelsson, 2005; Jennings, Monk, van der Molen, 2003). Ciò nonostante, rimangono ancora oggi numerosi gli studi che continuano a valutare i decrementi legati alla mancanza di sonno in termini di semplice vigilanza (Urrila, Stenuit, Huhdankoski, Kerkohfs e Porkka-Heiskanen, 2007; Vgontzas, Zoumakis, Bixler, Lin, Follett, Kales e Chrousos, 2004; Bonnefond, Harma, Hakkola, Sallinen, Kandolin e Virkkala, 2003). Il compito utilizzato, lo *Psychomotor Vigilance Task* (Dinges e Powell, 1985), è senza dubbio uno strumento valido e affidabile. Tuttavia esso fornisce degli elementi di valutazione piuttosto sterili, attraverso i quali risulta quanto meno azzardato il tentativo di estenderne i risultati a processi cognitivi quali l'attenzione.

Misurare dei processi cognitivi complessi d'altronde non è cosa facile, e farlo in relazione al sonno lo è ancora meno. E' in quest'ottica che si spiega il motivo di scoperte spesso in contrasto tra loro. Anche lo studio di un costrutto potenzialmente più semplice come quello della vigilanza è stato storicamente caratterizzato da dibattiti molto accesi. Per molto tempo ad esempio si è sostenuto che la possibilità di rilevarne il deterioramento fosse subordinata all'uso di prove monotone, complesse e di lunga durata, in particolare nei casi in cui la vigilanza venisse valutata dopo periodi di deprivazione di sonno di breve entità. Le prove di vigilanza secondo questi autori per essere sensibili dovevano durare almeno 30 minuti (Wilkinson, 1969). Anche in tempi più recenti alcuni studi hanno evidenziato che test di durata ridotta potevano non subire peggioramenti dopo 24 ore di veglia continua (Millar, 1992). D'altro canto, già nel 1972 Lisper e Kjellberg avevano trovato un chiaro peggioramento in un compito di tempi di reazione della durata di soli 10 minuti in seguito ad una intera notte senza sonno. Successivamente, Dinges e i suoi collaboratori (Dinges e Kribbs, 1991; Dinges e Powell, 1988) hanno ripetutamente osservato dei cambiamenti nella prestazione individuale durante lo svolgersi del compito dovuti agli effetti di una sola notte di deprivazione con compiti della durata

di 10 minuti, purché essi prevedano risposte molto frequenti. Altre ricerche ancora hanno evidenziato come test semplici e di breve durata, non superiore ai 15 minuti, risultassero sensibili al calo della vigilanza anche in condizioni di deprivazione parziale di sonno (Herscovith e Broughton, 1981). Più recentemente Cavallero e Versace (2003) hanno dimostrato come un semplice compito di tempi di reazione (SRTT) della durata di soli 2 minuti è sensibile agli effetti di una progressiva riduzione di sonno. Negli ultimi anni la disputa non ha conosciuto tregua e si è allargata allo studio delle funzioni cognitive in generale. Bonnet (2000) ha ribadito l'idea secondo cui i test di performance devono essere lunghi e monotoni (dello stesso parere sono Roehrs, Carskadon, Dement e Roth, 2000). Binks, Waters e Hurry (1999) hanno a loro volta osservato come una notte di deprivazione di sonno non produca alcun peggioramento nel caso i compiti utilizzati siano complessi e richiedano un maggior impegno cognitivo. Pilcher e Huffcutt (1996) sono arrivati a concludere in maniera alquanto "forte" che la deprivazione di sonno influenza negativamente soltanto il tono dell'umore piuttosto che le funzioni cognitive. Harrison e Horne (2000) hanno provato invece a spiegare questa mole di risultati negativi ipotizzando che nei compiti più semplici e monotoni la motivazione dei soggetti sia solitamente bassa; viceversa, nel caso in cui i compiti richiedano delle abilità cognitive superiori come ad esempio la capacità di pianificazione o la flessibilità cognitiva, il grado di motivazione dei partecipanti risulta essere più elevato al punto da compensare gli effetti negativi della sonnolenza. Studi di laboratorio altrettanto recenti peraltro hanno dimostrato che, nonostante lo sforzo volontario dei soggetti di offrire una prestazione ottimale, una sola notte di deprivazione di sonno può comportare un significativo deterioramento anche di quelle abilità, solitamente definite come funzioni esecutive, che prevedono un maggior impegno cognitivo (Nillson et al., 2005; Harrison e Horne, 1999).

Appare evidente quindi come ancora oggi la disputa resti accesa e le opinioni rimangano molto divergenti. In un quadro così incerto, l'unica certezza è data dal monito di Kjellberg che già 30 anni fa esortava gli scienziati del settore a tener conto del fatto che compiti diversi subiscono in misura diversa l'influenza delle alterazioni del sonno e di conseguenza possono portare a risultati anche molto differenti tra loro (Kjellberg, 1977).

Il presente lavoro nasce sulla base di questa consapevolezza. L'idea di fondo che ha guidato questo studio è stata quella di scegliere in maniera ragionata alcuni tra i processi cognitivi più rilevanti non solo nell'ambito della psicofisiologia del sonno ma anche in quello della psicologia cognitiva e di studiarli per mezzo di compiti costruiti sulla base di teorie consolidate.

Le funzioni cognitive affrontate saranno l'attenzione e l'inibizione. La prima scelta non necessita di particolari spiegazioni in quanto, come già sopra riportato, l'attenzione oltre ad essere da sempre uno dei temi centrali della psicologia generale (Pashler, 1998; Parasuraman, 1998; Laberge, 1995) rappresenta un tema centrale anche nell'ambito della ricerca sul sonno. La seconda scelta è invece legata a quelli che sono stati gli sviluppi della ricerca negli ultimi anni. Le neuroscienze cognitive hanno riportato al centro dell'attenzione di moltissimi studi il tema delle funzioni esecutive. In particolare l'inibizione ha raccolto notevole interesse probabilmente per la sua rilevanza anche da un punto di vista ecologico. Mentre però gli psicologi cognitivi concordano in merito al fatto che l'inibizione faccia pienamente parte delle funzioni esecutive (Aron e Poldrack, 2005; Friedman e Miyake, 2004; Nigg, 2000), i dati ottenuti nell'ambito della psicofisiologia del sonno non sembrano essere altrettanto univoci. In letteratura sono infatti presenti diversi studi nei quali ai deficit esecutivi in condizioni di debito di sonno non corrisponde alcun peggioramento a carico delle funzioni inibitorie (Jennings, Monk e van der Molen, 2003; Jones e Harrison, 2001; Binks, Waters, Hurry, 1999). Anche in questo caso dunque il tema risulta essere potenzialmente rilevante per entrambi i settori disciplinari.

Volendo evitare l'eccessivo accumulo di dati tipico di protocolli sperimentali faticosi come quelli che coinvolgono lo studio del sonno, si utilizzeranno pochi compiti (uno per ciascun processo cognitivo preso in considerazione) scelti in base ad un preciso criterio. I test utilizzati infatti sono entrambi costruiti sulla base di un modello teorico preesistente. In questo modo i risultati ottenuti potranno essere interpretati all'interno di una precisa cornice teorica di riferimento. L'efficienza dei processi di attenzione e inibizione verranno affrontati attraverso una panoramica di quelli che sono gli ambiti di ricerca più comuni in psicofisiologia del sonno: dalle manipolazioni sperimentali, che prevedono un periodo di veglia continua più o meno prolungato, all'ambito

clinico, attraverso lo studio di una delle patologie del sonno più comuni come la sindrome delle apnee ostruttive del sonno (*Obstructive Sleep Apnea Syndrome – OSAS*). In questo modo sarà possibile studiare le suddette funzioni cognitive per mezzo di strumenti tradizionalmente utilizzati nell'ambito della psicologia cognitiva ma finora pressoché sconosciuti nello studio del sonno.

L'obiettivo finale è quello di provare per quanto possibile a rispondere all'invito formulato da Jones e Harrison (2001). Essi auspicano che la ricerca in psicofisiologia del sonno superi lo scoglio costituito dall'ambiguità delle classificazioni, dall'imprecisione dei concetti di base e dalla diversità dei compiti utilizzati, al fine di rendere interpretabili e confrontabili i vari risultati ottenuti ogni giorno nei laboratori del sonno sparsi nel mondo.

SONNO E ATTENZIONE

Nel corso degli ultimi cinquant'anni sono numerosi i paradigmi presentati in letteratura nel tentativo di spiegare l'attenzione, eppure non è stato ancora raggiunto un pieno accordo a favore dell'una o dell'altra teoria (Nigg, 2000). Nondimeno, è ormai convinzione diffusa che il suo funzionamento sia risultato dell'azione coordinata di diversi elementi, collegati tra loro a formare un vero e proprio sistema. Non c'è invece ancora accordo su quanti siano questi elementi e in quale modo convenga chiamarli. Laberge (1995) parla di manifestazioni dell'attenzione distinguendo tra manifestazione selettiva, preparatoria e di mantenimento. Pashler (1998) la distingue invece in selettiva, divisa e preparatoria. In precedenza prima Zubin (1975) e poi Mirsky (Mirsky et al., 1991) hanno introdotto i concetti di focus (o messa a fuoco), attenzione sostenuta e spostamento. A sua volta Umiltà (1994) ha operato una distinzione maggiormente intuitiva distinguendo tra attenzione selettiva e attenzione spaziale, ma Coull (1998) non concorda con questa classificazione ritenendo che in realtà l'attenzione spaziale non sia a sé stante, bensì implicata inestricabilmente in tutti gli altri sottoprocessi dell'attenzione. Lo stesso Coull ha proposto a sua volta una quadripartizione dell'attenzione, caratterizzata dai processi di selezione, divisione, attenzione sostenuta e orientamento. Ancora Parasuraman (1998) li ha riassunti in selezione, vigilanza e controllo.

Questa varietà di modelli, che costituisce ovviamente una ricchezza, a dimostrazione dell'interesse che da sempre questa particolare funzione cognitiva ha raccolto tra gli studiosi, in psicofisiologia del sonno si è rivelata per certi aspetti controproducente. Gli ipnologi infatti, trovandosi di fronte ad un numero elevato di modelli, hanno per anni preferito optare per l'utilizzo di compiti classici e dai risultati sicuri, con il risultato però che lo studio della relazione tra sonno e attenzione si è limitato all'attribuzione di non meglio precisati deficit attenzionali, peraltro spesso tipicamente inferiti dall'osservazione di una chiara quanto abbastanza scontata diminuzione della vigilanza (Dinges e Kribbs, 1991). Laddove invece gli ipnologi si sono avventurati nell'ambito delle scienze cognitive, consci dell'importanza di seguirne e assecondarne gli sviluppi, i risultati ottenuti oltre ad essere spesso discordanti, si sono rivelati scarsamente confrontabili. Di volta in volta infatti sono

stati utilizzati compiti anche molto diversi tra loro e modelli teorici di riferimento altrettanto differenti.

Nel 2003 Jennings e i suoi collaboratori (Jennings et al., 2003) hanno studiato gli effetti di una notte di deprivazione di sonno sull'attenzione, utilizzando il concetto di sistema attenzionale supervisore presente nel classico modello di Norman e Shallice (1986). Tale modello prevede che il sistema attenzionale supervisore sia in grado di: regolare l'azione in atto per mezzo di strategie (*preparatory bias*), spostare l'attenzione da un compito ad un altro (*task shifting*), inibire una risposta dominante (*suppression of prepotent response*). A tale scopo Jennings e i suoi collaboratori hanno messo a punto un compito per valutare le componenti del sistema e i risultati ottenuti si sono rivelati estremamente interessanti. La deprivazione di sonno infatti non sembra influenzare negativamente né il task shifting né l'inibizione, mentre sembra colpire selettivamente l'abilità ad usare una strategia preventiva, rallentandone la velocità. Gli autori nelle loro conclusioni sottolineano pertanto come gli effetti negativi della deprivazione di sonno riguardino selettivamente un unico sottoprocesso attenzionale, percepito dai soggetti come quello che necessita di maggior sforzo.

Maggior interesse sembra aver suscitato un'altra particolare componente attenzionale, l'orientamento implicito dell'attenzione (effettuato cioè in assenza di movimenti oculari). Nel solo 2006 sono usciti ben cinque lavori che hanno cercato di studiare gli effetti del debito di sonno su questo specifico processo cognitivo. Di questi, ben tre hanno utilizzato il classico paradigma di Posner, il *Cued Reaction Time Task* (CRTT, Posner 1980), un compito in grado di fornire per mezzo di diversi tipi di prova (valide, invalide, neutre) una stima dell'efficienza di ciascuna delle tre componenti ipotizzate da Posner stesso (1980): l'ancoraggio, lo spostamento e il disancoraggio. Versace, Cavallero, De Min Tona, Mozzato e Stegagno (2006) in uno studio di riduzione a 3 ore di sonno hanno rilevato come, a fronte di una riduzione generale dello stato di vigilanza dei soggetti evidenziata da un aumento dei tempi di reazione al *Simple Reaction Time Task*, nel CRTT aumentassero soltanto i tempi di reazione alle prove invalide mentre nessuna differenza significativa si osservava quando l'attenzione era attivata dalle prove valide. Questo risultato sembrerebbe suggerire che i diversi meccanismi sottostanti all'orientamento dell'attenzione sono

influenzati in maniera diversa da una riduzione del livello di vigilanza. Risultato analogo è stato ottenuto da Fimm, Willmes e Spijkers (2006) in un paradigma di deprivazione totale di sonno (28 ore di veglia ininterrotta) i quali, utilizzando una versione leggermente modificata del CRTT, hanno anch'essi riscontrato una interazione tra il livello di vigilanza e la componente dell'orientamento. Di diverso avviso sembrano essere invece Casagrande, Martella, Di Pace, Pirri e Guadalupi (2006). In un paradigma di deprivazione totale di sonno pressoché identico a quello utilizzato da Fimm e collaboratori, essi non hanno osservato alcun peggioramento specifico ma soltanto un rallentamento generalizzato dei tempi di reazione al CRTT. Questo risultato li ha portati a concludere che i due sistemi (vigilanza e orientamento) sono indipendenti tra loro.

Dei cinque studi sopra citati, gli ultimi due riguardano anch'essi degli studi in deprivazione totale di sonno, ma gli strumenti utilizzati in questo caso sono diversi. Bocca e Denise (2006) in uno studio di deprivazione totale di sonno (24 ore) e all'interno di un paradigma relativo ai movimenti saccadici (*gap and overlap paradigm*) hanno osservato uno specifico peggioramento a carico del disancoraggio dell'attenzione spaziale. Kendall, Kautz, Russo e Killgore invece (2006), sottoponendo il loro campione ad una veglia ininterrotta di 40 ore ed utilizzando come strumenti sperimentali il *Choice Visual Perception Task* e l'*Addition Serial Task*, hanno osservato un decremento generalizzato dei risultati che andrebbe a favore dell'ipotesi di indipendenza dei sistemi di vigilanza e di attenzione sostenuta. Va detto peraltro che in quest'ultimo caso l'obiettivo degli autori era principalmente quello di cogliere eventuali differenze interemisferiche, per cui un confronto con gli studi precedenti risulta particolarmente difficile. Questo problema però ad uno sguardo più approfondito riguarda anche gli altri studi appena descritti. Lo studio di Versace e collaboratori (2006) infatti si distingue dagli altri in quanto basato su un paradigma di riduzione sperimentale del sonno, mentre i quattro lavori pubblicati nello stesso anno si basano tutti su una manipolazione diversa, di deprivazione totale (da 24 a 40 ore di veglia). Anche per quanto riguarda il tipo di compito utilizzato, pur trattandosi sempre del CRTT, le versioni utilizzate sono state nei singoli casi diverse tra loro. Versace e collaboratori hanno utilizzato dei cue di tipo esogeno, mentre il gruppo di Casagrande (Casagrande et al., 2006) ha optato per dei cue di tipo

endogeno. Nel primo caso il cue attiva un processo automatico e involontario, per cui l'individuo non può fare a meno di rivolgere l'attenzione in direzione del cue stesso (Posner e Raichle, 1994). Nel secondo caso invece il cue è un indizio di tipo volontario per cui il soggetto deve interpretare il significato del simbolo, che compare in genere in prossimità del punto di fissazione, prima di dirigere effettivamente l'attenzione là dove indicato dal cue stesso (Umiltà, 1994). Non è possibile pertanto escludere che la diversa scelta effettuata abbia in qualche modo influenzato la situazione sperimentale (ipotesi sostenuta da Jonides, 1981). Nel lavoro di Fimm e collaboratori (2006) la modifica è stata anche maggiore in quanto alle due posizioni classiche ne sono state aggiunte altre due più periferiche. Questo rende non pienamente confrontabili i risultati ottenuti dagli autori con quelli ottenuti da Casagrande e il suo gruppo (2006). Infine, gli ultimi due studi citati (Bocca et al., 2006; Kendall et al., 2006), pur facendo riferimento all'orientamento dell'attenzione, partono da quadri teorici di riferimento diversi da quelli che hanno guidato gli studi di Versace (Versace et al., 2006), di Casagrande (Casagrande et al., 2006) e di Fimm (Fimm et al., 2006). Tutti questi fattori rendono alquanto complicato tentare di trarre delle conclusioni univoche o cercare di spiegare il perché di determinate differenze riscontrate, proprio in quanto il confronto è potenzialmente disturbato da tutta una serie di variabili che da studio a studio sono diverse e quindi difficilmente controllabili. D'altronde, come già detto in precedenza, questa scomoda peculiarità ha caratterizzato la quasi totalità degli studi in psicofisiologia del sonno.

Se pertanto, negli anni successivi alla pubblicazione della rassegna ad opera di Dinges e Kribbs (1991), gli studiosi del sonno si sono dimostrati più sensibili agli apporti forniti dalla psicologia cognitiva (tanto da ottenere dei risultati sicuramente interessanti ed incoraggianti), risulta essere ancora poco solida la cornice teorica di riferimento alla base di molti degli studi pubblicati (Jones e Harrison, 2001). Questa lacuna comporta una difficoltà oggettiva a confrontare i risultati ottenuti da laboratori diversi e rende pertanto poco produttivo il dibattito in merito a questioni rilevanti come appunto il concetto di attenzione.

Il modello di Posner

Michael I. Posner è senza dubbio uno degli psicologi che ha maggiormente contribuito allo sviluppo e all'approfondimento delle tematiche cognitive dell'attenzione. Egli sottolinea l'importanza di alcuni principi fondamentali. Per prima cosa, l'attenzione è un sistema che ha una propria identità indipendente, per cui il sistema attenzionale è separato anche anatomicamente a livello cerebrale da quelli che sono gli altri sistemi di elaborazione delle informazioni. In secondo luogo, l'attenzione è un sistema e in quanto tale si basa su una struttura complessa di aree cerebrali. Con questo Posner intende sottolineare il fatto che il sistema dell'attenzione non è gestito da una sola area cerebrale e che allo stesso tempo non si tratta neppure di una funzione mentale generale che agisce come un insieme. Al contrario, ogni area cerebrale coinvolta ha una sua funzione specifica, per cui l'attenzione è costituita da diversi sottosistemi, ciascuno dei quali regolato da diverse aree cerebrali, le quali a loro volta sono in collegamento tra loro a formare una struttura complessa. Coerentemente con questi principi, nei primi anni '80 Posner ha diviso il sistema attenzionale in due diversi sottosistemi: l'orientamento in direzione degli eventi sensoriali (*orienting*) e la detezione dei segnali per l'elaborazione consapevole delle informazioni (*detecting*) (Posner, 1980). Solo successivamente è stato identificato un terzo sistema, definito come stato d'allerta (*alerting*), il quale rappresenta la capacità dell'individuo di mantenere uno stato vigile. Il sistema dell>alerting, per le sue caratteristiche specifiche, svolge un ruolo di supervisore essendo in grado di influenzare gli altri due sistemi rendendoli più o meno reattivi di fronte ad uno stimolo. I tre sistemi individuati lavorano in maniera relativamente indipendente all'interno di un complesso sopramodale che prevede una certa relazione ad un livello superiore (Posner e Petersen, 1990).

Come spesso accade in ambiti di ricerca così complessi, il modello di Posner ha subito diverse rielaborazioni e perfezionamenti, raggiungendo la sua ultima versione in ordine di tempo nel 1994, anno in cui l'autore non ha modificato di molto le caratteristiche interne alle componenti descritte negli anni precedenti ma ha provveduto a rinominarne una parte. Per certi versi con questo cambiamento Posner è riuscito a precorrere i tempi, visti gli sviluppi che hanno caratterizzato la ricerca da allora ad oggi. Nella sua ultima versione, Posner distingue tre differenti network

attenzionali, ai quali dà rispettivamente il nome di orientamento (*orienting*), controllo esecutivo (*executive control*) e vigilanza (*alerting*) (Posner e Raichle, 1994).

Orienting

Attorno alla nozione di orientamento Posner ha costruito una teoria dell'attenzione a sé stante che ancora oggi risulta essere tra le più influenti nell'ambito della ricerca psicologica. Egli utilizza questo termine per indicare l'allineamento dell'attenzione con lo stimolo sensoriale. L'accezione dunque è quella di riflesso, in quanto Posner ritiene che questa particolare caratteristica dell'attenzione sia collegata ad una varietà di cambiamenti non solo espliciti, ma che coinvolgono anche il sistema nervoso centrale e quello autonomo. Riferendosi al concetto di "riflesso d'orientamento" egli vuole inoltre distinguere tra quello che è il semplice allineamento dell'attenzione con lo stimolo e l'effettiva percezione dello stimolo, con la raggiunta consapevolezza dello stesso. A quest'ultimo aspetto Posner dà infatti il nome di detezione (Posner, 1980). Ne consegue perciò che secondo Posner è possibile orientare l'attenzione in direzione di uno stimolo ancora prima che la detezione dello stesso sia avvenuta. E' probabile che questa idea dell'orientamento basata sul concetto di riflesso abbia poi spinto Posner a distinguere tra orientamento esplicito (*overt orienting*) ed implicito (*covert orienting*), a seconda che lo spostamento dell'attenzione si verifichi assieme al movimento degli occhi, o in assenza di esso. E' stato osservato che mentre i movimenti oculari necessitano di un tempo per lo spostamento che va dai 200 ai 250 millisecondi, lo spostamento implicito dell'attenzione risulta invece essere molto più rapido, richiedendo meno di 50 millisecondi. Anche nel caso di un orientamento esplicito quindi, lo spostamento dell'attenzione avviene comunque per primo e precede l'eventuale movimento degli occhi, fornendo loro una valida guida verso la posizione del target nel campo visivo. Proprio a motivo della stretta connessione tra l'orientamento e gli spostamenti oculari, gran parte della ricerca sull'orientamento si è occupata dei problemi inerenti all'attenzione spaziale e lo stesso Posner si è concentrato nel corso degli anni su questo particolare ambito della psicologia cognitiva (Posner, 1995). Il campo che ha catturato l'interesse della maggior parte dei ricercatori riguarda l'orientamento implicito, in quanto espressione "pura" dell'attivazione del meccanismo centrale dell'attenzione, priva dei cambiamenti

espliciti rappresentati dallo spostamento della testa e dai movimenti oculari. Per studiare questo specifico aspetto dell'attenzione Posner ha messo a punto un paradigma in grado di considerare lo spostamento dell'attenzione in assenza dei movimenti oculari. La procedura sperimentale, che ancora oggi risulta essere la più utilizzata per testare l'orientamento implicito dell'attenzione, è stata elaborata da Posner negli anni '80 e, come già riportato, viene comunemente detta Cued Reaction Time Task (Posner, 1980). In questo compito il soggetto viene posto davanti ad uno schermo al centro del quale è presente uno stimolo (tipicamente una croce), mentre ai lati vengono visualizzati due quadrati. Compito del soggetto è quello di rispondere il più velocemente possibile al target, che può comparire in uno dei due quadrati presenti sullo schermo, premendo un solo pulsante indipendentemente dalla posizione in cui esso compare e mantenendo sempre lo sguardo fisso al punto di fissazione. Prima della comparsa del target, all'inizio di ogni prova, viene presentato un cue, che nell'esperimento originale consisteva nell'aumento della luminosità, per un breve periodo, di uno dei due quadrati. Il cue predice correttamente la comparsa del target nell'80% delle prove (cue valido), mentre nel restante 20% il target compare nel quadrato non illuminato (cue invalido). Sono state predisposte anche delle prove neutre in cui entrambi i quadrati si illuminano, per cui il soggetto non ha alcuna informazione utile per sapere dove comparirà il target. Confrontando le prove neutre, in cui i soggetti non sanno dove apparirà il target, con le prove valide in cui il cue indica la posizione corretta, è possibile valutare i benefici ottenuti in seguito allo spostamento dell'attenzione in direzione del cue stesso. I costi invece vengono definiti dalla differenza nei tempi di reazione tra le prove neutre e le prove invalide (le prove in cui il target compare in una posizione diversa da quella indicata). L'introduzione di un cue prima di ogni singola prova rappresentava a quel tempo un'assoluta novità nel contesto degli studi sull'orientamento. Fino ad allora infatti, le ricerche avevano utilizzato dei blocchi di prove in cui una determinata posizione spaziale aveva un'alta probabilità di verificarsi, ma questo metodo non aveva mai ottenuto risultati soddisfacenti (Posner e Cohen, 1984). Una volta che l'attenzione è stata diretta dal cue ad uno dei due quadrati, la percezione visiva del target in quella posizione è facilitata: il soggetto risponde cioè più velocemente (i tempi di reazione sono più rapidi) ai target che compaiono nella posizione indicata dal cue (prove

valide), rispetto sia alle prove in cui i target compaiono nel quadrato non illuminato (prove invalide) sia alle prove neutre. Evidentemente il fatto di attendere uno stimolo in una determinata posizione ne rende più rapida la percezione. Inoltre, i risultati peggiori si ottengono nelle prove invalide, le quali sono più lente anche rispetto alle prove neutre. Quest'ultima osservazione ha spinto Posner ad ipotizzare l'esistenza di un sottosistema all'interno dell'orientamento, definito come disancoraggio. La prestazione è pertanto facilitata nella posizione attesa, ma inibita nelle altre posizioni. In seguito a queste osservazioni, Posner ha perciò distinto tre diverse componenti dell'orienting, inteso come allineamento dell'attenzione: il disancoraggio dalla posizione attuale (*disengagement*) permette al soggetto di disancorare l'attenzione dalla posizione iniziale nello spazio; lo spostamento verso una nuova posizione (*movement*) consiste nel movimento vero e proprio dell'attenzione da una posizione ad un'altra; l'ancoraggio ad una nuova posizione (*engagement*) prelude infine al processamento del target individuato (Posner e Petersen, 1990). A sostegno di questa suddivisione, egli ha ipotizzato l'esistenza di un circuito costituito da tre aree cerebrali corrispondenti ai tre processi da lui individuati: i collicoli superiori, il lobo parietale posteriore e il talamo (in particolare il pulvinar). I collicoli superiori sembrano avere un ruolo importante nello spostamento dell'attenzione. E' stato dimostrato infatti che una lesione in quest'area dell'encefalo provoca un rallentamento nella velocità di spostamento dell'attenzione da una zona all'altra del campo visivo. Il fatto però che tale capacità non venga inficiata del tutto sembra dimostrare che il sistema alla base di questo processo deve essere in qualche modo più complesso. A tal proposito, è probabile che, accanto ai collicoli superiori, anche il lobo parietale superiore abbia un ruolo altrettanto importante (Posner e Raichle, 1994). Il lobo parietale posteriore ricopre invece un ruolo centrale nel disancoraggio che precede lo spostamento dell'attenzione. E' stato infatti osservato che pazienti con lesioni in questa specifica area della corteccia non hanno difficoltà a rispondere alle prove in cui il cue indica correttamente il luogo della comparsa del target, mentre i loro tempi di reazione aumentano drasticamente nelle prove invalide. Infine, il processo definito come ancoraggio sembra essere gestito dal talamo, in particolare dal pulvinar, regione dell'encefalo coinvolta anche nell'operazione di detezione oltre che nell'attenzione sostenuta, a dimostrazione del legame esistente tra questi diversi

sistemi cognitivi (Posner, Walker, Friedrich, Rafal, 1984). Posner ha comunque più volte ribadito come il circuito dal lui proposto non sia in grado di fornire una descrizione precisa del sostrato fisiologico dell'orientamento, ma piuttosto permetta di sottolineare l'esistenza di distinte aree anatomiche per distinte funzioni.

Executive control

Sin dalla prima formulazione del suo modello, Posner ha distinto il sistema dell'orienting (definito sistema attenzionale posteriore) da quello della detezione (o sistema attenzionale anteriore). Nella sua prima versione infatti all'orienting, che come si è detto allinea l'attenzione allo stimolo, Posner affiancava quel processo in seguito al quale il soggetto diviene consapevole dello stimolo stesso ed è in grado di riferirne la presenza (Posner, 1980). Da un punto di vista prettamente psicofisico, si riteneva che il segnale fosse percepito quando il soggetto era in grado di riportarne verbalmente la presenza (Posner, Snyder e Davidson, 1980). Soltanto in un secondo momento il termine detezione è stato sostituito con quello di controllo esecutivo, una modifica non irrilevante in quanto oltre al nome, sono state svariate le caratteristiche che Posner ha ritenuto di dover modificare, perfezionare, aggiornare nel corso degli anni portando il sistema ad assumere una connotazione via via più ampia e complessa (Posner e Raichle, 1994). Così, al sistema del controllo esecutivo sono state dapprima attribuite anche la capacità di eseguire consapevolmente un'istruzione, di selezionare un target tra una serie di alternative diverse e di resistere all'interferenza prodotta da stimoli provenienti da altre modalità (Posner e Raichle, 1994). Successivamente, forse anche influenzato dal crescente interesse manifestato dagli scienziati cognitivi per le funzioni esecutive (interesse che ha caratterizzato la ricerca degli ultimi dieci anni), Posner ha legato al controllo esecutivo la capacità di pianificazione e di riconoscimento degli errori (Posner e DiGirolamo, 1998). In tempi ancor più recenti, del sistema sono entrati a far parte anche il controllo del comportamento diretto verso un obiettivo e la risoluzione di un conflitto, nonché l'inibizione di risposte automatiche e dominanti (Berger e Posner, 2000). Il modello di Norman e Shallice (1986) e il concetto di sistema attenzionale supervisore presente in esso hanno con ogni probabilità influenzato il punto di vista di Posner. Egli afferma infatti nel 1998, in maniera abbastanza forte rispetto alle definizioni

formulate in precedenza, che il controllo esecutivo opera solo in determinate situazioni o in particolari momenti, ovvero quando le funzioni del sistema esecutivo risultano necessarie. Ciò avviene quando le funzioni di routine sono insufficienti per lo svolgimento del compito o quando le stesse funzioni devono essere annullate a causa di avvenute modifiche ambientali o del cambiamento dell'obiettivo finale (Posner e DiGirolamo, 1998).

Posner ha pertanto progressivamente portato al centro del suo interesse proprio le caratteristiche integrate nel modello per ultime, lasciando in secondo piano il processo di detezione che è stato peraltro da lui affrontato e studiato in maniera approfondita fino ai primi anni '90 (Posner e Raichle, 1994; Posner e Petersen, 1990; Posner e Cohen, 1984; Posner, et al., 1980; Posner, 1980).

Gli studi effettuati sui pazienti con lesioni cerebrali hanno messo in evidenza che le aree coinvolte nell'attenzione esecutiva sono quelle mediali della corteccia frontale, in particolare l'area del giro del cingolo anteriore. Quest'area appare particolarmente attiva e sensibile durante le operazioni mentali della detezione del target e una lesione in questa zona produce nei pazienti un'evidente perdita del controllo delle proprie azioni (Posner, 1995). Le versioni successive formulate da Posner relativamente alla componente esecutiva hanno reso necessario il coinvolgimento di altre aree corticali e sottocorticali. In particolare, recenti studi hanno messo in evidenza come l'utilizzo di compiti in cui è necessario un intenso sforzo mentale o che richiedono il superamento di situazioni conflittuali, producono l'attivazione della corteccia prefrontale laterale (Bush, Luu, Posner, 2000). Negli ultimi anni proprio questa particolare area corticale sembra aver assunto un ruolo determinante nel corretto funzionamento delle funzioni esecutive in generale (Muzur, Pace-Schott, Hobson, 2002). Con ogni probabilità in questo modo Posner è riuscito a render conto anche delle critiche rivoltegli da Robertson e Manly (1999) i quali, pur ritenendo valida la struttura di base del modello, sostenevano in un loro articolo la necessità di una revisione relativamente alle regioni anatomiche proposte alla base proprio del sistema esecutivo.

Alerting

Il sistema dell'alerting è stato inserito da Posner all'interno del suo modello attenzionale soltanto in un secondo momento, per cercare di spiegare nella maniera più completa possibile i risultati sperimentali raccolti nell'arco di tempo tra il 1980, anno in cui viene pubblicata la prima formulazione del modello, e il 1990, anno della versione elaborata in collaborazione con Petersen (Posner e Petersen, 1990). In quest'ultima, il sistema dell'alerting svolge un ruolo importante di supervisione nei confronti degli altri due sistemi. Esso è in grado infatti di determinare il grado di attivazione sia dell'orientamento che della detezione, gestendo perciò direttamente la qualità della percezione dello stimolo (Coull, 1998). L'alerting peraltro non agisce sulla capacità di elaborare l'informazione ma più semplicemente migliora la reattività del soggetto, a scapito però dell'accuratezza della risposta. Esso dunque garantisce una risposta più rapida anche se il miglioramento nei tempi di reazione è solitamente accompagnato da un aumento della percentuale di errori commessi. Questo incremento è spiegabile col fatto che, in situazioni di elevata attivazione, la selezione della risposta avviene più rapidamente, sulla base di una qualità dell'informazione più bassa rispetto alle situazioni normali, il che aumenta inevitabilmente le probabilità di sbagliare (Posner, 1995).

La definizione che viene comunemente data da Posner dell'alerting fa riferimento ad un sistema in grado di attivare e mantenere uno stato di allerta. Nella definizione sono dunque presenti due concetti diversi: l'alerting tonico e l'alerting fasico (*tonic and phasic alerting*). Con il primo si identifica solitamente il livello di vigilanza generale dell'individuo, ovvero l'attenzione sostenuta, mentre con il secondo si intende il cambiamento nell'attivazione in seguito ad un segnale di avvertimento (il cue) (Parasuraman, Warm e See, 1998). Anche i compiti utilizzati per studiare questi due tipi di alerting sono diversi: l'alerting tonico viene studiato attraverso test somministrati per periodi prolungati e caratterizzati da stimoli presentati in maniera sporadica, oppure per mezzo di compiti che prevedono una risposta continua (Parasuraman, 1998); l'alerting fasico invece viene studiato per mezzo di compiti di tempi di reazione di durata inferiore a quella comunemente utilizzata per i test di vigilanza e nei quali lo stimolo target è preceduto da un segnale di avvertimento (Posner, 1978). Posner sin dalle sue prime formulazioni ha sostenuto il fatto che gli

stessi meccanismi fisiologici siano all'origine sia dei decrementi osservati nei compiti di vigilanza sia della incapacità di rispondere rapidamente a stimoli presentati dopo un cue (Posner, 1978). Per questo motivo egli ha considerato a pieno titolo delle misure di attenzione sostenuta anche compiti di tempi di reazione di durata inferiore a quella comunemente utilizzata per i test di vigilanza, attribuendo pertanto al costrutto dell'alerting un significato più ampio rispetto alla definizione classica di vigilanza (Posner e Petersen, 1990).

