

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE**

---

**DOTTORATO DI RICERCA IN PSICOLOGIA SPERIMENTALE  
XIV CICLO**

**SONNO E ATTENZIONE  
EFFETTI DELLA RIDUZIONE DI SONNO  
SULL'ORIENTAMENTO DELL'ATTENZIONE  
NELLO SPAZIO**

CS

Dottorando:

Versace Francesco 172

Relatore:



Prof. Cavallero Corrado

Coordinatore:



Prof. Gerbino Walter

*In memoria del Professor Giuseppe Mucciarelli*

## INDICE

<b>Introduzione</b>	pag. 3
La sonnolenza	pag. 5
Misure comportamentali di sonnolenza	pag. 13
L'attenzione	pag. 19
Le caratteristiche dell'attenzione: un modello	pag. 20
Orienting	pag. 21
Target detection	pag. 24
Alerting	pag. 25
La capacità di mantenere l'attenzione nel tempo	pag. 26
La vigilanza	pag. 30
L'arousal	pag. 33
Le relazioni tra orientamento dell'attenzione e livello di allerta	pag. 35
Riduzione di sonno e attenzione	pag. 41
<b>Primo esperimento</b>	pag. 43
Metodo	pag. 43
Soggetti	pag. 43
Protocollo sperimentale	pag. 43
Materiale	pag. 45
Tempi di reazione semplici	pag. 46
Tempi di reazione con segnale di avvertimento (compito di orientamento parziale)	pag. 46
Analisi statistiche	pag. 47
Risultati	pag. 48
Discussione	pag. 50
<b>Secondo esperimento</b>	pag. 57
Metodo	pag. 59
Soggetti, materiale e procedura	pag. 59

Analisi statistiche	pag. 60
Risultati	pag. 60
Discussione	pag. 61
<b>Terzo esperimento</b>	pag. 63
Metodo	pag. 65
Soggetti	pag. 65
Materiale	pag. 65
Procedura	pag. 65
Fase di adattamento	pag. 66
Fase sperimentale	pag. 66
Riduzione dei dati e analisi statistiche	pag. 68
Risultati	pag. 70
Prove dalle 8 alle 10	pag. 70
Tempi di reazione semplici	pag. 70
Compito di orientamento spaziale	pag. 72
Prove dalle 11 alle 23	pag. 75
Tempi di reazione semplici	pag. 75
Compito di orientamento spaziale	pag. 76
Discussione	pag. 79
<b>Quarto esperimento</b>	pag. 86
Metodo	pag. 87
Soggetti	pag. 87
Materiale	pag. 87
Procedura	pag. 87
Analisi statistiche	pag. 88
Risultati	pag. 89
Discussione	pag. 91
<b>Conclusioni</b>	pag. 96
<b>Bibliografia</b>	pag. 100
<b>Ringraziamenti</b>	pag. 108

## INTRODUZIONE

Due istanze principali hanno guidato i lavori in cui sono state indagate le conseguenze della privazione di sonno: lo studio delle funzioni del sonno o, in ambiti applicativi, il tentativo di ridurre l'impatto negativo esercitato dalla mancanza di sonno.

Nel primo caso i ricercatori, ispirandosi a un paradigma sperimentale classico della fisiologia, hanno tentato di comprendere le funzioni svolte dall'"organo" sonno analizzando, per lo più attraverso lo studio di variabili fisiologiche in animali da laboratorio, le conseguenze della sua eliminazione totale o parziale.

Il secondo filone di ricerca non solo è caratterizzato dalla applicazione delle riduzioni sperimentali di sonno su soggetti umani anziché su animali, ma, soprattutto, dall'uso di test comportamentali allo scopo di valutare le conseguenze delle manipolazioni sperimentali effettuate.

Nel tentativo di estendere più facilmente i risultati ottenuti in laboratorio a contesti reali i ricercatori impegnati in queste ricerche spesso hanno tentato di aumentare la validità ecologica degli strumenti utilizzati per valutare gli effetti della riduzione di sonno: dai primi test di vigilanza che riproducevano in modo semplificato le mansioni di sorveglianza degli operatori radar dell'esercito si è passati a situazioni sempre più complesse nel tentativo, ad esempio, di simulare fedelmente le condizioni a cui sono sottoposti gli individui impegnati nella guida di autoveicoli o nel monitoraggio di apparati di controllo e gestione industriale.

Nonostante l'insieme di questi lavori abbia contribuito a mettere in luce l'entità, spesso sottovalutata, degli effetti negativi dovuti alla mancanza di sonno, a tutt'oggi non è ancora stato chiarito se esistano aspetti del funzionamento cognitivo maggiormente colpiti dagli effetti della mancanza di sonno rispetto ad altri o se il peggioramento delle prestazioni che si registra nella maggior parte dei compiti in seguito alla riduzione di sonno sia dovuto a un decadimento cognitivo generalizzato.

Fornire una risposta a questa domanda non solo permetterebbe di ottenere nuove informazioni a proposito delle funzioni del sonno, ma anche darebbe la possibilità di mettere a punto compiti e procedure meno vulnerabili agli effetti della riduzione di

sonno in ambiti lavorativi da cui questa non può essere eliminata (si pensi al settore della sanità, dei trasporti o della produzione di energia).

L'idea che ha ispirato il lavoro qui presentato è stata che l'indagine degli effetti della riduzione di sonno a carico dei processi cognitivi non può prescindere dai risultati ottenuti nell'ambito delle scienze cognitive che, indipendentemente dalla quantità di sonno dormita dai soggetti che hanno partecipato agli esperimenti, hanno contribuito a chiarire alcune caratteristiche dei processi cognitivi stessi.

Un esempio della relativa impermeabilità che caratterizza la psicofisiologia del sonno rispetto agli apporti provenienti da discipline contigue a proposito delle caratteristiche del processamento delle informazioni è dato dall'uso che gli ipnologi fanno del costrutto di attenzione. Nonostante gli psicologi cognitivisti abbiano dimostrato come l'attenzione rappresenti un costrutto multidimensionale con precise caratteristiche, gli ipnologi ancora oggi attribuiscono i decrementi nelle prestazioni provocati dalla riduzione di sonno a "deficit attentivi" non meglio specificati. Spesso il costrutto di attenzione viene fatto coincidere con quello di arousal prescindendo dai modelli che sono stati sviluppati nel tentativo di integrare tra loro le componenti in cui può essere suddivisa l'attenzione.

In questo lavoro, dunque, abbiamo deciso di valutare le conseguenze che la riduzione di sonno esercita a carico dell'attenzione spaziale utilizzando dei test che dessero la possibilità di interpretare i risultati ottenuti all'interno della cornice teorica fornita dai modelli esistenti a proposito delle caratteristiche delle sottocomponenti che costituiscono l'attenzione spaziale migliorando così la precisione delle informazioni che possediamo a proposito degli effetti esercitati dalla riduzione di sonno a carico del processamento cognitivo.

## LA SONNOLENZA

In una recente rassegna Bonnet (2001) afferma che la conseguenza più evidente della restrizione di sonno è rappresentata dall'aumento della sonnolenza e che il livello elevato di sonnolenza può essere considerata la causa dei decrementi che si osservano nelle prestazioni degli individui in debito di sonno. La sonnolenza risulta tra i costrutti più frequentemente utilizzati nell'ambito della psicofisiologia del sonno, ma, nonostante la sua elevata "frequenza d'uso", raramente ne viene fornita una definizione chiara e univoca. Apparentemente la sua esistenza non può essere messa in discussione e per intuirne la natura sembrerebbe sufficiente fare riferimento a una sorta di senso comune condiviso dalla comunità scientifica che, escludendo i gruppi di pazienti affetti da patologie legate al sonno o le conseguenze di manipolazioni farmacologiche, considera la sonnolenza un segnale che comunica all'essere umano la necessità fisiologica di dormire: la sonnolenza e i suoi effetti, infatti, verrebbero dissipati dal sonno (George, 2002).

La propensione al sonno costituisce il punto di riferimento che sia le misure "soggettive" (questionari di autovalutazione) sia le misure "oggettive" (polisomnografia) utilizzano per fornire una stima del grado di sonnolenza che affligge il soggetto prima che il sonno abbia inizio.

La Stanford Sleepiness Scale (Hoddes et al., 1973), ad esempio, tra le prime ad essere ideata e validata, propone al soggetto di stimare il proprio grado di sonnolenza in relazione a sette frasi che vanno dall'estremo "mi sento vitale, attivo, completamente sveglio" all'estremo "sto combattendo per rimanere sveglio, presto mi addormenterò". Successivamente sono stati messi a punto altri strumenti di misurazione che prevedono un numero maggiore di frasi (Gillberg et al., 1994) o che chiedono al soggetto di descrivere il proprio stato in relazione a degli aggettivi posti su un continuum (Monk, 1989).

In generale queste scale si sono mostrate sensibili sia alle conseguenze della riduzione di sonno sia alle fluttuazioni circadiane della sonnolenza (Babkoff et al., 1991). Le critiche che vengono rivolte a questi strumenti sono simili a quelle che possono essere avanzate a proposito dei questionari di autovalutazione e, sostanzialmente, riguardano

l'acquiescenza del soggetto nei confronti delle aspettative dello sperimentatore che, dopo la riduzione della quantità di sonno, ipotizza che il livello di sonnolenza non possa che aumentare (Millar, 1992) e il grado di consapevolezza che le persone possiedono a proposito dei "sintomi" della sonnolenza: in alcune situazioni, soprattutto quando la sonnolenza risulta particolarmente elevata, le persone tendono a sottostimarne il livello rendendo più probabile l'eventualità di addormentamenti involontari (Cluydts et al., 2002).

La presenza di brevi intrusioni di sonno nel corso della veglia può, invece, essere rilevata più agevolmente attraverso la registrazione di variabili fisiologiche. Il criterio contro cui queste scale sono state validate, infatti, è costituito dalla propensione al sonno misurata oggettivamente attraverso la latenza di addormentamento che, dal punto di vista elettroencefalografico, presenta delle caratteristiche ben definite indipendenti dalle capacità introspettive dei soggetti (Rechtschaffen and Kales, 1968).

Il Multiple Sleep Latency Test (MSLT Carskadon and Dement, 1977; 1982a), che prevede la misurazione della latenza di addormentamento in un setting standardizzato (a letto, in una stanza oscurata con l'istruzione di non resistere all'addormentamento), è stato proposto dagli ideatori come lo standard di riferimento per la misurazione diretta della sonnolenza dal momento che consente una interpretazione univoca dei risultati (Benbadis et al., 1995), si è mostrato sensibile sia alla riduzione di sonno sia al suo incremento (Carskadon and Dement, 1982a; 1982b) e presenta delle buone caratteristiche di stabilità nel tempo (Zwyghuizen-Doorenbos et al., 1988). Questa proposta è stata però criticata dagli ideatori del Maintenance of Wakefulness Test (MWT Mitler, Gujavarty, and Browman, 1982) che sottolineano come le istruzioni fornite nel MSLT (tentare di addormentarsi nel minore tempo possibile senza resistere al sonno) facciano in modo che ad essere misurata non sia la sonnolenza, ma la capacità di addormentarsi velocemente. Una misura più affidabile sarebbe quindi quella ottenuta chiedendo ai soggetti di resistere al sonno, situazione che, sottolineano gli autori del MWT, risulta anche valida dal punto di vista ecologico (una persona in debito di sonno impegnata alla guida o in altre mansioni solitamente cerca di rimanere sveglia).