C'è chi ha messo in dubbio il fatto che i cambiamenti nei tempi di reazione ad uno stimolo preceduto da un segnale di avvertimento siano in grado di misurare lo stesso tipo di vigilanza evidenziata dal declino nelle prestazioni in periodi di tempo di decine di minuti o ore (Parasuraman e collaboratori, 1998). Ad esempio Robertson e Manly (1999) con il termine di attenzione sostenuta fanno riferimento esclusivamente alla capacità di mantenere nel tempo un comportamento finalizzato a uno scopo quando né gli eventi esterni né le richieste del compito stesso attiverebbero estrinsecamente quel comportamento. Nonostante queste perplessità, nel complesso Posner non ha mai sentito il bisogno di modificare il suo concetto di alerting, continuando ad utilizzare i dati ottenuti attraverso compiti di breve durata per trarne delle conclusioni valide per entrambi i tipi di attivazione (Fan, Raz, Posner, 2003).

D'altronde, anche osservando le altre proposte presenti in letteratura, è evidente come non ci sia accordo in merito. Se quasi tutti concordano infatti nel ritenere che esistano due diversi tipi di alerting, da una parte c'è chi sostiene la necessità di considerarli come aspetti diversi di una componente più ampia (Robertson e Manly, 1999; Pribram e McGuinness, 1975), dall'altra c'è invece chi sostiene possano essere considerate come un unico fattore (Lalor, 1995; Mirsky et al., 1991; Posner e Petersen, 1990). Va detto peraltro che studi di neuroimaging effettuati sia su pazienti che su soggetti normali sembrano supportare quest'ultima ipotesi. È stato infatti rilevato che sia i compiti che utilizzano dei segnali di avvertimento sia quelli che prevedono invece una prestazione continua sono influenzati dagli stessi substrati neurali (Deutsch, Papanicolaou, Bourbon e Eisenberg, 1988). Studi neuropsicologici sembrano mostrare l'importanza dell'emisfero destro, in particolare delle regioni frontali e parietali, per lo sviluppo e il mantenimento dello stato d'allerta. A

conferma di questa conclusione ci sono tutta una serie di ricerche effettuate su pazienti con danni all'emisfero cerebrale destro, i quali mostrano una chiara difficoltà a mantenere l'attenzione per un periodo prolungato sullo stesso punto (Posner e Petersen, 1990).

Relativamente all'effettiva indipendenza dei tre network attenzionali, diversi studiosi si sono espressi in maniera critica. Robertson e Manly ad esempio (1999) dubitano che il sistema di orientamento spaziale ipotizzato da Posner possa essere considerato distinto dal sistema deputato al mantenimento dell'attenzione sostenuta. In particolare, i due studiosi osservano come, da un punto di vista anatomico, le due reti attenzionali risultino essere in parte sovrapposte e pertanto sia difficile sostenere che i due sistemi siano effettivamente distinti (Robertson e Manly, 1999). Fernandez-Duque e Posner (2001) ritengono però che le due reti attenzionali, pur condividendo le stesse aree anatomiche, utilizzino in realtà neurotrasmettitori diversi e risultino pertanto dissociabili a livello cognitivo.

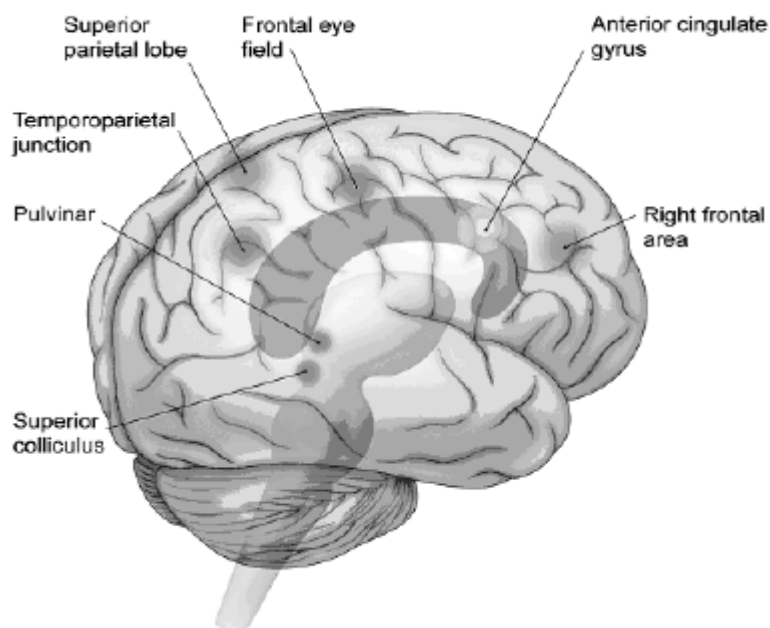


Fig. 1: i tre network attenzionali (da Wang, Fan e Yang, 2004); il network dell>alerting comprende le regioni frontali e parietali dell'emisfero destro; il network dell'orienting comprende il lobo parietale posteriore e alcune aree sottocorticali come i collicoli superiori e il pulvinar; il network dell'executive control include il giro del cingolo anteriore e la corteccia prefrontale

Partendo da questa premessa, i dati da loro ottenuti qualche anno prima (Fernandez-Duque e Posner, 1997) confermerebbero l'idea che il sistema dell'alerting e quello dell'orienting sottostanno a sistemi neurali sostanzialmente indipendenti tra loro. Alle stesse conclusioni giungono anche Casagrande e collaboratori (2006). Posner comunque sembra essere consapevole della debolezza di alcune sue affermazioni tanto che, sin dal 1994, ammette una relazione di tipo inibitorio tra la componente dell'alerting e l'executive control (Posner, 1994). Anche nel 2001, dopo aver ancora una volta sostenuto l'indipendenza di orienting e alerting, egli preferisce concludere in maniera prudente affermando che i tre network, pur avendo un certo grado di indipendenza funzionale ed anatomica, ad ogni buon conto interagiscono ripetutamente in molte situazioni (Fernandez-Duque e Posner, 2001). Quest'ultima affermazione è stata ripresa e sostenuta attraverso una serie di esperimenti da Callejas, Lupianez e Tudela (2004). Sulla base dei risultati ottenuti gli autori affermano che i network attenzionali definiti da Posner (Posner e Petersen, 1990) agiscono sotto la costante influenza reciproca, allo scopo di produrre un comportamento finale il più efficiente possibile. Tali conclusioni sono state ulteriormente supportate dallo stesso gruppo di ricerca attraverso la raccolta di nuovi dati sperimentali (Callejas, Lupianez, Funes, Tutela, 2005).

Da quanto detto appare evidente come il modello elaborato da Posner, pur essendo uno dei più influenti nel panorama della psicologia dell'attenzione, non sia in realtà esente da critiche e ambiguità. Ma occorre considerare il fatto che un modello non nasce allo scopo di dare soluzioni definitive ed insindacabili. Un modello teorico serve altresì a fornire un quadro a cui fare riferimento e in base al quale altri studiosi abbiano la possibilità di formulare ulteriori teorie e ipotesi. Da questo punto di vista il modello di Posner sembra aver raggiunto pienamente l'obiettivo.

L'Attention Network Test (ANT)

Nel 2002 Posner e il suo gruppo di lavoro hanno nuovamente riportato il loro modello al centro dell'attenzione, ideando un compito in grado di valutare l'efficienza dei tre network attenzionali descritti da Posner e Raichle (1994). Il compito, chiamato *Attention Network Test* (ANT – Fan, McCandliss, Sommer, Raz e Posner, 2002), è stato inizialmente sviluppato per offrire un valido strumento agli

studiosi impegnati nella ricerca di base. Con il test ANT gli ideatori si proponevano infatti di ottenere delle conferme relativamente all'indipendenza dei network attenzionali. Si tratta forse, nell'ambito della ricerca sull'attenzione, dell'unico caso in cui ad un modello teorico di riferimento corrisponde un compito specifico in grado di valutarne le singole componenti. Posner con l'ANT ha concentrato il suo interesse sullo studio delle basi anatomiche sottostanti alle singole componenti attenzionali (Fan, McCandliss, Fossella, Flombaum e Posner, 2005) arrivando ad ipotizzare l'esistenza di variazioni genetiche individuali che potrebbero essere collegate alla diversa efficienza dei network attenzionali (Fan, Fossella, Sommer, Wu e Posner, 2003). L'opportunità di poter utilizzare un compito che faccia chiaramente riferimento ad un preciso modello teorico è stata colta molto presto anche da altri gruppi di ricerca. Come già riportato sopra, Callejas e collaboratori hanno utilizzato il test ANT per verificare l'effettiva indipendenza delle componenti attenzionali, giungendo a conclusioni peraltro diverse da quelle di Posner (Callejas et al., 2004; Callejas et al., 2005). Data la possibilità che il test offre di valutare l'efficienza di ogni singola componente attenzionale, il test è stato ben presto utilizzato anche a fini diagnostici e per studiare in maniera più approfondita l'influenza che determinate patologie hanno sulle capacità attenzionali. In rapida successione sono stati pertanto pubblicati diversi lavori. Halterman, Langan, Drew, Rodriguez, Osternig, Chou e Van Donkelaar (2006) hanno ad esempio considerato dei pazienti con deficit attenzionali dovuti ad un trauma cranico (vedi anche Van Donkelaar, Langan, Rodriguez, Drew, Halterman, Osternig e Chou, 2005) ipotizzando una maggior fragilità neurale dei network afferenti all'orienting e all'executive control rispetto all>alerting. Murphy e Alexopoulos (2006) hanno invece studiato con l'ANT l'efficienza dei network attenzionali in pazienti depressi non rilevando sostanziali differenze rispetto ad un gruppo di soggetti sani. Neuhaus, Koehler, Opgen-Rhein, Urbanek, Hahn e Dettling (2007) a loro volta si sono occupati di pazienti affetti da schizofrenia rilevando una prestazione significativamente peggiore esclusivamente a carico della componente esecutiva. Infine Oberlin, Alford e Marrocco (2005) hanno pubblicato un lavoro con pazienti sofferenti di disturbo da deficit di attenzione/iperattività (ADHD) in cui si afferma che questo tipo di pazienti mantiene

una prestazione paragonabile a quella del gruppo di controllo soltanto per quanto riguarda la componente dell'orienting.

Per quanto riguarda la ricerca sul sonno, in letteratura non sembrano essere ancora presenti degli studi effettuati utilizzando come strumento di riferimento l'ANT. In un quadro di riferimento come quello precedentemente descritto, appare evidente come il compito proposto dal gruppo di Posner possa risultare estremamente interessante e produttivo anche nell'ambito della psicofisiologia del sonno. Gli esperimenti descritti nei capitoli successivi sono stati concepiti in modo tale da poter ottenere delle informazioni nuove e più puntuali rispetto ai dati presenti in letteratura per quanto riguarda la relazione tra il sonno (nelle sue varie derivazioni tipiche della ricerca scientifica) e l'attenzione.

Per quanto riguarda il compito, l'Attention Network Test (ANT) è frutto della combinazione tra il classico CRTT di Posner (1980) e l'altrettanto conosciuto *Flanker Task* di Eriksen (Eriksen e Eriksen, 1974). Esso è costituito dunque da diversi tipi di cue e diversi tipi di flanker. L'ANT è in grado di fornire una stima dell'efficienza dei tre network attenzionali descritti dal modello di Posner (Posner e Raichle, 1994) sulla base dei tempi di reazione medi ottenuti nei diversi tipi di trial.

Il compito è stato volutamente costruito in modo tale da essere di breve durata e di facile utilizzo. Le intenzioni degli ideatori erano infatti quelle di creare un compito che fosse utilizzabile nei settori più disparati, da quello clinico a quello evolutivo, finanche a quello etologico (Fan et al., 2002).

SONNO E INIBIZIONE

Come per l'attenzione, anche per la nozione di inibizione c'è ancora incertezza in merito ad una sua chiara definizione (Friedman e Miyake, 2004). In linea generale, l'inibizione fa parte delle cosiddette funzioni esecutive, ovvero di quelle funzioni che operano solo nelle condizioni in cui le funzioni di routine risultano essere inadeguate all'esecuzione di un compito. Tra le funzioni esecutive più comuni rientrano quelle inerenti alla pianificazione, ai processi decisionali, alla correzione degli errori, alla produzione di risposte nuove o non del tutto apprese, alle condizioni che impongono il superamento delle risposte abituali o alle condizioni che necessitano di interrompere un'azione già iniziata (Posner e DiGirolamo, 1998). Negli ultimi anni i ricercatori sembrano essere concordi sul fatto che queste funzioni siano tutte afferenti alla corteccia prefrontale laterale (Pre-Frontal Cortex – PFC) anche se la loro precisa localizzazione non è di semplice risoluzione (Muzur, Pace-Schott, Hobson, 2002; Duncan e Owen, 2000). Come giustamente osservano Aron, Fletcher, Bullmore, Sahakian e Robbins (2003) infatti, in letteratura manca a tutt'oggi un'evidenza chiara del fatto che la stessa regione corticale sia necessaria per rendere possibile la prestazione a dei compiti che, valutando delle funzioni almeno in parte diverse tra loro, hanno delle caratteristiche peculiari differenti. Ad ogni modo, seppur in un quadro così complesso, gli studi di neuroimaging sembrano dimostrare che l'inibizione, intesa come una delle varie componenti afferenti alle funzioni esecutive, attivi la PFC destra (Rubia, Smith, Brummer e Taylor, 2003).

D'altronde, la definizione stessa del concetto di inibizione non è agevole. Recentemente è stato proposto che tale processo vada considerato in realtà come una famiglia di funzioni piuttosto che come un singolo costrutto unitario (Nigg, 2000; Harnishfeger, 1995). Harnishfeger (1995) ad esempio sostiene che i processi di inibizione possano essere suddivisi in intenzionali, involontari, cognitivi e comportamentali. Nigg (2000) ha a sua volta proposto una distinzione tra ben otto tipi di inibizione, distribuiti peraltro all'interno di tre macrocategorie molto simili a quelle proposte da Harnishfeger. Friedman e Miyake (2004) nella loro recente rassegna hanno distinto tra inibizione della risposta dominante, resistenza all'interferenza da parte di distrattori e resistenza all'interferenza proattiva. Quest'ultima suddivisione sembra identificare in maniera adeguata quella che è

attualmente un'opinione condivisa in psicologia cognitiva secondo la quale, parlando di inibizione, ci si riferisce solitamente alla prima componente identificata nella sopra citata rassegna, ovvero l'inibizione di una risposta dominante.

Come giustamente osservano Friedman e Miyake (2004), parlare di inibizione significa riferirsi sempre ad un qualche elemento che subisce questo processo (un pensiero, una risposta, una distrazione, ecc). Pertanto, qualsiasi compito atto a valutare il processo di inibizione coinvolge necessariamente anche altri processi. Questa peculiarità pone dei seri problemi in merito alla possibilità di confrontare i dati raccolti. Studi diversi infatti, utilizzando compiti differenti l'uno dall'altro, possono giungere a risultati incoerenti tra loro. Essi nella loro rassegna riportano tra i compiti in grado di stimolare la soppressione di una risposta dominante l'Antisaccade Task (Hallett, 1978), lo Stop Signal Task (Logan, 1994) e lo Stroop Test (Stroop, 1935). Secondo Aron e Poldrack (2005) invece, sebbene siano potenzialmente molti e diversi i compiti in cui il processo di inibizione viene attivato (a tal proposito citano il Task Switching, lo Stroop Test e il Wisconsin Card Sorting Test), quelli in grado di misurarlo nella maniera più accurata sono i compiti di tipo go/no-go e quelli afferenti allo *stop signal paradigm* (Logan e Cowan, 1984).

In psicofisiologia del sonno, già nel 1988 Horne aveva osservato che i compiti che coinvolgevano delle funzioni esecutive tendevano ad essere maggiormente sensibili alla mancanza di sonno. Questa conclusione, alla luce di quanto riportato nel paragrafo introduttivo, non risulta essere assolutamente scontata in quanto per lungo tempo gli ipnologi avevano identificato nella monotonia e nella lunghezza dei compiti le caratteristiche più sensibili alle conseguenze di una notte di sonno disturbata (Kjellberg, 1977). Dall'anno di pubblicazione del libro di Horne ad oggi sono stati effettuati molti studi in tal senso, i quali hanno sostanzialmente confermato questa conclusione (Harrison e Horne, 2000). In particolare, dati recenti sembrano indicare che la PFC sia particolarmente sensibile al sonno e ai suoi benefici, e di conseguenza che le funzioni cognitive ad essa afferenti siano altrettanto influenzate dall'affaticamento indotto da una veglia prolungata o da un disturbo del sonno (Muzur, Pace-Schott, Hobson, 2002). In maniera alquanto sorprendente però, ad oggi gli studi che hanno considerato gli effetti di una qualche alterazione del sonno sulla componente dell'inibizione non hanno ottenuto risultati univoci. Fino a pochi anni fa

gli studi effettuati in condizioni di veglia prolungata (non molti peraltro) sembravano evidenziare una scarsa relazione tra il sonno e l'efficienza della suddetta componente (Jennings et al., 2003; Fallone, Acebo, Arnedt, Seifer e Carskadon, 2001). Un risultato di questo tipo supporterebbe l'idea di una diversificazione all'interno delle funzioni esecutive. Negli ultimi due anni però questo risultato è stato messo in discussione da due differenti lavori. Nel primo, Drummond, Paulus e Tapert (2006) hanno osservato un effetto della deprivazione di sonno sulla capacità di inibire una risposta dominante; nel secondo Sagaspe, Philip e Schwartz (2007) hanno ottenuto lo stesso risultato in uno studio effettuato su pazienti affetti da sindrome delle apnee ostruttive del sonno (OSAS). La stessa incertezza traspare anche da altri studi effettuati su pazienti sofferenti per la stessa sindrome (Verstraeten, 2007; Ferini-Strambi, Baietto, Di Gioia, Castaldi, Castronovo, Zucconi, Cappa, 2003). Ad oggi dunque i dati non ci permettono di propendere per l'una o l'altra ipotesi. I motivi alla base di questa incongruenza sono sostanzialmente legati al fatto che finora i compiti utilizzati o erano particolarmente complessi e necessitavano pertanto di risposte più elaborate rispetto alla sola componente dell'inibizione (Fallone et al., 2001; Harrison e Horne, 1998), o erano strumenti costruiti ad hoc per studiare diverse funzioni cognitive oltre a quella inibitoria (Jennings et al., 2003), o ancora erano caratterizzati da compiti molto brevi e quindi con ogni probabilità poco sensibili (Verstraeten, 2007). Più in generale, Friedman e Miyake (2004) hanno osservato come la validità di costruito di alcuni compiti comunemente usati per studiare l'inibizione non venga definita chiaramente. I ricercatori userebbero pertanto comunemente delle misure che essi assumono coinvolgano dei processi inibitori, senza però giustificare il motivo di tale scelta né se effettivamente tale processo sia effettivamente coinvolto. Basti pensare che un test classico come lo Stroop Test (Stroop, 1935) è stato per anni utilizzato sia come compito per valutare l'inibizione sia come strumento per studiare la resistenza all'interferenza dei distrattori.

Il modello di Logan

Partendo dalla sua teoria sull'inibizione del pensiero e dell'azione (Logan, 1981), Logan ha elaborato uno dei paradigmi più rappresentativi di questo fenomeno, lo stop signal paradigm (Logan e Cowan, 1984). Come è stato già riportato nel

paragrafo precedente, diverse sono le possibili definizioni relative al processo di inibizione in quanto diversi sono anche i tipi di inibizione esistenti (Friedman e Miyake, 2004). Ciò che distingue il paradigma di Logan dagli altri modelli rendendolo particolarmente interessante è il fatto che esso, oltre ad offrire un solido quadro teorico di riferimento, fornisce anche gli elementi per utilizzare dei compiti costruiti sulla base dello stesso (Logan, 1994). Contrariamente agli altri modelli dunque, quello di Logan prende in considerazione un processo ben definito, l'inibizione di una risposta dominante, per mezzo di un compito in grado di fornire dei dati immediatamente interpretabili sulla base del modello stesso. Il modello di Logan si basa sull'idea che ogni azione sia determinata da due sistemi: un sistema esecutivo che forma le intenzioni ed emette le risposte utili alla realizzazione delle stesse e un sistema ad esso subordinato che interpreta i comandi forniti e li esegue. In quest'ottica, l'inibizione è soltanto una delle varie azioni di controllo del repertorio esecutivo, ma di certo è una delle più importanti, sia da un punto di vista comportamentale ed ecologico, sia cognitivo (Logan, 1994).

Lo stop signal paradigm fa riferimento all'inibizione al segnale di stop (*stop signal inhibition*), cioè a quel particolare tipo di inibizione che prevede un'azione volontaria da parte del soggetto volta ad arrestare una risposta dominante già avviata (Logan e Cowan, 1984). Logan distingue questa forma di inibizione da quella che lui definisce inibizione reattiva (Logan, 1994). Questo tipo di inibizione agisce influenzando gli stessi meccanismi utilizzati dal processamento corrente, ovvero lasciando un effetto residuo che i processi successivi devono riuscire a superare. Quella reattiva è dunque una forma di inibizione che interagisce in maniera complessa con i processi eccitatori. Alcuni esempi di inibizione reattiva sono forniti da quei compiti in cui il soggetto è impegnato nella risoluzione di un conflitto, come il Flanker Task (Eriksen e Eriksen, 1974) o nelle situazioni in cui è presente il fenomeno dell'inibizione di ritorno (Posner e Cohen, 1984) o ancora in quelle che attivano il priming negativo (Tipper, 1985). Contrariamente a quello che è il costrutto dell'inibizione reattiva, nell'inibizione di una risposta dominante i processi eccitatori e quelli inibitori risultano essere in larga parte indipendenti.

Per comprendere in maniera adeguata il funzionamento del processo di inibizione è necessario considerare brevemente la teoria di riferimento sulla quale si basa il

paradigma in questione, ovvero l'*horse race model* (Ollman, 1973; Logan e Cowan, 1984). Questo modello spiega il processo di inibizione nei termini di una competizione (horse race) tra due processi distinti (vedi fig. 2): il primo genera una risposta per il compito principale in quel momento in atto (primary task) mentre il secondo risponde al segnale di stop (stop signal). Il paradigma prevede che alla base di ogni processo di inibizione ci sia un processo di arresto (*stopping process*) che si avvia in seguito ad un segnale di controllo (in ambito sperimentale un segnale di stop; in ambito ecologico un errore durante una prestazione) e che compete con il processo già in atto (go process). Se il processamento del compito in corso risulta essere più rapido e quindi termina prima di quello del segnale di stop, la risposta viene portata a termine ed eseguita regolarmente. Se tuttavia è il processamento del segnale di stop a terminare per primo, è lo stopping process a vincere e la risposta viene inibita.

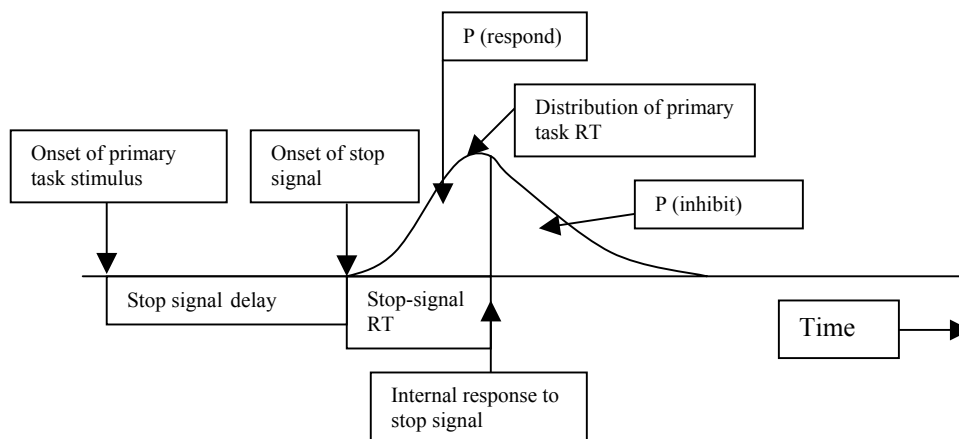


Fig. 2: rappresentazione grafica delle assunzioni dell'*horse race model* (da Logan e Cowan, 1984)

La variabile indipendente più importante del paradigma, dalla quale dipende la stima della probabilità di inibire la risposta al primary task, è costituita dallo *stop signal delay* (SSD). Essa corrisponde allo spazio temporale intercorso tra la presentazione del target e la comparsa del segnale acustico. Questa variabile indica pertanto il momento in cui i processi sottostanti prendono avvio. Il modello si basa infatti su delle funzioni di inibizione che mettono in relazione la probabilità di inibire o meno

una determinata risposta, per un determinato delay. Esse riflettono il risultato della “gara” tra i processi di stop e quelli di go.

Sono dunque le variazioni del delay a definire le funzioni di inibizione. Se il segnale di stop è presentato con un ritardo minimo, la probabilità di rispondere sarà uguale a 0 e la probabilità di inibizione sarà uguale a 1. Se invece lo stesso viene presentato con un ritardo elevato, la probabilità di risposta sarà uguale a 1. Tra questi due estremi si crea una funzione nella quale la probabilità di risposta aumenta da 0 a 1 e la probabilità di inibizione diminuisce da 1 a 0 mano a mano che il delay aumenta. La funzione di inibizione descrive dunque la probabilità che la risposta al segnale d’arresto vinca la gara, mentre il suo andamento dipende dall’andamento della distribuzione dei tempi di reazione. La parte della funzione d’inibizione in cui la probabilità di risposta si attesta attorno al 50% dipende infatti dalla media della distribuzione dei tempi di reazione. Pertanto maggiore è la variabilità di questa distribuzione, più ampia e piatta sarà la rappresentazione della funzione.

Contrariamente alla latenza di risposta al go process, la risposta interna al segnale di stop non è osservabile né è possibile misurarne direttamente la latenza. La sua stima può essere però matematicamente derivata. A questo scopo Logan nel corso degli anni ha proposto una serie di sistemi abbastanza complessi da un punto di vista teorico (per una descrizione approfondita: Logan, 1994). La prima formulazione (Logan e Cowan, 1984) prevedeva un compito con ben 10 tipi di delay differenti, da 50 a 500 millisecondi, i quali venivano tenuti costanti per l’intera durata dell’esperimento ma occorreivano in ordine casuale. Assumendo che la latenza di risposta al segnale di stop (*stop signal reaction time* – SSRT) fosse costante all’interno di ogni soggetto, la sua stima si otteneva dalla differenza tra il punto in cui il segnale di stop veniva presentato e il punto in cui il processo di stopping aveva termine. Successivamente sono state fornite dagli stessi autori delle modalità alternative per stimare l’SSRT (Logan, 1994). L’ultima in ordine di tempo (Logan, Schachar e Tannock, 1997) è anche quella che ha ottenuto un maggior riscontro in quanto molto più semplice dal punto di vista matematico. Il sistema utilizzato si basa sul *tracking algorithm* di Osman, Kornblum e Meyer (1986). Esso consente allo sperimentatore di calibrare dinamicamente l’SSD in base alla velocità di risposta e di inibizione dei soggetti. La *tracking procedure* prevede che l’SSD vari

automaticamente dopo ogni singolo stop trial, in base alla risposta fornita dal soggetto. Quando la risposta viene inibita con successo, esso aumenta di 50 millisecondi rendendo più difficile l'inibizione della risposta al target nella prova successiva; viceversa, nel caso in cui in un determinato stop trial il soggetto risponda e pertanto fallisca nel controllo dell'azione, il delay diminuisce di 50 millisecondi rendendo l'inibizione allo stop trial successivo più semplice. In questo modo è possibile far sì che il delay converga su un valore in cui i soggetti sono in grado di inibire la loro risposta il 50% delle volte. Quello è il delay in cui i processi di stop e di go finiscono, in media, nello stesso momento e il fatto che a vincere sia un processo rispetto all'altro è dettato esclusivamente dalla variabilità casuale. L'obiettivo finale è dunque quello di ottenere un delay che rappresenti il punto medio in cui lo stopping process termina. Una volta ottenuto, esso può essere utilizzato per stimare l'SSRT semplicemente sottraendo l'SSD dalla latenza media di risposta al go process (fig. 3).

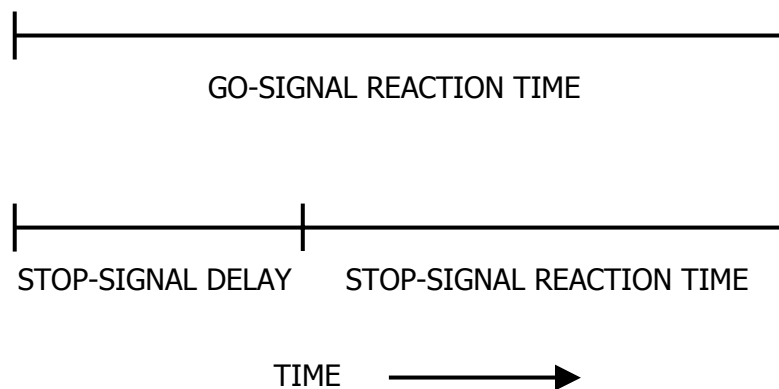


Fig. 3: come stimare lo Stop Signal Reaction Time (da Logan, Schachar e Tannock, 1997); la linea superiore rappresenta la latenza media di risposta al go task. La linea sottostante rappresenta l'SSD più l'SSRT. L'SSD viene calibrato in maniera tale che i soggetti inibiscano la risposta il 50% delle volte. La gara (race) in questo modo resta in equilibrio e le due linee terminano nello stesso punto nel tempo. Pertanto l'SSRT, che non è osservabile direttamente, può essere stimato sottraendo l'SSD medio (osservabile) dalla latenza media di risposta al go task (anch'essa osservabile)

Viceversa, poiché come già detto la gara dipende da tre valori soltanto, sommando l'SSRT all'SSD si ottiene necessariamente la latenza media di risposta al compito go. Calcolato in questa maniera l'SSRT è in grado di fornire una misura precisa della

latenza di un processo come quello inibitorio non osservabile direttamente in quanto generato dall'interno.

Il modello appena descritto riesce dunque a rendere conto del comportamento osservato nei processi di stop attraverso un numero ridotto di assunzioni. L'unico vincolo consiste nell'idea (peraltro motivata da un punto di vista teorico) che i due processi in competizione tra loro funzionino in maniera indipendente. Nonostante la sua semplicità, esso riesce ad offrire delle predizioni quantitative accurate fornendo una stima del processo di stop in termini di tempi di reazione. Invece, come esplicitato da Logan stesso, questo paradigma non è in grado di fornire alcuna informazione relativamente alla natura dei processi sottostanti ma potrebbe essere un'ottima base di partenza anche per chi si ponesse questo obiettivo.

I dati ottenuti da Logan per mezzo di questo modello sono coerenti con l'idea che alla base dell'abilità di inibire molti tipi di pensiero e azione ci sia un meccanismo generale unico. Giovani adulti in buona salute possono ad esempio bloccare un'ampia varietà di azioni, come il movimento degli occhi, delle mani o l'eloquio, entro i primi 200 millisecondi (Logan e Cowan, 1984). Si tratta di un tempo di reazione estremamente rapido se si considera il fatto che avviene come risposta ad un secondo stimolo (Pashler, 1998). Nel corso degli anni il metodo e gli strumenti afferenti allo stop signal paradigm sono diventati sempre più popolari tanto da venir usati in diversi settori quali ad esempio la psicologia dello sviluppo (Ridderinkhof, Band e Logan, 1999; Schachar e Logan, 1990) e dell'invecchiamento (Williams, Ponesse, Shachar, Logan e Tannock, 1999), ma anche per esaminare eventuali deficit del controllo inibitorio in studi clinici su pazienti ADHD (Lijffijt, Kenemans, Verbaten e van Engeland, 2005; Schachar, Chen, Logan, Ornstein, Crosbie, Ickowicz e Pakulak, 2004; Oosterlaan e Sergeant, 1998), affetti da disordini del comportamento impulsivo (Acheson, Richards e de Wit, 2007) o con lesioni al lobo frontale (Dimitrov, Nakic, Elpern-Waxman, Granetz, O'Grady, Phipps, Milne, Logan, Kasher e Grafman, 2003; Aron et al., 2003). In particolare lo stop signal paradigm, utilizzato come strumento di indagine in quest'ultimo tipo di studi, ha consentito agli studiosi di confermare il coinvolgimento delle strutture del lobo frontale nel controllo inibitorio e, nel caso specifico, della PFC (Band e van Boxtel, 1999). Alle stesse conclusioni sono giunti quei lavori che hanno utilizzato i

potenziali evento correlati (Kok, Ramautar, De Ruiter, Band e Ridderinkhof, 2004) e gli studi di neuroimaging (Rubia et al., 2003). Per quanto riguarda la complessità del sistema sottostante alla regolazione del controllo inibitorio, De Jong, Coles e Logan (1995) hanno ipotizzato l'esistenza di due tipi di meccanismi inibitori, uno periferico e l'altro centrale. Il meccanismo centrale sarebbe afferente alla PFC mentre quello periferico dipenderebbe dal mesencefalo. Band e van der Boxtel (1999) hanno messo in dubbio questa ipotesi sostenendo invece l'esistenza di un sistema supervisore che regola l'azione di meccanismi subordinati, localizzati in strutture sottocorticali come i gangli della base. Ad oggi dunque, nonostante la letteratura fornisca risultati sufficientemente coerenti nell'assegnare alla PFC un ruolo centrale per un corretto svolgimento del processo inibitorio, non è ancora chiaro da un punto di vista strettamente cognitivo quale sia la sua esatta organizzazione.