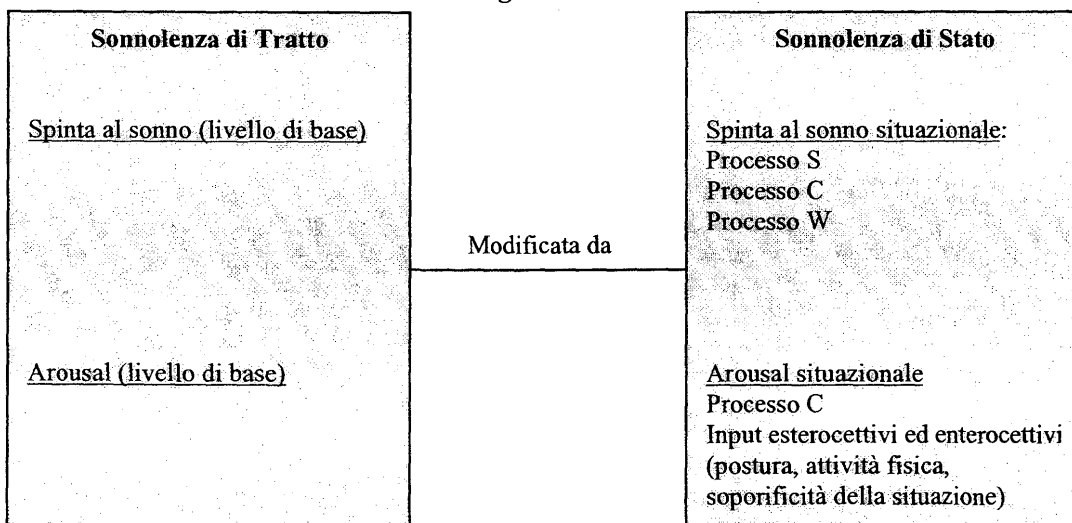


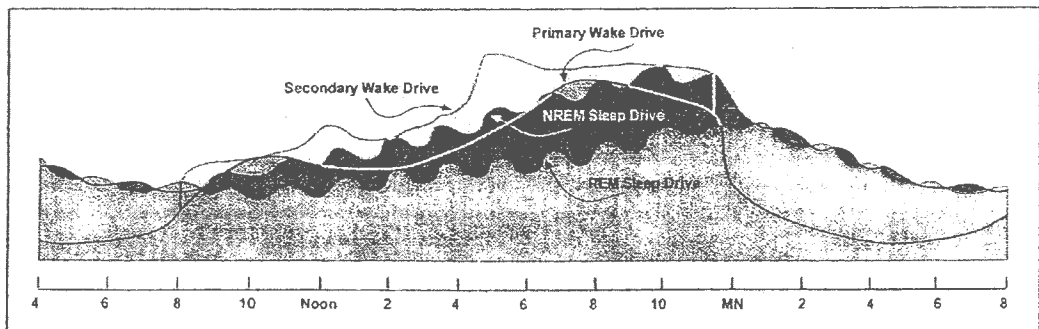
Un'altra critica rivolta al MSLT riguarda la scarsa attenzione posta al "contesto" che precede l'inizio della sessione di misurazione: Bonnet e Arandt (2000) hanno messo in evidenza come le attività che precedono la sessione di misurazione siano in grado di influenzare la successiva latenza di addormentamento: l'esperimento prevedeva che ciascuna sessione del MSLT fosse preceduta da un periodo di 15 minuti trascorso guardando la televisione (condizione 1) oppure da una passeggiata di 5 minuti (condizione 2). Nella condizione 2 le latenze di addormentamento erano significativamente più alte rispetto alla condizione 1 nonostante le istruzioni fornite e il setting del test fossero identiche nelle due condizioni sperimentali.

In generale questi lavori hanno contribuito a mettere in evidenza come la latenza di addormentamento, che in ogni caso viene considerata una misura valida di sonnolenza, non sia modulata solo dalla necessità di sonno del soggetto (chiamata "spinta al sonno"), ma anche da quella che è stata chiamata "spinta alla veglia", che gli ipnologi identificano con il livello di arousal. Sia la spinta al sonno sia la spinta alla veglia sarebbero presenti contemporaneamente e il grado di sonnolenza esperito dalla persona è dovuto all'interazione, a volte scarsamente prevedibile, di entrambi questi elementi che, a loro volta, presentano sia delle caratteristiche individuali stabili sia delle caratteristiche di stato che ne modulano l'espressione.

In figura 1 viene illustrato un modello che tenta di considerare tutte le variabili coinvolte nella generazione della sonnolenza e ne viene fornita una rappresentazione grafica (George, 2002).

**Figura 1**





Rappresentazione grafica delle variabili coinvolte nella generazione della sonnolenza (George, 2002)

In che cosa consistano le differenze tra il livello di arousal e la sonnolenza non emerge chiaramente dal modello: sembra che, in questo caso, con arousal vengano indicati gli eventi esterni in grado di modificare la probabilità che un individuo si addormenti. Probabilmente anche a causa della difficoltà di individuare quali siano questi fattori, solo il ruolo giocato da quelle che nella figura sono state chiamate "spinte al sonno situazionali" è stato esplorato in maniera estesa.

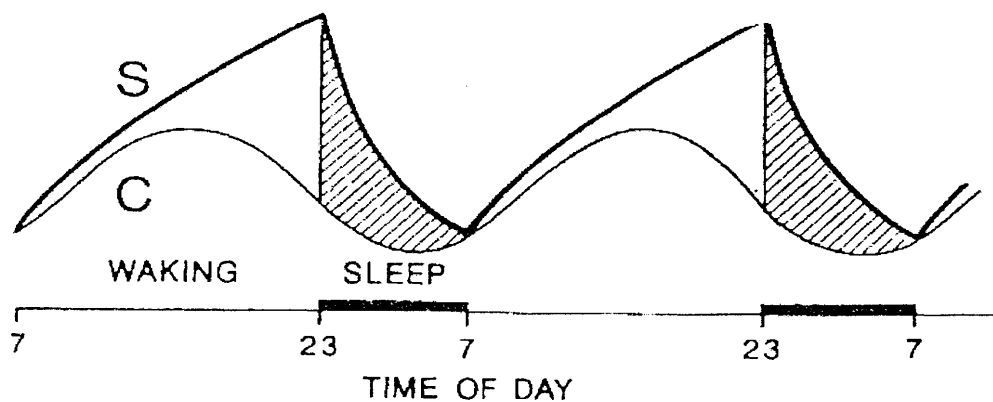
Le componenti "C", "S" e "W", infatti, costituiscono, secondo i modelli presenti in letteratura, gli elementi principali in grado di modulare nel corso delle 24 ore il grado di sonnolenza di un individuo.

In figura 2 viene presentato in forma grafica il modello di Achermann e Borbely (1994). Attraverso l'interazione delle componenti circadiana (processo C) e omeostatica (processo S), esprimibili rispettivamente attraverso una funzione sinusoidale e una funzione esponenziale, il modello renderebbe conto delle fluttuazioni della sonnolenza nel corso delle 24 ore.

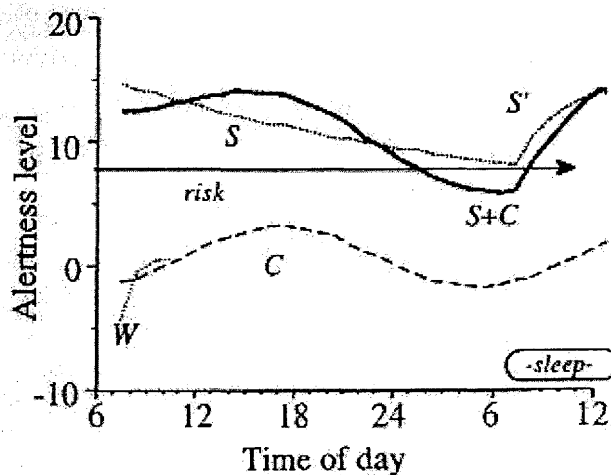
Il Processo C rifletterebbe le variazioni circadiane del livello di allerta, avrebbe un andamento sinusoidale toccando il livello minimo nelle primissime ore del mattino.

Il Processo S rappresenterebbe la sonnolenza (pressione al sonno) e può essere espresso attraverso una funzione che incrementerebbe esponenzialmente a partire dal momento del risveglio. Dopo l'addormentamento il Processo S verrebbe sostituito dal Processo S' che rappresenterebbe i processi ristorativi sonno-dipendenti.

Figura 2



Il modello a due fattori (Achermann e Borbely, 1994)  
 C: variazioni circadiane del livello di allerta  
 S: pressione al sonno



Parametri del modello a tre fattori per la regolazione del livello di allerta  
 S = componente omeostatica durante la veglia  
 S' = componente omeostatica durante il sonno  
 C = componente circadiana  
 W =sleep inertia  
 S+C= la previsione del livello di allerta (esclusa W)  
 Livello di rischio= 7  
 Tratto da: Akerstedt, 1995

Allo scopo di migliorare l'accuratezza delle previsioni a proposito del livello di allerta immediatamente dopo il risveglio Folkard e Akerstedt (1991) hanno proposto un modello che, accanto alle due precedenti include una terza componente dagli autori chiamata "W" (wake up), il cui effetto negativo sul livello di allerta sarebbe massimo al momento del risveglio (si veda figura 2).

La componente "W" rappresenterebbe la sleep inertia (Lubin, et al., 1976), il periodo di "disorientamento" e performance degradate che segue il risveglio. Avrebbe un andamento esponenziale e nell'arco di alcune ore gli effetti da questa esercitati sarebbero scomparsi.

Sia il gruppo di Borbely sia il gruppo di Akerstedt hanno presentato dei dati a favore della possibilità, a partire da questi tre fattori, di prevedere in modo accurato il livello di sonnolenza nel corso della giornata non solo in gruppi di persone sottoposte a normali regimi sonno-veglia, ma anche in gruppi di persone sottoposte a regimi sonno-veglia alterati. Questa ultima possibilità ha portato Akerstedt (1995) a proporre di utilizzare il modello a tre componenti allo scopo di valutare il rischio di incidenti in situazioni reali in cui è prevista la riduzione di sonno o l'alterazione del regime sonno-veglia (ad esempio lavoro a turni, salvataggi, operazioni militari etc...). La scala di allerta proposta nel modello di Akerstedt (1995) prevede infatti una soglia di "pericolo" al di sopra della quale, secondo l'autore, la possibilità di errori da parte della persona in debito di sonno aumenterebbe in modo significativo. Attraverso il modello sarebbe possibile prevedere con sufficiente accuratezza i momenti in cui questa soglia verrebbe superata permettendo di adottare anticipatamente delle contromisure adeguate (modifica del regime di turni, introduzione di sonnellini in momenti critici etc...) riducendo in questo modo il numero di incidenti.

Una possibile critica alla precisione e al potere euristico di questi modelli riguarda la modalità attraverso cui sono stati ottenuti i dati relativi al grado di sonnolenza esperito dei soggetti. Negli esperimenti condotti allo scopo di mettere a punto e valutare il potere predittivo delle equazioni sottostanti ai modelli i dati sono stati raccolti principalmente attraverso l'uso di scale di autovalutazione. Come descritto precedentemente è possibile che le stime fornite attraverso questi strumenti rispecchino solo parzialmente il reale

livello di sonnolenza effettivamente presente in un determinato momento. Le distorsioni introdotte dall'uso di queste misure potrebbero rendere meno affidabili le previsioni ottenute attraverso questi strumenti.

Un altro aspetto che gli autori non prendono in considerazione riguarda la variabile dipendente di cui i modelli forniscono la stima: il modello di Achermann e Borbely (1994) predice il livello di sonnolenza, mentre lo strumento messo a punto da Folkard e Akerstedt (1991) ha lo scopo di fornire delle previsioni riguardo il livello di allerta. Confrontando le rappresentazioni grafiche dei due modelli (figura 2), sembrerebbe di poter concludere che il livello di allerta del modello di Folkard e Akerstedt (1991) sia semplicemente il reciproco del livello di sonnolenza del modello di Achermann e Borbely (1994)

Questa differenza cessa di essere solo terminologica e acquista un significato sostanziale prendendo in considerazione gli effetti dovuti alla componente W. Secondo Folkard e Akerstedt (1991) la sleep inertia sarebbe in grado di ridurre sensibilmente il livello di allerta dell'individuo successivamente al risveglio per un periodo che gli autori stimano pari circa un'ora. Poiché la sonnolenza rappresenterebbe il bisogno fisiologico di sonno dell'individuo (Borbely and Achermann, 1992), osservarne un incremento immediatamente dopo la conclusione del processo preposto al suo dissolvimento rappresenterebbe un evidente paradosso. Alla luce di queste considerazioni il fatto che il modello di Folkard e Akerstedt (1991) stimi il livello di allerta, sembrerebbe indicare che quest'ultima sia distinta dal costrutto di sonnolenza. Quali caratteristiche distinguono i due costrutti non è chiaro: sonnolenza e allerta sembrerebbero influenzate nello stesso modo dai processi omeostatici, circadiani e dalla sleep inertia.

Un modo per risolvere il paradosso rappresentato dalla presenza della sonnolenza immediatamente dopo il risveglio viene suggerito da Pivik (1991) il quale ipotizza che la sonnolenza non rappresenti solo il bisogno di sonno da parte dell'individuo, ma costituisca un periodo di transizione tra due stati di coscienza diversi, la veglia e il sonno, in cui il cervello funzionerebbe secondo modalità qualitativamente differenti. La transizione tra questi due stati non potrebbe avvenire se non attraverso le fasi di addormentamento e risveglio in cui sono presenti contemporaneamente sia

caratteristiche della veglia sia caratteristiche del sonno. La sleep inertia, dunque, rappresenterebbe il non completo disancoraggio dalle modalità di funzionamento del sonno e, secondo Pivik (1991), non ci sarebbe motivo di considerarla uno stato qualitativamente diverso dalla sonnolenza.

Altri autori considerano le transizioni dalla veglia al sonno e viceversa come le più evidenti manifestazioni dei cambiamenti nel livello di arousal di un individuo (Parasuraman, 1984a; Portas et al, 1998; Coull, 1998), che, in contraddizione con il modello presentato in figura 1, non viene considerato un costrutto distinto dalla sonnolenza.

La distinzione tra arousal e sonnolenza potrebbe essere attribuita principalmente alla necessità di sottolineare, nel contesto della medicina del sonno, come la probabilità che un individuo si addormenti non sia determinata solo da fattori endogeni connessi ai centri nervosi che promuovono attivamente il sonno, ma anche da fattori esogeni dei quali si deve tenere conto sia al momento della diagnosi di un disturbo del sonno sia al momento della istituzione di una terapia adeguata. Al di fuori di questo contesto la distinzione tra arousal e sonnolenza non sarebbe necessaria: considerando che gli stessi fattori che modulano il livello di arousal modificano allo stesso modo il livello di sonnolenza, sembra più opportuno considerare i processi C, S e W come alcuni tra i fattori in grado di modulare il livello di arousal dell'individuo e considerare la sonnolenza come un termine che indica la riduzione dell'arousal dovuta principalmente alla riduzione del tempo di sonno.

La proposta di utilizzare il modello di Folkard e Akerstedt come un utile ausilio allo scopo di ridurre il numero di incidenti in condizioni di regimi sonno-veglia alterati, fa emergere un altro aspetto critico connesso alla variabile dipendente utilizzata per misurare gli effetti della riduzione di sonno. Secondo gli autori, la possibilità di prevedere il livello di allerta in un determinato momento delle 24 ore permetterebbe di calcolare una soglia di rischio al di sopra della quale gli addormentamenti involontari, e quindi gli incidenti, diventerebbero estremamente probabili. Presupporre che gli errori nelle prestazioni degli operatori umani attribuibili alla sonnolenza siano dovuti esclusivamente al fatto che il sonno abbia inizio indipendentemente dalla volontà della

persona non considera la possibilità che la sonnolenza alteri il comportamento anche precedentemente all'inizio del sonno.

Questa ipotesi può essere verificata solo affiancando alle scale di autovalutazione e alle variabili fisiologiche delle misure che permettano di valutare più accuratamente l'efficienza dei processi cognitivi dei soggetti in debito di sonno.

### **Misure comportamentali di sonnolenza**

Il vantaggio presentato dall'uso dei test di performance, considerati da alcuni autori misure di sonnolenza meno affidabili delle precedenti (Pivik, 1991), sarebbe quello di attribuire un significato funzionale alle modificazioni fisiologiche osservabili nei soggetti sottoposti a riduzioni di sonno (Dinges, 1992). Purtroppo le conclusioni dei lavori in cui queste misure sono state utilizzate, spesso si limitano a generiche constatazioni a proposito dell'aumento di sonnolenza misurato grazie al test utilizzato, senza contribuire a chiarire alcunchè a proposito delle conseguenze esercitate dalla riduzione di sonno sulle funzioni cognitive.

A questa situazione ha contribuito il fatto che, solitamente, i criteri utilizzati per scegliere un test in un esperimento sugli effetti della riduzione di sonno non tengono conto degli aspetti del processamento cognitivo di cui il compito selezionato fornisce una misura, ma solo delle caratteristiche del compito che rendono maggiormente probabile il peggioramento delle prestazioni successivamente alla riduzione di sonno (Dinges, 1992).

Nella selezione di un compito gli aspetti che maggiormente vengono posti in evidenza sono la durata del test, la frequenza e la modalità di somministrazione degli stimoli, la presenza di feedback riguardo il livello della prestazione, la somministrazione di segnali di avvertimento, la complessità del compito e il grado di apprendimento precedente all'inizio dell'esperimento (Wilkinson, 1992; Dinges, 1992; Millar, 1992), mentre le abilità cognitive sottostanti alla esecuzione dei test raramente vengono prese in considerazione.

L'importanza data alla quantificazione precisa della sonnolenza a scapito della indagine degli effetti esercitati dalla riduzione di sonno a carico di specifiche funzioni cognitive si

comprende alla luce del fatto che la sonnolenza viene solitamente considerata la causa di deficit aspecifici in grado di determinare un decadimento generalizzato delle prestazioni dell'individuo in debito di sonno (Dinges and Barone Kribbs, 1991).

L'unica eccezione a questa ipotesi è rappresentata dalla proposta avanzata da Horne (1988, 1991, 1992) che prevede l'esistenza di due tipi di sonnolenza in grado di esercitare effetti qualitativamente diversi a carico dei processi cognitivi. Il primo tipo di sonnolenza, chiamata "opzionale", si manifesterebbe attraverso la diminuzione aspecifica dell'efficienza del soggetto, osservabile nella maggior parte dei compiti. La sonnolenza "fondamentale" determinerebbe "sintomi" specifici di natura simile, anche se di intensità inferiore, a quelli osservabili nei pazienti con traumi cranici localizzati nelle regioni frontali. Secondo Horne (1988, 1991, 1992) gli effetti della sonnolenza "opzionale" sarebbero mediati da un abbassamento della motivazione del soggetto ad impegnarsi nella esecuzione del test e sarebbero facilmente eliminabili grazie a un maggiore impegno, mentre la sonnolenza "fondamentale" avrebbe origine dalla mancata azione di "recupero" esercitata dal sonno a carico delle regioni frontali e non sarebbe eliminabile se non concedendo nuovamente al soggetto la possibilità di dormire.

I dati a favore di questa ipotesi non sono molto numerosi e sono stati osservati soprattutto in pazienti affetti da patologie del sonno (Jones and Harrison, 2001). Poiché raramente i deficit delle funzioni frontali previsti in seguito alla eliminazione del sonno fondamentale sono stati rilevati in soggetti sani è possibile che i risultati osservati nei pazienti siano attribuibili alla patologia da cui questi sono affetti anziché alla deprivazione di sonno. Bisogna considerare anche che l'efficienza delle funzioni frontali nei soggetti sani in debito di sonno è stata valutata utilizzando dei test neuropsicologici tarati su una popolazione di pazienti: aver osservato dei peggioramenti significativi solo successivamente a deprivazioni di sonno intense e non dopo brevi riduzioni potrebbe essere dovuto alla presenza in queste ultime di un effetto pavimento dovuto alla facilità di esecuzione dei compiti utilizzati. Infine, poiché nelle situazioni in cui sono stati rilevati dei deficit attribuibili alle funzioni frontali non è stato possibile da parte dei soggetti ridurre l'incidenza della sonnolenza opzionale, è possibile attribuire i risultati



ottenuti agli effetti progressivamente più intensi della riduzione prolungata di sonno anziché a specifici deficit delle funzioni frontali.

Con l'eccezione della ipotesi avanzata da Horne (1988, 1991, 1992), dunque, il peggioramento ai test di performance che si osserva in seguito alla perdita di sonno viene attribuito all'effetto generalizzato che la sonnolenza eserciterebbe a carico delle prestazioni cognitive attraverso la riduzione delle capacità attentive (Dinges and Barone Kribbs, 1991; Dinges, 1992; Dinges, 1989).

Già Wilkinson (1969, 1992) aveva messo in evidenza come la riduzione del livello di vigilanza, cioè della capacità di rilevare e rispondere a piccoli cambiamenti che accadono a intervalli casuali nell'ambiente esterno (Mackworth, 1957 cit. in Parasuraman Warm and See, 1998), fosse la conseguenza più rilevante della riduzione di sonno. Più recentemente Dinges (1992), proponendo quella che è stata chiamata "ipotesi della instabilità di stato", ha affermato che l'abbassamento del livello di vigilanza rappresenterebbe solo un aspetto parziale di una più generale riduzione delle capacità attentive. Dinges e Barone Kribbs (1991) sottolineano che per evidenziare gli effetti della riduzione di sonno non sarebbero necessari i compiti prolungati (30-60 minuti) utilizzati da Wilkinson (1992), ma sarebbero sufficienti test di durata inferiore (10 minuti). Questi, accanto alla diminuzione del livello di vigilanza, sarebbero in grado di mettere in evidenza anche la ridotta capacità di mantenere un adeguato livello di attenzione sostenuta nel tempo da parte del soggetto in debito di sonno.

Dal momento che vigilanza e attenzione sostenuta solitamente vengono utilizzati come sinonimi (Parasuraman, 1984b) l'affermazione di Dinges e Barone Kribbs (1991), che associano l'attenzione sostenuta a compiti di breve durata in contrapposizione ai compiti di vigilanza, può apparire sorprendente. E' possibile, però, che con il termine attenzione sostenuta Dinges e Barone Kribbs (1991) si riferiscano a quella che, da altri autori, è stata chiamata "performance sostenuta" (Robertson e Manly, 1999). L'efficacia dei test di breve durata nell'evidenziare gli effetti della riduzione di sonno sarebbe dovuta, secondo Dinges e Barone Kribbs (1991), alla elevata frequenza di risposta che questi richiedono da parte del soggetto. I compiti di vigilanza, originariamente messi a punto con lo scopo di valutare l'efficienza nel tempo del personale impiegato in mansioni di

sorveglianza continua, prevedono la rilevazione di segnali somministrati a intervalli casuali con una media di circa uno stimolo ogni due/tre minuti (Mackworth, 1968). Questa caratteristica, secondo Dinges e Barone Kribbs (1991), li renderebbe non adatti a evidenziare le rapide fluttuazioni della attenzione sostenuta che caratterizzerebbero le prestazioni di un soggetto in debito di sonno. I dati riportati da Dinges e Powell (1988) confermerebbero questa tesi: il loro esperimento prevedeva che le prestazioni di un gruppo di soggetti sottoposti a due notti di deprivazione di sonno venissero valutate attraverso un breve (10 minuti) compito di tempi di reazione. I risultati hanno permesso di osservare che con il protrarsi delle ore di veglia, accanto all'aumento delle latenze medie di risposta, anche il decremento delle prestazioni nel corso della prova avveniva più rapidamente. Secondo gli autori la sensibilità del compito da loro utilizzato era dovuta alla frequenza elevata con cui gli stimoli target venivano mostrati al soggetto nel corso della prova.

L'importanza del ruolo giocato da questo fattore era già stata sottolineata da Lisper (1969) che aveva dimostrato la maggiore sensibilità alle modificazioni del livello di vigilanza di un compito di tempi di reazione in cui gli stimoli venivano somministrati con una frequenza elevata (240 stimoli/ora) rispetto a un compito in cui la frequenza di somministrazione era inferiore (12 stimoli/ora).

Successivamente Lisper e Kjellberg (1972) hanno messo in luce come un compito di tempi di reazione di 10 minuti, in cui venivano presentati 16 stimoli al minuto, fosse in grado di evidenziare una riduzione significativa del livello di vigilanza dopo una notte di deprivazione totale di sonno.

Sia nell'esperimento condotto da Lisper e Kjellberg (1972) sia in quello condotto da Dinges e Powell (1988) le prestazioni dei soggetti sono state valutate analizzando l'andamento delle prestazioni nel corso della singole sessioni di test. Questo tipo di analisi, secondo Dinges e Barone Kribbs (1991), permetterebbe di evidenziare un secondo aspetto caratteristico delle performance di un soggetto in debito di sonno: accanto alla più rapida perdita di efficienza sarebbe evidente anche una maggiore instabilità dovuta alla presenza di risposte estremamente lente che si registrerebbero con frequenza sempre maggiore in seguito al protrarsi della deprivazione.

Questo aspetto era stato messo in evidenza per la prima volta in un lavoro di Williams Lubin e Goodnow (1959) che avevano attribuito la presenza di questo tipo di risposte, che chiamano "lapses", a brevi intrusioni di sonno nel corso della prova in cui il soggetto era impegnato. Analizzando l'EEG registrato durante l'esecuzione dei test, gli autori avevano identificato nei tracciati la presenza di onde a bassa frequenza in corrispondenza delle risposte classificate come lapses. Secondo Williams e collaboratori (1959) la presenza di questi "microsonni" avrebbe effetti diversi sulle prestazioni in funzione delle caratteristiche del compito e da queste caratteristiche dipenderebbe la scelta della variabile dipendente più adatta ad evidenziare le conseguenze della mancanza di sonno: se il momento in cui avviene la somministrazione dello stimolo imperativo è sotto il controllo del soggetto (compiti S-paced, secondo la definizione di Williams et al., 1959) aumenterà il tempo necessario per completare il compito, mentre se la somministrazione degli stimoli avviene ad una frequenza predeterminata (compiti E-paced) la variabile dipendente più sensibile sarà il numero degli errori nel corso del test. Con la modalità di somministrazione E-paced, infatti, aumenterebbe la probabilità che le informazioni rilevanti per la emissione della risposta corretta vengano fornite nel corso di un "microsonno", se il compito, invece, è S-paced, il soggetto, per dare inizio a ciascun trial, attenderà che il periodo in cui non ha la possibilità di prestare attenzione al compito sia terminato.