Lo Stop Signal Task

Contrariamente a Posner e al suo Attention Network Test, Logan e i suoi collaboratori non hanno costruito un compito standard per raccogliere dei dati utili allo studio dell'inibizione di una risposta dominante. Attraverso il loro paradigma, Logan ha piuttosto fornito le informazioni necessarie per consentire la messa a punto di compiti più o meno diversi tra loro ma comunque in grado di analizzare il processo in questione. Come riportato da Band e van Boxtel (1999), lo Stop Signal Task può essere considerato come una forma di elaborazione del compito go/no-go. In quest'ultimo tipo di compito, ai soggetti viene richiesto di rispondere nella maniera più veloce e accurata possibile a degli stimoli (tipicamente delle lettere) attraverso la pressione di un tasto; allo stesso tempo essi sono tenuti ad inibire la risposta alla comparsa di un determinato tipo di target diverso dai precedenti. Così, un esempio di go trial può essere costituito dalle lettere "A, B, C, D" mentre il no-go trial può essere rappresentato dalla lettera "X". Essendo i no-go trial in numero inferiore ai go trial, la risposta risulta essere dominante rispetto all'inibizione. L'indice del controllo inibitorio è dato dal numero di errori commessi ai no-go trial. Viceversa, in un tipico esempio di stop signal task ai partecipanti viene chiesto di svolgere un compito di tempi di reazione di scelta (go task). Durante il compito, occasionalmente e in maniera casuale, nel 25% delle prove viene presentato un

segnale acustico (stop signal) in seguito al quale il soggetto è stato precedentemente istruito ad interrompere la risposta già avviata (stop task). Gli stimoli del go task sono solitamente delle lettere anche se non sono infrequenti i casi in cui gli stimoli sono costituiti da parole. In tal caso il compito consiste nel pronunciare le stesse nel più breve tempo possibile (Friedman e Miyake, 2004). Nei protocolli sperimentali in cui gli stimoli sono costituiti da lettere (ad esempio in Aron et al., 2003), le stesse vengono presentate in ordine casuale e con la stessa probabilità di comparsa. Nel caso in cui la comparsa del target sia successivamente accompagnata dallo stop signal, il soggetto deve tentare di inibire la risposta motoria per quanto possibile. Una volta ottenuto l'SSD con il quale i soggetti sono in grado di inibire la risposta nel 50% delle volte, sulla base del race model è possibile ottenere la stima dell'SSRT sottraendo l'SSD dalla media dei tempi di reazione al go task.

Appare dunque evidente come da un punto di vista cognitivo lo Stop Signal Task fornisca una stima più pura e più sensibile del processo inibitorio rispetto ai compiti di tipo go/no-go. In primo luogo perché esso consente di ottenere un valore (l'SSRT) in termini di millisecondi e quindi più accurato rispetto al numero di errori di commissione fornito dai compiti go/no-go. Inoltre nello Stop Signal Task l'efficienza del processo inibitorio deriva dalla manipolazione sperimentale dell'SSD, il che significa che l'intervallo di tempo tra la comparsa del target e il segnale di stop (*Stimulus Onset Asynchrony* – SOA) cambia ad ogni trial. Viceversa questo valore nei compiti go/no-go è pari a zero e rimane invariato nel corso di tutto il compito. Per tutti questi motivi, secondo Aron e Poldrack (2005) è probabile che i compiti costruiti in base allo stop signal paradigm siano più sensibili al processo di inibizione della risposta.

ESPERIMENTO 1

Deprivazione totale di sonno

INTRODUZIONE

La crescente richiesta da parte di settori anche molto diversi tra loro (da quello industriale al sanitario, dal militare a quello inerente alle emergenze) di prestazioni continue per periodi prolungati di tempo ha indirizzato gli studi di laboratorio, oltre a quelli condotti in un contesto ecologicamente valido, ad affrontare il tema degli effetti della veglia prolungata sulle prestazioni umane. L'effetto più evidente della mancanza di sonno, e forse anche quello più scontato, è la sonnolenza. Essa è rilevabile attraverso misurazioni soggettive come la Stanford Sleepiness Scale (SSS; Hoddes, Zarcone, Smythe, Phillips e Dement, 1973) e la Karolinska Sleepiness Scale (KSS; Akerstedt e Gillberg, 1990), oggettive come il Multiple Sleep Latency Test (MSLT; Carskadon et al., 1986) o tramite l'osservazione di eventuali cambiamenti elettroencefalografici (EEG). Quando però si considerano le prestazioni cognitive di un individuo, la sonnolenza può manifestarsi in modi diversi a seconda del compito che il soggetto deve svolgere (Bonnet, 2000). Gli ipnologi sono chiaramente concordi nel ritenere che la deprivazione di sonno comprometta diversi aspetti dell'efficienza cognitiva (Nillson et al., 2005). Essi possono riguardare sia prestazioni in compiti monotoni di lunga durata (Gillberg e Akerstedt, 1998) sia prestazioni in compiti brevi di tempi di reazione (Gillberg, Kecklund e Akerstedt, 1994), ma anche funzioni complesse di vario genere come la memoria (Turner, Drummond, Salamat e Brown, 2007), il linguaggio (Harrison e Horne, 1997), il ragionamento o la presa di decisioni (Harrison e Horne, 1999). La conclusione a cui spesso gli studiosi giungono è che il declino delle varie funzioni cognitive è legato ad una più generale diminuzione dell'attenzione (Turner et al., 2007, Casagrande et al., 2006). Come però giustamente osserva Jennings (Jennings et al., 2003), soltanto di rado gli studi sulla mancanza di sonno hanno riguardato i meccanismi che mediano i decrementi nella prestazione. La maggioranza degli studi sulla deprivazione di sonno e sulle prestazioni ad essa seguenti hanno più semplicemente riportato dei generici cambiamenti nelle abilità prese in considerazione. Tali cambiamenti però possono essere mediati allo stesso modo sia da temporanei deficit dell'attenzione che da brevi

addormentamenti o da alterazioni del processamento delle informazioni (come peraltro già sottolineato da Dinges e Kribbs, 1991). Anche Jones e Harrison (2001) nella loro rassegna sottolineano come gli studi reperibili in letteratura presentino diverse inconsistenze. In primo luogo gli autori ravvisano come la classificazione dei compiti utilizzati sia spesso ambigua, come già constatato da Kjellberg prima (1977) e da Bonnet poi (2000). Secondariamente, essi ritengono che le definizioni dei concetti relativi alle funzioni considerate (in particolar modo l'attenzione e le funzioni esecutive) siano spesso troppo povere, il che rende difficile l'interpretazione dei dati ottenuti. Va detto che negli anni successivi alla pubblicazione del lavoro di Jones e Harrison (2001) sono stati pubblicati diversi esperimenti costruiti sulla base di un preciso quadro teorico di riferimento. In particolare, per quanto riguarda gli effetti della deprivazione di sonno sull'attenzione, da più parti si è preso atto dell'esigenza di considerare questo processo come un'abilità cognitiva multidimensionale costituita da elementi diversi, anche se collegati, tra loro (Mirsky et al., 1991). Oltre agli studi che hanno ulteriormente confermato la sensibilità dell'attenzione sostenuta agli effetti della mancanza di sonno (Taillard, Moore, Claustat, Coste, Bioulac e Philip, 2006; Philip, Taillard, Sagaspe, Valtat, Sanchez-Ortuno, Moore, Charles e Bioulac, 2004; Doran, van Dongen e Dinges, 2001; Drummond e Brown, 2001), nuovo interesse è stato rivolto all'orientamento implicito dell'attenzione, seppur con risultati a volte in contrasto tra loro. Infatti, alcuni esperimenti hanno riportato un peggioramento significativo di questo processo in seguito a veglia prolungata (di 24 ore in Bocca e Denise, 2006; di 28 ore in Fimm et al., 2006). Altri studi però sembrano andare in direzione opposta: né Kendall (Kendall et al., 2006) né Casagrande (Casagrande et al., 2006) hanno ottenuto un peggioramento specifico a carico di una qualche componente, ma l'intero sistema attenzionale sembra aver subito un peggioramento generalizzato dell'efficienza. Mentre il primo studio ha preso in considerazione un periodo di veglia ininterrotta pari a 40 ore, il secondo ha ottenuto gli stessi risultati già dopo 24 ore di deprivazione. Questo tema risulta essere particolarmente stimolante in quanto potrebbe essere in grado di fornire elementi nuovi e interessanti non solo per lo studio degli effetti della deprivazione di sonno sulle funzioni cognitive, ma anche per la ricerca di base nel settore della psicologia cognitiva in merito al dibattito

sull'indipendenza o meno delle componenti attenzionali. Ad oggi però nessuno studio ha ancora valutato se e in che modo una veglia prolungata influenzi negativamente il sistema dell'attenzione all'interno di un modello elaborato nell'ambito della psicologia cognitiva. Ciò non è stato possibile in particolar modo perché, pur essendo numerose le teorie che hanno cercato di spiegare questa fondamentale funzione cognitiva, non sono stati costruiti sufficienti strumenti per valutarne in maniera chiara l'efficienza (Jones e Harrison, 2001).

Gli studi sperimentali più recenti sulla mancanza di sonno sembrano invece concordi nel riportare un deficit a carico delle funzioni esecutive, afferenti al lobo frontale ed in particolar modo alla corteccia prefrontale (Nilsson et al., 2005; Muzur et al., 2002; Harrison e Horne, 2000). Per anni i ricercatori, salvo rare eccezioni (Horne, 1988), hanno sostenuto che le funzioni di livello cognitivo più elevato fossero relativamente inalterabili dalla deprivazione di sonno in quanto la sonnolenza poteva essere mascherata e superata dalla natura interessante e riattivante dei compiti utilizzati per valutare questo tipo di capacità (Kjellberg, 1977). Queste particolari caratteristiche avrebbero pertanto avuto un effetto di compensazione tale da rendere le prestazioni dei soggetti deprivati equiparabili a quelle di un gruppo di controllo. Anche in tempi più recenti, conclusioni di questo tipo sono state regolarmente rispolverate (Binks et al., 1999) sottolineando nuovamente la necessità che i compiti utilizzati siano lunghi, monotoni e possibilmente noiosi (Pilcher e Huffcutt, 1996). Nel complesso però, gli studiosi negli ultimi anni hanno in diverse occasioni riportato gli effetti negativi della mancanza di sonno anche utilizzando compiti più complessi. In letteratura sono presenti dati relativi ad un peggioramento delle funzioni legate al pensiero creativo (Wimmer et al., 1992), alla fluenza verbale (Harrison e Horne, 1997), ai processi decisionali (Nilsson et al., 2005), all'inibizione di una risposta abituale (Drummond et al., 2006).

In maniera pressoché speculare a quella riportata negli studi sull'attenzione, ciò che rende particolarmente difficile lo studio delle funzioni esecutive ed il confronto dei risultati presenti in letteratura è la diversità dei compiti utilizzati da ricerca a ricerca (Jones e Harrison, 2001). I tentativi di verificarne la sensibilità complessiva in condizioni di veglia prolungata si sono scontrati infatti con la complessità del sistema, che è frutto di componenti anche molto diverse tra loro (Nilsson et al.,

2005). Per questo motivo la strada che attualmente sembra poter dare i risultati più coerenti è quella che prevede lo studio separato delle singole componenti afferenti al sistema del funzionamento esecutivo.

L'inibizione di una risposta dominante ad esempio è quel particolare processo esecutivo necessario per interrompere una determinata risposta abituale nei casi in cui la stessa non sia in quel momento più appropriata. Essa è pertanto uno dei diversi meccanismi di controllo esecutivo in grado di regolare il comportamento (Sagaspe et al., 2007). Il fatto che in condizioni di veglia prolungata gli individui subiscano un peggioramento nelle prestazioni è un dato solido e inequivocabile; ciò nonostante l'effetto della deprivazione di sonno sulla capacità di fermare una risposta automatica non è stata studiata in maniera approfondita. Soprattutto, i pochi studi pubblicati in merito hanno riportato risultati contrastanti (Drummond et al., 2006). Uno dei motivi alla base di questa incertezza è presumibilmente legata al fatto che la maggior parte degli studi ha utilizzato compiti anche molto complessi, allo scopo di considerare l'efficienza generale delle funzioni esecutive e non di una singola componente. Jennings e i suoi collaboratori ad esempio (Jennings et al., 2003) hanno studiato gli effetti di una notte di deprivazione di sonno sull'inibizione di una risposta dominante nell'ambito del sistema attenzionale supervisore elaborato da Norman e Shallice (1986). E' evidente come nell'esperimento di Jennings l'inibizione faccia parte di un set cognitivo molto più ampio e pertanto il fatto che non sia stato osservato alcun peggioramento significativo a carico dell'inibizione può verosimilmente essere dovuto all'influenza che le diverse richieste hanno avuto sul comportamento finale. Anche Harrison e Espelid (2004), utilizzando il paradigma del priming negativo, non hanno ottenuto alcun peggioramento significativo in seguito a deprivazione di sonno. In questo caso però l'obiettivo dell'esperimento non era specificamente legato allo studio dell'inibizione e pertanto anche questo può essere un motivo per l'assenza di un risultato significativo. La diversità dei compiti utilizzati ha da sempre rappresentato un'importante e forse decisiva fonte di variabilità nell'interpretazione dei risultati. Mentre Harrison e Espelid (2004) hanno utilizzato senza ottenere risultati chiari il paradigma del priming negativo, altri studi hanno inserito tra gli strumenti lo Stroop Test (Stroop, 1935), ancora una volta senza ottenere alcun peggioramento significativo nelle prestazioni (Sagaspe, Sanchez-Ortuno, Charles,

Taillard, Valtat, Bioulac e Philip, 2006; Binks et al., 1999). Un risultato di questo tipo andrebbe a favore della necessità di operare una chiara distinzione tra le varie funzioni cognitive, avvalorando l'ipotesi secondo la quale la deprivazione di sonno ha un effetto non generalizzato bensì selettivo su alcune parti della PFC (Drummond et al., 2006). Secondo Aron e Poldrack (2005) però, i compiti in grado di misurare nella maniera più accurata l'efficienza del processo di inibizione sono quelli di tipo go/no-go e quelli afferenti allo stop signal paradigm. Per quanto riguarda i primi, Drummond e collaboratori (2006) hanno ottenuto un sensibile peggioramento dell'inibizione già a partire da una notte di deprivazione di sonno. Nessuno studio invece che considerasse gli effetti di un periodo di veglia prolungata sull'efficienza del controllo inibitorio attraverso un compito afferente allo stop signal paradigm è stato finora ancora pubblicato. In linea generale dunque, seppur i dati a disposizione non ci permettano di trarre conclusioni univoche, quelli presentati da Drummond meritano particolare attenzione in quanto, contrariamente agli altri studi sopra citati, sono stati ottenuti per mezzo di un compito valido e preciso, nell'ambito di una procedura sperimentale costruita per studiare esclusivamente la componente dell'inibizione. Appare quanto mai interessante inoltre osservare come, nonostante il paradigma dello stop signal sia considerato il più sensibile per lo studio dell'inibizione della risposta (Band e van Boxtel, 1999), esso non sia stato ancora mai utilizzato in uno studio di deprivazione di sonno.

Obiettivo del presente esperimento è quello di affrontare i due temi descritti, colmando quella che può essere considerata una vera e propria lacuna nell'ambito della ricerca sul sonno. L'Attention Network Test, in quanto strumento nuovo e costruito sulla base di un quadro teorico di riferimento solido, è un compito potenzialmente valido per rilevare gli effetti di una notte di deprivazione di sonno sui processi attenzionali. Esso non fornisce soltanto dei dati sulla semplice vigilanza né su di una specifica componente attenzionale, ma anche dei dati relativi all'attenzione intesa come abilità cognitiva multidimensionale e riferiti ad una teoria cognitiva precisa, in modo da poter trarre delle conclusioni più chiare rispetto a quelle finora presenti in letteratura. Lo Stop Signal Task a sua volta risulta essere un compito particolarmente interessante in quanto finora trascurato dagli ipnologi, nonostante in

ambito cognitivo sia considerato tra i compiti più sensibili per la misurazione dell'efficienza dell'inibizione (Aron e Poldrack, 2005). Nel complesso, sia l'Attention Network Test che lo Stop Signal Task sono strumenti finora inutilizzati nelle ricerche in deprivazione di sonno.

METODO

Soggetti

All'esperimento hanno inizialmente partecipato 30 soggetti (6 maschi), studenti universitari, di età compresa tra i 20 e i 29 anni. Prima dell'inizio dell'esperimento ciascun partecipante compilava un questionario finalizzato ad individuare l'eventuale presenza di disturbi del sonno. Tutti i partecipanti hanno riportato di dormire abitualmente tra le 8 e le 9 ore per notte e di non dormire regolarmente, anche per un breve periodo di tempo, durante il giorno. Alle persone selezionate veniva poi chiesto di compilare il Morningness-Eveningness Questionnaire (MEQ; Horne e Ostberg, 1976) per valutarne la tipologia circadiana ed eventualmente scartare le persone con punteggi estremi sulla scala. Per la partecipazione all'esperimento era prevista una ricompensa in crediti formativi.

Materiale

Durante l'esperimento sono stati utilizzati l'Attention Network Test, lo Stop Signal Task e le scale soggettive Stanford Sleepiness Scale e Global Vigor-Affect Scale.

Attention Network Test

La versione dell'ANT utilizzata è quella proposta in origine da Posner e collaboratori (Fan et al., 2002).

Ai partecipanti viene chiesto di determinare la direzione di una freccia centrale (il target), che può essere rivolta verso destra o verso sinistra, attraverso la semplice pressione del tasto corrispondente (destra vs sinistra). La freccia può apparire al di sopra o al di sotto del punto di fissazione (tipicamente una croce) e può essere accompagnata o meno da flanker (freccie a destra e a sinistra della freccia centrale). I flanker a loro volta possono essere orientati verso destra o verso sinistra creando tre condizioni: congruente (il target è accompagnato da freccie rivolte nella stessa

direzione), incongruente (il target è accompagnato da frecce dirette in direzione opposta) e neutra (il target è accompagnato da due linee alla sua destra e due linee alla sua sinistra). Il test prevede inoltre la presenza di un *cue* (rappresentato da un asterisco) che precede la comparsa del target e può manifestarsi in tre modi: centrale (l'asterisco compare sul punto di fissazione e non fornisce suggerimenti spaziali sul luogo di comparsa del target), doppio cue (compaiono contemporaneamente due asterischi, al di sopra e al di sotto del punto di fissazione, allo scopo di stimolare uno stato di attivazione diffusa), cue spaziale (viene presentato un unico asterisco, al di sopra o al di sotto del punto di fissazione, che fornisce pertanto delle informazioni spaziali su dove comparirà il target). E' previsto anche un tipo di prova in cui il target non è preceduto da alcun cue (no cue).

Ogni trial può essere dunque sintetizzato in cinque eventi (vedi fig. 4). Il primo è costituito da un tempo di fissazione variabile dai 400 ai 1600 millisecondi (msec), in cui il soggetto rimane in attesa della comparsa dello stimolo target e mantiene lo sguardo sul punto di fissazione. Il secondo evento è costituito dalla comparsa del cue (della durata di 100 msec). Nel terzo vi è un ulteriore periodo di fissazione della durata di 400 msec (SOA) alla fine del quale (quarto evento) il target e i flanker compaiono simultaneamente per una durata massima, in caso di mancata risposta, di 1700 msec. Non appena i soggetti forniscono una risposta, lo stimolo scompare e vi è un periodo variabile di fissazione (i millisecondi del primo tempo di fissazione sommati ai millisecondi del tempo di reazione ottenuto vengono sottratti dalla costante di 3500 msec). Al termine di questo intervallo ha inizio lo stimolo seguente.

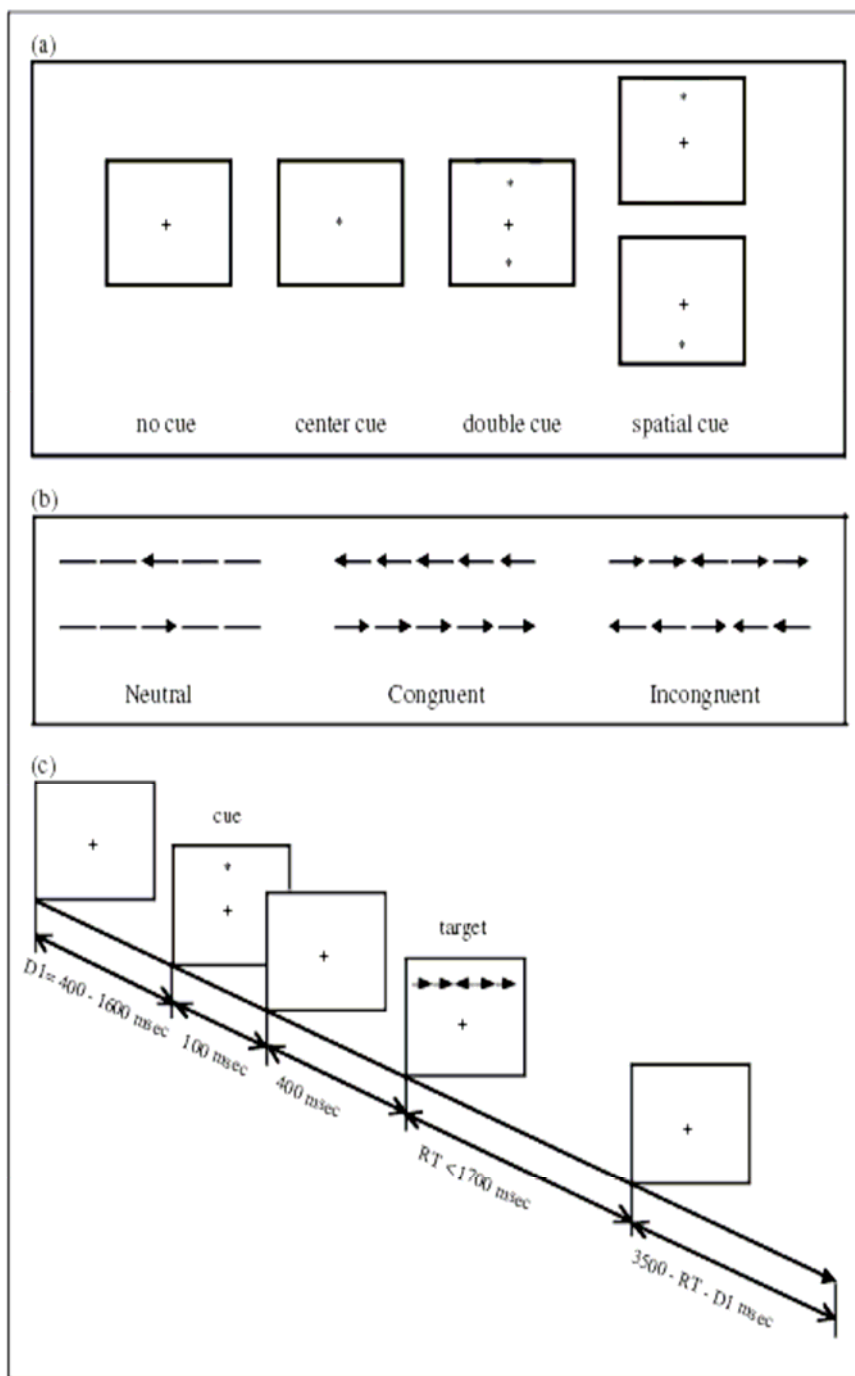


Fig. 4: l'Attention Network Test (da Fan et al., 2002)

Le istruzioni fornite all'inizio del compito invitano il soggetto a mantenere lo sguardo sul punto di fissazione e a rispondere nella maniera più veloce e accurata possibile. Il compito non prevede il controllo dei movimenti oculari. E' stato peraltro accertato sperimentalmente che i movimenti oculari si verificano in media soltanto

nel 4% dei trial, oltretutto in maniera casuale, per cui i risultati ottenuti non ne vengono influenzati in alcun modo (Posner et al., 1984).

Nel complesso, il test ANT è costituito da un blocco di apprendimento (24 trial con feedback su velocità e accuratezza) e da 3 blocchi sperimentali (senza feedback) costituiti da 96 trial ciascuno (4 tipi di cue x 2 posizioni del target x 2 direzioni del target x 3 tipi di flanker x 2 ripetizioni) per un totale di 312 trial (di cui 288 utili per l'analisi). La presentazione dei trial avviene in ordine casuale.

Stop Signal Task

Ai partecipanti viene presentato un compito di tempi di reazione di scelta (go task) costituito da due parti distinte. Nella prima parte, suddivisa in tre blocchi per consentire al soggetto di non accumulare un'eccessiva stanchezza nella risposta, i partecipanti sono tenuti a rispondere per mezzo della pressione di due tasti discriminando tra 4 target diversi. Essi sono costituiti dalle lettere C, S, X e Y e i soggetti vengono istruiti a rispondere con il tasto destro nel caso il target sia una C o una S, con il tasto sinistro nel caso invece compaia una X o una Y. Ogni target è inoltre accompagnato da dei distrattori, in maniera tale da avere dei dati relativi anche a quella particolare forma di inibizione che Friedman e Miyake (2004) definiscono come resistenza all'interferenza. Le possibili combinazioni target-flanker sono descritte nella figura 5.

XYX	YXY	SCS	CSC
XSX	YSY	SXS	CXC
XCX	YCY	SYS	CYC

Fig. 5: Stop Signal Task; le possibili combinazioni di triplette

La prima parte ha lo scopo di assicurare allo sperimentatore che il soggetto abbia messo in atto una risposta automatica, in maniera tale che nella parte successiva si verifichi effettivamente l'inibizione di una risposta dominante.

La seconda parte del compito è anch'essa suddivisa in tre blocchi, l'uno identico all'altro. Essa è costituita da due compiti in competizione tra loro: il go task

(costituito dallo stesso compito di scelta della prima parte) per il 75% dei trial e lo stop task per il restante 25%. In ogni stop trial viene presentato un segnale acustico (stop signal) che indica al soggetto, precedentemente istruito, di interrompere la risposta già avviata. Lo stop signal delay (SSD), ovvero lo spazio temporale intercorso tra la presentazione del target e la comparsa del segnale acustico, viene inizialmente fissato a 250 msec ma varia dinamicamente dopo ogni singolo stop trial in base alla procedura del tracking algorithm descritta nel capitolo introduttivo. Lo scopo di tale procedura è di ottenere l'SSD medio con il quale i soggetti dovrebbero essere in grado di inibire la risposta nel 50% delle volte.

Ciascun go trial può essere sintetizzato nel modo seguente: inizialmente viene presentato il punto di fissazione (una croce), che rimane visibile per la durata di 500 msec. Successivamente il punto di fissazione viene sostituito dapprima da una breve schermata vuota della durata di 300 msec e immediatamente dopo dal target, che a sua volta rimane sullo schermo per una durata complessiva di 800 msec. Questo periodo di tempo non subisce variazioni anche nel caso il soggetto risulti in grado di rispondere più velocemente. Viceversa, il programma rileva la velocità di risposta del soggetto anche nei 700 msec successivi alla scomparsa del target ed in cui lo schermo è vuoto, per un totale di 1500 msec complessivi. Al termine dei 1500 msec vi è un periodo di transizione da un trial all'altro della durata di 500 msec in cui sullo schermo non compare nulla e in cui il programma non registra nessuna eventuale risposta. Al termine di quest'ultimo intervallo ha inizio lo stimolo seguente con la presentazione del punto di fissazione.

Nello stop trial non sono presenti differenze sostanziali salvo per il fatto che, come detto, lo stop signal viene presentato inizialmente 250 msec dopo la comparsa del target e, a seconda dell'abilità del soggetto di inibire o meno la risposta al target, aumenta o diminuisce di 50 msec secondo la tracking procedure. Il segnale di stop è costituito da un tono con una frequenza di 1000Hz emesso direttamente dal computer. Il range in cui lo stop signal può comparire va da 0 msec (corrispondente alla presentazione in concomitanza con il target) a 750 msec (corrispondente alla scomparsa del target dallo schermo).

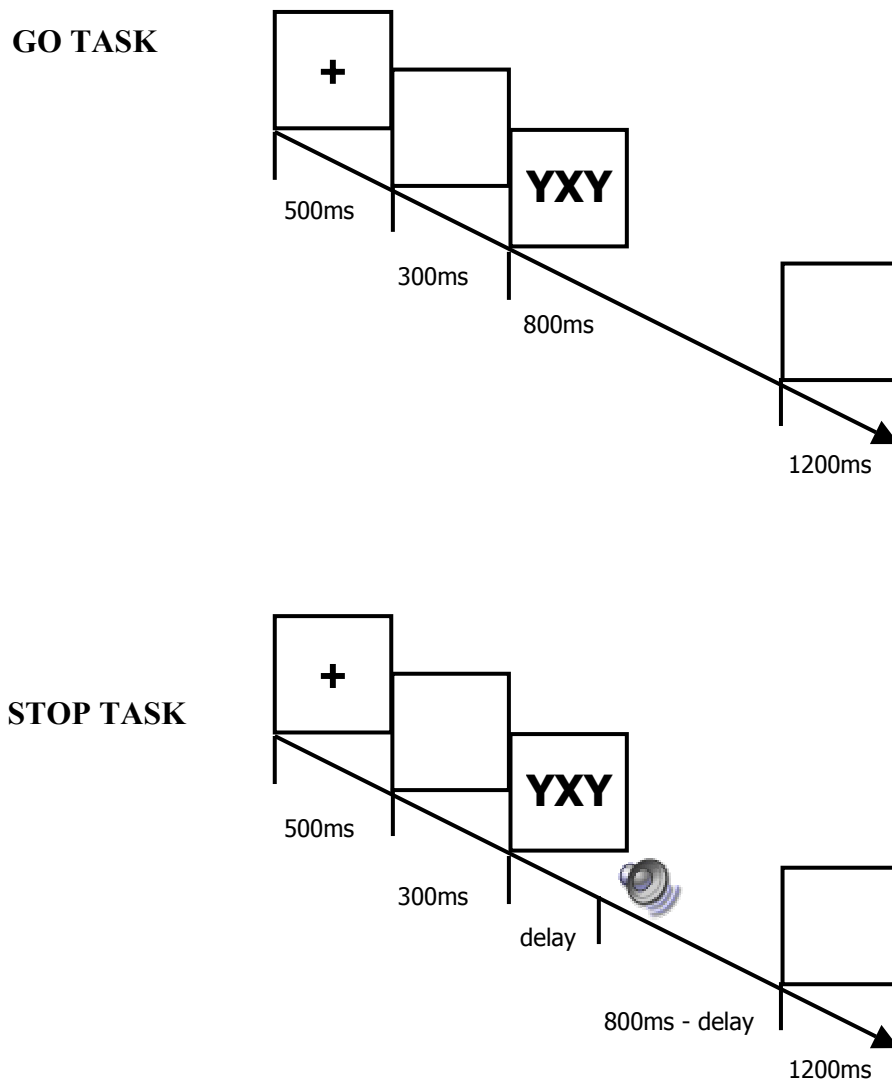


Fig. 6: lo Stop Signal Task

Per far sì che la probabilità di inibire la risposta durante il compito si approssimi al 50% senza che i soggetti mettano in atto delle strategie di attesa, le istruzioni devono enfatizzare la necessità che la prestazione sia la più veloce possibile informando i partecipanti del fatto che, se il compito viene svolto correttamente, la probabilità di inibire la risposta si attesterà attorno al 50%.

Nel complesso, l'SST è costituito da 3 blocchi volti all'attivazione di una risposta dominante (32 trial per ciascun blocco) e da 3 blocchi sperimentali costituiti da 48 trial ciascuno di cui 12 di tipo stop (con segnale acustico). Il test è costituito quindi da 240 trial (96+144) di cui 36 di tipo stop.

Scale soggettive

La somministrazione delle scale soggettive fornisce una quantificazione della sonnolenza percepita dai soggetti. Le scale utilizzate sono state la Stanford Sleepiness Scale (SSS; Hoddes et al., 1973) e la Global-Vigor Affect Scale (GVAS; Monk, 1989).

La SSS è costituita da sette affermazioni che descrivono un vissuto soggettivo di vigilanza (fig. 7): la prima si riferisce ad uno stato psicologico di massima allerta, l'ultima ad una situazione vicina al sonno. Ai soggetti viene chiesto di leggere le frasi presentate e di scegliere quella che meglio rappresenta il loro grado di vigilanza in quel determinato momento. La scala Stanford fornisce un indice della sonnolenza percepita da ciascun partecipante di tipo ordinale.

Stanford Sleepiness Scale (SSS)

Segna il numero corrispondente ad una delle definizioni sotto elencate che meglio descrive il tuo stato attuale.

- 1** Mi sento vitale e attivo, vigile, ampiamente sveglio.
- 2** Sto funzionando ad un alto livello, ma non al massimo, sono in grado di concentrarmi.
- 3** Mi sento rilassato, sveglio, non del tutto vigile.
- 4** Sono un po' annebbiato, non al massimo, un po' giù.
- 5** Mi sento annebbiato, sto cominciando a perdere interesse a rimanere sveglio, sto scivolando giù.
- 6** Mi sento assonnato, preferirei stare sdraiato, sto combattendo il sonno.
- 7** Sto quasi fantasticando, presto mi addormenterò, sto perdendo la lotta per rimanere sveglio.

Fig. 7: scala di valutazione soggettiva della sonnolenza (adattata da Hoddes et al., 1973)

La GVAS invece è formata da otto domande che misurano ciascuna una dimensione dello stato psicologico in cui il soggetto pensa di sentirsi nel momento in cui compila il test (fig. 8).

Global Vigor-Affect Scale (GVAS)

Quanto ti senti vigile?

poco _____ moltissimo

Quanto ti senti triste?

poco _____ moltissimo

Quanto ti senti teso?

poco _____ moltissimo

Quanto sforzo ti costa fare qualcosa?

poco _____ moltissimo

Quanto ti senti felice?

poco _____ moltissimo

Quanto ti senti stanco?

poco _____ moltissimo

Quanto ti senti calmo?

poco _____ moltissimo

Quanto ti senti assonnato?

poco _____ moltissimo

Fig. 8: la Global Vigor-Affect Scale (Monk, 1989)

Contrariamente alla scala Stanford, nella GVAS ciascuna dimensione viene misurata in maniera non discreta mediante una linea orizzontale che corrisponde ad un continuum della dimensione da misurare. Questo continuum va dall'assenza della dimensione (corrispondente ad un estremo del segmento) alla completa presenza della stessa (corrispondente all'altro estremo del segmento). I dati così ottenuti vengono utilizzati per calcolare, mediante apposita formula, due valori distinti: il valore Vigor corrisponde ad un indice soggettivo di attivazione; il valore Affect corrisponde ad un indice soggettivo del tono dell'umore.

Procedura

Prima dell'inizio dell'esperimento vero e proprio era prevista una fase di adattamento che aveva lo scopo di permettere l'esecuzione di un numero sufficiente di prove di pratica ai test allo scopo di evitare che gli effetti delle manipolazioni sperimentali potessero essere mascherati dalla presenza di artefatti dovuti al non completo esaurimento della curva di apprendimento.

La misurazione diurna dei livelli di performance prevedeva due condizioni sperimentali: baseline e deprivazione di sonno. Era prevista un'unica sessione, da svolgersi alle 9 di mattina.