Secondo Williams, Lubin e Goodnow (1959) solo la presenza dei lapses caratterizzerebbe le prestazioni di un soggetto in debito di sonno: escludendo i brevi periodi in cui i microsonni precludono la possibilità di rispondere alle richieste del compito l'efficienza di risposta non si discosterebbe in modo significativo da quella che si registra precedentemente alla manipolazione sperimentale.

A differenza di quanto ipotizzato da Williams e collaboratori (1959) non tutti i decrementi osservabili nelle performance di un soggetto in debito di sonno sarebbero attribuibili alla presenza dei lapses: sia Lisper e Kjellberg (1972) sia Wilkinson e Houghton (1982), hanno dimostrato come anche la media dei tempi di reazione inferiori al decimo centile aumenti significativamente dopo 24 ore di privazione di sonno. Gli effetti della riduzione di sonno sarebbero dunque evidenti anche al di fuori del dominio

dei lapses e provocherebbero un rallentamento generale del processamento cognitivo a causa della diminuzione del livello di vigilanza.

Secondo Dinges (1992) l'insieme dei dati sopra riportati non sarebbe il risultato dell'influenza di fattori eterogenei sulle prestazioni di un individuo, ma testimonierebbe l'incapacità a mantenere un livello adeguato di attenzione sostenuta nel tempo. Sarebbe questa incapacità che provocherebbe un aumento di involontari "scivolamenti" dallo stato di allerta a quello di ipovigilanza, a quello di sonnolenza fino alla intrusione di veri e propri microsonni nel corso della prova. L'"instabilità di stato" (Doran, Van Dongen and Dinges, 2001) caratterizzerebbe, dunque, le prestazioni di un soggetto assonnato e determinerebbe il decadimento generalizzato del funzionamento cognitivo osservabile sia per mezzo di test semplici sia per mezzo di test complessi.

Questa ipotesi, che sembra guidare la maggior parte delle ricerche in cui vengono raccolti dati attraverso le variabili comportamentali in seguito alla riduzione di sonno, presenta, però, alcuni aspetti che si prestano ad essere criticati.

Analogamente a quanto osservato precedentemente a proposito dei modelli di previsione del livello di sonnolenza, anche in questo caso è possibile osservare che rilevare la presenza di un addormentamento durante l'esecuzione di un test costituisce certamente una informazione ecologicamente rilevante (basti pensare alle conseguenze che un evento del genere può avere per un autista impegnato alla guida), ma non contribuisce in alcun modo a chiarire le conseguenze della riduzione di sonno a carico del funzionamento cognitivo: se il soggetto sperimentale si addormenta nel corso del test semplicemente non è più in grado di svolgere le azioni necessarie perché il compito continui ad essere misura dei processi cognitivi per la valutazione dei quali era stato messo a punto.

Accanto a questa osservazione, apparentemente banale, ma spesso trascurata al momento della discussione dei dati, è necessario porsi anche il problema di quali aspetti del processamento cognitivo effettivamente misurino i test di performance utilizzati negli esperimenti che prevedono la riduzione di sonno.

Affermare che la mancanza di sonno determini un decremento generalizzato del funzionamento cognitivo può essere giustificato solo se gli effetti delle manipolazioni

sperimentali sono stati valutati utilizzando una ampia varietà di compiti in grado di misurare l'efficienza di processi cognitivi distinti e se le prestazioni a tutti i test utilizzati sono risultate compromesse in seguito alla riduzione di sonno. Le "batterie" di test che in molti esperimenti vengono utilizzate avrebbero lo scopo di valutare l'efficienza di un ampio spettro di processi mentali. Osservare però che, accanto alla memoria e alla attenzione, anche il "tempo di reazione", viene considerato una funzione cognitiva indipendente (Millar, 1992) rende evidente come gli aspetti riguardanti i processi cognitivi effettivamente esplorati dai test da cui la batteria sperimentale è costituita non siano stati adeguatamente approfonditi. E' superfluo infatti osservare che il "tempo di reazione" non può essere considerato una funzione cognitiva, bensì una variabile dipendente che può essere utilizzata come misura di diversi aspetti del processamento cognitivo in funzione delle caratteristiche del compito e del disegno sperimentale in cui il compito viene utilizzato.

Analizzando le caratteristiche dei test più spesso utilizzati per valutare gli effetti della riduzione di sonno si può osservare come, di fatto, siano stati per lo più indagati gli aspetti connessi alla capacità di mantenere nel tempo un livello di vigilanza comparabile a quello registrato durante la baseline prescindendo dalle caratteristiche dei processi cognitivi coinvolti nella esecuzione dei compiti (Millar, 1992) e da questi risultati è stato ipotizzato che la riduzione delle capacità attentive mediasse gli effetti della sonnolenza sulle performance.

Gli studi condotti nell'ambito delle scienze cognitive a proposito delle caratteristiche della attenzione hanno però messo in evidenza come, nonostante l'attenzione rappresenti un costrutto trasversale alle altre funzioni cognitive, non possa essere considerata coincidente al livello di arousal, ma possieda delle caratteristiche isolabili.

## **L'ATTENZIONE**

L'attenzione rappresenta un fenomeno complesso di cui manca una definizione univoca a causa sia della eterogeneità degli elementi che lo compongono (orientamento dell'attenzione, attenzione selettiva, attenzione divisa, attenzione sostenuta...) sia degli scopi a cui questi elementi sono deputati (migliorare la accuratezza, la velocità dei

processi mentali, ottimizzare la pianificazione e la esecuzione delle azioni, mantenere nel tempo dei comportamenti finalizzati a scopi precisi...) (Coull, 1998).

Recentemente sono stati messi a punto dei modelli che non solo hanno ridotto la tassonomia delle funzioni attentive, ma anche hanno tentato di associare ciascuna funzione attentiva individuata a precise aree corticali o sottocorticali. I modelli proposti presentano numerose somiglianze e sovrapposizioni sia per quanto riguarda le funzioni attentive individuate sia per quanto riguarda il sostrato neurale che le supporterebbe. Queste somiglianze derivano dal fatto che sono stati elaborati principalmente alla luce dei dati ottenuti da pazienti con lesioni cerebrali, o in esperimenti su animali tramite la tecnica delle lesioni selettive.

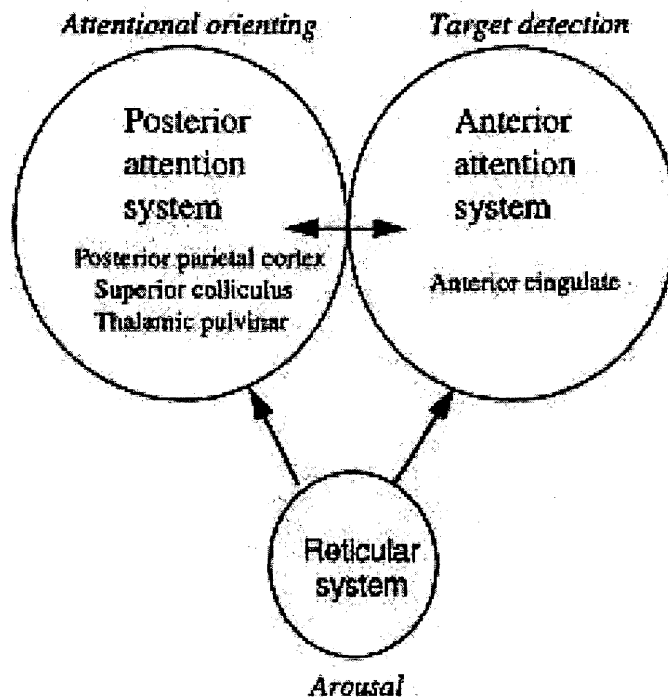
#### **Le caratteristiche dell'attenzione: un modello**

Tra i modelli presenti in letteratura, quello che maggiormente ha influenzato la ricerca negli ultimi anni è stato quello proposto da Posner e Petersen (1990) del quale verranno descritte le caratteristiche principali.

Il modello proposto da Posner e Petersen (1990) prevede che il sistema attenzionale sia anatomicamente distinto dalle aree preposte al processamento dei dati e sia costituito da una rete di aree specifiche che svolgono funzioni diverse descrivibili in termini cognitivi.

I tre sottosistemi indipendenti in cui l'attenzione viene suddivisa svolgerebbero tre diverse funzioni: (a) orientamento dell'attenzione; (b) detezione dei segnali per il loro processamento (consapevole); (c) mantenimento dello stato di vigilanza o allerta (si veda figura 3).

Figura 3



Il modello di attenzione proposto da Posner e Petersen (1990)

### Orienting

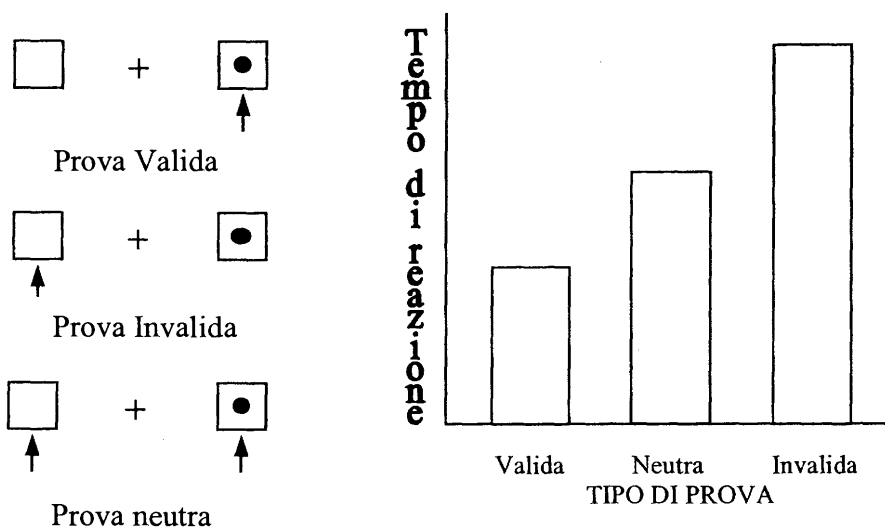
L'orientamento dell'attenzione nello spazio può avvenire esplicitamente (in presenza di movimenti oculari) o implicitamente (in assenza di movimenti oculari), ma in entrambi i casi è necessario che il sistema attenzionale posteriore (lobo parietale posteriore, nucleo laterale del pulvinar nel talamo posterolaterale e collicoli superiori) sia intatto.

I dati a proposito dell'orientamento della attenzione sono stati raccolti principalmente attraverso il compito di orientamento implicito dell'attenzione spaziale (Posner, 1980).

Nella forma originariamente proposta (si veda figura 4), il compito prevede che il soggetto risponda, premendo un tasto, alla comparsa di uno stimolo chiaramente identificabile. Lo stimolo target può comparire in due posizioni spaziali diverse, a destra o a sinistra di un punto di fissazione centrale. La comparsa di ogni stimolo è preceduta dalla comparsa di un suggerimento che può indicare una delle due posizioni spaziali oppure essere un suggerimento spazialmente non informativo (prova neutra).

Se il suggerimento è corretto (prova valida) i tempi di reazione allo stimolo target sono inferiori a quelli registrati nelle prove neutre. Questi ultimi sono a loro volta inferiori a quelli che si registrano in corrispondenza delle prove invalide, quando il suggerimento indica una posizione spaziale che si rivela errata. Le differenze nei tempi di reazione sono state attribuite da Posner (1980) alla possibilità, fornita dal suggerimento, di orientare il fuoco dell'attenzione prima della comparsa dello stimolo nelle prove valide e al tempo necessario per riorientare l'attenzione quando la prova si rivela invalida. Le prove neutre rappresenterebbero la baseline da cui calcolare i "benefici" e i "costi" dovuti, rispettivamente, all'orientamento corretto e all'orientamento errato dell'attenzione.

Figura 4



Compito di orientamento spaziale

Posner (1980), alla luce esclusivamente dei dati comportamentali ottenuti attraverso questo compito, aveva postulato che tre sottoprocessi fossero implicati nell'orientamento dell'attenzione: spostamento, ancoraggio e disancoraggio. Studi successivi (Posner e Petersen, 1990) hanno dimostrato come lesioni cerebrali specifiche provochino dei pattern di risultati che non solo confermano l'esistenza di queste operazioni, ma anche



consentono una loro precisa localizzazione: lesioni del lobo parietale posteriore provocherebbero maggiori difficoltà nel disancorare l'attenzione da una posizione su cui precedentemente si era ancorata; il deterioramento dei collicoli superiori determinerebbe un deficit nella abilità di spostare l'attenzione; lesioni al talamo risulterebbero in un aumento della difficoltà di ancorare l'attenzione.

Alcune modifiche apportate al paradigma originariamente utilizzato hanno permesso di approfondire ulteriormente alcuni aspetti legati alle operazioni coinvolte nell'orientamento attentivo: modificando la modalità di presentazione del cue, il suo grado di predittività e l'intervallo di tempo che intercorre tra la sua presentazione e la comparsa del target (stimulus onset asynchrony: SOA) sono state indagate le relazioni esistenti tra orientamento automatico e volontario della attenzione e l'espressione nel tempo dei processi di orientamento. Il compito sopra descritto prevede che il suggerimento indichi la posizione di probabile comparsa dello stimolo senza che sia necessaria da parte del soggetto alcuna interpretazione del significato del cue. La stessa posizione, però, può essere indicata attraverso la somministrazione di un cue il cui legame con l'area da tenere sotto controllo sia arbitrario e richieda, per essere compreso, una interpretazione da parte del soggetto: ad esempio un numero pari per indicare il lato destro e un numero dispari per indicare il lato sinistro, una lettera e così via... Somministrare suggerimenti del primo tipo (cue periferici) o del secondo (cue centrali) dà luogo nel primo caso a un processo automatico (o esogeno) di orientamento, mentre nel secondo caso a un processo volontario (o endogeno). L'orientamento automatico avverrebbe anche in presenza di cue non predittivi, mentre l'orientamento volontario avrebbe luogo solo se la predittività del cue è elevata (per una rassegna sulla cattura dell'attenzione si veda Galfano e Turatto, 2000). Una ulteriore differenza tra i due processi è rappresentata dal diverso decorso temporale che presentano: nel caso dell'orientamento automatico i costi e i benefici sono già evidenti dopo 100 millisecondi dalla somministrazione del cue, mentre in seguito alla somministrazione di un cue centrale perché si rilevino costi e benefici sono necessari SOA di almeno 400 millisecondi (Mueller and Rabbit, 1989).

L'intervallo di tempo che intercorre tra la presentazione del cue e quella del target riveste una particolare rilevanza non solo perché da questo intervallo dipende la osservazione del fenomeno della inibizione di ritorno (il rallentamento dei tempi di reazione che si osserva in corrispondenza delle prove valide se il cue somministrato ad un SOA maggiore di 200 millisecondi è periferico ma non informativo, Posner e Cohen, 1984), ma anche perché alcuni autori hanno considerato i processi attentivi che hanno luogo nel corso di questo intervallo di tempo paragonabili a quelli che si verificano nel corso dei test volti a misurare l'attenzione sostenuta (si veda paragrafo "La vigilanza").

### **Target detection**

Solo successivamente all'orientamento dell'attenzione verso una particolare area dello spazio il sistema attentivo può estrarre da questa le informazioni necessarie per la elaborazione consapevole dello stimolo presentato e l'emissione di una risposta. Secondo il modello di Posner e Petersen (1990) il sistema attenzionale anteriore, costituito dalle aree laterali e mediali della corteccia frontale, avrebbe questa funzione.

Il sistema attenzionale anteriore non solo elaborerebbe le informazioni di carattere spaziale, ma sarebbe coinvolto anche nel processamento delle informazioni provenienti da altri domini cognitivi. Questa capacità sarebbe testimoniata dalla presenza di interferenze tra compiti che coinvolgono modalità diverse solo quando il sistema è impegnato nel processamento delle informazioni che provengono da una particolare modalità (Duncan, 1980). In assenza del processamento attivo delle informazioni, il monitoraggio di più modalità o di più aree spaziali non produrrebbe un grado di interferenza superiore a quella che deriva dal monitoraggio di una singola modalità (Duncan, 1980).

Questo risultato confermerebbe la distinzione tra un meccanismo attentivo deputato alla detezione di segnali, indipendentemente dalla loro fonte, e uno stato generale di attivazione. In presenza di un sistema sufficientemente attivato, ma non impegnato nel processamento, qualunque stimolo, purchè di intensità sufficiente, sarebbe in grado di reclutare il sistema cognitivo di detezione (da qui la assenza di interferenze tra modalità

diverse) che, una volta impegnato in questa operazione, provocherebbe l'interferenza osservabile a carico delle altre modalità.

### **Alerting**

Secondo Posner e Petersen (1990) la capacità di preparare e mantenere il livello di allerta nel tempo allo scopo di processare segnali ad alta priorità, costituirebbe il terzo sottosistema indipendente in cui può essere scomposta la rete attenzionale.

La localizzazione anatomica di questo sistema non risulta ben definita, ma gli autori propongono che comprenda quantomeno il sistema di innervazione noradrenergico che si estende dal locus coeruleus del tronco encefalico al sistema attenzionale posteriore dell'emisfero destro.

Nonostante gli autori affermino che il sistema deputato al mantenimento del livello di allerta sia indipendente dagli altri sottosistemi attenzionali, ritengono che interagisca strettamente con gli altri due meccanismi attentivi. La natura di queste relazioni non è stata però chiarita. Le evidenze a proposito della maggiore difficoltà presentata da pazienti con lesioni all'emisfero destro nel mantenere dei buoni livelli di performance in compiti di vigilanza (Wilkins et al., 1987; Coslett et al., 1987) dimostrerebbero non solo che qui avrebbero sede i meccanismi necessari al mantenimento del livello generale di allerta, ma anche che quest'ultimo sarebbe in grado di influenzare il sistema attenzionale posteriore preposto all'orientamento dell'attenzione: solo i pazienti con lesioni parietali destre mostrano prestazioni peggiori in assenza del segnale di avvertimento che precede il target (Posner et al., 1987). Secondo Posner e Petersen (1990) anche le manipolazioni farmacologiche del livello di noradrenalina, il principale neurotrasmettitore coinvolto nella regolazione dei livelli di allerta, determinerebbero degli effetti specifici a carico dell'orientamento dell'attenzione nello spazio (Clark et al, 1989) analoghi ai risultati ottenuti nei pazienti con traumi cranici.

Nonostante Posner e Petersen citino entrambi questi lavori a sostegno della loro ipotesi, le conclusioni a cui giungono Posner et al. (1987) sembrerebbero molto diverse da quelle tratte dai risultati ottenuti da Clark et al. (1989). I primi somministrano a un gruppo di pazienti con lesioni parietali il compito di orientamento spaziale

precedentemente descritto introducendo, accanto alle prove valide e invalide, alcuni trial non preceduti dal segnale di avvertimento (prove uncued). Solo nei pazienti con lesioni localizzate nell'emisfero destro gli autori osservano tempi di reazioni significativamente superiori al gruppo di controllo nelle prove uncued. Questo risultato dimostrerebbe un livello di allerta inferiore in questo gruppo rispetto al gruppo con lesioni localizzate nell'emisfero di sinistra. Accanto a questo risultato rilevano anche un aumento dei tempi di reazione in corrispondenza delle prove invalide quando il target viene presentato nell'emicampo visivo controlesionale. Gli autori attribuiscono questo risultato al livello di allerta inferiore che caratterizzerebbe i pazienti con lesioni localizzate a destra. Clark et al. (1989), invece, successivamente alla somministrazione sia di droperidolo (un antagonista centrale della dopamina) sia di clonidina (un agonista alfa della noradrenalina) osservano, accanto a un generale aumento dei tempi di reazione dovuto alla riduzione del livello di allerta, anche la diminuzione dei costi nelle prove invalide. Secondo questi autori, diversamente da quanto proposto da Posner et al. (1987), la diminuzione del livello di allerta successivo alla manipolazione farmacologica ridurrebbe il tempo necessario per il disancoraggio dell'attenzione.

I risultati ottenuti da Clark et al. (1989) sembrerebbero quindi indicare che le componenti di orientamento e mantenimento della attenzione nel tempo interagiscano in modo diverso rispetto a quanto prevede il modello proposto da Posner e Petresen (1990).

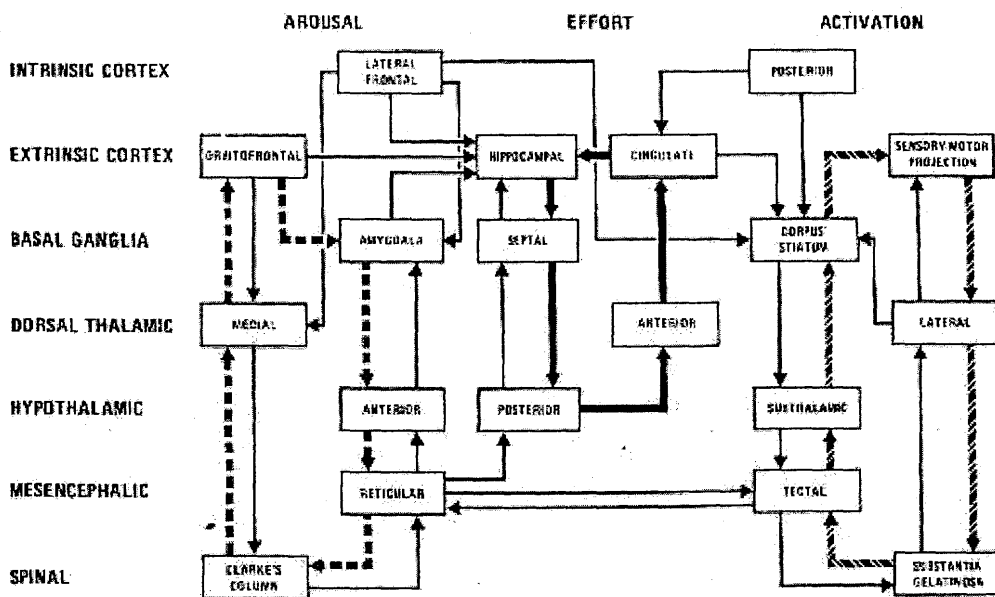
### **La capacità di mantenere l'attenzione nel tempo**

In letteratura, accanto al modello descritto precedentemente, ne esistono altri che, sostanzialmente, concordano nel proporre che la capacità di mantenere l'attenzione nel tempo costituisca un meccanismo indipendente in grado di modulare l'efficienza delle altre reti attenzionali. Basandosi prevalentemente su dati raccolti in ambito neuropsicologico, questi modelli attribuiscono a strutture simili l'espressione e il controllo di questa capacità. Analizzando le caratteristiche dei compiti che vengono proposti come misura dell'efficienza della capacità di mantenere l'attenzione nel tempo, però, emergono differenze che inducono a pensare che, al di là di un accordo formale, i

diversi autori fanno riferimento a comportamenti molto diversi tra loro che non sempre possono essere ricondotti ad un unico costrutto.

Pribram e McGuinness (1975) distinguono tra "arousal" e "attivazione". Il primo sarebbe una risposta fasica generale, concomitante alla risposta di orientamento, che si registra alla presentazione di stimoli nuovi. L'attivazione sarebbe una risposta tonica che indicherebbe la preparazione fisiologica dell'organismo a rispondere. La componente chiamata "effort" coordinerebbe l'attività dei due precedenti sistemi. In figura 5 vengono mostrate le connessioni tra i sistemi deputati al controllo dell'arousal (amygdala), attivazione (gangli della base) ed effort (ippocampo).

Figura 5



Il diagramma mostra le connessioni coinvolte nei circuiti deputati al controllo dell'arousal (amygdala), dell'attivazione (gangli della base) e dell'effort (ippocampo). (Pribram and McGuinness, 1975)

La differenza principale che emerge tra la formalizzazione proposta da parte di Pribram e McGuinness e il modello presentato precedentemente, è la individuazione a livello comportamentale di tre meccanismi distinti che nel modello di Posner e Petersen sono unificati all'interno della componente alerting.

A differenza di Pribram e McGuinness, Mirsky et al. (1991) ipotizzano una sola componente, chiamata "sustain", che rappresenterebbe la capacità di mantenere nel tempo l'attenzione focalizzata e l'allerta. Questa componente viene considerata dagli autori analoga al costrutto di vigilanza e sostanzialmente sovrapponibile alla componente di allerta ipotizzata da Posner e Petersen (1990).

Mirsky e collaboratori (1991), però, propongono come misura affidabile di questa componente il Continuous Performance Test (CPT), mentre Posner e Petersen (1990) fanno riferimento anche a dati ottenuti attraverso il paradigma di cueing, attribuendo al costrutto di allerta un significato più ampio rispetto a quello posseduto dal costrutto "sustain": non solo la capacità di mantenere nel tempo un buon livello di attenzione, ma anche quella di raggiungerlo in seguito alla somministrazione di un segnale di avvertimento.

Robertson e Manly (1999) ipotizzano l'esistenza di due costrutti distinti: attenzione sostenuta ed arousal. La prima sarebbe costituita dalla 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, mentre con arousal gli autori fanno riferimento alla valenza emozionale o motivazionale degli stimoli che avrebbe la capacità di influenzare la capacità dell'individuo a mantenere l'attenzione sugli stimoli stessi.