Durante la condizione di baseline i soggetti si presentavano presso il laboratorio del sonno alla mattina alle 8.30 dopo aver trascorso una regolare notte di sonno a casa. Il loro sonno abituale veniva monitorato attraverso un diario del sonno nelle tre giornate precedenti e la prova veniva effettuata soltanto nel caso in cui il soggetto riferisse di aver dormito per un minimo di 7 ore nella notte immediatamente precedente all'esperimento. La sessione sperimentale aveva inizio alle ore 9.00, con la compilazione delle due scale soggettive. Successivamente i soggetti si impegnavano nell'esecuzione dei compiti sperimentali. I due compiti sono stati presentati ai soggetti in ordine casuale all'interno delle sessioni di prova. La loro esecuzione richiedeva in tutto circa 30 minuti. La presentazione delle scale veniva effettuata sempre prima della somministrazione dei compiti allo scopo di avere dei dati relativi allo stato di veglia dei soggetti all'inizio di ciascuna sessione sperimentale. L'ordine di presentazione dei test era bilanciato per le due condizioni sperimentali.

Durante la condizione di deprivazione i soggetti si presentavano presso il laboratorio del sonno alle ore 22. Anche in questo caso veniva loro richiesto di compilare un diario del sonno delle tre giornate precedenti alla notte sperimentale. Sebbene i soggetti scelti non fossero dei napper abituali, veniva loro espressamente richiesto di non dormire durante il giorno immediatamente precedente alla notte sperimentale. Essi trascorrevano l'intera notte svegli all'interno del laboratorio, sotto lo stretto e costante controllo dello sperimentatore ma liberi di svolgere attività di vario genere (studio, gioco, navigazione in internet, conversazione). Durante la notte non era consentito loro di consumare bevande contenenti caffeina o teina. Alle 7 del mattino tutti i partecipanti avevano la possibilità di fare colazione. Dopo di che rimanevano in attesa della sessione sperimentale che si svolgeva alle 9 del mattino, come nella condizione di baseline.

Nel complesso durante la condizione sperimentale di deprivazione i soggetti rimanevano svegli per un totale di 24 ore consecutive. Al termine della sessione, i partecipanti potevano lasciare il laboratorio.

Le condizioni sperimentali sono state effettuate in ordine casuale tra i soggetti, separate da un intervallo di sette giorni.

Analisi statistiche

I risultati ottenuti per la scala soggettiva Stanford, essendo dati di tipo ordinale, sono stati analizzati con il test non parametrico Wilcoxon.

Dai dati ottenuti con la scala GVAS sono stati calcolati i valori di Vigor e di Affect.

Il valore Vigor è stato calcolato attraverso la formula: $(300 + \text{val.1} - \text{val.4} - \text{val.6} - \text{val.8})/4$

Il valore Affect è stato calcolato invece nel modo seguente: $(200 + \text{val.5} + \text{val.7} - \text{val.2} - \text{val.3})/4$

I risultati ottenuti sono stati quindi analizzati per mezzo di due ANOVA a misure ripetute: una per il valore della scala Vigor, l'altra per il valore della scala Affect. L'analisi prevedeva un fattore condizione a due livelli (baseline e deprivazione) per ciascuna analisi.

Anche i due test comportamentali sono stati analizzati separatamente per mezzo di ANOVA a misure ripetute.

Per ciascun soggetto si è provveduto dapprima a calcolare la media dei tempi di reazione per ciascun tipo di combinazione cue-flanker. Successivamente i tempi di reazione che si discostavano di ± 3 deviazioni standard dalla media della sessione sperimentale calcolata sono stati eliminati. Infine sui dati rimanenti sono state calcolate le mediane sulle quali poi sono state svolte le analisi statistiche.

Per il test ANT le medie dei tempi di reazione così ottenute sono state analizzate per mezzo di una ANOVA a una via con 2 livelli (baseline e deprivazione).

La percentuale di risposte corrette (accuratezza) è stata anch'essa utilizzata come variabile dipendente per una analisi della varianza dello stesso tipo.

L'efficienza dei tre network è stata valutata secondo le modalità descritte da Posner (Fan et al., 2002) partendo dai tempi di reazione ottenuti nei vari tipi di prova. L'indice di alerting è stato calcolato sottraendo la media dei tempi di reazione delle prove con doppio cue dalla media dei tempi delle prove senza cue. L'indice di orienting è stato invece calcolato sottraendo la media dei tempi di reazione dei trial con cue spaziale dalla media dei tempi di reazione dei trial con cue centrale. Infine, l'indice di executive control è stato calcolato sottraendo la media dei tempi di risposta delle prove con flanker congruenti dalla media dei tempi delle prove con flanker incongruenti.

Le stime dell'efficienza delle tre componenti attenzionali così ottenute sono state analizzate per mezzo di tre diverse ANOVA a misure ripetute con un fattore condizione a due livelli ciascuna (baseline e deprivazione).

Inoltre, allo scopo di osservare in maniera più dettagliata i tre network, ciascuna componente è stata analizzata prendendo in considerazione soltanto i tempi di reazione medi dai quali poi le singole componenti vengono tipicamente stimate. Pertanto, per ciascuna componente è stata effettuata un'analisi della varianza a misure ripetute. Per l'alerting sono stati inseriti 3 fattori: il fattore condizione tipicamente a 2 livelli (baseline e deprivazione), il fattore tipo di cue con i soli 2 livelli che contribuiscono alla valutazione del network attenzionale (no cue e doppio cue) e il fattore tipo di flanker a 3 livelli (congruente, incongruente, neutro). Per l'orienting il disegno fattoriale era lo stesso ma in questo caso i due livelli inseriti nell'analisi per il tipo di cue erano il cue centrale e il cue orientante. Infine per l'executive control l'analisi prevedeva, oltre al fattore condizione (baseline e

deprivazione), il fattore tipo di cue con tutti e 4 i livelli forniti dal compito (no cue, cue centrale, doppio cue, cue orientante) e il fattore tipo di flanker con i soli 2 livelli con i quali l'efficienza del controllo esecutivo viene stimata, ovvero il flanker congruente e quello incongruente.

Per l'SST, la stima dell'inibizione della risposta dominante (SSRT) è stata ottenuta sulla base del race model (Logan e Cowan, 1984), ovvero sottraendo l'SSD medio ottenuto dalla media dei tempi di reazione al go task. Essa è stata utilizzata come variabile dipendente in una ANOVA a una via (due livelli).

Come previsto dal modello di Logan (Logan e Cowan, 1984), la media dei tempi di reazione è stata calcolata prendendo in considerazione soltanto i trial di tipo go presentati nella seconda parte (ovvero nei blocchi in cui i trial di tipo go vengono alternati a quelli di tipo stop). Per l'analisi dei risultati è stata utilizzata una ANOVA a misure ripetute con due fattori in un disegno sperimentale di tipo 2 per 2: il primo fattore era costituito dalla condizione (baseline, deprivazione) e il secondo fattore dal tipo di prova (congruente e incongruente).

Allo stesso modo anche l'accuratezza era relativa alla percentuale di risposte corrette nella sola seconda parte del compito. Per l'analisi è stata utilizzata una ANOVA a una via con 2 livelli.

RISULTATI

Scale soggettive

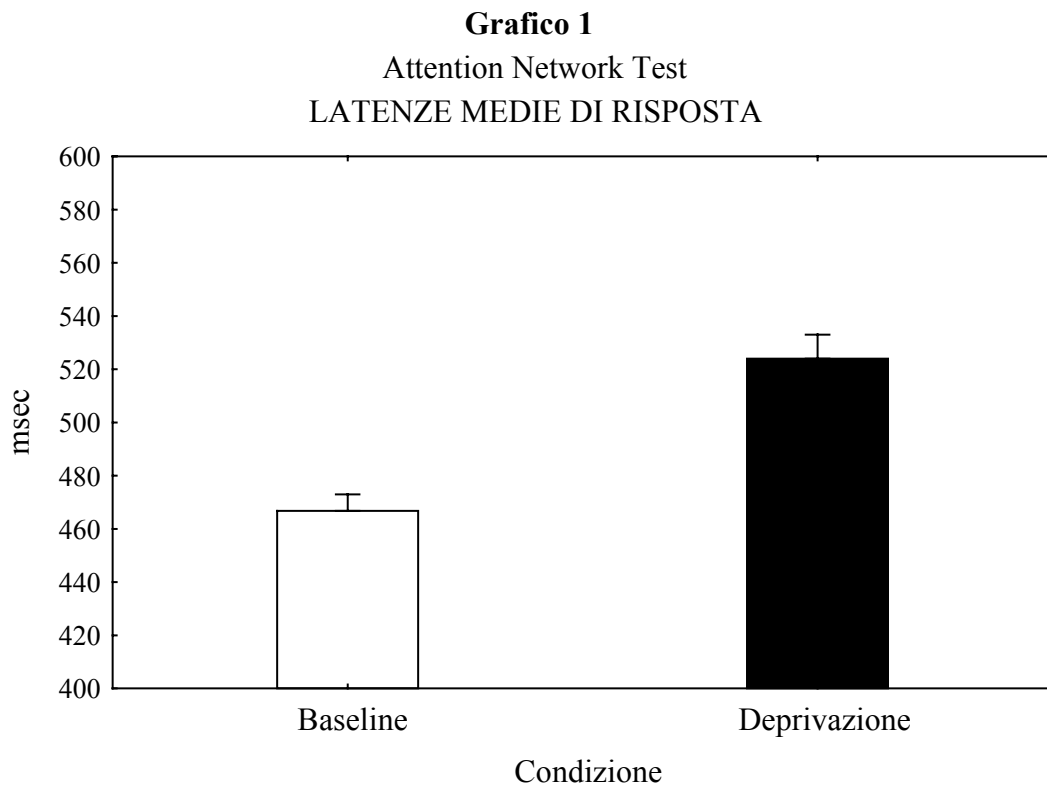
Per quanto riguarda la Stanford Sleepiness Scale, il test non parametrico di Wilcoxon ha fornito un risultato significativo per quanto riguarda la differenza tra le due condizioni ($W=11$; $p<.001$). Il risultato si riflette nel netto aumento della sonnolenza percepita da parte dei soggetti nella condizione di deprivazione ($Mdn=4$) rispetto alla condizione di riduzione ($Mdn=2$), a dimostrazione dell'efficacia della manipolazione effettuata. Per quanto riguarda la Global Vigor-Affect Scale sono state effettuate due distinte ANOVA a misure ripetute per ciascuno dei due indici rilevati dalla scala. L'analisi della varianza effettuata sugli indici Vigor (75 ± 14 in baseline e 34 ± 20 in deprivazione) ha fornito un risultato significativo per quanto riguarda l'effetto principale condizione ($F_{1,29}=73,48$; $p<.001$). Viceversa, l'ANOVA effettuata sui dati

ottenuti per l'indice Affect (70 ± 18 in baseline e 69 ± 17 in deprivazione) non ha fornito alcun risultato significativo.

Attention Network Test

I risultati presentati per il test ANT si riferiscono a 29 dei 30 soggetti che hanno partecipato all'esperimento dal momento che delle difficoltà tecniche hanno impedito la raccolta completa dei dati sperimentali di un soggetto.

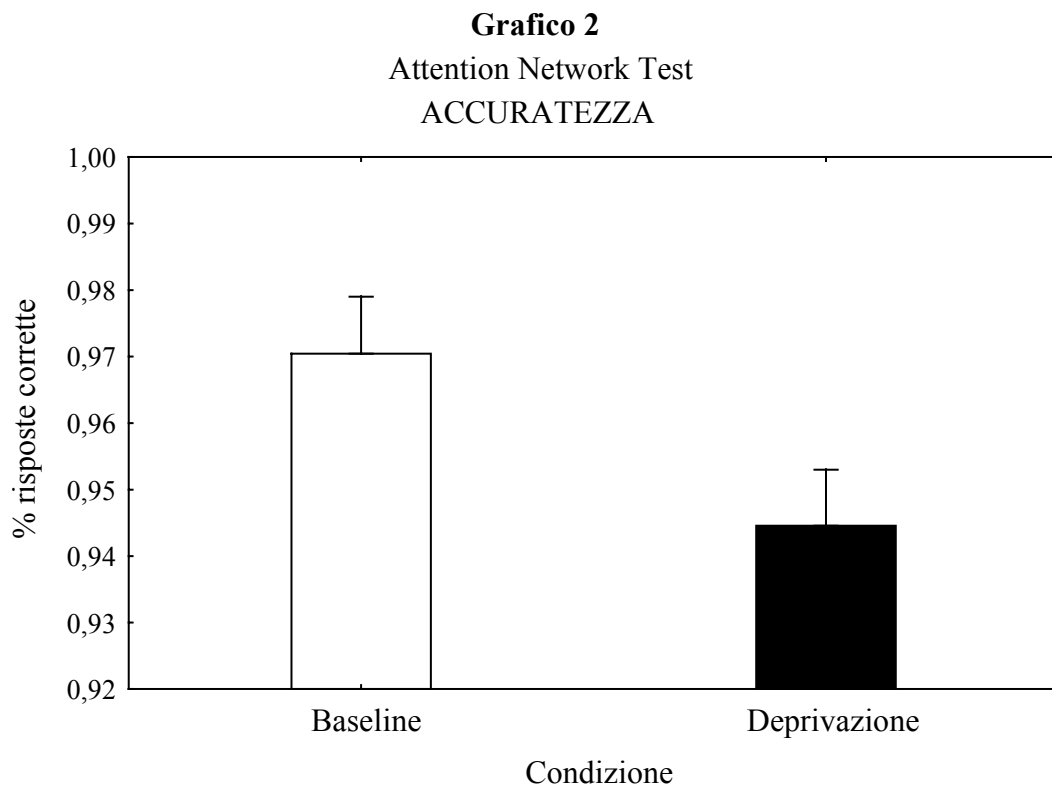
L'analisi della varianza condotta sulle latenze di risposta al compito ANT ha permesso di evidenziare un effetto principale significativo per quanto riguarda il fattore condizione ($F_{1,28}=51,12$; $p<.001$). Il grafico 1 mostra come i tempi di reazione siano passati da una media di 467 msec (± 42) in condizione di baseline a una media di 524 msec (± 53) in deprivazione.



L'incremento significativo osservato per la media delle latenze di risposta (un peggioramento di 57 msec) al compito è di per sé un dato importante in quanto il test ANT non era ancora stato utilizzato in un esperimento di deprivazione di sonno e

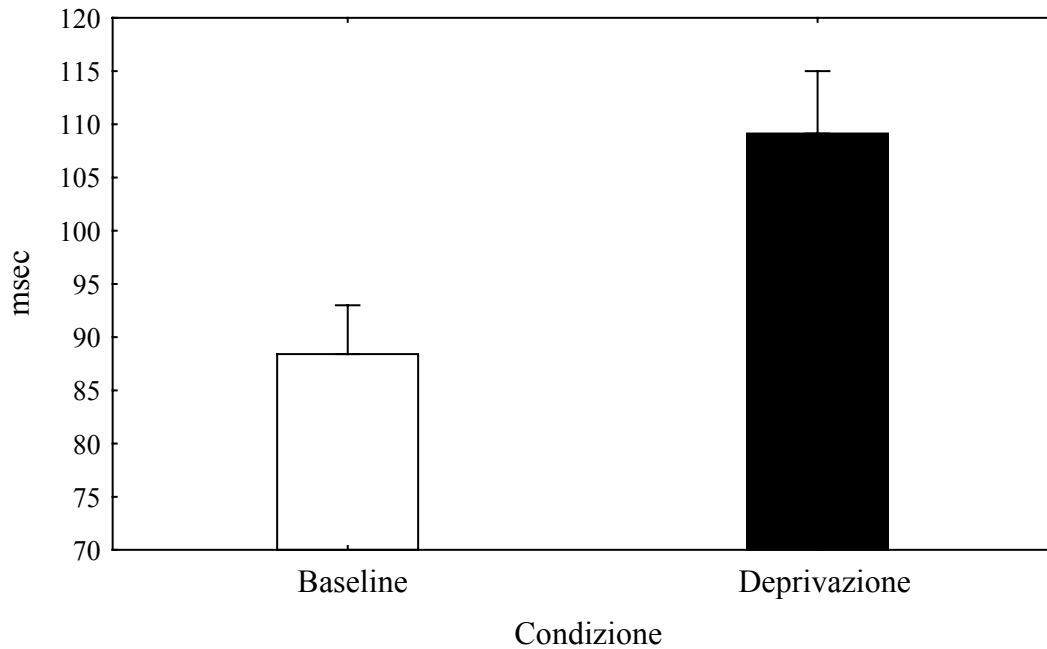
pertanto in letteratura non erano presenti dati a favore della sensibilità del compito alle manipolazioni sperimentali del periodo di veglia.

L'analisi della percentuale di risposte corrette ha messo in luce un peggioramento significativo anche dell'accuratezza ($F_{1,28}=6,61$; $p<.05$) considerando le due condizioni sperimentali.



Relativamente invece ai processi di alerting, orienting ed executive control, le diverse ANOVA effettuate per ciascuna delle tre componenti valutate dal test hanno rilevato una differenza significativa per quanto riguarda l'effetto principale condizione soltanto nell'analisi dei dati relativa alla componente dell'executive control ($F_{1,28}=11,82$; $p<.01$). Il valore stimato in questo caso è passato da 88 (± 28) msec a 109 (± 35) msec, con un peggioramento di 21 msec (grafico 3).

Grafico 3
Attention Network Test
EXECUTIVE CONTROL



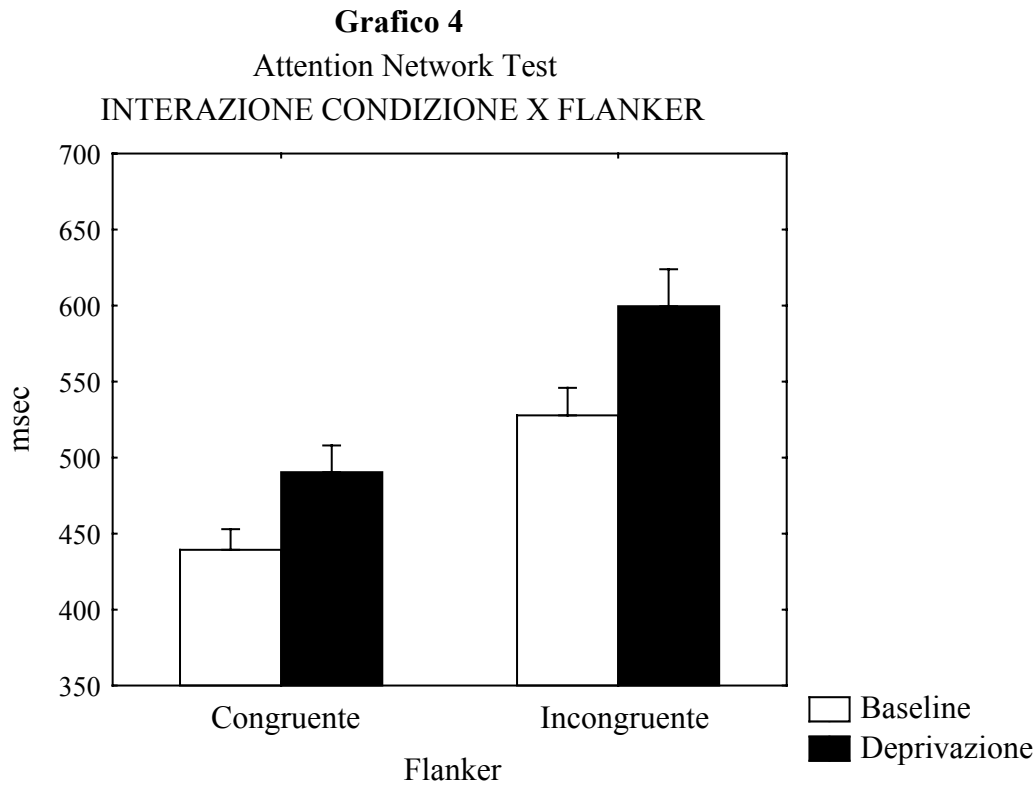
Come si evince dalla tabella 1, le differenze riscontrate tra la condizione di baseline e la condizione di deprivazione non sono state tali da raggiungere la significatività statistica né nell'analisi dell'alerting né in quella dell'orienting.

Network	Condizione	Media	DS
Alerting	Baseline	34	± 18
Alerting	Deprivazione	42	± 28
Orienting	Baseline	43	± 15
Orienting	Deprivazione	48	± 19
Executive Control	Baseline	88	± 28
Executive Control	Deprivazione	109	± 35

Tab. 1: ANT – efficienza dei tre network attenzionali nelle due condizioni sperimentali

L'analisi, effettuata sui soli trial con i quali viene stimata l'efficienza delle tre reti attenzionali, ha consentito di rilevare i seguenti risultati. Per quanto riguarda

l'executive control, ovvero la sola delle 3 reti ad aver subito un peggioramento significativo, è emersa un'interazione significativa tra la condizione e il tipo di flanker ($F_{1,28}=11,82$; $p<.01$).



I confronti a coppie effettuati hanno messo in evidenza per i flanker congruenti una differenza significativa ($F_{1,28}=48,61$; $p<.001$) tra le medie in baseline (439 ± 50 msec) e le medie in deprivazione (490 ± 57 msec). Lo stesso è stato riscontrato per i flanker incongruenti ($F_{1,28}=41,9$; $p<.001$ – rispettivamente 527 ± 61 msec e 600 ± 78 msec). L'interazione osservata è data pertanto dal peggioramento più marcato a carico dei trial incongruenti (73 msec) rispetto ai trial congruenti (51 msec) osservato tra le due condizioni.

La tabella 2 riporta le latenze medie di risposta per ciascun tipo di cue registrate nelle due condizioni sperimentali. Per quanto riguarda la componente dell'alerting, l'interazione tra le due condizioni e i tipi di cue, dai quali l'efficienza di questa rete attenzionale viene stimata, non ha raggiunto la significatività statistica.

Tipo di cue	Condizione	Media	DS
No Cue	Baseline	498	± 65
No Cue	Deprivazione	558	± 82
Doppio Cue	Baseline	464	± 66
Doppio Cue	Deprivazione	515	± 81
Cue Centrale	Baseline	474	± 68
Cue Centrale	Deprivazione	431	± 57
Cue Orientante	Baseline	535	± 87
Cue Orientante	Deprivazione	488	± 72

Tab. 2: ANT – tempi di reazione ai diversi tipi di cue nelle due condizioni sperimentali

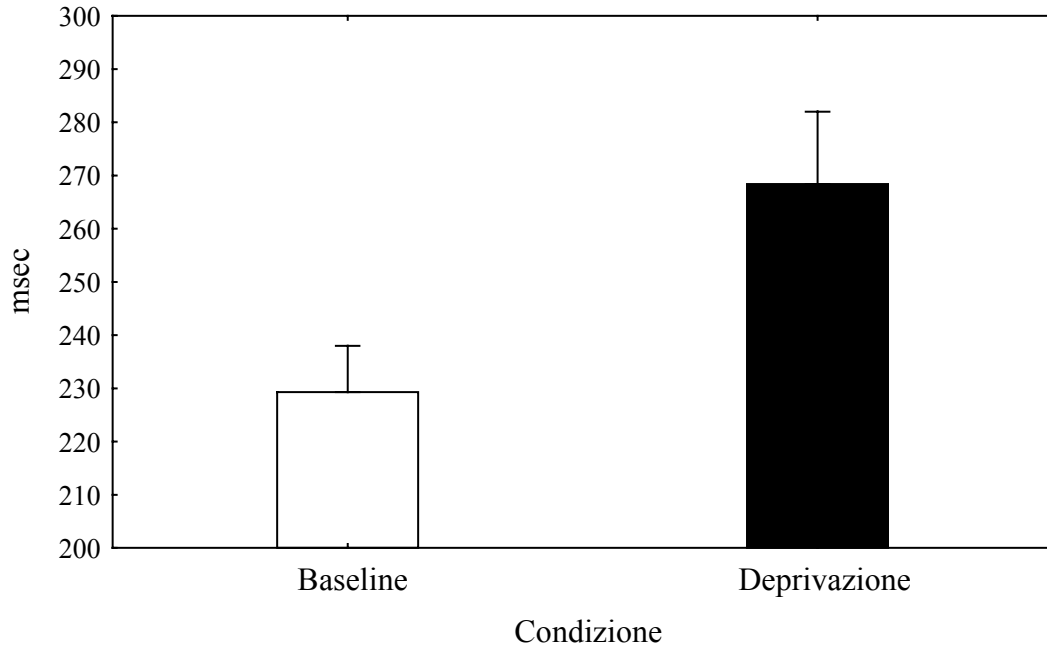
I confronti a coppie hanno però messo in evidenza come entrambi i tipi di cue (no cue e doppio cue) peggiorino in maniera significativa ($F_{1,28}=31,87$; $p<.001$ e $F_{1,28}=57,4$; $p<.001$) tra i due livelli del fattore condizione. Pertanto l'assenza di una differenza significativa a carico della rete attenzionale dell'alerting sembra derivare da un peggioramento significativo a carico di entrambi i tipi di prova che la caratterizzano.

La stessa conclusione si può trarre considerando l'orienting. Anche in questo caso infatti se l'interazione tra le condizioni di baseline e deprivazione e i cue del tipo centrale e orientante non è risultata significativa, i confronti a coppie hanno però mostrato come le medie dei tempi di reazione rilevati per i due livelli del fattore tipo di cue siano significativamente diverse tra loro sia in condizione di baseline che in deprivazione (rispettivamente $F_{1,28}=41,97$; $p<.001$ e $F_{1,28}=55,88$; $p<.001$).

Stop Signal Task

Relativamente alla stima della latenza del processo di inibizione, l'ANOVA effettuata sui tempi medi dell'SSRT ha fornito un effetto significativo del fattore condizione ($F_{1,29}=15,49$; $p<.001$).

Grafico 5
Stop Signal Task
STOP SIGNAL REACTION TIME



Risulta pertanto evidente il peggioramento della capacità di inibire una risposta dominante in seguito ad una notte di deprivazione di sonno (grafico 5).

Sia le analisi delle latenze di risposta allo Stop Signal Task sia l'ANOVA effettuata sui dati relativi all'accuratezza hanno messo in luce un effetto significativo per il fattore condizione (rispettivamente $F_{1,29}=10,85$; $p<.01$ e $F_{1,29}=16,86$; $p<.001$).

Parametri	Condizione	Media	DS
SSRT	Baseline	229	± 50
SSRT	Deprivazione	266	± 78
Tempi di Reazione	Baseline	556	± 89
Tempi di Reazione	Deprivazione	590	± 80
Accuratezza	Baseline	0,93	± 0,041
Accuratezza	Deprivazione	0,89	± 0,054

Tab. 3: parametri principali rilevati dallo Stop Signal Task

Come il test ANT, anche l'SST risulta pertanto essere un compito in grado di rilevare l'abbassamento del livello di attivazione del soggetto in seguito a mancanza di sonno.

L'ANOVA a misure ripetute con due fattori (condizione a 2 livelli: baseline e deprivazione; tipo di prova: congruente e incongruente) è stata effettuata su 29 dei 30 soggetti del campione iniziale in quanto i dati relativi al fattore tipo di prova di un soggetto sono andati perduti. La tabella 4 riporta le latenze medie di risposta registrate nelle due condizioni sperimentali per ciascun tipo di prova.

Tipo di prova	Condizione	Media	DS
Congruente	Baseline	547	± 92
Congruente	Deprivazione	580	± 88
Incongruente	Baseline	563	± 90
Incongruente	Deprivazione	595	± 76

Tab. 4: SST – latenze medie di risposta per i diversi tipi di prova

Oltre a mettere in luce come già detto un peggioramento significativo dei tempi di reazione tra le 2 condizioni, l'analisi ha rilevato una differenza significativa anche per il fattore tipo di prova ($F_{1,28}=47,24$; $p<.001$). Dalla stessa analisi invece non è risultata significativa l'interazione tra le due componenti.

DISCUSSIONE

Obiettivo del presente lavoro era quello di studiare l'effetto di una notte di deprivazione totale di sonno sull'efficienza dei processi attenzionali e del controllo dell'inibizione motoria in adulti giovani sani. I risultati ottenuti sono sicuramente interessanti.

Innanzitutto, sia l'Attention Network Test che lo Stop Signal Task si sono rivelati dei validi strumenti di rilevazione delle variazioni del livello di vigilanza. L'incremento significativo della media delle latenze di risposta osservato in entrambi i compiti durante la condizione di deprivazione di sonno è un dato che conferma la bontà della scelta effettuata. Tenendo conto del fatto che il dibattito relativo alle caratteristiche

che un compito deve avere per essere sensibile al calo della vigilanza non ha ancora fornito conclusioni chiare e univoche (Millar, 1992; Dinges e Kribbs, 1991), il risultato ottenuto ci permette di considerare i due compiti utilizzati degli strumenti validi. Anche l'accuratezza sembra subire un peggioramento in entrambi i compiti. I risultati infatti mettono in evidenza una prestazione significativamente meno efficiente nel corso della condizione di deprivazione. Il fatto che le medie delle latenze di risposta osservate siano più lente in seguito alla notte di deprivazione rispetto alla condizione di baseline potrebbe essere spiegato come una scelta dei soggetti di sacrificare la velocità per tentare di avere una prestazione più accurata al compito. I dati però non supportano questa ipotesi né nel caso del test ANT né per l'SST. Evidentemente il calo della vigilanza è tale da impedire ai partecipanti all'esperimento di mantenere una prestazione efficiente sia per quanto riguarda la velocità che per l'accuratezza.

Prendendo in considerazione l'attenzione, l'ANT si è rivelato un test particolarmente sensibile agli effetti della deprivazione di sonno. Tra le due condizioni infatti si è osservato un peggioramento di quasi sessanta millisecondi, differenza rilevante per un compito costruito nell'ambito della ricerca di base. Il test ANT sembra supportare le conclusioni raggiunte da Dinges e Kribbs nel 1991. Essi nei loro esperimenti avevano in diverse occasioni rilevato, utilizzando dei compiti di durata non superiore ai dieci minuti e caratterizzati da risposte frequenti, dei cambiamenti nella prestazione dei soggetti in situazioni di veglia prolungata. La frequenza della risposta risulta essere particolarmente importante in quanto i test comunemente utilizzati per lo studio delle variazioni della vigilanza sono da sempre caratterizzati da una frequenza di risposta bassa (Parasuraman, 1998). Nel caso dell'Attention Network Task, così come nei compiti utilizzati da Dinges e dai suoi collaboratori, la frequenza di risposta risulta essere invece più elevata ed inoltre sono previsti dei cue in grado di riattivare ulteriormente lo stato di allerta individuale. Nonostante ciò, il test sembra essere ugualmente sensibile alle variazioni dello stato di allerta. Va sottolineato tra l'altro come il compito si sia dimostrato in grado di rilevare delle differenze nella vigilanza dei soggetti già dopo una sola notte di deprivazione di sonno. Questo risultato, essendo stato ottenuto prendendo in considerazione dei giovani universitari sani, supporta l'idea che il compito sia particolarmente adatto ad essere utilizzato in

situazioni sperimentali come queste, tipiche della psicofisiologia del sonno. I risultati ottenuti analizzando le latenze di risposta possono essere dunque interpretati come un calo significativo della vigilanza da parte dei soggetti durante una condizione di veglia prolungata.

Come riportato da Dinges e Kribbs (1991) molti lavori in letteratura, sulla base di risultati simili, si sono limitati ad attribuire tale decremento a dei generici deficit attenzionali. Nel presente studio però, l'abbassamento generalizzato dello stato di attivazione effettivamente riscontrato non si riflette in un altrettanto generalizzato peggioramento dell'efficienza delle tre componenti attenzionali. I risultati mostrano invece come tra le due condizioni sperimentali si verifichi un incremento significativo dei tempi di reazione solo in corrispondenza dell'executive control, mentre le componenti dell>alerting e dell'orienting rimangano pressoché inalterate. Queste ultime due componenti sono pertanto risultate in grado di mantenere la propria efficienza seppur in un contesto di minor allerta, cosa che invece non è avvenuta per la componente del controllo esecutivo. Il test ANT si è rivelato pertanto quanto mai utile per evitare di formulare delle conclusioni generiche e, alla luce dei dati ottenuti, improprie. Appare infatti di fondamentale importanza distinguere tra gli effetti che la privazione di sonno ha sulla vigilanza da quelli invece osservabili a carico del sistema cognitivo attenzionale in senso stretto. Il calo della vigilanza rilevato attraverso il peggioramento delle medie dei tempi di reazione non equivale pertanto ad un calo dell'attenzione in generale. L'esperimento effettuato sembra dimostrare invece come la privazione di sonno non comporti un peggioramento generalizzato bensì selettivo a carico di una delle tre componenti previste dal modello di Posner: l'executive control. Un risultato di questo tipo è tra l'altro coerente con l'ipotesi di un peggioramento delle funzioni afferenti al lobo frontale quando la normale architettura del sonno viene alterata (Jones e Harrison, 2001). Come riportato nel capitolo introduttivo infatti, nel modello di Posner l'executive control afferisce alle regioni frontali ed in particolare alla corteccia prefrontale (Bush et al., 2000).

La ricchezza dei dati ricavabili attraverso l'ANT ci permette di riflettere anche sull'assenza di risultati significativi a carico delle altre due componenti facenti parte del sistema attenzionale. Per quanto riguarda l>alerting, i dati ottenuti al test ANT

non sembrano supportare l'ipotesi secondo la quale i due tipi di alerting, tonico e fasico, possano essere considerate come un unico fattore (Posner, 1978). I partecipanti all'esperimento infatti, pur avendo avuto un brusco peggioramento dopo una notte insonne per quanto riguarda le latenze medie di risposta al compito (ad indicare un calo della vigilanza, ovvero dell'alerting tonico), non hanno ottenuto lo stesso significativo peggioramento a carico della componente dell'alerting fasico. Il rallentamento osservato durante la condizione di deprivazione ha infatti intaccato in ugual misura i due tipi di prova alla base della stima dell'alerting fasico, mantenendone intatta l'efficienza complessiva. Una simile discrepanza sembrerebbe supportare l'ipotesi secondo la quale le due parti dell'alerting vanno distinte in maniera chiara poiché basate su meccanismi diversi (come sostenuto ad esempio da Robertson e Manly, 1999).

A tal proposito, è utile rimarcare come i dati presentati confermino una volta ancora l'utilità di costruire degli esperimenti in cui le tematiche della psicofisiologia del sonno siano legate a quelle della psicologia cognitiva. Se da un lato infatti per gli ipnologi diventa possibile ottenere dei dati più precisi relativamente agli effetti di una veglia prolungata sulle funzioni cognitive, dall'altro gli psicologi possono ricavare ulteriori informazioni in merito a tutti quegli aspetti che presentano delle difficoltà interpretative. Nel caso specifico, in tale prospettiva il test ANT si è rivelato un ottimo strumento, essendo stato in grado di fornire dei dati relativi sia alla componente fasica che a quella tonica dell'alerting.