LaBerge (1995), descrivendo la capacità di mantenere livelli elevati di attenzione nel tempo, individua due aspetti che indica con il nome di "preparatory attention" e "maintenance attention". Il primo tipo di attenzione avrebbe una durata stimata nell'ordine dei secondi e richiederebbe la presenza di una aspettativa a proposito di uno stimolo da percepire o di una azione da compiere in risposta a uno stimolo. Questa aspettativa determinerebbe la preparazione a compiere una azione o a percepire un determinato stimolo. La componente di mantenimento dell'attenzione si differenzerebbe dalla prima perché la presenza di una aspettativa non darebbe luogo alla preparazione di azioni finalizzate al raggiungimento di obiettivi immediati.

Secondo LaBerge (1995) nell'esecuzione di un compito di vigilanza sarebbero coinvolti entrambi i meccanismi: a uno stato di aspettativa protratto nel tempo saltuariamente si

aggiungerebbero dei brevi periodi di preparazione attentiva. Il decremento nel tempo delle prestazioni, analogamente a quanto sostenuto da Posner e Petersen (1990), sarebbe attribuibile alla riduzione della quantità del neurotrasmettitore noradrenalina.

Osservando le proposte presenti in letteratura è evidente come gli autori citati facciano riferimento a due modalità diverse di sostenere l'attenzione nel tempo: una che ha una durata di pochi secondi (la preparatory attention di LaBerge, 1995; l'activation di Pribram e McGuinness, 1975; l>alerting cui esplicitamente fanno riferimento Posner and Petersen, 1990 e, in parte, l'arousal di Robertson and Manly, 1999) e una che si protrae più a lungo nel tempo (l'expectation presente nei compiti di vigilanza di LaBerge, 1995; la componente sustain di Mirsky e collaboratori, 1991; la vigilance che Posner e Petersen, 1990 riconducono al meccanismo di alerting, l'attenzione sostenuta di Robertson e Manly, 1999).

Se queste due modalità di mantenere l'attenzione nel tempo possano essere considerate un unico fattore (come proposto da LaBerge, 1995; Posner and Petersen, 1990; Mirsky et al., 1991), debbano essere considerate aspetti diversi di una componente più ampia (si veda Pribram e McGuinness, 1975 e Robertson and Manly, 1999) o debbano essere considerate appartenenti a costrutti distinti non è chiaro, ma costituisce un aspetto rilevante che potrebbe essere chiarito utilizzando la riduzione di sonno come manipolazione sperimentale in grado di ridurre l'efficienza della componente deputata al mantenimento della attenzione nel tempo.

Come è stato illustrato precedentemente, gli effetti della riduzione di sonno sono stati indagati utilizzando paradigmi sperimentali compatibili con quelli impiegati per descrivere le caratteristiche della componente preposta al mantenimento della attenzione nel tempo. Nonostante i dati ottenuti dai soggetti in debito di sonno sembrano confermare le ipotesi avanzate dai modelli precedentemente citati a proposito del funzionamento della componente di allerta, la riduzione di sonno non è mai stata utilizzata allo scopo di chiarire gli aspetti ancora non completamente definiti presenti in questi modelli a proposito delle relazioni esistenti tra le componenti dell'allerta e dell'orientamento della attenzione.

## La vigilanza<sup>1</sup>

Questa assenza di interscambi tra discipline che si occupano di argomenti affini risulta ancora più stupefacente se si considera che sia gli studiosi della attenzione, sia gli studiosi degli effetti della riduzione di sonno, a proposito della vigilanza, fanno riferimento ai lavori iniziati negli anni '50 da Mackworth (1957).

Lo scopo di queste ricerche era indagare i fattori che contribuiscono al declino che si osserva nelle prestazioni a compiti di monitoraggio prolungati. I compiti sperimentali tipicamente utilizzati riproducevano la situazione cui era sottoposto il personale addetto al controllo radar: in alcuni test gli stimoli erano costituiti da lampi di bassa intensità, mescolati ad un rumore di fondo e somministrati ad intervalli di tempo imprevedibili nel corso di sessioni di durata prolungata; in altri il soggetto doveva tenere sotto controllo il quadrante di un orologio e rilevare quando la lancetta dei secondi "saltava" una posizione... L'insieme di questi compiti, accomunati dalla caratteristica di protrarsi per periodi prolungati, sono stati indicati come compiti di vigilanza e il risultato tipicamente osservato consiste nel decremento di vigilanza nel corso della prova. Il decremento di vigilanza sarebbe caratterizzato principalmente dall'aumento del numero di omissioni, o dall'aumento del tempo necessario alla emissione della risposta (Parasuraman and Davies, 1976).

Successivamente le caratteristiche dei compiti ritenute all'origine del decremento di vigilanza sono state studiate accuratamente attraverso un ampio spettro di compiti e nel 1977 Parasuraman e Davies hanno messo a punto una tassonomia dei test di vigilanza che prevede quattro dimensioni: frequenza di somministrazione dei target, natura della discriminazione tra stimolo target e stimoli non target, modalità sensoriale di somministrazione del test e complessità del compito. Alla luce di questa tassonomia emerge come compiti anche molto diversi fra loro possano essere considerati delle misure di attenzione sostenuta purchè vengano somministrati per periodi relativamente

---

<sup>1</sup> Anche se il termine vigilanza è utilizzato principalmente all'interno della prospettiva comportamentista per indicare le prestazioni ad un compito prolungato nel tempo, mentre quello di attenzione sostenuta viene utilizzato in ambito cognitivista per indicare il costrutto sottostante alle prestazioni ottenute nei compiti di vigilanza, i due termini sono usati comunemente come sinonimi.



prolungati o i risultati vengano analizzati tenendo conto dell'andamento delle prestazioni durante la prova.

Anche compiti di tempi di reazione di durata inferiore a quella comunemente utilizzata per i test di vigilanza, infatti, sono stati considerati da alcuni autori delle misure di attenzione sostenuta: Posner (1978), ad esempio, ha sostenuto che anche l'andamento dei tempi di reazione che si osserva facendo precedere lo stimolo imperativo da un segnale di avvertimento sarebbe attribuibile agli stessi fattori che determinano il peggioramento delle prestazioni osservabile nei compiti di vigilanza di durata compresa nell'ordine dei minuti o delle ore. Nei compiti in cui lo stimolo target è preceduto da un segnale di avvertimento le latenze di risposta variano in funzione dell'intervallo di tempo che intercorre tra la presentazione del segnale di avvertimento e la presentazione dello stimolo imperativo (SOA): sono lenti per SOA brevi o prolungati, mentre sono più rapidi con SOA intermedi (0.5, 1 secondo). Secondo Posner (1978) questo andamento nei tempi di reazione sarebbe attribuibile all'aumento del livello di arousal successivamente alla somministrazione del segnale di avvertimento e a una sua progressiva riduzione fino ai livelli di base che precedono la somministrazione del segnale di avvertimento.

Grazie a questa identità tra paradigmi sperimentali in apparenza molto diversi tra loro, i dati provenienti da entrambe le tipologie di compiti sono stati utilizzati per identificare le aree cerebrali coinvolte nel mantenimento dell'attenzione nel tempo: in entrambi i tipi di test sarebbero coinvolte le aree frontali e parietali dell'emisfero destro e alcune aree sottocorticali identificabili con il sistema reticolare ascendente attivatore e i sistemi noradrenergici (Coull, 1998).

Nonostante, dal punto di vista teorico, nulla vieti di considerare comparabili i dati ottenuti attraverso questi due paradigmi sperimentali (porre un limite minimo alla durata della attenzione sostenuta risulterebbe arbitrario e difficilmente giustificabile), alcuni autori (Parasuraman Warm and See, 1998) hanno messo in dubbio che i cambiamenti nei tempi di reazione a uno stimolo preceduto da un segnale di avvertimento misurino lo stesso tipo di vigilanza evidenziata dal declino nelle prestazioni in periodi di tempo di decine di minuti o ore. I compiti del primo tipo misurerebbero i cambiamenti in quella

che Parasuraman e collaboratori (Parasuraman Warm and See, 1998; Parasuraman, 1984a) chiamano "phasic alerting" o "arousal corticale".

L'argomento portato a sostegno di questa tesi dagli autori, però, non risulta convincente: essi affermano che, a differenza dei compiti di vigilanza, nei quali accanto all'aumento dei tempi di reazione, si verifica anche un incremento del numero delle mancate risposte, nei compiti di tempi di reazione di breve durata la mancata detezione del target non viene quasi mai osservata e proprio la assenza di queste "vigilance failures" testimonierebbe la inadeguatezza da parte di questi test nel misurare il livello di vigilanza.

L'argomento non è convincente perché la assenza degli errori di omissione potrebbe non indicare che il test misuri un costrutto diverso da quello misurato dai test in cui questi errori si presentano, ma potrebbe essere semplicemente attribuita alle differenze tra i test per quanto riguarda la modalità di somministrazione degli stimoli target: nei compiti di tempi di reazione con segnale di avvertimento lo stimolo imperativo è chiaramente identificabile rispetto allo sfondo, mentre nei compiti di vigilanza lo stimolo target non è facilmente discriminabile dal "rumore" con cui è confuso. Anche nei compiti di vigilanza, infatti, è sufficiente ridurre il rumore perché non si assista all'incremento significativo delle mancate risposte nel corso della prova (ad es. Paus et al., 1997).

L'osservazione che spesso anche nei compiti di vigilanza il decremento delle prestazioni più rilevante avviene entro i primi due minuti (Parasuraman et al., 1998) sembrerebbe in accordo con l'ipotesi formulata da Posner (1978) secondo cui gli stessi meccanismi fisiologici sarebbero all'origine sia dei decrementi osservati nei compiti di vigilanza sia della incapacità di rispondere rapidamente a stimoli presentati alcuni secondi dopo il segnale di avvertimento.

Parasuraman e collaboratori (Parasuraman et al., 1998; Parasuraman, 1984b) per distinguere l'attivazione fasica, provocata dal segnale di avvertimento, dalla vigilanza hanno fatto riferimento al costrutto di arousal, ma questa ipotesi non risolve il problema dal momento che anche del costrutto di arousal non è stata ancora fornita una definizione univoca.

## L'arousal

Con arousal (o alertness) si fa riferimento a un insieme di cambiamenti fisiologici e comportamentali caratterizzati da un certo grado di eccitazione o di mobilitazione di energia (Duffy, 1962 cit. in Parasuraman, 1984a) o come lo stato di reattività fisiologica del soggetto (Coull, 1998; Robbins and Everitt, 1995).

Inizialmente l'arousal è stato considerato un costrutto unidimensionale la cui espressione sarebbe mediata dalla attività di strutture sottocorticali. Moruzzi e Magoun (1949), attraverso studi condotti sul gatto attraverso il metodo delle lesioni e della stimolazione elettrica di aree del tronco encefalico, avevano messo in evidenza l'importanza della formazione reticolare nella regolazione della attività elettroencefalografica.

In seguito, all'interno di quello che è stato chiamato Sistema Reticolare Attivatore Ascendente (ARAS), sono stati individuati sottosistemi che differiscono nei pattern di innervazione corticale, nelle caratteristiche neurochimiche e nelle funzioni (Robbins and Everitt, 1995) mettendo in discussione l'ipotesi che considerava l'arousal come un costrutto unitario.

Indipendentemente dalle differenze esistenti tra le strutture che ne mediano l'espressione, il livello di arousal viene misurato principalmente attraverso l'elettroencefalogramma (Paus et al., 1997; Parasuraman, 1984a) le cui modificazioni di frequenza ne rappresentano l'indice più affidabile anche per quanto riguarda l'evoluzione temporale. L'inizio del sonno, che viene considerato la più evidente modificazione del livello di arousal di un individuo, è caratterizzato dalla riduzione della potenza associata alle bande di frequenza alfa e beta dell'EEG e a un incremento della potenza delle bande theta e delta (Pivik, 1991). Come osservato nella prima sezione l'aumento della potenza nelle bande di frequenza più lente dell'EEG è il risultato più evidente della deprivazione di sonno (Pivik, 1991) che viene considerata inequivocabilmente una manipolazione sperimentale in grado di ridurre il livello di arousal (Parasuraman Warm and See, 1998; Parasuraman, 1984a; Robbins and Everitt, 1995; Coull, 1998; Portas et al., 1998)

Modificazioni nelle caratteristiche dello spettro di potenza dell'EEG sono evidenti anche quando il soggetto si impegna nell'esecuzione di compiti di lunga durata o quando gli

viene chiesto di rimanere rilassato per lunghi periodi senza impegnarsi nella esecuzione di alcun compito (Parasuraman, 1984b) (si noti la somiglianza di quest'ultima condizione sperimentale con il setting sperimentale del Maintenance of Wakefulness Test descritto precedentemente).

Le definizioni precedentemente riportate, accanto agli aspetti fisiologici (quantificabili grazie all'EEG), sottolineano le influenze esercitate dal livello di arousal sul comportamento. Di queste influenze la misura più spesso utilizzata è il tempo di reazione. Più volte è stato messo in evidenza come il livello di arousal influenzi la velocità con cui vengono rilevati gli stimoli somministrati in un'ampia varietà di compiti (Robbins ed Everitt, 1995; Makeig and Inlow, 1993; Parasuraman et al., 1998)

Poiché lo stato di prontezza a rilevare e rispondere a cambiamenti che si verificano nell'ambiente circostante è anche la definizione che è stata data della vigilanza, è difficile sostenere che i due costrutti siano diversi tra loro ad eccezione della variabile dipendente più spesso utilizzata per la loro misurazione: misure comportamentali per la vigilanza e misure fisiologiche per l'arousal.

Questa interpretazione è confermata non solo dall'osservazione che qualunque fattore in grado di aumentare o ridurre il livello di arousal misurato attraverso l'EEG modifichi in maniera corrispondente il livello di vigilanza (Parasuraman et al., 1998), ma anche dall'evidenza che al decremento di vigilanza osservato nei compiti di lunga durata si accompagni l'aumento di potenza nelle bande più lente dell'EEG (Paus et al., 1997; Makeig and Inlow, 1993; Makeig and Jung, 1995).

Parasuraman e collaboratori (1998) si oppongono all'identificazione tra i costrutti di vigilanza ed arousal osservando che, a volte, a fronte di una riduzione del livello di arousal misurato attraverso l'EEG non si osserva un decremento del livello di vigilanza misurato attraverso le performance.

Questo risultato (peraltro osservato raramente: Parasuraman, 1984b), potrebbe essere attribuito a una maggiore risoluzione delle variabili fisiologiche o a una scarsa validità delle misure comportamentali utilizzate nei lavori in cui la relazione tra calo di arousal e calo di vigilanza non è stata rilevata.

L'unico dato che confermerebbe la dissociazione tra i costrutti di vigilanza e arousal sarebbe rappresentato dalla osservazione di un calo di vigilanza in assenza di un decremento di arousal. Poiché questo risultato non è ancora stato osservato, per il momento è più opportuno considerare coincidenti i costrutti di vigilanza e arousal.

### **Le relazioni tra orientamento dell'attenzione e livello di allerta**

La sovrapposizione tra i costrutti di arousal e vigilanza viene implicitamente assunta anche dalla maggior parte dei modelli che descrivono le componenti delle reti attenzionali. In questi le caratteristiche della componente deputata al mantenimento della allerta vengono descritte utilizzando sia i dati ottenuti attraverso i tradizionali compiti di vigilanza sia quelli ottenuti attraverso compiti di breve durata. Come descritto precedentemente la associazione dei risultati ottenuti attraverso questi due paradigmi sperimentali è basata sull'assunto che così come la riduzione dell'arousal sarebbe all'origine dell'aumento delle latenze di risposta che si osserva nei compiti di lunga durata, anche l'andamento dei tempi di reazione in seguito alla somministrazione di un segnale di avvertimento sarebbe dovuto alle modificazioni fasiche del livello di arousal che aumenterebbe immediatamente dopo la somministrazione del segnale di avvertimento per poi diminuire progressivamente fino a raggiungere il livello di base.

L'osservazione che la comparsa improvvisa di uno stimolo possiede la capacità di attirare automaticamente l'attenzione del soggetto (Galfano e Turatto, 2000), però, rende difficoltoso attribuire la riduzione dei tempi di reazione successiva alla somministrazione del segnale di avvertimento esclusivamente alle differenze nei livelli di arousal che questa provocherebbe: come ampiamente dimostrato dagli studi sull'orientamento attentivo (Cave and Bichot, 1999) anche la possibilità di orientare anticipatamente le risorse attentive in una precisa area spaziale produce dei vantaggi che si traducono nella riduzione dei tempi di reazione.

Benchè in letteratura questo problema non sia stato esplicitamente affrontato, esistono numerosi dati che inducono ad attribuire, almeno in parte, la riduzione dei tempi di reazione successiva alla somministrazione del segnale di avvertimento agli effetti

dell'orientamento dell'attenzione, rendendo difficile discriminare il contributo fornito da ciascuna componente attentiva al miglioramento dei tempi di reazione osservato.

Nonostante Fernandez-Duque e Posner (2001) affermino che recenti lavori in cui alle variabili comportamentali sono state associate diverse tecniche di brain imaging abbiano confermato l'importanza attribuita dal modello di Posner e Petersen (1990) alle aree frontali e parietali dell'emisfero destro nel mantenimento della vigilanza (Pardo et al., 1991; Paus et al., 1997), il fatto che sia le aree frontali sia quelle parietali risultino coinvolte anche nell'orientamento dell'attenzione (Robertson e Manly, 1999) rende evidente come, dal punto di vista anatomico, le due reti attenzionali risultino sostanzialmente sovrapposte ponendo con evidenza il problema se sia ancora sostenibile che, come postulato nei modelli precedentemente descritti, orientamento della attenzione e mantenimento del livello di vigilanza siano espressione di sottosistemi distinti.

Robertson e Manly (1999), infatti, dubitano che il sistema di orientamento spaziale ipotizzato da Posner e Petersen (1990) possa essere considerato distinto dal sistema deputato al mantenimento dell'attenzione sostenuta. A sostegno di questa ipotesi riportano i risultati di un esperimento in cui pazienti con lesioni al lobo parietale destro che mostrano la sindrome del neglect, considerata un deficit dell'orientamento spaziale, ricevano sostanziali benefici dalla somministrazione di segnali di avvertimento prima della presentazione degli stimoli target (Robertson et al., 1998). Questo risultato, secondo gli autori, indicherebbe come numerosi dati a proposito dell'orientamento spaziale dell'attenzione potrebbero essere reinterpretati come deficit dell'attenzione sostenuta.

Già Posner e collaboratori (1987) avevano notato come i pazienti con lesioni parietali destre mostrassero tempi di reazione significativamente più lenti dei controlli quando lo stimolo imperativo, una luce che poteva comparire in due posizioni spaziali, a destra e a sinistra del punto di fissazione centrale, non era preceduto da un segnale di avvertimento. Analogamente a Robertson et al. (1998), anche Posner e collaboratori (1987) avevano attribuito questo effetto a una riduzione tonica del livello di arousal successiva a lesioni dell'emisfero destro che l'effetto fasico del segnale di avvertimento compenserebbe.

L'osservazione che i pazienti che parteciparono all'esperimento condotto da Posner et al. (1987) mostravano anche delle risposte significativamente più lente rispetto ai controlli in seguito alla somministrazione di un suggerimento spaziale errato (prove invalide), mentre le prestazioni alle prove valide non differivano da quelle del gruppo di controllo, però, potrebbe condurre ad una interpretazione dei risultati diversa da quella proposta dagli autori: anziché dal ridotto livello di allerta, le elevate latenze di risposta osservate nelle prove non precedute dal segnale di avvertimento potrebbero essere spiegate dalla difficoltà che questi pazienti presentano nel ri-orientamento dell'attenzione nello spazio. In assenza del suggerimento l'attenzione del paziente rimarrebbe ancorata nella posizione di comparsa del target fino alla successiva presentazione di uno stimolo imperativo che, quindi, avendo le caratteristiche di una prova invalida, richiederebbe un ri-orientamento dell'attenzione con il conseguente aumento dei tempi di reazione.

Questa interpretazione, più parsimoniosa rispetto a quella proposta dagli autori, si applica anche ai dati presentati da Robertson e collaboratori (1998), nonostante essi abbiano utilizzato, a differenza di Posner e collaboratori (1987), un segnale di avvertimento acustico. Questo, secondo gli autori, non può essere considerato un suggerimento spaziale. In realtà, poichè è stato dimostrato che i pazienti con eminegligenza spaziale unilaterale sono in grado di orientare l'attenzione volontariamente nello spazio disatteso utilizzando cue endogeni (Ladavas et al., 1994), si può ipotizzare che anche i pazienti dello studio di Robertson et al. (1998) abbiano sfruttato il segnale acustico per orientare volontariamente l'attenzione nell'emicampo di sinistra, rendendo plausibile la possibilità di attribuire, anche in questo caso, il risultato ottenuto a un effetto di orientamento spaziale. La maggiore efficacia mostrata del segnale di avvertimento a SOA elevati osservata da Robertson e collaboratori (1998) potrebbe essere attribuita al tempo superiore richiesto per l'orientamento volontario della attenzione rispetto all'orientamento automatico (Posner, 1978).

Nonostante l'ipotesi avanzata da Robertson e Manly (1999) non sembri corroborata dai dati, il problema delle relazioni esistenti tra orientamento dell'attenzione e livello di allerta rimane aperto: in contrasto con quanto ipotizzato dai modelli sul funzionamento attentivo i risultati ottenuti attraverso l'uso di tecniche di brain imaging e le prestazioni

osservate nei pazienti con traumi cranici sembrerebbero indicare sostanziali sovrapposizioni sia anatomiche sia funzionali tra queste due reti attenzionali.

Secondo Fernandez-Duque e Posner (2001) i risultati sopra riportati non sarebbero in contraddizione con quanto ipotizzato dai modelli del funzionamento attentivo poiché le due reti attenzionali, pur condividendo le stesse aree anatomiche, utilizzerebbero neurotrasmettitori diversi e fornirebbero contributi indipendenti alla emissione dei tempi di reazione risultando così dissociabili a livello sinaptico e cognitivo.

Per distinguere la neurochimica delle reti attenzionali i due autori si basano prevalentemente su dati provenienti da studi condotti su animali. Da questi lavori sembrerebbe emergere come il neurotrasmettitore noradrenalina medi sia l'effetto allertante dei segnali di avvertimento sia la capacità di mantenere l'attenzione nel tempo (Marrocco and Davidson, 1998; Aston-Jones et al., 1994) senza modificare la capacità di orientamento nello spazio. Nell'essere umano la riduzione della frequenza di scarica dei neuroni noradrenergici attraverso la somministrazione di clonidina, però, sembrerebbe avere la capacità non solo di ridurre il livello di allerta, ma anche di provocare la diminuzione del tempo necessario al disancoraggio dalla posizione su cui precedentemente era stata orientata l'attenzione (Clark Geffen e Geffen, 1989) contraddicendo nuovamente l'ipotesi della indipendenza tra capacità di orientamento e mantenimento della attenzione.

Anche a proposito della possibilità di separare il contributo fornito da queste due componenti della rete attenzionali a livello cognitivo i dati disponibili sono scarsi e non conclusivi: Fernandez-Duque e Posner (2001) a sostegno di questa possibilità citano un unico lavoro, condotto dagli stessi autori nel 1997, i cui risultati si prestano a una interpretazione diversa rispetto a quella proposta.

Allo scopo di valutare l'effetto del livello di allerta sui tempi di reazione Fernandez-Duque e Posner (1997) effettuano un primo esperimento in cui un gruppo di soggetti deve rispondere alla comparsa di stimoli luminosi in otto diverse posizioni spaziali disposte attorno a un punto di fissazione centrale. Il livello di allerta viene modulato dalla comparsa di un cue visivo non informativo che in due terzi dei trial precede lo stimolo imperativo. I tempi di reazione significativamente più lenti in risposta agli



stimoli non preceduti dal segnale di avvertimento rispetto a quelli preceduti dal cue vengono attribuiti dagli autori al minore livello di allerta che caratterizzerebbe i trial del primo tipo a causa della assenza del segnale di avvertimento. Il secondo esperimento condotto da Fernandez-Duque e Posner (1997) dimostrerebbe che gli effetti allertanti del cue visivo sarebbero attribuibili allo stesso sistema non spaziale che media gli effetti allertanti dei cue acustici. Anche in questo caso i soggetti devono rispondere a stimoli che possono comparire in quattro posizioni disposte attorno a un punto di fissazione centrale, ma, accanto alle condizioni precedenti (assenza di cue e cue visivo) vengono introdotte due condizioni che prevedono, prima della comparsa dello stimolo target, la somministrazione di un cue acustico o la somministrazione contemporanea sia del cue acustico sia del cue visivo. Gli autori ipotizzano che se gli effetti allertanti del cue visivo e del cue acustico fossero mediati da un identico meccanismo, la condizione in cui entrambi i segnali di avvertimento vengono presentati contemporaneamente non dovrebbe dare luogo a tempi di reazione più rapidi di quelli osservati nella condizione in cui è stato somministrato il cue maggiormente efficace nell'incrementare il livello di allerta del soggetto. I risultati confermano quanto ipotizzato dagli autori: il cue acustico si rivela quello più efficace nell'aumentare il livello di allerta dei partecipanti all'esperimento, analogamente a quanto osservato nell'esperimento precedente il cue visivo riduce significativamente i tempi di reazione rispetto alla condizione in cui non viene somministrato alcun segnale di avvertimento, mentre nelle prove precedute dalla presentazione simultanea di entrambi i cue i tempi di reazione hanno valori intermedi tra la condizione in cui è stato presentato il segnale di avvertimento visivo e quella in cui è stato somministrato il segnale acustico. I risultati del terzo esperimento, in cui alle condizioni precedenti vengono aggiunti dei cue visivi spazialmente informativi, secondo gli autori, dimostrerebbero come il contributo fornito alla esecuzione del compito dalla componente di orientamento della attenzione sarebbe indipendente da quello fornito dalla componente preposta al mantenimento dell'allerta: l'effetto validità del cue (la differenza esistente tra i tempi di reazione alle prove valide e quelli ottenuti in corrispondenza delle prove invalide) non interagisce con l'effetto allertante del cue

(stimato attraverso la differenza tra i tempi di reazione alle prove senza cue rispetto alle prove invalide).