Un altro dato che merita un approfondimento riguarda la mancanza di differenze significative tra le condizioni di baseline e di deprivazione a carico della componente dell'orienting. Come riportato in precedenza, gli studi presenti in letteratura non concordano in merito all'ipotesi di indipendenza/interazione tra vigilanza e orientamento (Casagrande et al., 2006; Fimm et al., 2006). I dati forniti dal test ANT purtroppo non sono sufficienti per poter fornire dei risultati a favore dell'una o dell'altra ipotesi in quanto il test è stato costruito senza prevedere delle prove invalide. Tali prove, sulla base del modello di Posner (1980), consentono allo sperimentatore di discriminare tra le tre diverse componenti sottostanti al sistema dell'orientamento: l'ancoraggio, lo spostamento e il disancoraggio. Essendo l'ANT privo delle prove invalide è impossibile, sulla base dei dati a disposizione, avanzare

delle ipotesi in grado di supportare l'una o l'altra teoria. Ad ogni modo i risultati sembrerebbero essere coerenti con l'ipotesi di indipendenza tra il sistema di vigilanza e quello di orientamento. Il calo di allerta infatti si riflette in un peggioramento generalizzato a carico di entrambi i tipi di prova dai quali poi il modello prevede si stimi la componente dell'orientamento. L'interazione osservata da Fimm (Fimm et al., 2006) riguarda però in particolare la componente del disancoraggio e non le altre. Pertanto non essendo possibile tramite il test ANT discriminare tra le diverse sottocomponenti dell'orientamento, l'ipotesi formulata perde di significato. L'unico aspetto che anche i dati qui presentati sono in grado di confermare è il fatto che il calo della vigilanza non sembra colpire selettivamente le componenti dell'ancoraggio o dello spostamento. Durante la condizione di deprivazione infatti i tipi di prova "cue centrale" e "cue orientante" subiscono entrambe un peggioramento, il che supporterebbe l'ipotesi secondo cui il calo dello stato di allerta produce un rallentamento generalizzato delle altre componenti attenzionali (Casagrande et al., 2006). Ancora una volta però, la conclusione non può essere estesa al sistema dell'orientamento nel suo complesso, poiché i dati non sono informativi rispetto alla componente del disancoraggio.

Per quanto riguarda i risultati ottenuti mediante lo Stop Signal Task, si è già detto della validità del compito nel rilevare l'abbassamento del livello di vigilanza seguente a deprivazione di sonno. L'incremento delle latenze medie di risposta al compito sono, come per l'ANT, accompagnate da un peggioramento significativo dell'accuratezza nella risposta. I soggetti dunque, nonostante siano più lenti anche nello svolgimento dello Stop Task durante la condizione di deprivazione di sonno, non riescono a mantenere un'accuratezza pari a quella registrata nel corso della condizione di sonno normale. Ma il dato più interessante che il compito è in grado di fornire riguarda la stima dell'efficienza della capacità di inibire una risposta dominante. L'indice in questione, lo Stop Signal Reaction Time (SSRT), durante la condizione di deprivazione di sonno è risultato essere di quasi 40 millisecondi più lento (pertanto meno efficiente) rispetto alla condizione di sonno normale. I dati del presente esperimento sembrano indicare quindi in maniera piuttosto chiara come una deprivazione di sonno di 24 ore sia in grado di provocare un peggioramento nelle

prestazioni di un gruppo di giovani adulti sani. Tale peggioramento è ancora più interessante se si considera il fatto che il rallentamento nei tempi di risposta al compito osservato durante la condizione di deprivazione avrebbe potuto rendere più semplice l'azione di controllo. Invece, nonostante il significativo rallentamento osservato, l'indice SSRT è peggiorato anch'esso in maniera statisticamente rilevante. Questa conclusione è in accordo con i risultati ottenuti da Drummond (Drummond et al., 2006), seppur il compito utilizzato sia stato in questo caso diverso. Ciò che distingue il presente lavoro e l'esperimento di Drummond dagli altri studi presenti in letteratura è il fatto che i primi due si sono basati su di un protocollo sperimentale semplice e mirato, costruito su poche variabili e su strumenti scelti in maniera accurata. L'assenza di differenze significative più volte riportata in letteratura (da Sagaspe et al., 2006 a Binks et al., 1999) può essere legata proprio al modo in cui gli esperimenti sono stati costruiti. Nella maggior parte dei casi infatti l'inibizione è stata trattata assieme alle altre funzioni esecutive e per questo le procedure sperimentali sono state particolarmente complesse da un punto di vista teorico oltre che pesanti per quanto riguarda l'impegno richiesto ai soggetti (ad esempio in Nilsson et al., 2005). Il risultato ottenuto nel presente esperimento sottolinea invece l'importanza di studiare singolarmente le varie funzioni cognitive o perlomeno all'interno di un protocollo sperimentale che non preveda richieste troppo onerose in termini di tempo e fatica ai partecipanti.

L'assenza di un'interazione tra la quantità di sonno e la congruenza/incongruenza degli stimoli utilizzati può risultare sorprendente se raffrontata con il forte effetto ottenuto nel test ANT. Nel caso dell'SST la differenza tra prove congruenti e prove incongruenti, pur essendo osservabile sia in seguito a deprivazione che dopo una notte di sonno regolare (a dimostrazione dell'efficacia del tipo di prova), rimane pressoché invariata nelle due condizioni. La spiegazione più plausibile sta nella diversità degli stimoli utilizzati nei due compiti. Mentre nel test ANT i flanker sono di tipo esogeno, ovvero non necessitano di elaborazione mentale in quanto costituiti da frecce dotate di significato intrinseco, nell'SST gli stessi sono costituiti da lettere. Pertanto nello Stop Task i soggetti devono interpretare il significato del target e dei flanker prima di coglierne la congruenza o l'incongruenza. Nell'ANT invece le frecce risultano essere degli indizi automatici in grado di attivare un effetto più

rapido e con ogni probabilità più forte. Si può ipotizzare pertanto che la differenza riscontrata nei due compiti, nonostante il processo cognitivo e la regione corticale coinvolta siano le stesse, sia dovuta proprio alla differenza tra i due compiti nel tipo di flanker utilizzati. La stessa motivazione con ogni probabilità è anche all'origine dei risultati discordanti ottenuti negli studi sull'indipendenza dei processi di vigilanza e di orientamento dell'attenzione (Casagrande et al., 2006; Fimm et al., 2006).

Nel loro complesso i dati qui riportati sembrano essere a favore dell'ipotesi che, già a partire da una notte di deprivazione di sonno, la veglia prolungata porti ad una compromissione delle funzioni esecutive. Essa è evidenziata sia dal peggioramento dell'efficienza del controllo esecutivo rilevato dal test ANT, sia da quello dell'efficienza del processo di inibizione osservato per mezzo dello Stop Task.

ESPERIMENTO 2

Confronto in veglia tra due versioni dell'Attention Network Test

INTRODUZIONE

L'esperimento in deprivazione di sonno ha dimostrato come l'Attention Network Test possa essere un valido strumento per meglio comprendere le variazioni dell'efficienza dei network attenzionali in situazioni di debito di sonno. Una delle caratteristiche che spesso risulta essere tra le più rilevanti nella scelta dello strumento da utilizzare in un esperimento è la durata dello stesso. Come è stato già espresso nel capitolo introduttivo infatti, in psicofisiologia del sonno gli esperimenti si rivelano necessariamente dispendiosi in termini di fatica e di tempo speso. Pertanto gli sperimentatori tendono a studiare più di una funzione cognitiva nel corso dello stesso esperimento. Questa prassi, se da un lato consente di ottenere una mole di risultati notevole, dall'altro costituisce un limite in quanto è assolutamente impossibile prevedere se e quali sono gli effetti che gli strumenti utilizzati hanno l'uno nei confronti dell'altro. Inoltre, è altrettanto difficile distinguere tra il grado di affaticamento dei soggetti partecipanti all'esperimento dovuto alla manipolazione sperimentale e quello legato invece alla mole di richieste previste dalla procedura. Per ovviare almeno in parte a questo problema può risultare utile scegliere gli strumenti che ottimizzano al meglio la validità dei risultati forniti con la loro durata. In questo senso, l'ANT utilizzato nell'esperimento di deprivazione risulta essere un compito piuttosto lungo e faticoso rispetto agli altri test che studiano l'attenzione (Dinges e Kribbs, 1991).

Obiettivo del presente esperimento è stato quello di provare a confrontare la versione originale dell'Attention Network Test (Fan et al., 2002) con una versione più breve dello stesso test in modo da utilizzare nel successivo esperimento di psicofisiologia del sonno in programma un compito di attenzione più agile e meno faticoso per i partecipanti. Tale versione è stata peraltro costruita dallo stesso gruppo di Posner (Fan et al., 2005) negli anni successivi alla pubblicazione del primo articolo di presentazione dell'ANT.

Come osservano Jones e Harrison (2001), in letteratura sono riportati svariati casi in cui sono stati utilizzati dei compiti costruiti appositamente per un determinato

esperimento senza curarsi dell'effettiva validità dello strumento utilizzato. Con il presente esperimento invece abbiamo voluto verificare che la modifica apportata non abbia comportato delle modifiche sostanziali nella capacità dello strumento di valutare l'efficienza del grado di allerta e delle singole componenti attenzionali previste dal paradigma di Posner (Posner e Raichle, 1994).

La modifica apportata al test era legata all'osservazione dei dati raccolti nel primo esperimento ed ha riguardato in maniera esclusiva il tipo di flanker. Come già osservato da Posner (Fan et al., 2002), il tipo di flanker neutro, oltre a non essere utilizzato per la stima di nessuna delle tre componenti attenzionali, sembra non fornire informazioni in qualche modo diverse da quelle già rilevabili per mezzo dei flanker congruenti. Con ogni probabilità questo tipo di distrattore è stato inserito nel compito in quanto presente nella versione originale del CRTT di Posner, ma per il modo in cui il test ANT è stato costruito esso ha perso la sua originaria utilità. (Fan et al., 2005).

Pertanto la nuova versione utilizzata in questo esperimento era caratterizzata dall'assenza delle prove neutre, il che ha comportato necessariamente anche una riduzione della sua durata complessiva. Nella versione modificata infatti, il test ANT ha una durata di circa 13 minuti.

METODO

Soggetti

All'esperimento hanno partecipato 20 studenti universitari volontari (di età compresa tra 20 e 25 anni) con acuità visiva normale o ricondotta alla norma. Per la partecipazione era prevista una ricompensa in crediti formativi.

Materiale

Ai soggetti sono state presentate le due versioni del test ANT: la prima è stata descritta nel paragrafo "Materiale" dell'esperimento di deprivazione totale, la seconda nel paragrafo introduttivo del presente capitolo. Come già riportato, la versione modificata differiva da quella originale soltanto per l'assenza delle prove con tipo di flanker neutro. Il test in questo caso era costituito da un blocco di

apprendimento di 16 trial (con feedback su velocità e accuratezza) e da 3 blocchi sperimentali (senza feedback) costituiti da 64 trial ciascuno (4 tipi di cue x 2 posizioni del target x 2 direzioni del target x 2 tipi di flanker x 2 ripetizioni) per un totale di 208 trial (di cui 192 utili per l'analisi).

Nel complesso la durata dei due compiti era di 20 minuti circa per la versione originale, di 13 per quella modificata.

Procedura

Erano previste due distinte sessioni sperimentali a distanza di una settimana l'una dall'altra. L'ordine di presentazione dei compiti era bilanciato all'interno del campione. Ciascun soggetto ha svolto le due prove previste alla stessa ora e in ogni caso le sessioni previste sono state tutte svolte nel pomeriggio per evitare l'influenza di eventuali variazioni circadiane.

Ciascuna sessione incominciava con la lettura delle istruzioni per l'esecuzione del compito. Dopo di che, in presenza dello sperimentatore, venivano somministrati alcuni trial di apprendimento (24 nella versione originale, 16 nella versione breve). Al termine del blocco di prova lo sperimentatore lasciava la stanza e la prova aveva inizio. I trial di apprendimento non sono stati considerati nelle analisi statistiche.

Analisi statistiche

Anche in questo caso è stata adottata la stessa procedura di riduzione dei dati descritta nel capitolo precedente. I dati così ottenuti sono stati analizzati per mezzo di una serie di ANOVA con un fattore (tipo di compito) e due livelli (ANT originale e ANT modificato) in modo da confrontare la presenza di eventuali differenze significative nella stima dei principali elementi indagati dal test ANT. L'efficienza dei tre network è stata calcolata secondo le modalità fornite da Posner (Fan et al., 2002) e già descritte nella sezione "Analisi statistiche" del primo capitolo sperimentale.

Pertanto sono state effettuate 5 distinte analisi della varianza allo scopo di osservare la sensibilità dei due test per: tempi di reazione, accuratezza, alerting, orienting, executive control.

RISULTATI

Nessuno dei 5 confronti ha messo in evidenza una qualche differenza significativa tra le due versioni del test ANT.

Per quanto riguarda i tempi di reazione, i valori medi sono risultati essere pressoché sovrapponibili (477 ± 40 msec per la versione originale, 476 ± 42 msec per quella modificata) nonostante la minor durata della nuova versione. Nessuna differenza è emersa neppure dall'analisi dell'accuratezza, il che significa che la modifica apportata non ha reso il test in qualche modo più facile rispetto alla versione precedente.

Andando a considerare la capacità di fornire una stima dell'efficienza dei singoli network attenzionali, anche in questo caso i due test non si sono rivelati significativamente diversi tra loro. I due compiti si sono pertanto dimostrati ugualmente sensibili.

Nella tabella 5 sono riportati tutti i confronti considerati.

Parametri	Tipo di Compito	Media	DS
Tempi di Reazione	Originale	477	± 40
Tempi di Reazione	Breve	476	± 42
Accuratezza	Originale	0,98	$\pm 0,02$
Accuratezza	Breve	0,97	$\pm 0,02$
Alerting	Originale	36	± 19
Alerting	Breve	26	± 18
Orienting	Originale	40	± 19
Orienting	Breve	40	± 16
Executive Control	Originale	82	± 26
Executive Control	Breve	68	± 28

Tab. 5: risultati ottenuti mediante le due versioni dell'ANT

DISCUSSIONE

Appare evidente come la versione modificata si sia rivelata uno strumento ugualmente valido per la valutazione dell'efficienza dell'attenzione. Vista l'assenza

di differenze significative tra i due compiti e considerato il fatto che la versione modificata si è dimostrata essere adeguata nella sua capacità di fornire dei risultati in linea con quanto riportato anche da Posner (Fan et al., 2002), si è ritenuto che la sua minor durata potesse essere una caratteristica interessante da valutare anche in condizioni di debito di sonno. Pertanto esso è stato inserito tra gli strumenti utilizzati nell'esperimento successivo.

ESPERIMENTO 3

Deprivazione parziale di sonno

INTRODUZIONE

Nonostante possa sembrare evidente l'importanza che una notte di sonno ha per garantirsi una mente e un corpo sani, da qualche anno la tendenza della società è quella di guardare con favore a quelle persone che affermano di essere sempre attive e di riservare al riposo soltanto poche ore per notte. Questa tendenza non sembra risparmiare neppure la realtà estremamente competitiva dei laboratori scientifici sparsi in tutto il mondo. Pertanto, l'idea che molte persone abbiano successo anche grazie al poco tempo dedicato al sonno, ha rafforzato negli anni la percezione comune che il sonno sia una perdita di tempo. Si stima che nei paesi industrializzati questa percezione distorta porti a dormire anche il 20% in meno rispetto ad un secolo fa, con gravi conseguenze per la sanità pubblica. Evidenze cliniche collegano infatti la mancanza di sonno a sbalzi d'umore, depressione e stati d'ansia. Inoltre, gli incidenti stradali dovuti ad un'eccessiva sonnolenza sono una vera e propria piaga sociale. Anche disastri come quello che nel 1986 ha riguardato la centrale nucleare di Chernobyl o che tre anni dopo ha coinvolto la petroliera Exxon Valdez sono in larga parte attribuibili ad errori dovuti principalmente a mancanza di sonno da parte del personale in quel momento in turno. Di recente, proprio durante la stesura del presente lavoro ha generato grande scalpore il tragico incidente alle acciaierie della Thyssen Krupp a Torino dove 7 operai, al lavoro da 12 ore consecutive, hanno perso la vita.

Tutte queste considerazioni dovrebbero catturare di per sé l'attenzione dei ricercatori e invece, come osserva Lavie (1999), stranamente gli effetti di una limitazione del sonno hanno da sempre suscitato un interesse minore rispetto alla mancanza totale di sonno. Le situazioni in cui una persona si trova a dormire di meno sono molto più comuni nella vita quotidiana e riguardano sia le persone che affrontano quotidianamente per lavoro dei turni nelle fabbriche sia i giovani che ogni weekend rimangono svegli a divertirsi fino a notte inoltrata.

Gli studi che indagano gli effetti di una deprivazione parziale di sonno hanno tradizionalmente avuto come obiettivo quello di individuare se esista una quantità

ottimale di sonno al di sotto della quale le prestazioni di un individuo iniziano a peggiorare. Sostanzialmente il dibattito si è concentrato tra coloro i quali ritengono esista un numero minimo di ore di sonno uguale per tutti, indispensabile per un pieno recupero delle funzionalità cognitive (Horne, 1988), e chi invece sostiene l'impossibilità di stabilire un unico limite valido per l'intera popolazione (Carskadon e Roth, 1991). Secondo Horne (1988) esisterebbero ad esempio due tipi distinti di sonno, uno essenziale (core sleep) e l'altro opzionale (optional sleep). Soltanto il primo sarebbe un sonno caratterizzato da qualità indispensabili alla sopravvivenza e la sua durata si attesterebbe attorno alle sei ore per notte. Carskadon e Roth (1991) però hanno dimostrato sperimentalmente come per alcuni soggetti questo limite sia insufficiente, mettendo in dubbio la possibilità di adottare un solo valore per tutte le persone. In maniera salomonica Lavie (1999), sulla base dei molti casi da lui studiati, ritiene che il bisogno di sonno abbia con ogni probabilità una distribuzione normale che va da un minimo di quattro ore e mezzo ad un massimo di dieci ore e mezzo. In base a questa stima, il 65% degli adulti sani dormirebbe in media una quantità di sonno variabile tra le sei ore e mezzo e le otto ore e mezzo.

Uno studio classico in quest'ambito è quello di Wilkinson (Wilkinson et al., 1966). Negli anni sessanta egli esaminò, nell'arco di sei settimane, gli effetti sulla prestazione di una notte di riduzione di sonno monitorando sei diverse condizioni che andavano da una notte di deprivazione totale ad una notte in cui i partecipanti dormivano per sette ore. I risultati misero in evidenza un decremento significativo della vigilanza nelle prove in cui le persone dormivano meno di cinque ore. Per osservare un peggioramento nelle prestazioni cognitive occorreva invece attendere le condizioni sperimentali in cui ai partecipanti era concesso di dormire per meno di tre ore. In uno studio simile Hartley e Shirley (1977; cit. in Bonnet, 2000) trovarono anch'essi un peggioramento nei compiti di vigilanza se alle persone veniva chiesto di dormire meno di quattro ore. Ciò che Carskadon e Roth (1991) sottolineano nella loro rassegna è l'impossibilità di rilevare un limite univoco al di sotto del quale la prestazione peggiori per ogni individuo indistintamente.

In merito agli effetti che una riduzione di sonno più o meno protratta nel tempo può produrre sulla vigilanza complessiva e su prestazioni più specifiche, essi sembrano essere sostanzialmente simili a quelli osservabili in seguito ad una notte di

deprivazione totale di sonno (Bonnet e Arand, 2003). Questa conclusione sembra aver ricevuto sufficienti conferme per quanto riguarda un peggioramento a carico della vigilanza. Viceversa, i pochi studi presenti in letteratura che hanno cercato di indagare eventuali deficit a carico di specifiche funzioni cognitive hanno rilevato delle disomogeneità che invitano ad approfondire la tematica. Ad esempio, in uno studio in cui i partecipanti venivano sottoposti ad una riduzione di sonno a tre ore è stato riscontrato, utilizzando il paradigma di Posner (Posner, 1980), come i meccanismi sottostanti all'orientamento dell'attenzione vengano colpiti selettivamente e in maniera diversa dalla diminuzione del livello di vigilanza (Versace et al., 2006). Casagrande invece, utilizzando lo stesso paradigma in una situazione di deprivazione totale, ha riscontrato un peggioramento generalizzato a carico di tutte le componenti (Casagrande et al., 2006). Risultati di questo tipo supporterebbero pertanto l'idea che gli effetti di una notte di sonno ridotto sulla vigilanza, pur essendo simili a quelli seguenti ad una notte completamente insonne, risultano essere sostanzialmente diversi nei casi in cui si vada a considerare una specifica componente cognitiva come l'orientamento implicito dell'attenzione. Alcuni studi, seppur in ambito evolutivo, si sono dedicati allo studio degli effetti della riduzione di sonno sulle cosiddette funzioni esecutive. Anche in questo caso, i risultati non sono concordi. Randazzo, Muehlbach, Schweitzer e Walsh (1998) hanno riscontrato un peggioramento a carico di creatività verbale e pensiero astratto in adolescenti tra i 10 e i 14 anni già dopo una restrizione di una notte soltanto a cinque ore di sonno. Viceversa Fallone, studiando le prestazioni cognitive di ragazzi di età paragonabile a quella considerata nell'esperimento di Randazzo, non ha osservato il medesimo deficit a carico delle funzioni esecutive nonostante la restrizione prevedesse una situazione ancora più rigida, in quanto ai partecipanti era consentito di dormire per non più di quattro ore (Fallone et al., 2001).

Alla luce di quanto detto appare pertanto evidente come siano ancora pochi gli studi che si sono interessati agli effetti che una sola notte di riduzione di sonno può avere sulle prestazioni cognitive umane.

La manipolazione sperimentale effettuata nel presente esperimento prevedeva una riduzione di sonno a 3 ore, con risveglio anticipato. La scelta di valutare una simile

quantità di sonno era legata al fatto che, pur essendo sicuramente una quantità inadeguata per consentire alla persona un pieno recupero delle proprie funzionalità cognitive, allo stesso tempo essa rappresentava un numero di ore che in alcuni studi si è rivelato sufficiente per mantenere alcune prestazioni intatte, probabilmente in quanto corrispondente a due cicli completi del sonno (Wilkinson et al., 1966). Si è scelto inoltre di utilizzare una riduzione che prevedesse un risveglio anticipato per evitare di intaccare la normale architettura del sonno dei partecipanti all'esperimento. L'ipotesi di fondo che ha guidato il presente esperimento si basava sull'idea che una manipolazione sperimentale di questo tipo sarebbe stata in grado di produrre un calo della vigilanza rilevabile dalla media delle latenze di risposta al test, seppur in misura minore rispetto ad una condizione di privazione totale. Inoltre, se è vera l'ipotesi secondo cui gli effetti della riduzione di sonno sono qualitativamente simili a quelli prodotti da una notte di privazione totale, anche in questo esperimento nel test ANT ci saremmo dovuti aspettare un peggioramento selettivo dell'efficienza attenzionale esclusivamente a carico della componente esecutiva dell'attenzione. Allo stesso modo con lo Stop Signal Task, in base all'ipotesi di partenza, ci aspettavamo di osservare un peggioramento nella capacità di inibire la risposta al test come osservato nell'esperimento precedente.

METODO

Soggetti

All'esperimento hanno partecipato 24 soggetti (7 maschi), studenti universitari (età media $22,84 \pm 2,06$). I soggetti che hanno partecipato all'esperimento sono stati selezionati all'interno di un campione più ampio che aveva risposto ad un questionario finalizzato ad indagare le abitudini sonno-veglia e la presenza di eventuali patologie del sonno. I soggetti selezionati non assumevano farmaci, erano in buona salute e presentavano abitudini sonno-veglia simili al regime che sarebbe stato richiesto nelle condizioni di baseline dell'esperimento. Alle persone selezionate veniva inoltre richiesto di compilare il MEQ (Horne e Ostberg, 1976) per valutarne la tipologia circadiana ed eventualmente scartare le persone con punteggi estremi sulla scala. Per la partecipazione era prevista una ricompensa in crediti formativi.

Materiale

Sono stati ovviamente utilizzati gli stessi test dell'esperimento precedente, l'Attention Network Test e lo Stop Signal Task. La versione dell'ANT utilizzata per questo esperimento era quella descritta nel secondo capitolo sperimentale. Come già descritto, essa è identica alla versione originale fornita da Posner (Fan et al., 2002) differendone soltanto per l'assenza delle prove neutre. Soprattutto, anche questa versione è risultata essere in grado di discriminare correttamente l'efficienza delle componenti attenzionali previste da Posner (Posner e Raichle, 1994).

La versione dell'SST risultava invece essere la stessa descritta nel paragrafo "Materiale" del primo esperimento. Rispetto all'esperimento precedente si è preferito in questo caso relegare la parte del compito atta a costruire una risposta dominante nella fase di apprendimento. Così facendo nelle sessioni sperimentali venivano presentati soltanto i blocchi sperimentali in cui la comparsa degli stop trial poteva avvenire sin dall'inizio. Lo Stop Task in questo caso era costituito da 4 blocchi distinti, l'uno identico all'altro, di 48 trial ciascuno (36 go e 12 stop).

I due compiti sono stati presentati ai soggetti in ordine casuale all'interno delle sessioni di prova. Le modifiche apportate hanno consentito di rendere la sessione sperimentale ancora più rapida, richiedendo complessivamente 20 minuti circa (13 per l'ANT, poco più di 7 per l'SST).

Anche in questo esperimento era prevista la somministrazione delle scale soggettive SSS e GVAS.

Procedura

Il protocollo sperimentale era molto simile a quello previsto per l'esperimento in deprivazione totale di sonno.

Inizialmente era prevista una fase di apprendimento, precedente all'inizio delle condizioni sperimentali, in cui ciascun soggetto era tenuto a svolgere delle prove di pratica ai test allo scopo di evitare che gli effetti delle manipolazioni sperimentali potessero essere mascherati dalla presenza di artefatti dovuti al non completo esaurimento della curva di apprendimento.

L'esperimento era costituito da due condizioni sperimentali: baseline e riduzione di sonno. La misurazione diurna dei livelli di performance veniva effettuata in un'unica

sessione da svolgersi alle 9 di mattina. Le due condizioni sperimentali sono state effettuate in ordine controbilanciato tra i soggetti, separate da un intervallo di sette giorni l'una dall'altra. Come già accennato nel paragrafo introduttivo, la riduzione di sonno con risveglio anticipato ha consentito di evitare di intaccare la normale architettura del sonno dei partecipanti all'esperimento eliminando tra l'altro qualsiasi effetto di distorsione legato all'inerzia del sonno.

Durante la condizione di baseline i soggetti si presentavano presso il laboratorio del sonno alla mattina alle 8.30 dopo aver trascorso una regolare notte di sonno a casa. Il sonno precedente alla sessione di prova veniva monitorato attraverso un attigrafo (Actigraph, Ambulatory Monitoring, USA), strumento in grado di monitorare lo stato di veglia della persona rilevandone il movimento durante l'intero arco della giornata. La prova veniva effettuata soltanto nel caso in cui i dati raccolti dallo strumento avessero confermato che ciascun partecipante aveva dormito per un periodo minimo di 7 ore nel corso della notte e non aveva avuto dei periodi di sonno durante la giornata precedente. La sessione sperimentale aveva inizio alle ore 9.00 con la compilazione delle due scale soggettive.

La condizione di riduzione iniziava con una notte di adattamento in cui i soggetti erano tenuti a dormire all'interno del laboratorio di psicofisiologia del sonno di Trieste. Essi potevano dormire ininterrottamente da mezzanotte alle otto del mattino successivo. L'adattamento aveva lo scopo di consentire la valutazione delle caratteristiche oggettive del sonno di ciascun soggetto, permettendo inoltre agli stessi di abituarsi alla stanza del laboratorio. Durante la notte di adattamento veniva effettuata una registrazione polisonnografica allo scopo di verificare la qualità del sonno dei soggetti. A tale scopo venivano utilizzati tre canali EEG (F3-A1; F4-A1; Fz-A2) secondo il Sistema Internazionale 10-20 (Jasper, 1958), due canali EOG (posizionati in prossimità del canto dell'occhio destro e sinistro, con derivazione monopolare A1) e un canale EMG (in posizione submentale, con derivazione bipolare), come indicato dal manuale di Rechtschaffen e Kales (1968).

Il mattino seguente i partecipanti lasciavano il laboratorio ed erano liberi di svolgere le loro attività quotidiane salvo poi ripresentarsi la sera stessa alle ore 22.00 per la notte di riduzione. Ai soggetti venivano nuovamente posizionati gli elettrodi per la polisonnografia notturna, dopo di che venivano messi a letto a mezzanotte e svegliati

dopo circa tre ore dal momento in cui il soggetto veniva definito come addormentato. Il criterio scelto era quello di aspettare la comparsa sui canali EEG della prima di tre epoche consecutive di stadio 1 (Rechtschaffen e Kales, 1968). I risvegli venivano effettuati per quanto possibile sempre nel corso dello stesso stadio, lo Stadio 2. Va detto peraltro che tale accorgimento, per la strutturazione stessa del protocollo sperimentale, non risultava essere fondamentale in quanto la sessione di prova veniva effettuata almeno cinque ore dopo il risveglio, quando qualsiasi eventuale effetto legato alla sleep inertia era stato sicuramente dissipato. Una volta svegli, ai soggetti veniva richiesto di rimanere all'interno del laboratorio. Essi erano peraltro liberi di svolgere qualsiasi attività. Alle 9.00 del mattino aveva inizio la sessione di raccolta dei dati relativi al livello della performance dei soggetti per l'ANT e l'SST. I due compiti venivano presentati in ordine controbilanciato e il loro svolgimento era sempre preceduto dalla compilazione delle scale soggettive. Al termine della sessione sperimentale i soggetti erano liberi di lasciare il laboratorio.

Per i soggetti che dimostravano di non essere in grado di portare a termine una notte di sonno regolare, durante l'adattamento o nel corso della notte di riduzione, l'esperimento veniva interrotto.

Analisi statistiche

Per quanto riguarda le scale soggettive sono stati utilizzati gli stessi criteri descritti nel paragrafo "Analisi statistiche" del primo esperimento.

Per il test ANT, prima di calcolare le medie dei tempi di reazione nei due compiti utilizzati, anche in questo caso si è messa in atto la procedura descritta nella sezione "Analisi statistiche" del primo esperimento. Latenze medie di risposta e accuratezza sono state analizzate per mezzo di due distinte ANOVA a una via a 2 livelli (baseline e riduzione).

L'efficienza dei tre network è stata calcolata secondo le modalità descritte da Posner (Fan et al., 2002) e riportate nella sezione "Analisi statistiche" del primo capitolo sperimentale. Le medie così ottenute dell'efficienza di ciascuna delle tre componenti rilevate dal compito (alerting, orienting, executive control) sono state analizzate per mezzo di tre distinte ANOVA a una via (e a 2 livelli).

Come già descritto nell'esperimento di deprivazione totale, è risultato utile analizzare ciascuna componente considerando soltanto i tipi di prova dai quali le componenti stesse vengono stimate. Pertanto, per ciascuna componente è stata effettuata un'analisi della varianza a ripetizione completa a 3 vie. Poiché in questa versione del compito non erano presenti i flanker di tipo neutro, per l'alerting sono stati considerati i fattori condizione a 2 livelli (baseline e riduzione), tipo di cue a 2 livelli (no cue e doppio cue) e tipo di flanker a 2 livelli (congruente e incongruente). Per l'orienting il disegno fattoriale era lo stesso salvo il fatto che i due livelli inseriti nell'analisi per il tipo di cue erano il cue centrale e il cue orientante. Infine per l'executive control l'analisi prevedeva, oltre al fattore condizione (baseline e riduzione), il fattore tipo di cue a 4 livelli (no cue, cue centrale, doppio cue, cue orientante) e il fattore tipo di flanker a 2 livelli (congruente e incongruente).

Per lo Stop Task, l'SSRT è stato ottenuto secondo le modalità descritte da Logan (Logan et al., 1997) e riportate nel paragrafo "Analisi statistiche" del primo capitolo sperimentale. Esso è stato utilizzato come variabile dipendente in un'ANOVA a una via con 2 livelli (baseline e riduzione).

La media dei tempi di reazione è stata calcolata prendendo in considerazione tutte le prove di tipo go presenti nel compito in quanto nell'esperimento di riduzione tutti i blocchi presentati erano costituiti da trial di tipo go alternati a trial di tipo stop. Le latenze medie di risposta così ottenute sono state utilizzate come variabile dipendente in una ANOVA a misure ripetute con due fattori: il primo costituito dalla quantità di sonno dormita (fattore condizione) a 2 livelli (baseline, riduzione) e il secondo dal tipo di prova, anche in questo caso a 2 livelli (congruente e incongruente).

Infine, per l'analisi dell'accuratezza è stata utilizzata un'analisi della varianza a una via con 2 livelli.

RISULTATI

Rispetto al campione iniziale, i risultati si riferiscono a 19 soggetti (4 maschi) dell'iniziale campione composto da 24 partecipanti. Dei 5 esclusi, 4 non sono stati in grado di addormentarsi o comunque di dormire adeguatamente durante la notte di adattamento, uno soltanto durante la notte di riduzione. In questi casi pertanto non è stato possibile proseguire l'esperimento.

Dati fisiologici

Lo scoring delle registrazioni del sonno di ciascun soggetto è stato effettuato secondo i criteri adottati da Rechtschaffen e Kales (1968). Sulla base dello scoring, sono stati calcolati i parametri del sonno per le notti di adattamento e di riduzione, riportati in tabella 6.

Condizione	TST	St. 1 (%)	St. 2 (%)	SWS (%)	REM (%)	MT+W (%)
Adattamento	441,58	5,34	49,05	18,06	21,75	5,8
Riduzione	178,37	6,08	45,76	29,98	12,45	5,73

Tab. 6: *legenda* – TST, total sleep time; St.1, stadio 1; St.2, stadio 2; SWS, Slow Wave Sleep; MT, Movement Time; W, veglia trascorsa a letto

E' possibile osservare come, anche in condizione di riduzione, il tempo totale di sonno trascorso a letto (TST) e la percentuale di tempo trascorso in ciascuno stadio siano rappresentati secondo la norma.

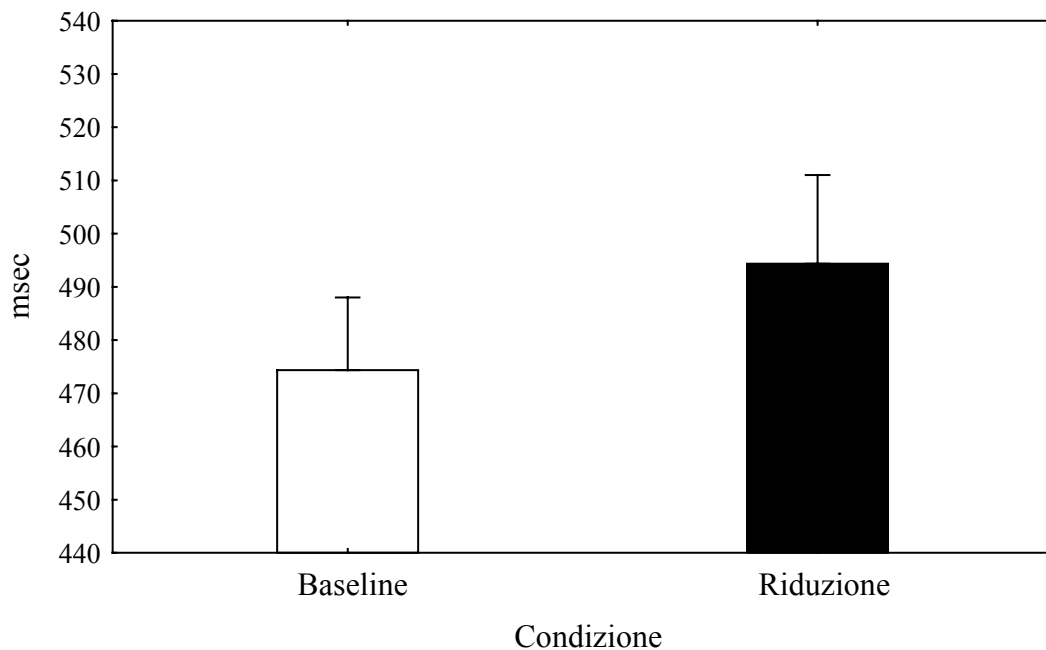
Scale soggettive

Il test non parametrico di Wilcoxon ha fornito un risultato significativo per quanto riguarda la differenza tra le due condizioni (Mdn=2 in baseline e Mdn=3 in riduzione) per la scala Stanford ($W=13,5$; $p<.05$). L'aumento della sonnolenza percepita da parte dei soggetti nella condizione di riduzione garantisce pertanto l'efficacia della manipolazione effettuata. Anche l'analisi della varianza effettuata sull'indice Vigor della scala GVAS (72 ± 13 in baseline e 46 ± 23 in riduzione) ha fornito un risultato significativo per quanto riguarda l'effetto principale condizione ($F_{1,18}=23,8$; $p<.001$). Viceversa, l'ANOVA effettuata sui dati ottenuti per l'indice Affect (79 ± 13 in baseline e 74 ± 16 in riduzione) non ha fornito alcun risultato significativo.

Attention Network Test

L'analisi della varianza effettuata sulle latenze di risposta al compito ANT ha evidenziato anche in questo caso un incremento significativo per quanto riguarda l'effetto principale condizione ($F_{1,18}=8,44$; $p<.01$).

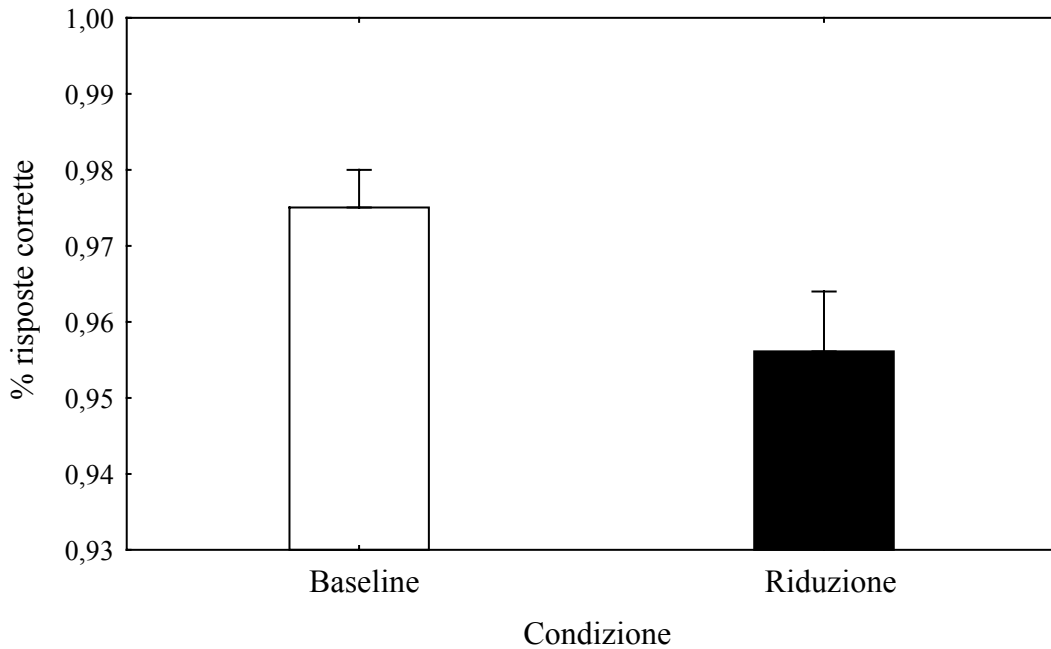
Grafico 6
Attention Network Test
LATENZE MEDIE DI RISPOSTA



I tempi di reazione sono passati da una media di 474 (± 63) msec a 494 (± 74) msec (grafico 6). Il peggioramento osservato è stato pertanto pari a 20 msec, il che sta ad indicare un significativo calo del livello di allerta anche in seguito ad una sola notte di sonno ridotto a 3 ore.

Anche l'ANOVA effettuata partendo dai dati sull'accuratezza (grafico 7) ha messo in luce un peggioramento significativo ($F_{1,18}=12,05$; $p<.01$) tra la condizione di baseline ($0,98 \pm 0,022$) e quella di riduzione ($0,96 \pm 0,035$).

Grafico 7
Attention Network Test
ACCURATEZZA

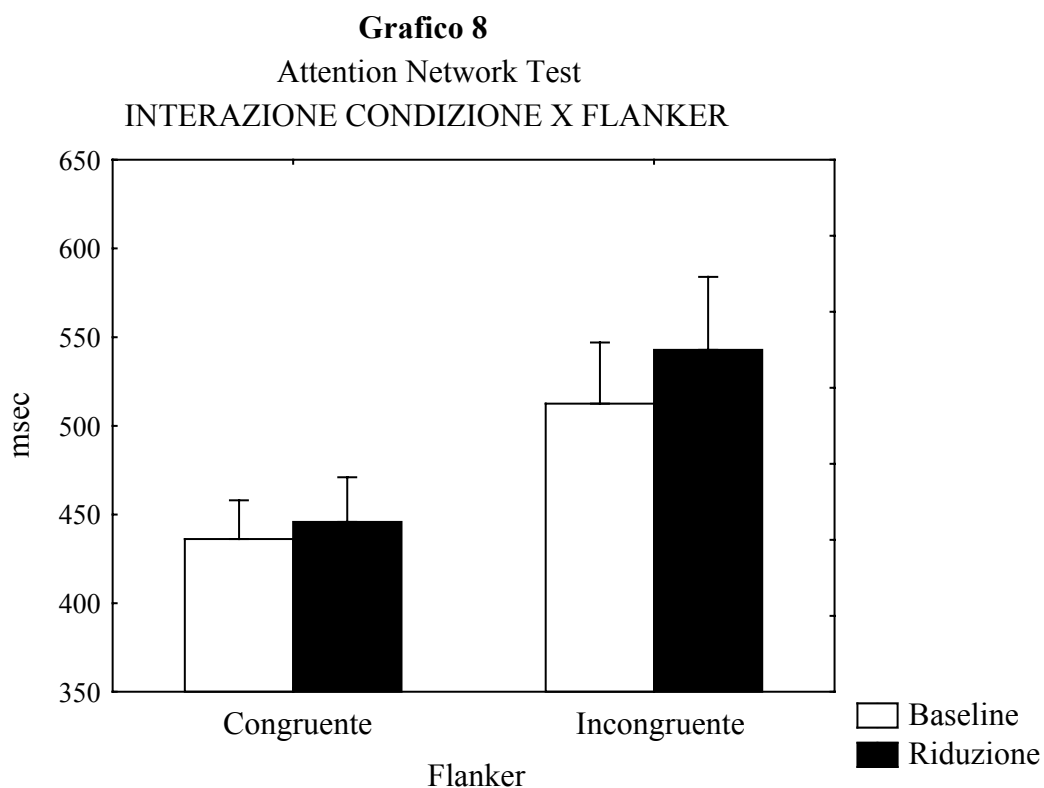


Per quanto riguarda l'efficienza dei tre network attenzionali definiti da Posner, l'ANOVA effettuata sull'indice medio della stima dell>alerting non ha rilevato nessuna differenza significativa tra le condizioni di baseline e quella di riduzione. Lo stesso risultato è stato ottenuto dall'analisi effettuata sull'indice medio dell'orienting. Invece, la stima dell'efficienza dell'executive control registrata nel corso della condizione di riduzione (97 ± 40 msec) è risultata significativamente peggiore di quella osservata durante la condizione di baseline (76 ± 32 msec), per una differenza tra le due condizioni sperimentali pari a 21 msec ($F_{1,18}=10,48$; $p<.01$).

Network	Condizione	Media	DS
Alerting	Baseline	25	± 14
Alerting	Riduzione	26	± 27
Orienting	Baseline	47	± 18
Orienting	Riduzione	44	± 26
Executive Control	Baseline	76	± 32
Executive Control	Riduzione	97	± 40

Tab. 7: ANT – efficienza dei tre network attenzionali nelle due condizioni sperimentali

Entrando nel dettaglio delle singole componenti, sono stati effettuati dei confronti a coppie partendo dall'interazione rilevata dall'ANOVA ed effettuata sui tempi di risposta ai flanker congruenti e incongruenti che contribuiscono alla stima dell'executive control (grafico 8).



Tali confronti hanno messo in evidenza una differenza significativa tra i due gruppi per le latenze medie di risposta ai flanker incongruenti ($F_{1,18}=10,04$; $p<.01$). Nessun risultato significativo è stato ottenuto invece nello stesso tipo di confronto per i flanker congruenti. Nel primo caso la differenza osservata tra le due medie era di 30 msec, nel secondo caso di 10 msec soltanto.

L'analisi della varianza effettuata sui tempi di risposta ai trial del tipo no cue e doppio cue, con i quali viene stimata la componente dell'alerting, non ha invece messo in evidenza alcuna interazione significativa tra il fattore condizione e il tipo di cue. I confronti a coppie effettuati, allo scopo di rilevare eventuali differenze nell'andamento dei singoli cue nelle diverse condizioni, hanno evidenziato però una differenza significativa sia per i trial di tipo no cue ($F_{1,18}=7,95$; $p<.05$) sia per quelli di tipo doppio cue ($F_{1,18}=13,31$; $p<.01$) tra le medie in condizione di sonno normale e di sonno ridotto.

Tipo di cue	Condizione	Media	DS
No Cue	Baseline	502	± 77
No Cue	Riduzione	527	± 103
Doppio Cue	Baseline	477	± 81
Doppio Cue	Riduzione	501	± 92
Cue Centrale	Baseline	482	± 80
Cue Centrale	Riduzione	497	± 94
Cue Orientante	Baseline	436	± 64
Cue Orientante	Riduzione	453	± 82

Tab. 8: ANT – tempi di reazione ai diversi tipi di cue nelle due condizioni sperimentali

Andando a considerare invece l'orienting, anche in questo caso l'ANOVA condotta sulle latenze di risposta ai trial di tipo cue centrale e cue orientante non ha permesso di rilevare alcuna interazione significativa tra la condizione sperimentale e il tipo di cue. In questo caso però né la differenza tra la media della condizione di baseline e quella della condizione di riduzione (pari a 14 msec) osservata per i trial con cue centrale né la stessa differenza (pari a 17 msec) calcolata per i trial con cue orientante hanno raggiunto una piena significatività statistica.

Stop Signal Task

La tabella 9 riporta tutti i parametri principali analizzati per quanto riguarda lo Stop Signal Task. In maniera alquanto sorprendente, le analisi dei dati effettuate non hanno messo in luce alcun effetto significativo né per quanto riguarda le latenze di risposta allo Stop Signal Task né in riferimento alla stima del processo di inibizione (SSRT).

Parametri	Condizione	Media	DS
SSRT	Baseline	217	± 43
SSRT	Riduzione	200	± 34
Tempi di Reazione	Baseline	480	± 89
Tempi di Reazione	Riduzione	475	± 70
Accuratezza	Baseline	0,94	± 0,032
Accuratezza	Riduzione	0,94	± 0,031

Tab. 9: parametri principali rilevati dallo Stop Signal Task

DISCUSSIONE

I risultati ottenuti con il presente esperimento vanno necessariamente divisi in due parti. Contrariamente all'esperimento effettuato in condizioni di deprivazione totale di sonno infatti, i risultati ottenuti per mezzo dei due test in riduzione si sono rivelati estremamente diversi tra loro. Trattandosi di un dato alquanto inaspettato, appare quanto mai utile per chiarezza di esposizione considerare in primis i risultati ottenuti con il test ANT, per poi discutere le eventuali motivazioni alla base dei risultati inaspettati ottenuti con lo Stop Task.

Relativamente allo studio delle variazioni sia della vigilanza che dell'efficienza delle componenti attenzionali in condizioni di sonno ridotto, il test ANT si è rivelato ancora una volta uno strumento valido per gli obiettivi della ricerca. L'incremento significativo osservato per i tempi di reazione dimostra come la riduzione di sonno abbia determinato l'abbassamento del livello di attivazione dei soggetti. Lo stesso si può dire per quanto riguarda la differenza riscontrata nell'accuratezza. Come nel primo esperimento, i peggioramenti possono essere dunque attribuiti

all'abbassamento tonico del livello di vigilanza. Occorre sottolineare il fatto che le tre ore di sonno previste dal protocollo sperimentale, pur potendo sembrare un periodo particolarmente breve da un punto di vista ecologico, in realtà sono una quantità che in psicofisiologia del sonno non sempre è stata in grado di portare a peggioramenti significativi in determinate prestazioni cognitive (Fallone et al., 2001; Wilkinson et al., 1966). Inoltre la sessione sperimentale di prova prevista dal protocollo sperimentale era soltanto una per cui i risultati non sono stati influenzati negativamente dalla stanchezza accumulata nel corso della giornata e questo ha senza dubbio contribuito a contenere il divario tra le due condizioni sperimentali. Va ricordato poi che, rispetto al primo esperimento, il test ANT è stato ridotto rispetto alla versione originale. L'eliminazione delle prove neutre ha infatti portato il tempo complessivo di esecuzione dai 20 minuti della versione originale ai 13 minuti della versione utilizzata nel presente esperimento. La minor durata del test utilizzato può dunque aver contribuito a ridurre l'entità dell'incremento dei tempi di reazione. Nonostante tutti questi elementi, l'ANT si è dimostrato anche in questo caso un test sensibile e pertanto in grado di rilevare le variazioni individuali del grado di vigilanza tra le due condizioni.

Così come osservato nell'esperimento precedente, l'ipotesi che gli effetti della riduzione di sonno siano attribuibili ad un generico abbassamento delle risorse attentive non è supportata dai risultati ottenuti in merito all'efficienza dei tre network attenzionali. Ancora una volta infatti, mentre le componenti dell>alerting e dell'orienting sembrano non subire variazioni significative in condizioni di sonno ridotto, la differenza in termini di millisecondi dell'efficienza della componente dell'executive control afferente alla PFC è risultata essere di 20 millisecondi, un valore pari a quello osservato nell'esperimento di deprivazione totale. Anche questo dato dunque sembra supportare l'ipotesi che una quantità di sonno inadeguata possa alterare in qualche modo selettivamente le funzioni afferenti alla corteccia prefrontale (Jones e Harrison, 2001). Il dato è rilevante poiché ottenuto per mezzo di una manipolazione che consentiva ai partecipanti una data quantità di sonno, sicuramente non sufficiente per un pieno recupero, ma ad ogni modo meno invasiva di una situazione di veglia prolungata. Risultano interessanti inoltre i dati emersi dall'analisi delle interazioni ottenute sulla base dei soli trial con i quali le singole

componenti vengono stimate. Contrariamente a quanto avvenuto nell'esperimento di deprivazione totale, il peggioramento riscontrato nell'efficienza del controllo esecutivo sembra essere esclusivamente a carico delle prove in cui il flanker presentato è di tipo incongruente. I confronti a coppie effettuati all'interno dell'interazione tra la condizione e il tipo di flanker mettono in evidenza infatti come le prove con flanker congruente non abbiano tempi di reazione significativamente diversi tra le due condizioni, mentre la significatività si manifesta per le prove con flanker incongruente ($p < .01$). Sembrerebbe pertanto che i soggetti, dopo aver dormito per 3 ore, siano in grado di mantenere una prestazione adeguata almeno nel caso in cui le prove siano facilitate da un flanker congruente, contrariamente a quanto registrato in condizioni di mancanza totale di sonno dove entrambe le prove subivano un notevole peggioramento.

Andando a considerare le altre due componenti, anche in questo caso si possono osservare delle caratteristiche sostanzialmente diverse a fronte dello stesso risultato relativo all'efficienza complessiva. Nel caso dell>alerting per esempio, i confronti pianificati effettuati per i due tipi di cue relativi a questa componente sembrano supportare l'idea che il calo della vigilanza abbia comportato un rallentamento generalizzato dei tempi di reazione a questi specifici trial. Pertanto, l'assenza di peggioramento a carico di questa componente sarebbe dovuto, così come per l'esperimento di deprivazione, ad un peggioramento uniformemente distribuito tra le prove con doppio cue e quelle senza cue.

Viceversa, i confronti pianificati effettuati per analizzare in maniera più approfondita la componente dell'orienting sembrano mostrare uno scenario diverso. Le differenze tra la condizione di baseline e la condizione di riduzione non hanno raggiunto la piena significatività statistica né nel caso delle prove con il cue centrale né in quelle con il cue orientante. La differenza osservata, rispettivamente di 14 e 17 millisecondi, non ci permette di concludere che la riduzione di sonno effettuata non ha influito in alcun modo sulle componenti legate all'orientamento, ma di certo invita a una riflessione attenta.

Nel loro complesso questi dati, pur non essendo pienamente confrontabili in quanto ottenuti utilizzando due compiti seppur in minima parte diversi tra loro, meritano comunque una riflessione perlomeno da un punto di vista descrittivo. Le differenze a

carico delle singole componenti rilevate dal test ANT nel corso dei due esperimenti fin qui descritti sono infatti sostanziali. Mentre in seguito a deprivazione totale tutti i tipi di prova sembrano subire un peggioramento significativo di una certa entità, nella condizione di riduzione il fatto che i partecipanti abbiano l'opportunità di dormire per tre ore sembra influenzare in maniera diversa la prestazione degli stessi. La prima differenza si osserva già nelle latenze medie di risposta tra la condizione di baseline e quella di deprivazione, che in un caso è stata di 57 millisecondi, nell'altro di soli 20 millisecondi. Questa prima differenza potrebbe essere spiegata dalla minor durata del test utilizzato nel secondo esperimento. Se così fosse però la prestazione dovrebbe essere caratterizzata dallo stesso andamento in tutti i tipi di prova. Invece, come riportato sopra, nel presente esperimento soltanto nel caso dell'alerting il peggioramento ha riguardato entrambi i tipi di cue. Viceversa, la rete attenzionale dell'orienting non ha subito un peggioramento significativo né per le prove con cue centrale né in quelle con cue orientante, mentre il deficit osservato per il controllo esecutivo si è rivelato essere interamente a carico delle prove di tipo incongruente. Inoltre, nonostante il calo della vigilanza sembri essere di entità inferiore rispetto a quello osservato in situazione di deprivazione, il peggioramento dell'efficienza della rete attenzionale dell'executive control appare essere della stessa entità.

Relativamente alla capacità di inibire una risposta dominante, i risultati ottenuti allo Stop Signal Task sono di difficile interpretazione. Le analisi effettuate non hanno messo in evidenza alcun risultato significativo. Ciò che risulta essere difficilmente spiegabile è in particolar modo la mancanza di significatività tra le differenze dei tempi di reazione medi osservati nelle condizioni di baseline e di riduzione. Essendo infatti evidente il calo di vigilanza seguente alla manipolazione sperimentale, rilevato sia dalle medie delle latenze di risposta al test ANT sia dai risultati delle scale soggettive, è quanto meno anomala l'assoluta mancanza di un qualsiasi peggioramento a carico dei tempi di reazione allo Stop Task. Ciò non bastasse, anche la percentuale di risposte corrette sembra rimanere inalterata tra le due condizioni.

L'assenza di un peggioramento a carico dell'SSRT si sarebbe potuta interpretare ipotizzando l'esistenza di un numero minimo di ore di sonno sufficienti a mantenere intatta l'efficienza dell'inibizione di una risposta dominante, contrariamente a quanto

osservato per l'attenzione. La mancanza di risultati significativi relativamente alla vigilanza ci impedisce però una qualsiasi valutazione in tal senso. Una possibile spiegazione consiste nella diversa difficoltà dei due compiti: l'SST, essendo costituito da lettere, potrebbe essersi rivelato un compito più difficile da svolgere per i soggetti rispetto all'ANT (costituito da frecce). Lo Stop Task si sarebbe pertanto rivelato adatto ad una manipolazione sperimentale rigida come la deprivazione totale di sonno, viceversa non sufficientemente sensibile per una riduzione a tre ore di sonno.

Ad ogni modo, nel loro complesso i risultati ottenuti nel presente esperimento mostrano chiaramente come lo studio degli effetti della riduzione di sonno sulle prestazioni cognitive necessitino di una maggior attenzione da parte degli studiosi. Infatti, mentre lo studio delle conseguenze di un periodo di veglia prolungata è stato affrontato in maniera adeguata seppur nella sua eterogeneità, gli studi relativi alle conseguenze di una notte di sonno ridotto sono ancora molto pochi. Questa constatazione risulta essere per certi versi persino paradossale se si considera il fatto che i pochi risultati fin qui ottenuti, non ultimo quelli del presente esperimento, appaiono estremamente stimolanti in quanto hanno finora tratteggiato un quadro molto più complesso e meno facile da interpretare rispetto alle situazioni sperimentali maggiormente studiate.

ESPERIMENTO 4

Confronto in veglia tra due versioni dello Stop Signal Task

INTRODUZIONE

L'esperimento di deprivazione parziale di sonno ha fornito dei risultati inaspettati per quanto riguarda la capacità degli individui di inibire una risposta dominante. In particolare, la difficoltà ad interpretare in maniera plausibile i dati ottenuti ha reso necessario condurre le opportune riflessioni per una proficua prosecuzione del lavoro ancora da svolgere. Quanto riportato nella discussione del capitolo precedente ha pertanto guidato il presente esperimento. In particolare si è deciso di provare ad apportare delle modifiche nel compito rendendolo più semplice. Per fare ciò, l'accorgimento più opportuno è risultato essere quello di proporre un compito in cui non fosse più prevista una variabile legata alla congruenza/incongruenza dei distrattori. Va detto peraltro che questa variabile, seppur potenzialmente informativa, già nell'esperimento di deprivazione di sonno si era rivelata poco utile in quanto non aveva subito alcuna variazione significativa in seguito al periodo di veglia prolungata previsto. Pertanto si è deciso di rendere il target più semplice eliminando la presenza dei distrattori presentati lateralmente e limitando la difficoltà del compito alla scelta della corretta corrispondenza tasto-lettera.

Anche in questo caso però, così come per i cambiamenti apportati al test ANT e descritti nel secondo esperimento, si è deciso di confrontare preventivamente la versione utilizzata nell'esperimento di deprivazione con la versione modificata dello stesso test. Va detto che la nuova versione proposta non costituisce una assoluta novità rispetto agli studi presenti in letteratura. Come già riportato nel capitolo introduttivo infatti, Logan con il suo stop signal paradigm ha inteso fornire non un test vero e proprio ma piuttosto degli elementi utili per costruire una serie di compiti in grado di valutare l'efficienza della funzione cognitiva inibitoria (Logan e Cowan, 1984). Nel corso di questi anni dunque molti sperimentatori hanno costruito dei compiti tutti diversi tra loro, ma allo stesso modo tutti simili in quanto accomunati dalle indicazioni fornite da Logan. Più precisamente, la versione presentata in questo esperimento è stata già utilizzata con successo in precedenza da Sagaspe (Sagaspe et al., 2007) oltre che dal gruppo di Logan stesso (Schachar, Mota, Logan, Tannock e

Klim, 2000). La validità delle modifiche apportate quindi è già stata confermata sperimentalmente ma sembra comunque opportuno, prima di utilizzare un compito almeno in parte diverso da quello precedente, confrontarlo con la versione precedentemente utilizzata per verificare l'assenza di differenze sostanziali tra i due strumenti.

METODO

Soggetti

All'esperimento hanno partecipato 40 studenti universitari, di età compresa tra 20 e 25 anni, con acuità visiva normale o ricondotta alla norma. Per la partecipazione era prevista una ricompensa in crediti formativi.

Materiale

Ai partecipanti sono state presentate le due versioni dello Stop Signal Task, la prima descritta nel paragrafo "Materiale" dell'esperimento di deprivazione totale, la seconda nel paragrafo introduttivo del presente capitolo.

Come già riportato, la versione modificata differiva da quella iniziale per l'assenza dei flanker in precedenza presenti. Il target era pertanto costituito da una sola lettera, una X o una O, e ciascun soggetto veniva istruito a premere uno dei due tasti a sua disposizione in base alla lettera comparsa sullo schermo. Inoltre, la versione con i flanker era caratterizzata da 6 blocchi: i primi 3 utili ad attivare una risposta dominante (32 trial per ciascun blocco), i secondi 3 invece in cui nel 25% delle prove il soggetto era tenuto a non rispondere in seguito alla comparsa di un segnale acustico (48 trial per ciascun blocco di cui 12 di tipo stop). Complessivamente il test era costituito da 240 trial (96+144) di cui 36 di tipo stop. Nella versione senza i flanker la prima parte priva di segnali acustici è stata ridotta ad un blocco allo scopo di rendere il test più breve. Pertanto nella versione modificata il primo blocco era costituito da 24 trial tutti di tipo go. I successivi 3 blocchi erano invece costituiti come nella prima versione da 48 trial ciascuno, di cui 12 di tipo stop. Complessivamente la versione modificata era costituita da 168 trial (24+144) di cui 36 di tipo stop. Nel complesso, la durata dei due compiti era rispettivamente di 10 e 7 minuti.

Procedura

I 40 soggetti sono stati suddivisi in due diversi gruppi di 20 persone ciascuno. Al primo gruppo è stata presentata la versione dello Stop Task con i flanker. Al secondo gruppo invece è stata presentata la versione modificata. A ciascun partecipante venivano fornite le istruzioni per l'esecuzione del compito sottolineando il fatto che esso era costruito in maniera tale da consentire una probabilità di successo nella capacità di inibire la risposta del 50%. Pertanto si faceva riferimento all'importanza di mantenere la propria velocità di risposta senza rallentarla al fine di sentire il segnale acustico.

Analisi statistiche

I dati ottenuti sono stati analizzati per mezzo di una serie di ANOVA a casualizzazione completa che hanno considerato le differenze tra i 2 gruppi (SST con i flanker e SST senza flanker) per quanto riguarda i tempi di reazione, l'accuratezza e la stima dell'efficienza dell'inibizione (SSRT). L'SSRT è stato calcolato secondo le modalità descritte da Logan (Logan et al., 1997) e riportate nel paragrafo "Analisi statistiche" del primo esperimento. I tempi di reazione presi in considerazione per la stima delle latenze medie di risposta si riferivano ai tempi osservati nella seconda parte del compito (ovviamente soltanto per i trial di tipo go, ovvero privi di segnale acustico).

RISULTATI

Parametri	Tipo di compito	Media	DS
Tempi di Reazione	Flanker	548	± 74
Tempi di Reazione	No Flanker	484	± 54
Accuratezza	Flanker	0,92	± 0,061
Accuratezza	No Flanker	0,94	± 0,086
SSRT	Flanker	214	± 38
SSRT	No Flanker	184	± 66

Tab. 10: parametri principali rilevati dallo Stop Signal Task

La tabella 10 riporta i parametri principali rilevati dallo Stop Signal Task. Delle 3 analisi della varianza effettuate è risultata significativa la differenza tra i due gruppi per quanto riguarda i tempi di reazione medi al compito ($F_{1,38}=9,72$; $p<.01$). In maniera prevedibile le latenze medie di risposta al compito con i flanker ($548,51 \pm 74,42$ msec) sono risultate significativamente più lente rispetto a quelle del compito senza flanker ($484,57 \pm 53,6$ msec).

Nessuna differenza è emersa invece tra i due gruppi dall'analisi dell'accuratezza. Il compito senza flanker dunque non si è rivelato più facile per i soggetti nonostante l'assenza di distrattori.

Infine, i due gruppi non si sono rivelati significativamente diversi per quanto riguarda la stima dell'SSRT. Ciò nonostante, osservando i tempi medi di inibizione è possibile notare come il compito senza flanker si sia rivelato più semplice da inibire ($184,01 \pm 65,7$ msec) rispetto al compito con i flanker ($214,07 \pm 37,99$ msec).

DISCUSSIONE

I dati raccolti, pur indicando delle sostanziali differenze tra i due compiti nella capacità di rilevare i valori tipici dello Stop Task, dimostrano la sensibilità della versione modificata. L'assenza dei flanker nella nuova versione ha ovviamente reso più veloce la capacità di risposta dei partecipanti all'esperimento. Va detto anzi che può in parte sorprendere l'assenza di differenze significative tra le due percentuali di risposte corrette. Sarebbe stato lecito aspettarsi una maggior accuratezza in un compito in cui la risposta richiesta era sicuramente meno complessa rispetto alla versione utilizzata negli esperimenti in debito di sonno. Per quanto riguarda l'indice dell'efficienza inibitoria (SSRT) i due compiti non hanno ottenuto dei valori significativamente diversi tra loro. Ciò nonostante, è sufficiente osservare i tempi medi ottenuti per accorgersi di come la versione del compito senza flanker abbia consentito ai partecipanti di inibire la risposta dominante con maggior efficacia. Per questo motivo la media osservata è risultata essere più bassa di ben 30 millisecondi rispetto al valore ottenuto nella versione con i flanker. Ad ogni modo, l'SSRT ottenuto con la versione senza flanker rientra nel range di valori indicato da Logan e Cowan (1984). Nel suo complesso, la versione modificata si è rivelata uno strumento

valido e vantaggioso per la sua maggior semplicità. Pertanto essa è stata inserita tra gli strumenti utilizzati nell'esperimento successivo.

ESPERIMENTO 5

Sindrome delle Apnee Ostruttive del Sonno (OSAS)

INTRODUZIONE

L'apnea ostruttiva del sonno (OSA) è una condizione abbastanza frequente ma ancora scarsamente riconosciuta, associata ad un'ostruzione delle vie aeree superiori durante il sonno. Alcune stime parlano di un'incidenza del 2-4% tra gli adulti che sale fino al 15% nella terza età, il che la rende un episodio decisamente rilevante. I disturbi fisiologici tipicamente associati riguardano in particolar modo l'aumento dello sforzo respiratorio, l'ipossiemia e la frammentazione del sonno. Questi eventi possono portare a ipertensione polmonare e aritmia, oltre che ad un aumento delle malattie cerebro-vascolari (McNamara, 1994). La caratteristica che maggiormente condiziona i pazienti affetti da sindrome delle apnee ostruttive del sonno (OSAS) è un'eccessiva sonnolenza diurna, caratterizzata da una percezione soggettiva di costante affaticamento ma misurata anche oggettivamente sulla base della propensione al sonno. Ne consegue che gli adulti OSAS sono specificamente esposti a difficoltà in ambito lavorativo e relazionale in genere sia a causa di un tono dell'umore instabile e una motivazione poco costante sia per la diminuita flessibilità cognitiva cui consegue una scarsa capacità di pianificazione e organizzativa (Beebe e Gozal, 2002).

Come ripetutamente osservato, la sindrome OSAS è associata a deficit cognitivi sia attenzionali che esecutivi (El-Ad e Lavie, 2005; Engleman, Kingshott, Martin e Douglas, 2000; Roehrs, Merrion, Pedrosi, Stepanski, Zorick e Roth, 1995). Persiste peraltro una certa confusione relativamente a quali sono effettivamente i processi specifici compromessi in quanto la sindrome OSAS è contraddistinta da diversi gradi di gravità. La diagnosi viene effettuata in base ad una classificazione che prende in considerazione l'indice medio di apnea/ipopnea per ora di sonno (AHI) del paziente: un indice compreso tra 10 e 30 è indice di una forma lieve, tra 31 e 50 moderata, superiore a 50 grave. A tal proposito, Decary, Rouleau e Montplaisir (2000) rilevano come in molti casi esperimenti diversi considerino pazienti diversi sia per età che per livello di severità OSA, con la conseguente difficoltà ad estendere e confrontare i risultati ottenuti.

Per quanto riguarda gli effetti della sindrome OSAS sull'attenzione, la maggior parte degli studi si è limitata a considerare la questione della vigilanza, ottenendo in maniera alquanto prevedibile una difficoltà da parte dei pazienti nel mantenere uno stato vigile in compiti classici come il PVT o il Continuous Performance Task (Ferini-Strambi et al., 2003; Decary et al., 2000). Questo risultato è stato a volte impropriamente esteso anche al concetto di attenzione, ignorandone l'effettiva complessità (Bassiri e Guilleminault, 2000). Nella loro esauriente rassegna, Fulda e Schulz (2001) rilevano come siano molte le distinzioni da fare in merito agli studi effettuati sull'attenzione. Ad esempio, nessuno studio effettuato su pazienti OSAS di grado lieve ha riscontrato un qualche peggioramento rispetto ad un gruppo di controllo (ad esempio Bedard, Montplaisir, Richer e Malo, 1991). In pazienti OSAS di grado medio invece i deficit riscontrati riguardano soltanto alcune componenti attenzionali (ad esempio Naegele, Thouvard, Pepin, Levy, Bonnet, Perret, Pellat e Feuerstein, 1995) ma anche in questo caso nel complesso gli autori ritengono i risultati alquanto incerti. Infine la rassegna sottolinea la scarsa mole di lavori effettuati su pazienti OSAS di tipo grave: i pochi studi effettuati infatti riguardano l'attenzione sostenuta mentre mancano dati per gli altri tipi di attenzione. Gli autori nel loro articolo forniscono una lista dettagliata di tutti gli strumenti variamente utilizzati per lo studio dell'attenzione, intesa in alcuni casi come vigilanza, in altri come allerta, ma anche in termini di attenzione sostenuta, divisa, complessa e selettiva, per un totale di quasi sessanta compiti uno diverso dall'altro. Essi non entrano nel merito di quanto possa essere arduo e artificioso provare a confrontare tali risultati ma implicitamente, dalle loro conclusioni, appare evidente come i riscontri finali siano stati poco produttivi, perlomeno fino all'anno della pubblicazione della loro rassegna (Fulda e Schulz, 2001). Nonostante questo monito, nel 2007 Saunamaki e Jehkonen continuano a rilevare un'eccessiva eterogeneità dei campioni raccolti oltre che delle definizioni utilizzate come riferimento teorico, come non sembra diminuire neppure la marcata variabilità dei compiti inseriti nei protocolli sperimentali.

In merito all'inibizione, mentre gli studi sperimentali effettuati sembrano concordi nel riportare un deficit generalizzato a carico delle funzioni esecutive afferenti al lobo frontale (Jones e Harrison, 2001), c'è ancora incertezza relativamente ai risultati

ottenuti in merito a questo specifico processo di controllo. Ad esempio, Naegele e i suoi collaboratori (1995) hanno rilevato un deficit selettivo a carico di questa componente mentre Verstraeten, Cluydts, Pevernagie e Hoffmann (2004) non sono giunti alla stessa conclusione. E' interessante a questo proposito notare come nonostante entrambi gli esperimenti prevedessero tra gli strumenti l'utilizzo dello Stroop Test (Stroop, 1935), il primo era costituito da un numero di trial ben superiore al secondo. Questo aspetto potrebbe render conto della differenza relativa ai risultati ottenuti confermando la difficoltà a confrontare dei risultati nei casi in cui i compiti siano stati modificati senza un attento controllo sperimentale. In fase di stesura del presente lavoro, alla bibliografia del settore si è aggiunto l'articolo di Sagaspe (Sagaspe et al., 2007) il quale ha utilizzato per la prima volta lo Stop Signal Task su pazienti OSAS e su pazienti insonni, ottenendo un risultato significativo per i primi mentre nessun deficit evidente per i secondi. Questo risultato andrebbe a favore dell'ipotesi che alla base di questo specifico peggioramento ci sia un deficit a carico della PFC causato dall'ipossiemia tipica dei pazienti OSAS piuttosto che dalla sonnolenza diurna che è caratteristica di entrambi i pazienti presi in considerazione nello studio.

Obiettivo di questo esperimento è stato quello di valutare gli effetti della sindrome OSAS sulle singole componenti che costituiscono il sistema attenzionale per mezzo del compito ANT. Essendo la letteratura ricca di dati eccessivamente eterogenei e spesso privi di riferimenti teorici solidi, si è ritenuto che l'utilizzo di questo nuovo strumento potesse fornire informazioni nuove e utili ad affrontare il tema tenendo in considerazione gli sviluppi della psicologia cognitiva.

L'esperimento si è proposto inoltre di valutare gli effetti della sindrome OSAS sul processo di inibizione di una risposta dominante attraverso un compito diverso da quelli tradizionalmente considerati in letteratura. Si è scelto di considerare la sindrome nella sua forma più grave in quanto, come descritto in precedenza, finora sono ancora pochi i dati sperimentali presenti in merito.

METODO

Soggetti

L'esperimento è stato condotto su 40 partecipanti suddivisi in un gruppo sperimentale e tre di controllo, distribuiti nel modo seguente: 10 pazienti OSAS, 10 individui sani pari età, 10 giovani studenti universitari, 10 individui anziani in buono stato di salute. Il gruppo di pazienti OSAS aveva un'età media di 56 anni ($\pm 8,77$) e un indice medio di apnea/ipopnea per ora di sonno (AHI) di 56,4 ($\pm 14,49$), corrispondente ad una classificazione della sindrome di tipo grave. La diagnosi veniva effettuata all'interno della Clinica del Sonno presso l'ospedale di Udine. La scelta dei partecipanti veniva effettuata nella stessa sede mentre la somministrazione dei test avveniva in un secondo momento. Ai partecipanti inseriti nei gruppi di controllo veniva invece somministrato un questionario sulle abitudini del sonno e della veglia allo scopo di escludere la presenza di anomalie anche non patologiche ma ugualmente legate al sonno ed in particolare alla notte precedente all'esperimento. Essi venivano poi testati all'interno del laboratorio di Psicofisiologia del Sonno presso il Dipartimento di Psicologia dell'Università di Trieste. Il gruppo di pari età aveva la stessa età media del gruppo di pazienti OSAS ($56 \pm 3,64$), mentre il gruppo di giovani aveva un'età media di 22 ($\pm 1,95$) e quello di anziani di 73 ($\pm 3,22$) anni.

Materiale

I test utilizzati per valutare le prestazioni dei soggetti sono stati l'Attention Network Test (ANT) e lo Stop Signal Task (SST). Essi venivano presentati in ordine randomizzato. Il test ANT è stato costruito in ambiente E-Prime (v1.1 Psychology Software Tools, Inc., Pittsburgh, PA, USA, 2002) e somministrato tramite personal computer in una stanza isolata. In questo esperimento esso è stato utilizzato nella sua versione ridotta (descritta nel paragrafo "Materiale" del secondo esperimento) nella quale non sono presenti le prove con flanker di tipo neutro. Il compito così modificato risultava essere costituito da un blocco di apprendimento di 16 trial e 3 blocchi sperimentali di 64 trial ciascuno, per un totale di 192 prove e una durata complessiva di 13 minuti circa.

Lo Stop Signal Task è stato invece costruito con le stesse caratteristiche descritte nel paragrafo “Materiale” del quarto esperimento. Esso era caratterizzato da due parti. La prima aveva lo scopo di costruire nei partecipanti l’attivazione di una risposta dominante ed era composta da 24 prove in cui il target era costituito nel 50% dei trial da una “X” e nel restante 50% da una “O”. La seconda parte era invece a sua volta suddivisa in tre blocchi al solo scopo di non rendere eccessivamente lunga e faticosa la prestazione dei soggetti. Ciascun blocco era caratterizzato dal classico compito di stop in cui nel 25% dei trial veniva somministrato un segnale acustico (1000Hz, 100ms) emesso direttamente dal computer. Ogni blocco della seconda parte era costituito da 48 trial (50% “X”, 50% “O”) per un totale di 144 trial di cui 36 di tipo stop. Il compito è stato costruito utilizzando il linguaggio di programmazione MEL (Schneider, 1990) e somministrato con le stesse modalità utilizzate per le precedenti versioni.

Procedura

Sia i pazienti che i partecipanti inseriti nei vari gruppi di controllo svolgevano le prove al mattino. Lo sperimentatore limitava il suo intervento all’illustrazione del compito e a fornire eventuali delucidazioni.

Analisi statistiche

I due test sono stati analizzati separatamente per mezzo di ANOVA a casualizzazione completa. Prima di effettuare le analisi è stata adottata la stessa procedura di riduzione dei dati utilizzata negli esperimenti precedenti e descritta nel paragrafo “Analisi statistiche” dell’esperimento di deprivazione totale di sonno. Per entrambi i compiti sono state utilizzate come variabili dipendenti la media dei tempi di reazione e l’accuratezza. Inoltre per l’ANT sono state analizzate le medie dell’efficienza per ciascuna delle tre componenti rilevate dal compito (alerting, orienting, executive control).

Per l’SST è stata analizzata invece la media degli SSRT, ottenuta secondo le modalità descritte da Logan (Logan et al., 1997) e riportate nella sezione “Analisi statistiche” del primo esperimento. Ciascuna analisi è stata effettuata per mezzo di

una ANOVA a casualizzazione completa con un fattore (gruppo) con quattro livelli: giovani, pari età, OSAS e anziani.

Relativamente al test ANT, per osservare in maniera più dettagliata i tre network ciascuna componente è stata analizzata prendendo anche in considerazione soltanto i tempi di reazione medi dai quali poi le singole componenti vengono tipicamente stimate. Pertanto, per ciascuna componente è stata effettuata una specifica analisi della varianza utilizzando un disegno misto a 3 vie. Per l'alerting sono stati inseriti il fattore gruppo a 4 livelli (giovani, pari età, OSAS e anziani), il fattore tipo di cue con i soli 2 livelli che contribuiscono alla valutazione del network attenzionale (no cue e doppio cue) e il fattore tipo di flanker a 2 livelli (congruente, incongruente). Per l'orienting il disegno fattoriale era lo stesso ma in questo caso i due livelli inseriti nell'analisi per il tipo di cue sono stati il cue centrale e il cue orientante. Infine per l'executive control l'analisi prevedeva, oltre al fattore gruppo, il fattore tipo di cue che comprendeva tutti e 4 i livelli forniti dal compito (no cue, cue centrale, doppio cue, cue orientante) e il fattore tipo di flanker con i 2 livelli previsti.

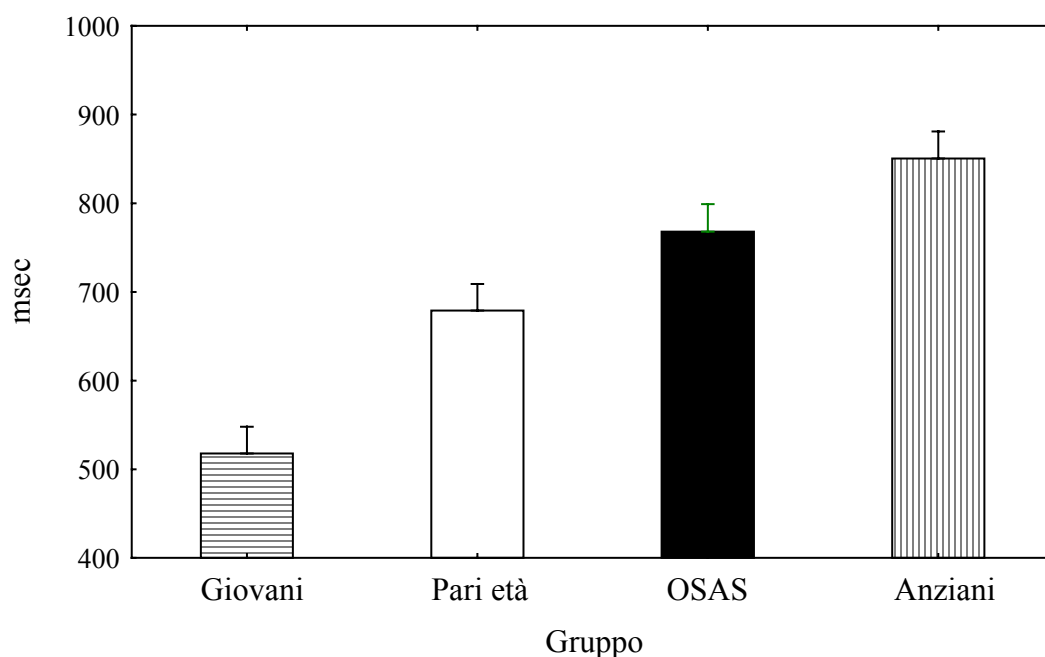
RISULTATI

Attention Network Test

L'analisi della varianza effettuata sulle medie delle latenze di risposta al compito ANT ha fornito un risultato significativo per quanto riguarda l'effetto principale gruppo ($F_{3,36}=20.83$; $p<.001$). I valori ottenuti dai quattro gruppi sono riportati nel grafico 9.

I confronti pianificati hanno evidenziato come il gruppo OSAS si differenzi in maniera significativa dal gruppo giovani ($F_{1,36}=32,16$; $p<.001$) mentre ci sia una marcata tendenza alla significatività sia con il gruppo pari età ($F_{1,36}=4,08$; $p=.051$) che con il gruppo anziani ($F_{1,36}=3,48$; $p=.07$).

Grafico 9
Attention Network Test
LATENZE MEDIE DI RISPOSTA



Nessun effetto significativo è emerso dall'analisi dell'accuratezza, come riportato in tabella 11.

Gruppo	Parametri	Media	DS
Giovani	Tempi di Reazione	518	± 36
Pari età	Tempi di Reazione	679	± 118
OSAS	Tempi di Reazione	768	± 125
Anziani	Tempi di Reazione	850	± 89
Giovani	Accuratezza	0,97	± 0,018
Pari età	Accuratezza	0,98	± 0,015
OSAS	Accuratezza	0,96	± 0,028
Anziani	Accuratezza	0,97	± 0,018

Tab. 11: ANT – latenze medie di risposta e percentuale di risposte corrette

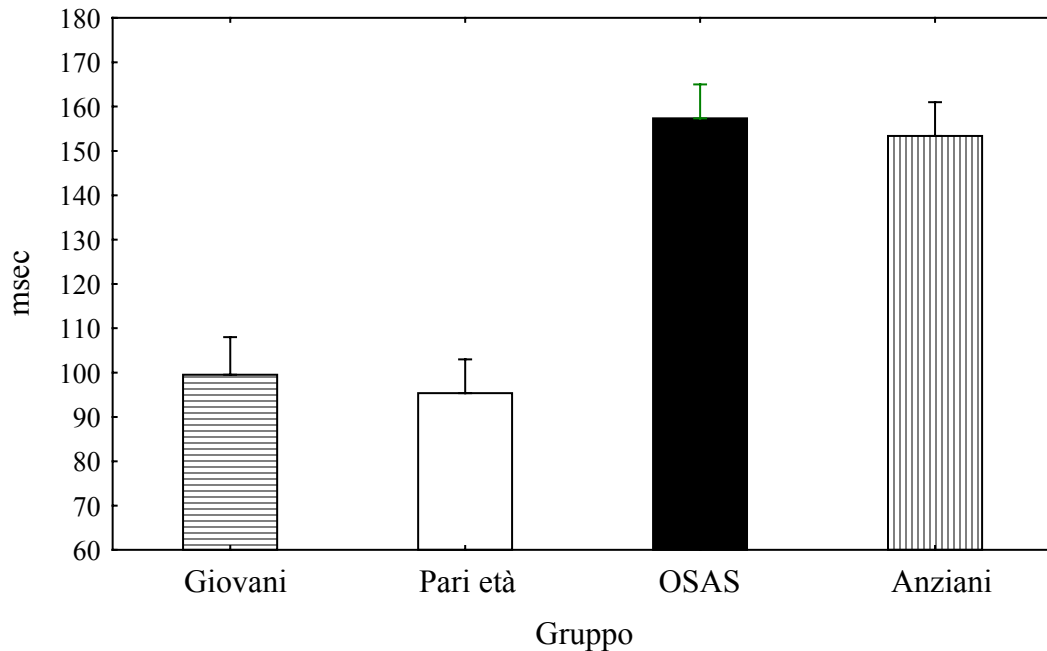
Relativamente ai processi di alerting, orienting ed executive control, le diverse ANOVA effettuate per ciascuna delle tre componenti valutate dal test hanno rilevato una differenza significativa tra i gruppi soltanto per quanto riguarda la componente dell'executive control ($F_{3,36}=12,16$; $p<.001$).

Gruppo	Network	Media	DS
Giovani	Alerting	10	± 17
Pari età	Alerting	20	± 47
OSAS	Alerting	21	± 16
Anziani	Alerting	15	± 21
Giovani	Orienting	70	± 26
Pari età	Orienting	68	± 36
OSAS	Orienting	63	± 34
Anziani	Orienting	69	± 45
Giovani	Executive Control	100	± 17
Pari età	Executive Control	157	± 40
OSAS	Executive Control	95	± 20
Anziani	Executive Control	153	± 37

Tab. 12: ANT – efficienza dei tre network attenzionali nei quattro gruppi

I confronti pianificati effettuati su quest'ultima componente hanno messo in evidenza come il peggioramento sia relativo al gruppo OSAS rispetto al gruppo pari età ($F_{1,36}=20,8$; $p<.001$) e al gruppo giovani ($F_{1,36}=18,11$; $p<.001$). Nessuna differenza significativa è emersa invece dal confronto tra OSAS e gruppo anziani.

Grafico 10
Attention Network Test
EXECUTIVE CONTROL



La tabella 13 riporta le latenze medie di risposta ai diversi tipi di flanker dei quattro gruppi considerati.

L'analisi effettuata sui trial con i quali viene stimata l'efficienza dell'executive control ha consentito di ottenere maggiori informazioni sulla natura della differenza riscontrata. I risultati hanno messo in evidenza un'interazione significativa tra il gruppo e il tipo di flanker ($F_{3,36}=12,16$; $p<.001$). I confronti a coppie effettuati successivamente tra il gruppo OSAS e il gruppo pari età hanno messo in evidenza una differenza significativa tra le latenze medie di risposta dei due gruppi ai flanker incongruenti ($F_{1,36}=6,6$; $p<.05$). La significatività non è stata invece raggiunta nello stesso tipo di confronto per i flanker congruenti.

Per quanto riguarda invece le componenti dell'orienting e dell>alerting, nessuna interazione è emersa tra i gruppi e il tipo di cue (tabella 14).

Gruppo	Tipo di flanker	Media	DS
Giovani	Congruente	468	± 46
Pari età	Congruente	631	± 125
OSAS	Congruente	689	± 112
Anziani	Congruente	801	± 87
Giovani	Incongruente	568	± 56
Pari età	Incongruente	727	± 113
OSAS	Incongruente	847	± 146
Anziani	Incongruente	955	± 117

Tab. 13: latenze medie di risposta ai diversi tipi di flanker per i quattro gruppi

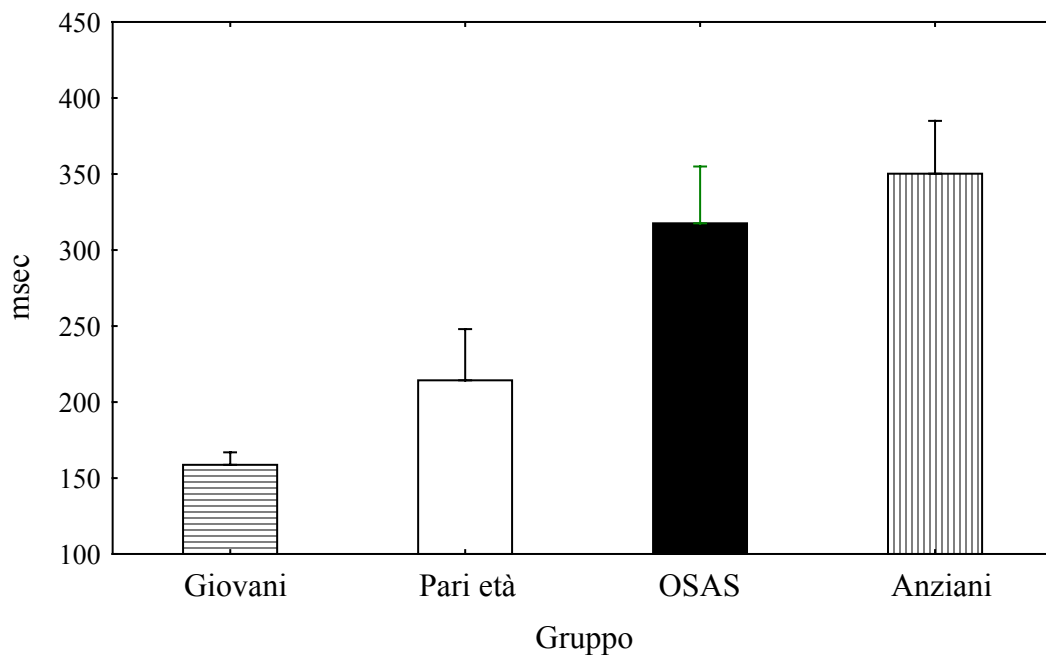
Gruppo	Tipo di cue	Media	DS
Giovani	No Cue	548	± 68
Pari età	No Cue	700	± 121
OSAS	No Cue	794	± 141
Anziani	No Cue	900	± 127
Giovani	Cue Centrale	539	± 77
Pari età	Cue Centrale	700	± 140
OSAS	Cue Centrale	786	± 159
Anziani	Cue Centrale	900	± 120
Giovani	Doppio Cue	515	± 40
Pari età	Doppio Cue	679	± 128
OSAS	Doppio Cue	774	± 154
Anziani	Doppio Cue	882	± 130
Giovani	Cue Orientante	434	± 51
Pari età	Cue Orientante	637	± 121
OSAS	Cue Orientante	718	± 151
Anziani	Cue Orientante	829	± 132

Tab. 14: latenze medie di risposta ai diversi tipi di flanker per i quattro gruppi

Stop Signal Task

Per quanto riguarda la stima della latenza del processo di inibizione, l'ANOVA effettuata sui tempi medi dell'SSRT ha fornito un effetto significativo del fattore gruppo ($F_{3,36}=7,9$; $p<.01$).

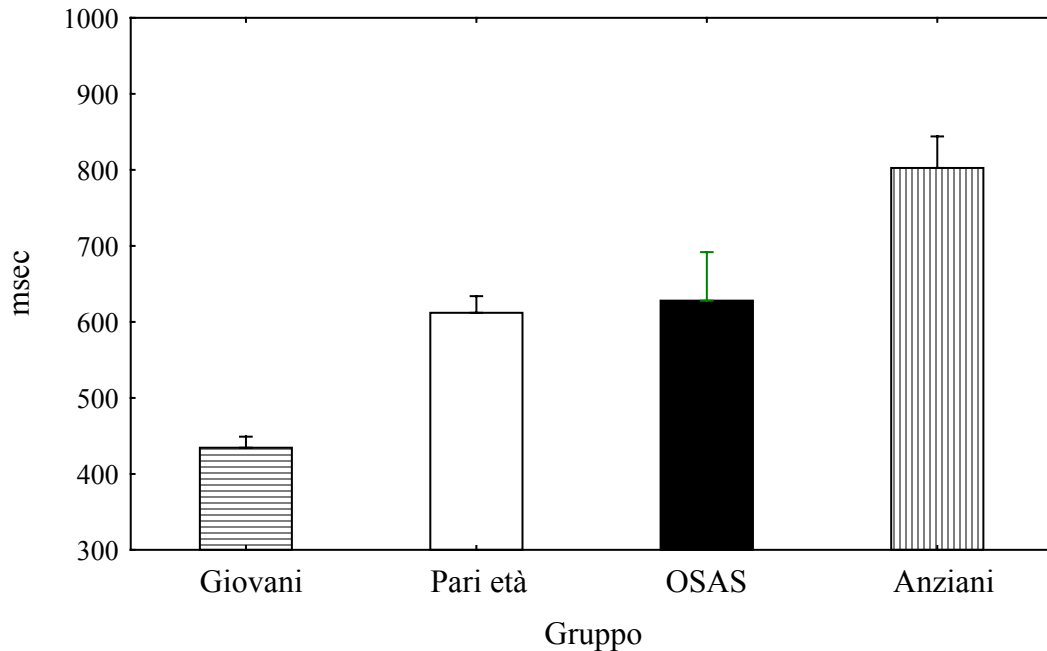
Grafico 11
Stop Signal Task
STOP SIGNAL REACTION TIME



I successivi confronti pianificati effettuati hanno messo in evidenza come il gruppo OSAS differisca in maniera significativa sia dal gruppo giovani ($F_{1,36}=12,57$; $p<.01$) che da quello pari età ($F_{1,36}=5,32$; $p<.05$). Nessuna differenza invece è stata rilevata nei confronti del gruppo anziani.

L'analisi delle latenze di risposta ai trial di tipo go ha messo in luce un effetto significativo per il fattore gruppo ($F_{3,36}=13,59$; $p<.001$).

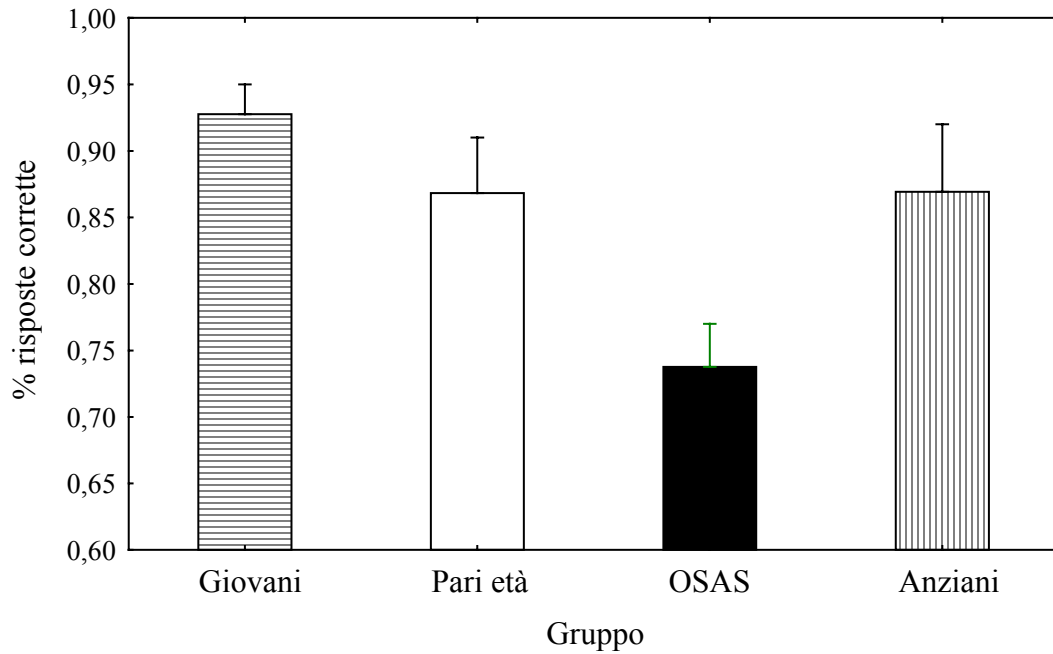
Grafico 12
Stop Signal Task
LATENZE MEDIE DI RISPOSTA



I confronti pianificati in questo caso mostrano come il gruppo OSAS differisca in maniera significativa dal gruppo giovani ($F_{1,36}=7,02$; $p<.01$) e dal gruppo anziani ($F_{1,36}=9,3$; $p<.01$) mentre sembra non differire dal gruppo pari età, evidenziando un tipico effetto dell'età sulla prestazione (grafico 12).

L'ANOVA effettuata sui dati relativi all'accuratezza ha evidenziato invece un effetto significativo del fattore gruppo ($F_{3,36}=4,68$; $p<.05$) che ad una analisi successiva (Newman-Keuls test) è risultato essere esclusivamente a carico del gruppo OSAS, il quale ha una prestazione significativamente peggiore rispetto a tutti gli altri gruppi presi in considerazione (grafico 13).

Grafico 13
Stop Signal Task
ACCURATEZZA



<i>Gruppo</i>	Network	Media	DS
Giovani	SSRT	159	± 31
Pari età	SSRT	214	± 108
OSAS	SSRT	318	± 120
Anziani	SSRT	350	± 114
Giovani	Tempi di Reazione	434	± 68
Pari età	Tempi di Reazione	612	± 145
OSAS	Tempi di Reazione	628	± 226
Anziani	Tempi di Reazione	802	± 150
Giovani	Accuratezza	0,93	± 0,048
Pari età	Accuratezza	0,87	± 0,17
OSAS	Accuratezza	0,73	± 0,13
Anziani	Accuratezza	0,87	± 0,094

Tab. 15: parametri principali rilevati dallo Stop Signal Task

DISCUSSIONE

Obiettivo del presente studio era quello di esaminare l'efficienza dei processi attenzionali e del controllo dell'inibizione motoria in pazienti affetti dalla sindrome OSAS.

Per quanto riguarda l'attenzione, i dati ottenuti sembrano evidenziare una compromissione a carico di questo particolare processo cognitivo, rilevabile innanzitutto osservando la prestazione al compito nei termini di velocità di risposta. La mancata piena significatività rilevata nel confronto tra il gruppo OSAS e il gruppo pari età ($p=.051$) non ci impedisce di osservare il marcato peggioramento dei pazienti. Come già riportato, gli studi presenti in letteratura sono concordi nel ritenere i pazienti OSAS di tipo grave meno vigili rispetto ad un gruppo di soggetti sani (Fulda e Schulz, 2001). E' possibile pertanto ipotizzare che il risultato non pienamente significativo da noi ottenuto sia dovuto semplicemente all'esiguità del campione. D'altronde, le difficoltà in ambito ospedaliero di reclutare soggetti disposti a svolgere l'esperimento, oltre che la scelta di utilizzare soltanto dei partecipanti con diagnosi di OSAS grave, hanno impedito che il campione fosse più numeroso. In quest'ottica la tendenza osservata nel presente campione può essere ritenuta a buona ragione in linea con quanto riportato in letteratura. Essa indica che la sindrome OSAS porta ad un peggioramento delle prestazioni in termini di tempi di reazione se confrontati con degli individui sani della stessa età.

Ugualmente, il risultato ottenuto tra il gruppo OSAS e il gruppo anziani ($p=.07$), seppur non pienamente significativo, è spiegabile sulla base dei dati presenti in letteratura. Harrison, Horne e Rothwell (2000) hanno evidenziato come un'alterazione della normale architettura del sonno in individui giovani sani porti ad uno scadimento delle prestazioni attentive paragonabile quantitativamente a quello ottenuto da soggetti sani di 60 anni d'età. E' probabile pertanto che l'età media del gruppo considerato nel presente esperimento (73 anni) giustifichi la tendenza osservata, indice di un ulteriore peggioramento nella prestazione. Nel complesso quindi il grafico a gradini riportato a pagina 98 (grafico 9) può essere spiegato principalmente da un peggioramento delle prestazioni legato all'età. A tale effetto occorre poi sommare il peggioramento a carico del gruppo OSAS dovuto alla sindrome.

Ciò che risulta essere particolarmente interessante è il risultato ottenuto relativamente all'efficienza delle tre reti attenzionali. Mentre alerting e orienting sembrano infatti non essere influenzate in alcun modo né dagli effetti negativi legati alla sindrome né dal passare degli anni, il risultato ottenuto per quanto riguarda la componente del controllo esecutivo denota invece un netto peggioramento nel gruppo OSAS e in quello anziani rispetto agli altri due gruppi. In particolare, non ci sono differenze significative per quanto riguarda le prestazioni dei diversi gruppi nelle prove di tipo congruente. Il peggioramento sembra invece essere esclusivamente a carico delle prove incongruenti che subiscono, per i pazienti OSAS, un peggioramento molto superiore rispetto alle differenze riscontrate negli altri gruppi.

Come già dimostrato da diversi studi neuropsicologici, l'invecchiamento del cervello umano colpisce in particolare la corteccia prefrontale (Harrison et al., 2000) e questo peggioramento si riscontra in maniera molto simile anche in tutte le situazioni in cui la normale architettura del sonno viene alterata (Jones e Harrison, 2001). Il presente esperimento sembra dunque mettere in evidenza un peggioramento selettivo a carico del controllo esecutivo misurato dal test ANT. Questo risultato è interessante per due distinti motivi: da una parte esso è in linea con gli studi presenti in letteratura i quali riportano un deficit a carico delle funzioni esecutive (afferenti cioè al lobo frontale) in tutte quelle situazioni che comportano una alterazione dell'architettura del sonno (Harrison e Horne, 2000); dall'altro esso conferma l'importanza di utilizzare dei compiti in grado di considerare l'attenzione non sulla base di generici concetti quali la vigilanza ma come un processo cognitivo complesso composto da diverse sottocomponenti operanti l'una in maniera indipendente dall'altra.

I risultati relativi allo Stop Signal Task sono ugualmente interessanti. Per prima cosa appare evidente l'effetto dell'età sulla velocità di risposta al compito. Il gruppo di giovani e quello degli anziani sono rispettivamente il più veloce ed il più lento dei quattro gruppi presi in considerazione. Contrariamente a quanto rilevato per mezzo del test ANT, in questo caso i pazienti OSAS non sembrano avere una prestazione peggiore rispetto ai partecipanti sani della stessa età. Il deficit nella prestazione al compito si manifesta però nell'accuratezza, per la quale il gruppo OSAS ottiene una

prestazione significativamente peggiore rispetto a tutti gli altri gruppi di controllo. Si può ipotizzare pertanto che i pazienti OSAS abbiano preferito optare per una prestazione veloce a scapito dell'accuratezza nella risposta.

Per quanto riguarda la componente più importante dell'SST, ovvero la stima della latenza del processo di inibizione di una risposta dominante, è possibile osservare come i tempi medi dello Stop Signal RT dei pazienti OSAS siano significativamente più alti, e quindi peggiori, di quelli ottenuti dal gruppo pari età. Il dato appare ancora più rilevante vista l'assenza di differenze con lo stesso gruppo nella velocità di risposta al test.

Nel loro insieme, i risultati ottenuti per mezzo del test ANT e del test SST sembrano supportare l'ipotesi di un deficit generalizzato a carico delle funzioni del lobo frontale nei casi in cui la normale architettura del sonno venga danneggiata da un disturbo del sonno come l'apnea ostruttiva.

CONCLUSIONI

Il lavoro presentato in queste pagine è nato dall'esigenza di proporre un progetto nuovo che, contrariamente alla maggior parte degli studi presenti in letteratura, tentasse di integrare i modelli sperimentali tipici della psicofisiologia del sonno con quelli sviluppati nell'ambito della psicologia cognitiva. L'obiettivo è stato pertanto quello di studiare delle funzioni cognitive importanti quali l'attenzione e l'inibizione attraverso l'utilizzo di strumenti finora inutilizzati nella ricerca sul sonno. Si riteneva infatti che un simile modo di procedere avrebbe potuto contribuire a chiarire meglio la natura dei decrementi osservabili in condizioni di debito di sonno, superando le generiche affermazioni riportate in molti lavori e relative ad un non meglio precisato aumento della sonnolenza.

I risultati ottenuti nei vari esperimenti hanno confermato la necessità di affrontare i temi inerenti agli effetti della mancanza di sonno sull'individuo in un'ottica interdisciplinare. Nel loro complesso essi indicano che, a differenza di quanto solitamente riportato in letteratura, l'alterazione dell'architettura di una regolare notte di sonno non comporta soltanto una riduzione generalizzata del livello di vigilanza ma ha degli effetti specifici sui processi cognitivi tali per cui essi vanno considerati nella loro complessità. E' stato possibile raggiungere questa conclusione in quanto i compiti adottati, salvo una singola situazione, si sono rivelati sensibili alle variazioni del livello di vigilanza nelle diverse condizioni sperimentali considerate. Sia l'Attention Network Test che lo Stop Signal Task hanno dimostrato pertanto di essere degli strumenti validi anche per la ricerca in psicofisiologia del sonno.

Gli esperimenti effettuati sono stati in tutto cinque, ma soltanto tre di essi hanno riguardato una manipolazione sperimentale delle condizioni di sonno. Il secondo e il quarto esperimento sono stati invece necessari per avere conferma del fatto che le modifiche apportate ai compiti non avessero modificato in maniera significativa la loro capacità di valutare le funzioni cognitive in questione.

Nel primo esperimento, le prestazioni ottenute in seguito ad una notte di sonno normale sono state confrontate con quelle che seguivano una notte di veglia prolungata. I risultati hanno messo in evidenza come la riduzione significativa del livello di attivazione, dimostrata dall'incremento generalizzato delle latenze di

risposta in entrambi i compiti nonché dai risultati ottenuti nelle scale soggettive, abbia provocato un peggioramento significativo dell'efficienza a carico delle sole funzioni inerenti al controllo esecutivo.

In particolare, la scelta di utilizzare il modello di Posner (Posner e Raichle, 1994) per studiare l'attenzione ha consentito di rilevare come componenti quali l'alerting e l'orienting, a fronte di un rallentamento generalizzato, abbiano mantenuto intatta la loro efficienza complessiva mentre il peggioramento osservato in condizione di deprivazione è stato interamente a carico della componente esecutiva.

Anche lo Stop Signal Task (Logan e Cowan, 1984) ha messo in evidenza come 24 ore di veglia prolungata siano in grado di peggiorare la capacità dei soggetti di inibire una risposta dominante in maniera simile a quanto accade per le altre abilità cognitive superiori (Harrison e Horne, 1999).

Nel loro complesso questi dati, oltre a dimostrare che già a partire da una sola notte di deprivazione di sonno si assiste ad un significativo calo complessivo del livello di attivazione, vanno a sostegno dell'ipotesi secondo cui la compromissione delle prestazioni riguarda in maniera particolare le funzioni esecutive (Harrison e Horne, 2000).

Con l'esperimento in riduzione di sonno si è voluto valutare se il decremento dell'efficienza, osservato per attenzione e inibizione nel primo esperimento, fosse rilevabile anche in una situazione in cui ai soggetti venivano concesse tre ore di sonno. Una manipolazione sperimentale meno invasiva avrebbe infatti potuto determinare delle diverse variazioni rispetto a quelle osservate in condizioni di 24 ore di veglia prolungata.

I risultati al test ANT hanno messo in evidenza un quadro simile al precedente. Anche dopo tre ore di sonno l'incremento dei tempi di reazione e il calo dell'accuratezza hanno confermato l'abbassamento del livello di attivazione dei soggetti. Allo stesso modo però il calo della vigilanza non si è manifestato in un generico abbassamento delle risorse attentive, riguardando invece la sola componente del controllo esecutivo. Andando però a considerare nel dettaglio i risultati ottenuti, si osservano delle differenze. Innanzitutto il peggioramento nei tempi di reazione al compito è passato dai 57 millisecondi del primo esperimento ai 20 millisecondi dell'esperimento in riduzione di sonno. La manipolazione della

quantità di sonno ha pertanto dato luogo ad un incremento delle latenze di risposta proporzionale alla quantità di sonno dormita. In secondo luogo, mentre in seguito a deprivazione totale la prestazione dei soggetti aveva subito un peggioramento significativo per tutti i tipi di prova, l'opportunità di dormire per tre ore ha variato notevolmente il quadro osservato. Il deficit osservato per il controllo esecutivo ad esempio si è rivelato essere interamente a carico delle prove di tipo incongruente mentre le prove congruenti non hanno subito alcun peggioramento significativo. Inoltre, nonostante il calo della vigilanza si sia rivelato di entità inferiore rispetto a quello osservato in situazione di deprivazione, il peggioramento dell'efficienza della rete attenzionale dell'executive control è stato della stessa entità. L'efficienza dell>alerting è rimasta invece inalterata tra le due condizioni in quanto il peggioramento generalizzato della prestazione ha intaccato entrambi i tipi di prova legati alla valutazione della suddetta componente. In maniera simile, la conservazione dell'efficienza dell'orienting è stata frutto di un peggioramento in entrambi i tipi di prova utili alla stima di questo network. In questo caso però tale peggioramento non ha raggiunto la piena significatività statistica.

I risultati allo Stop Signal Task non hanno messo in evidenza alcun peggioramento in seguito a riduzione di sonno. Tale dato, messo a confronto con il peggioramento osservato in seguito a deprivazione totale, sarebbe di per sé interessante in quanto potrebbe far pensare all'esistenza di un numero minimo di ore di sonno sufficienti a mantenere intatta l'efficienza dell'inibizione di una risposta dominante, contrariamente a quanto osservato per l'attenzione. Tuttavia, l'assenza di un peggioramento nelle latenze medie di risposta come anche nell'accuratezza, rende necessario un atteggiamento prudente nell'interpretazione dei dati ottenuti. Il fatto che la prestazione al test ANT abbia subito un decremento significativo sia per quanto riguarda la velocità che per la percentuale di risposte corrette rende difficile spiegare i risultati ottenuti con lo Stop Task, essendo identiche sia la manipolazione sperimentale che il campione di soggetti preso in considerazione. Una possibile spiegazione consiste nella diversa difficoltà dei due compiti: l'SST, essendo costituito da lettere, potrebbe essersi rivelato un compito più difficile da svolgere per i soggetti rispetto all'ANT. Lo Stop Task si sarebbe pertanto rivelato adatto ad una

manipolazione sperimentale rigida come la deprivazione totale di sonno, viceversa non sufficientemente sensibile per una riduzione a tre ore di sonno.

Nel loro insieme comunque, i risultati ottenuti nell'esperimento di riduzione di sonno mostrano chiaramente come questo tipo di studi necessiti di maggiore attenzione. Ad oggi, gli effetti di una notte di sonno ridotto sui processi cognitivi hanno riscosso un interesse minore rispetto a quelli seguenti ad un periodo di veglia prolungata ininterrotta (Lavie, 1999). Risultati come questi dimostrano tuttavia come questo ambito di studi sia altrettanto interessante e verosimilmente più complesso rispetto alle situazioni sperimentali maggiormente studiate.

Con l'ultimo esperimento si è voluto indagare se i deficit riscontrati in condizioni di debito di sonno sperimentalmente indotto fossero osservabili anche in una situazione clinicamente rilevante come quella di pazienti affetti da sindrome delle apnee ostruttive del sonno (OSAS). Nel loro insieme, i risultati ottenuti per mezzo del test ANT e del test SST hanno confermato questa ipotesi.

Per quanto riguarda l'attenzione, anche in questo caso il peggioramento nei tempi di risposta riscontrato nei pazienti OSAS non ha prodotto un abbassamento generalizzato dell'efficienza dei tre network attenzionali. Il deficit si è rivelato invece essere ancora una volta a carico dell'executive control e in particolare a carico delle prove di tipo incongruente. Per quanto riguarda le componenti dell>alerting e dell'orienting, i risultati sembrano indicare che anche in presenza della sindrome OSAS, esse siano in grado di continuare a funzionare in maniera efficiente seppur in una situazione di minor allerta generale. Queste caratteristiche sono risultate dunque essere stabili in tutte le manipolazioni sperimentali effettuate.

Per quanto riguarda la capacità di inibire una risposta dominante, la sindrome OSAS si è rivelata debilitante, portando i pazienti affetti da questa patologia ad avere una prestazione significativamente peggiore a tutti gli altri gruppi. Il risultato è stato dunque simile a quello ottenuto dai partecipanti al primo esperimento in condizioni di deprivazione totale.

L'insieme dei risultati è in linea con gli studi che ipotizzano l'esistenza di un deficit generalizzato a carico delle funzioni del lobo frontale nei casi in cui la normale architettura del sonno venga danneggiata da un disturbo del sonno come l'apnea ostruttiva (Jones e Harrison, 2001).

Nel loro complesso, i dati ottenuti nel corso dei vari esperimenti hanno ripetutamente messo in evidenza la sensibilità delle funzioni esecutive prese in considerazione alle condizioni di debito di sonno e in presenza di patologie legate ad un disturbo del sonno come l'apnea ostruttiva. Questo risultato rappresenta un importante sviluppo per una miglior comprensione degli effetti esercitati dalla carenza di un sonno ristoratore sul processamento cognitivo. Infatti, se dai dati qui presentati è stato nuovamente confermato che la mancanza di sonno comporta un calo della vigilanza, il risultato nuovo consiste nell'aver osservato in maniera altrettanto chiara come questo peggioramento non si manifesti in maniera generalizzata, ma sia caratterizzato da caratteristiche precise e dotate di una certa sistematicità e coerenza. Il dato appare ancora più rilevante poiché riscontrato sia in seguito a manipolazione sperimentale su soggetti sani sia su pazienti affetti dalla sindrome OSAS.

Infine, dai dati raccolti appare evidente come il tentativo di integrazione tra la psicofisiologia del sonno e la psicologia cognitiva effettuata in questo lavoro possa favorire entrambi i settori di ricerca. Il fatto che, ad esempio, utilizzando il test di Posner in condizioni di scarsa vigilanza si sia riusciti ad ottenere una separazione dei due diversi tipi di alerting, tonico e fasico, testimonia la possibilità di ottenere attraverso manipolazioni sperimentali di questo tipo dei dati nuovi per comprendere nella maniera migliore possibile quali sono i processi coinvolti non solo nell'attenzione o nell'inibizione di una risposta dominante ma anche, in un futuro prossimo, in qualsiasi altra funzione cognitiva studiata nell'ambito della psicologia cognitiva. E' pertanto auspicabile che anche gli psicologi cognitivi inizino a pensare al sonno come ad uno strumento utile per ricavare delle informazioni rilevanti in merito a quegli aspetti della ricerca che ancora oggi rimangono insoluti o di difficile interpretazione.

BIBLIOGRAFIA

- Acheson, A., Richards, J.B., de Wit, H. (2007). Effects of sleep deprivation on impulsive behaviors in men and women, *Physiology & Behavior*, **91** (5), 579-587
- Akerstedt, T. Gillberg, M. (1990). Subjective and objective sleepiness in the active individual, *International Neuroscience*, **52**, 29-37
- Aron, A.R., Fletcher, P.C., Bullmore, E.T., Sahakian, B.J., Robbins T.W. (2003). Stop-signal inhibition disrupted by damage to right inferior frontal gyrus in humans, *Nature Neuroscience*, **6** (2), 115-116
- Aron, A.R., Poldrack, R.A. (2005). The cognitive neuroscience of response inhibition: relevance for genetic research in attention-deficit/hyperactivity disorder, *Biological Psychiatry*, **57**, 1285-1292
- Band, G.P.H., van Boxtel, G.J.M. (1999). Inhibitory motor control in stop paradigms: review and reinterpretation of neural mechanisms, *Acta Psychologica*, **101**, 179-211
- Bassiri, A.G., Guilleminault, C. (2000). Clinical feature and evaluation of obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome, in: *Principles and Practice of Sleep Medicine (3rd edition)*, (Eds. Kryger, M.H., Roth, T., Dement, W.C.) W.B. Saunders Company, Philadelphia
- Bedard, M.A., Montplaisir, J., Richer, F., Malo, J. (1991). Nocturnal hypoxemia as a determinant of vigilance impairment in sleep apnea syndrome, *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, **13**, 950-964
- Beebe, D.W., Gozal, D. (2002). Obstructive sleep apnea and the prefrontal cortex: towards a comprehensive model linking nocturnal upper airway obstruction to daytime cognitive and behavioral deficits, *Journal of Sleep Research*, **11**, 1-16
- Berger, A., Posner, M.I. (2000). Pathologies of brain attentional networks, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, **24**, 3-5
- Binks, P.G., Waters, W.F., Hurry, M.M. (1999). Short-term total sleep deprivations does not selectively impair higher cortical functioning, *Sleep*, **22** (3), 328-334

- Bocca, M.L., Denise, P. (2006). Total sleep deprivation effect on disengagement of spatial attention as assessed by saccadic eye movements, *Clinical Neurophysiology*, **117**, 894-899
- Bonnefond, A., Harma, M., Hakkola, T., Sallinen, M., Kandolin, I., Virkkala, J. (2003). Interaction of age with shift-related sleep-wakefulness, sleepiness, performance, and social life, *Experimental Ageing Research*, **32**, 185-208
- Bonnet, M.H. (2000). Sleep deprivation, in: *Principles and Practice of Sleep Medicine (3rd edition)*, (Eds. Kryger, M.H., Roth, T., Dement, W.C.) W.B. Saunders Company, Philadelphia
- Bonnet, M.H., Arand, D.L. (2003). Clinical effects of sleep fragmentation versus sleep deprivation, *Sleep Medicine Reviews*, **7** (4) 297-310
- Broughton, R.J. (1992). Qualitatively different states of sleepiness, in: *Sleep, Arousal and Performance* (Eds. Broughton, R.J., Ogilvie, R.D.), Birkhauser, Boston
- Bush, G., Luu, P., Posner, M.I. (2000). Cognitive and emotional influences in the anterior cingulate cortex, *Trends in Cognitive Sciences*, **4**, 215-222
- Callejas, A., Lupianez, J., Funes, M.J., Tudela, P. (2005). Modulations among the alerting, orienting and executive control networks, *Experimental Brain Research*, **167**, 27-37
- Callejas, A., Lupianez, J., Tudela, P. (2004). The three attentional networks: on their independence and interactions, *Brain and Cognition*, **54**, 225-227
- Carskadon, M.A., Dement, W.C., Mitler, M.M., Roth, T., Westbrook, P.R., Keenan, S. (1986). Guidelines for the Multiple Sleep Latency Test (MSLT): a standard measure of sleepiness, *Sleep*, **9** (4), 519-524
- Carskadon, M.A., Roth, T. (1991). Sleep restriction, in: *Sleep, Sleepiness and Performance* (Ed. Monk, T.H.), John Wiley & Sons Ltd
- Casagrande, M., Martella, D., Di Pace, E., Pirri, F., Guadalupi, F. (2006). Orienting and alerting: effect of 24 h of prolonged wakefulness, *Experimental Brain Research*, **171**, 184-193
- Cavallero, C., Versace, F. (2003). Stage at awakening, sleep inertia and performance. *Sleep Research Online* **5** (3), 89-97

- Coull, J.T. (1998). Neural correlates of attention and arousal: insights from electrophysiology, functional neuroimaging and psychopharmacology, *Progress in Neurobiology*, **55**, 343-361
- De Jong, R., Coles, M.G.H., Logan, G.D. (1995). Strategies and mechanisms in nonselective and selective inhibitory motor control, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **21** (3), 498-511
- Decary, A., Rouleau, I., Montplaisir, J. (2000). Cognitive deficits associated with Sleep Apnea Syndrome: a proposed neuropsychological test battery, *Sleep*, **23** (3), 369-381
- Dement, W.C. (1972). *Some must watch while some must sleep*, Stanford Alumni Association, Stanford
- Deutsch, G., Papanicolaou, A.C., Bourbon, T., Eisenberg, H.M. (1988). Cerebral blood flow evidence of right cerebral activation in attention demanding task, *International Journal of Neuroscience*, **36**, 23-28
- Devoto, A., Lucidi, F., Violani, C., Bertini, M., (1999). Effects of different sleep reductions on daytime sleepiness, *Sleep*, **22** (3), 336-343
- Dimitrov, M., Nakic, M., Elpern-Waxman, J., Granetz, J., O'Grady, J., Phipps, M., Milne, E., Logan, G.D., Hasher, L., Grafman, J. (2003). Inhibitory attentional control in patients with frontal lobe damage, *Brain and Cognition*, **52**, 258-270
- Dinges, D.F., Kribbs, N.B. (1991). Performing while sleepy: effects of experimentally-induced sleepiness, in: *Sleep, Sleepiness, and Performance* (Ed. T.H. Monk), John Wiley & Sons
- Dinges, D.F., Powell, J.W. (1985). Microcomputer analyses of performance on a portable, simple visual RT task during sustained operations. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, **17**, 652-655
- Dinges, D.F., Powell, J.W. (1988). Sleepiness is more than lapsing, *Sleep Research*, **17**, 84
- Drummond, S.P.A., Paulus, M.P., Tapert, S.F. (2006). Effects of two nights sleep deprivation and two nights recovery sleep on response inhibition, *Journal of Sleep Research*, **15**, 261-265

- Duncan, J., Owen, A.M. (2000). Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands, *Trends in Neurosciences*, **23** (10), 475-483
- El-Ad, B., Lavie, P. (2005). Effect of sleep apnea on cognition and mood, *International Review of Psychiatry*, **17** (4), 277-282
- Engleman, H.M., Kingshott, R.N., Martin, S.E., Douglas, N.J. (2000). Cognitive function in the Sleep Apnea/Hypopnea Syndrome (SAHS), *Sleep*, **23** (S4), 102-107
- Eriksen, B.A., Eriksen, C.W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task, *Perception and Psychophysics*, **16**, 143-149
- Fallone, G., Acebo, C., Arnedt, J.T., Seifer, R., Carskadon, M.A. (2001). Effects of acute sleep restriction on behavior, sustained attention, and response inhibition in children, *Perceptual Motor Skills*, **93**, 213-229
- Fan, J., Fossella, J., Sommer, T., Wu, Y., Posner, M.I. (2003). Mapping the genetic variation of executive attention onto brain activity, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, **100** (12), 7406-7411
- Fan, J., McCandliss, B.D., Fossella, J., Flombaum, J.I., Posner, M.I. (2005). The activation of attentional networks, *Neuroimage*, **26**, 471-479
- Fan, J., McCandliss, B.D., Sommer, T., Raz, A., Posner, M.I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks, *Journal of Cognitive Neuroscience*, **14** (3), 340-347
- Fan, J., Raz, A., Posner, M.I. (2003). Attentional mechanisms. Encyclopaedia of the neurological science. Elsevier Science, USA
- Ferini-Strambi, L., Baietto, C., Di Gioia, M.R., Castaldi, P., Castronovo, C., Zucconi, M., Cappa, S.F. (2003). Cognitive dysfunction in patients with obstructive sleep apnea (OSA): partial reversibility after continuous positive airway pressure (CPAP), *Brain Research Bulletin*, **61**, 87-92
- Fernandez-Duque, D., Posner, M.I. (1997). Relating the mechanisms of orienting and alerting, *Neuropsychologia*, **35** (4), 477-486

- Fernandez-Duque, D., Posner, M.I. (2001). Brain imaging of attentional networks in normal and pathological states, *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, **23** (1), 74-93.
- Fimm, B., Willmes, K., Spijkers, W. (2006). The effect of low arousal on visuo-spatial attention, *Neuropsychologia*, **44**, 1261-1268
- Friedman, N.P., Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: a latent-variable analysis, *Journal of Experimental Psychology: General*, **133** (1), 101-135
- Fulda, S., Schulz, H. (2001). Cognitive dysfunction in sleep disorders, *Sleep Medicine Reviews*, **5** (6), 423-445
- Gillberg, M., Akerstedt, T. (1998). Sleep loss and performance: no “safe” duration of a monotonous task, *Physiology & Behavior*, **64** (5), 599-604
- Gillberg, M. Kecklund, G., Akerstedt, T. (1994). Relations between performance and subjective ratings of sleepiness during a night awake, *Sleep*, **17** (3), 236-241
- Hallett, P.E. (1978). Primary and secondary saccades to goals defined by instructions, *Vision Research*, **18**, 1279-1296
- Halterman, C.I., Langan, J., Drew, A., Rodriguez, E., Osternig, L.R., Chou, L.S., Van Donkelaar P. (2006). Tracking the recovery of visuospatial attention deficits in mild traumatic brain injury, *Brain*, **129**, 747-753
- Harnishfeger, K.K. (1995). The development of cognitive inhibition: theories, definitions, and research evidence, In: *Interference and Inhibition in Cognition* (Eds. Dempster, F.N., Brainerd, C.J.), San Diego CA, Academic Press
- Harrison, Y., Espelid, E. (2004). Loss of negative priming following sleep deprivation, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **57**, 437-446
- Harrison, Y., Horne, J.A. (1997). Sleep deprivation affects speech, *Sleep*, **20** (10), 871-877
- Harrison, Y., Horne, J.A. (1998). Sleep loss impairs short and novel language tasks having a prefrontal focus, *Journal of Sleep Research*, **7**, 95-100
- Harrison, Y., Horne, J.A. (1999). One night of sleep loss impairs innovative thinking and flexible decision making, *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, **78**, 128-145
- Harrison, Y., Horne, J.A. (2000). Sleep loss and temporal memory, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **53A** (1), 271-279

- Harrison, Y., Horne, J.A. (2000). The impact of sleep deprivation on decision making: a review. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, **6** (3), 236-249
- Harrison, Y., Horne, J.A., Rothwell, A. (2000). Prefrontal neuropsychological effects of sleep deprivation in young adults – a model for healthy aging?, *Sleep*, **23** (8), 1-7
- Hirshkowitz, M., Moore, C.A., Minhoto, G. (2000). The basics of sleep, in: *Understanding Sleep* (Eds. Pressman, M.R., Orr W.C.), American Psychological Association, Washington DC
- Hoddes E., Zarcone V., Smythe H., Phillips R., Dement W.C. (1973). Quantification of sleepiness: a new approach, *Psychophysiology*, **10**, 431-436
- Horne, J.A. (1988). *Why we sleep*, Oxford University Press, England
- Horne, J.A., Ostberg, O. (1976). A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms, *International Journal of Chronobiology*, **4**, 97-110
- Jasper, H.H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **10**, 371-375
- Jennings, J.R., Monk, T.H., van der Molen, M.W. (2003). Sleep deprivation influences some but not all processes of supervisory attention. *Psychological Science*, **14** (5), 473-479
- Jones K., Harrison Y. (2001). Frontal lobe function, sleep loss and fragmented sleep. *Sleep Medicine Reviews*, **5** (6), 463-475
- Jonides, J. (1981). Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement, In: *Attention and Performance IX* (Eds. Long, J.P., Baddeley, A.D.), Erlbaum, Hillsdale, NJ
- Kendall, A.P., Kautz, M.A., Russo M.B., Killgore, W.D.S. (2006). Effects of sleep deprivation on lateral visual attention, *Internal. Journal of Neuroscience*, **116**, 1125-1138
- Kjellberg, A., (1977). Sleep deprivation and some aspects of performance, *Waking and Sleeping*, **1**, 139-143

- Kok, A., Ramautar, J.R., Deruiter, M.B., Band, G.P.H., Ridderinkhof, K.R. (2004). ERP components associated with successful and unsuccessful stopping in a Stop-signal task, *Psychophysiology*, **41**, 9-20
- Laberge, D. (1995). Attentional processing, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts
- Lavie, P. (1999). Il meraviglioso mondo del sonno, Einaudi editore, Torino
- Lijffijt, M., Kenemans, J.L., Verbaten, M.N., van Engeland, H. (2005). A meta-analytic review of stopping performance in attention-deficit/hyperactivity disorder: Deficient Inhibitory Motor Control?, *Journal of Abnormal Psychology*, **114** (2), 216-222
- Lisper, H.O., Kjiellberg, A. (1972). Effects of 24 h sleep deprivation on rate of decrement in a 10 min auditory reaction time task. *Journal of Experimental Psychology*, **96**, 287-290
- Logan, G.D. (1981). Attention, automaticity, and the ability to stop a speeded choice response, In: *Attention and Performance IX* (Eds. Long, J.P., Baddeley, A.D.), Erlbaum, Hillsdale, NJ
- Logan, G.D. (1994). On the ability to inhibit thought and action: a users' guide to the stop signal paradigm, In: *Inhibitory Processes in Attention, Memory and Language* (Eds. Dagenbach, D., Carr, T.H.), Academic Press, San Diego
- Logan, G.D., Cowan, W.B. (1984). On the ability to inhibit thought and action: a theory of an act of control, *Psychological Review*, **91** (3), 295-327
- Logan, G.D., Schachar, R.J., Tannock, R. (1997). Impulsivity and inhibitory control, *Psychological Science*, **8** (1), 60-64
- MacLeod, C.M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: an integrative review, *Psychological Bulletin*, **109** (2), 163-203
- McNamara, S.G. (1994). Clinical aspects of sleep apnea, in: *Sleep and breathing* (Eds. Saunders, N. and Sullivan, C.E.), Dekker, NY
- Millar, K. (1992). Some chronic problems in the methodology of performance, tasks applied in clinical settings, in: *Sleep, Arousal and Performance* (Eds. Broughton, R.J., Ogilvie, R.D.), Birkhauser, Boston

- Mirsky, A.F., Bruno, J.A., Duncan, C.C., Ahearn, M.B., Kellam, S.G. (1991). Analysis of the elements of attention: a neuropsychological approach, *Neuropsychology Review*, **2** (2), 109-145
- Monk T.H. (1989). A visual analogue scale technique to measure global vigor and affect, *Psychologic Research*, **27**, 89-99
- Murphy, C.F., Alexopoulos, G.S. (2006). Attention network dysfunction and treatment response of geriatric depression, *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, **28**, 96-100
- Muzur, A., Pace-Schott, E.F., Hobson, J.A. (2002). The prefrontal cortex in sleep, *Trends in Cognitive Sciences*, **6** (11), 475-481
- Naegele, B., Pepin, J.L., Levy, P., Bonnet, C., Pellat, J., Feuerstein, C. (1998). Cognitive executive dysfunction in patients with obstructive sleep apnea syndrome (OSAS) after CPAP treatment, *Sleep*, **21** (4), 392-396
- Naegele, B., Thouvard, V., Pepin, J.L., Levy, P., Bonnet, C., Perret, J.E., Pellat, J., Feuerstein, C. (1995). Deficits of cognitive executive functions in patients with Sleep Apnea Syndrome, *Sleep*, **18** (1), 43-52
- Neuhaus, A.H., Koehler, S., Opgen-Rhein, C., Urbanek, C., Hahn, E., Dettling, M. (2007). Selective anterior cingulate cortex deficit during conflict solution in schizophrenia: an event-related potential study, *Journal of Psychiatric Research*, **41** (8), 635-644
- Nigg, J.T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin*, **126** (2), 220-246
- Nilsson, J.P., Soderstrom, M., Karlsson, A.U., Lekander, M., Akerstedt, T., Lindroth, N.E., Axelsson, J. (2005). Less effective executive functioning after one night's sleep deprivation, *Journal of Sleep Research*, **14**, 1-6
- Norman, D.A., Shallice, T. (1986). Attention to action: willed and automatic control of behavior, In: *Consciousness and Self-Regulation* (Eds. Davidson, R.J., Schwartz, G.E., Shapiro, D.), Plenum Press, NY
- Oberlin, B.G., Alford, J.L., Marrocco, R.T. (2005). Normal attention orienting but abnormal stimulus alerting and conflict effect in combined subtype of ADHD, *Behavioural Brain Research*, **165**, 1-11

- Ollman, R.T. (1973). Simple reactions with random countermanding of the 'go' signal. In: *Attention and performance IV*, (Ed. Kornblum, S.), Academy Press, NY
- Oosterlaan, J., Sergeant, J.A. (1998). Response inhibition and response re-engagement in attention-deficit/hyperactivity disorder, disruptive, anxious and normal children, *Behavioural Brain Research*, **94**, 33-43
- Osman, A., Kornblum, S., Meyer, D.S. (1986). The point of no return in choice reaction time: controlled and ballistic stages of response preparation, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **12** (3), 243-258
- Parasuraman, R. (1998). The attentive brain: issues and prospects, In: *The attentive brain*, (Ed. Parasuraman, R.), MIT Press, Cambridge, Massachusetts
- Parasuraman, R., Warm, J.S., and See, J.E. (1998). Brain systems of vigilance, In: *The attentive brain*, (Ed. Parasuraman, R.), MIT Press, Cambridge, Massachusetts
- Pashler, H.E. (1998). *The psychology of attention*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts
- Philip, P., Taillard, J., Sagaspe, P., Valtat, C., Sanchez-Ortuno, M., Moore, N., Charles, A., Bioulac, B. (2004). Age, performance and sleep deprivation, *Journal of Sleep Research*, **13** (2), 105-110
- Pilcher, J.J., Huffcutt, A.I. (1996). Effects of sleep deprivation on performance: A meta-analysis. *Sleep*, **19** (4), 318-326
- Posner, M.I. (1978). *Chronometric explorations of mind*, Erlbaum, Hillsdale, NJ
- Posner, M.I. (1980). Orienting of attention, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **32**, 3-25
- Posner, M.I. (1994). Attention: the mechanisms of consciousness, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, **91**, 7398-7403
- Posner, M.I. (1995). Attention in cognitive neuroscience: an overview, in: *The Cognitive Neurosciences* (Ed. Gazzaniga, M.S.), MIT Press, Cambridge, Massachusetts
- Posner, M.I., Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting, In: *Attention and Performance* (Eds. Bouma, H., Bouwhuis, D.G.), Erlbaum, Hillsdale, NJ

- Posner, M.I., DiGirolamo, G.J. (1998). Executive attention: conflict, target detection, and cognitive control, in: *The Attentive Brain* (Ed. Parasuraman, R.), MIT Press, Cambridge, Massachusetts
- Posner, M.I., Petersen, S.E. (1990). The attention system of the human brain, *Annual Review of Neuroscience*, **13**, 25-42
- Posner, M.I., Raichle, M.E. (1994). Images of mind, Scientific American Library, New York
- Posner, M.I., Snyder, C.R., Davidson, B.J. (1980). Attention and the detection of signals, *Journal of Experimental Psychology: General*, **109** (2), 160-174
- Posner, M.I., Walker, J.A., Friedrich, F.J., Rafal, R.D. (1984). Effects of parietal injury on covert orienting of attention, *The Journal of Neuroscience*, **4** (7), 1863-1874
- Pribram, K.H., McGuinness, D. (1975). Arousal, activation, and effort in the control of attention, *Psychological Review*, **82** (2), 116-149
- Randazzo, A.C., Muehlbach, M.J., Schweitzer, P.K., Walsh, J.K. (1998). Cognitive function following acute sleep restriction in children ages 10-14, *Sleep*, **21** (8), 861-868
- Rechtschaffen, A., Kales A. (1968). A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects , Neurological Information Network, Bethesda, Maryland
- Ridderinkhof, K.R., Band, G.P.H., Logan, G.D. (1999). A study of adaptive behavior: effects of age and irrelevant information on the ability to inhibit one's actions, *Acta Psychologica*, **101**, 315-337
- Robertson, I.H., Manly, T. (1999). Sustained attention deficits in time and space, in: *Attention, Space and Action* (Eds. Humphreys, G.W., Duncan, J., Treisman A.), Oxford University Press
- Roehrs, T.A., Carskadon, M.A., Dement, W.C., Roth, T. (2000). Daytime sleepiness and alertness, in: *Principles and Practice of Sleep Medicine (3rd edition)* (Eds. Kryger, M.H., Roth, T., Dement, W.C.) W.B. Saunders Company, Philadelphia
- Roehrs, T., Merrion, M., Pedrosi, B., Stepanski, E., Zorick, F., Roth, T. (1995). Neuropsychological function in obstructive sleep apnea syndrome (OSAS)

- compared to chronic obstructive pulmonary disease (COPD), *Sleep*, **18** (5), 382-388
- Rubia, K., Smith, A.B., Brummer, M.J., Taylor, E. (2003). Right inferior prefrontal cortex mediates response inhibition while mesial prefrontal cortex is responsible for error detection, *Neuroimage*, **20**, 351-358
- Sagaspe, P., Philip, P., Schwartz, S. (2007). Inhibitory motor control in apneic and insomniac patients: a stop task study, *Journal of Sleep Research*, **16**, 381-387
- Sagaspe, P., Sanchez-Ortuno, M., Charles, A., Taillard, J., Valtat, C., Bioulac, B., Philip, P. (2006). Effects of sleep deprivation on color-word, emotional, and specific Stroop interference and on self-reported anxiety, *Brain and Cognition*, **60**, 76-87
- Saunamaki, T., Jehkonen, M. (2007). A review of executive functions in obstructive sleep apnea syndrome, *Acta Neurologica Scandinavica*, **115** (1), 1-11
- Schachar, R.J., Chen, S., Logan, G.D., Ornstein, T.J., Crosbie, J., Ickowicz, A., Pakulak, A. (2004). Evidence for an error monitoring deficit in attention deficit hyperactivity disorder, *Journal of Abnormal Child Psychology*, **32** (3), 285-293
- Schachar, R.J., Mota, V.L., Logan, G.D., Tannock, R., Klim, P. (2000). Confirmation of an inhibitory control deficit in attention-deficit/hyperactivity disorder, *Journal of Abnormal Child Psychology*, **28** (3), 227-235
- Schneider, W. (1990). MEL user's guide: computer techniques for real time experimentation, Psychology Software Tools Inc., Pittsburgh, USA
- Stroop, J.R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions, *Journal of Experimental Psychology*, **18**, 643-662
- Taillard, J., Moore, N., Claustrat, B., Coste, O., Bioulac, B., Philip, P. (2006). Nocturnal sustained attention during sleep deprivation can be predicted by specific periods of subjective daytime alertness in normal young humans, *Journal of Sleep Research*, **15**, 41-45
- Tipper, S.P. (1985). The negative priming effect: inhibitory priming by ignored objects, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **37A**, 571-590
- Turner, T.H., Drummond, S.P., Salamat, J.S., Brown, G.G. (2007). Effects of 42 hours of total sleep deprivation on component processes of verbal working memory, *Neuropsychology*, **21** (6), 787-795

- Umiltà, C. (1994). Attenzione e coscienza, in: *Manuale di Psicologia Generale* (ed. Legrenzi, P.), Il Mulino, Bologna
- Urrila, A.S., Stenuit, P., Huhdankoski, O., Kerkohfs M., Porkka-Heiskanen, T. (2007). Psychomotor vigilance task performance during total sleep deprivation in young and postmenopausal women, *Behavioural Brain Research*, **180** (1), 42-47
- Van Donkelaar, P., Langan, J., Rodriguez, E., Drew, A., Halterman, C., Osternig, L.R., Chou, L.S. (2005). Attentional deficits in concussion, *Brain Injury*, **19** (12), 1031-1039
- Versace, F., Cavallero, C., De Min Tona, G., Mozzato, M., Stegagno, L. (2006). Effects of sleep reduction on spatial attention, *Biological Psychology*, **71**, 248-255
- Verstraeten, E. (2007). Neurocognitive effects of obstructive sleep apnea syndrome, *Curr Neurol Neurosci Rep*, **7** (2), 161-166
- Verstraeten, E., Cluydts, R., Pevernagie, D., Hoffmann, G. (2004). Executive function in sleep apnea: controlling for attentional capacity in assessing executive attention, *Sleep*, **27** (4), 685-693
- Vgontzas, A.N., Zoumakis, E., Bixler, E.O., Lin, H.M., Follett, H., Kales, A., Chrousos, G.P. (2004). Adverse effects of modest sleep restriction on sleepiness, performance, and inflammatory cytokines, *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, **89** (5), 2119-2126
- Wang, H., Fan, J., Yang, Y. (2004). Toward a multilevel analysis of human attentional networks, *26th Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, paper **425**, Chicago
- Wilkinson, R.T. (1969). Some factors influencing the effect of environmental stresses upon performance, *Psychological Bulletin*, **72**, 260-272
- Wilkinson, R.T., Edwards, R.S., Haines, E. (1966). Performance following a night of reduced sleep, *Psychonomic Science*, **5** (12), 471-472
- Williams, R.B., Ponsesse, J.S., Shachar, R.J., Logan, G.D., Tannock, R. (1999). Development of inhibitory control across the life span, *Developmental Psychology*, **35** (1), 205-213

- Wimmer, F., Hoffmann, R.F., Bonato, R.A., Moffitt, A.R. (1992). The effects of sleep deprivation on divergent thinking and attention processes, *Journal of Sleep Research*, **1**, 223-230
- Zubin, J. (1975). Problem of attention in schizophrenia, in: *Experimental Approaches to Psychopathology*, (Eds. Kietzman, M.L., Sutton, S., Zubin, J.) Academic Press, NY