Come accennato precedentemente questi risultati sono tutt'altro che conclusivi a proposito delle relazioni esistenti tra le componenti di allerta e di orientamento dell'attenzione: alle differenze esistenti tra i tempi di reazione potrebbero aver contribuito in misura determinata gli effetti di orientamento spaziale che anche un cue acustico è in grado di produrre. Come i pazienti degli esperimenti di Posner et al. (1987) e di Robertson et al. (1998) i partecipanti all'esperimento di Fernandez-Duque e Posner (1997) potrebbero aver utilizzato i cue, indipendentemente dalla modalità di presentazione, per orientare le proprie risorse attentive verso l'area in cui gli stimoli venivano presentati precedentemente alla loro effettiva comparsa rendendo difficile discriminare quanto alle differenze osservate nei tempi di reazione abbia contribuito questo effetto spaziale e quanto la eventuale modificazione del livello di allerta.

La maggiore efficacia che il cue acustico ha, rispetto al cue visivo, nel ridurre le latenze di risposta potrebbe essere attribuita, anziché al più elevato livello di allerta ottenuto nella prima condizione, alla minore interferenza che la modalità acustica esercita nei riguardi del compito che i soggetti devono eseguire nella modalità visiva. La strategia che i soggetti potrebbero mettere in atto quando viene somministrato il cue acustico sarebbe quella di rispondere a qualunque "cambiamento" si verifichi all'interno dell'area verso cui hanno orientato le risorse attentive. La presentazione di un cue visivo impedirebbe l'adozione di questa strategia poiché il soggetto dovrebbe discriminare tra suggerimento visivo, a cui non deve rispondere, e target visivo, alla presentazione del quale deve emettere la risposta.

L'ipotesi che la presentazione dei segnali di avvertimento interferisca con l'emissione della risposta quando cue e target vengono presentati nella stessa modalità sembrerebbe supportata dai dati ottenuti in precedenza da Posner et al. (1987) i quali osservano come la presentazione di un segnale di avvertimento permetta ai soggetti di ottenere tempi di reazione più rapidi rispetto alla condizione "unwarned" solo se le prove senza segnale di avvertimento sono presentate nello stesso blocco in cui vengono presentate le prove precedute dal cue visivo (condizione "mixed blocks"). Quando le prove non precedute

dal segnale di avvertimento vengono presentate separatamente rispetto a quelle della condizione "cued" (condizione "pure blocks") i tempi di reazione alle prove valide sono indistinguibili o, addirittura, significativamente più lenti rispetto alle prove non precedute da alcun cue visivo. Posner e collaboratori (1987) spiegano questo risultato ipotizzando che nella condizione "pure blocks" i soggetti possano mantenere un criterio di risposta più basso quando rispondono alle prove non precedute dal segnale di avvertimento. Questo criterio deve essere alzato nella condizione "mixed blocks" poiché, per la emissione di una risposta corretta, il target deve essere discriminato dal cue. In questa condizione sperimentale la comparsa di un target "unwarned" richiede, prima della emissione della risposta l'orientamento della attenzione e la discriminazione rispetto al segnale di avvertimento, l'esecuzione di queste operazioni mentali darebbe luogo all'incremento dei tempi di reazione.

Alla luce di questa interpretazione la assenza di interazioni tra tipo di cue somministrato e effetto validità osservata da Fernandez-Duque e Posner (1997) potrebbe essere dovuta al fatto che le differenze di allerta ipotizzate dagli autori abbiano contribuito in misura ridotta alle differenze osservate nei dati raccolti, più facilmente spiegabili in termini spaziali.

### **RIDUZIONE DI SONNO E ATTENZIONE**

Alla luce dei dati sopra riportati risulta evidente come i tentativi di manipolare il livello di allerta attraverso la somministrazione di segnali di avvertimento abbiano condotto a risultati che non consentono di chiarire le relazioni esistenti tra livello di arousal e orientamento dell'attenzione. La spiegazione di come queste due componenti interagiscono tra loro riveste una particolare rilevanza sia teorica sia applicativa: se questi due meccanismi non fossero indipendenti o le relazioni fossero diverse da quelle ipotizzate dai modelli correnti a proposito del funzionamento attentivo, molti risultati presenti in letteratura anche a proposito dei deficit attenzionali successivi a precise aree cerebrali dovrebbero essere reinterpretati e nuove ipotesi andrebbero formulate per descrivere i processi attentivi.

Una possibilità per comprendere meglio queste relazioni potrebbe essere fornita dalla somministrazione di un compito di orientamento spaziale precedentemente e successivamente alla riduzione della quantità di sonno, nei paragrafi precedenti abbiamo descritto, infatti, come questa manipolazione sia tra le più efficaci nel ridurre il livello di arousal.

Nonostante in letteratura le relazioni tra riduzione di sonno e orientamento dell'attenzione non siano state indagate, le ipotesi maggiormente accreditate a proposito degli effetti della sonnolenza sulle variabili comportamentali sembrerebbero a favore della indipendenza delle due componenti oggetto di indagine: la maggior parte degli autori afferma che la riduzione di sonno provochi un decadimento generalizzato delle performance dovuto a deficit attentivi che, alla luce dei modelli precedentemente illustrati potrebbe essere interpretati come un deficit a carico della componente preposta al mantenimento del livello di allerta.

Abbiamo visto, però, come questa ipotesi non sia stata adeguatamente messa alla prova poiché raramente sono state indagate le altre componenti in cui può essere scomposto il processamento attentivo. L'uso di un compito di orientamento spaziale, quindi, non solo darebbe la possibilità di chiarire meglio le relazioni che esistono tra le componenti di allerta e di orientamento dell'attenzione, ma anche permetterebbe di comprendere meglio gli effetti della riduzione di sonno.

Possono infatti essere avanzate due ipotesi alternative: se, come previsto dai modelli del funzionamento attentivo e in linea con quanto viene correntemente affermato a proposito degli effetti della riduzione di sonno sulle prestazioni, la componente preposta al mantenimento della vigilanza fornisce un contributo indipendente a quello portato dalla componente deputata all'orientamento dell'attenzione nello spazio, allora il decremento dell'arousal provocato dalla riduzione della sonnolenza non dovrebbe modificare gli effetti dovuti all'orientamento attentivo. Viceversa, se la riduzione del tempo di sonno alterasse l'orientamento della attenzione sarebbe possibile ipotizzare che le due reti attenzionali non siano indipendenti tra di loro.

Queste ipotesi hanno guidato la messa a punto del primo degli esperimenti presentati.

## **PRIMO ESPERIMENTO**

Il primo esperimento condotto aveva lo scopo di valutare gli effetti esercitati dall'abbassamento del livello di arousal sull'efficienza dell'orientamento dell'attenzione nello spazio e verificare se queste due componenti del sistema attentivo sono indipendenti o interagiscono tra loro.

Poiché la riduzione del tempo di sonno avrebbe potuto determinare, accanto alla riduzione del livello di arousal, anche un aumento della presenza di brevi addormentamenti nel corso delle sessioni di prova rendendo di difficile interpretazione i risultati ottenuti nel compito di orientamento attentivo, accanto alle latenze medie di risposta è stato valutato anche il numero di risposte omesse.

Allo scopo di tenere conto della possibilità che, dopo la riduzione di sonno, la sleep inertia potesse influenzare in maniera differenziale le prestazioni dei soggetti in funzione dello stadio al momento del risveglio (Tassi and Muzet, 2000) si è deciso di mettere a punto un esperimento che prevedesse due condizioni sperimentali che differissero solo per lo stadio al momento del risveglio nella condizione di riduzione di sonno: in una condizione i risvegli sarebbero stati effettuati durante la fase REM, nell'altra condizione i risvegli sarebbero stati effettuati nel corso dello Stadio 2.

## **METODO**

### **Soggetti**

All'esperimento hanno partecipato 14 soggetti (4 maschi) studenti universitari di età compresa tra i 20 e i 26 anni. Per la partecipazione all'esperimento era prevista una ricompensa.

Prima dell'inizio dell'esperimento ciascun partecipante compilava un questionario finalizzato ad individuare la eventuale presenza di disturbi del sonno o patologie mediche. La stabilità del regime sonno-veglia è stata verificata tramite un diario del sonno che i partecipanti compilavano per due settimane prima dell'inizio dell'esperimento.

### **Protocollo Sperimentale**

L'esperimento prevedeva la registrazione notturna, presso il laboratorio del sonno, degli indici polisonnografici standard (2 canali EEG, 2 canali EOG, 1 canale EMG) e

la misurazione diurna dei livelli di performance in due condizioni sperimentali: baseline, riduzione di sonno.

Prima dell'inizio dell'esperimento vero e proprio era prevista una fase di adattamento che aveva lo scopo di consentire la valutazione delle caratteristiche oggettive del sonno di ciascun soggetto e 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.

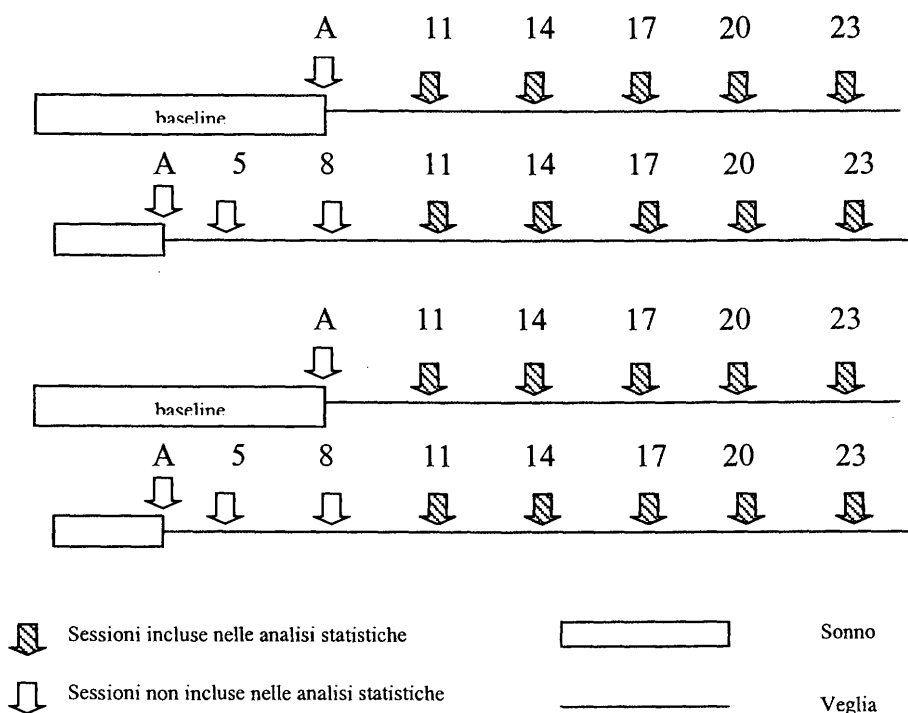
La settimana successiva alla condizione di adattamento aveva inizio la fase sperimentale. Questa prevedeva quattro notti suddivise in due settimane successive.

La prima notte di ciascuna settimana i partecipanti all'esperimento potevano dormire ininterrottamente dalle 24.00 alle 8.00, mentre la seconda notte dormivano per circa tre ore a partire dalle 24.00. Nella condizione di riduzione di sonno, in ordine controbilanciato tra i soggetti, i risvegli venivano effettuati alternativamente nel corso della fase REM o durante lo Stadio 2, allo scopo di tenere conto dell'influenza della sleep inertia sulle prestazioni ottenute nelle sessioni che seguivano i risvegli.

Nelle giornate successive a ciascuna notte trascorsa in laboratorio avevano luogo le sessioni di misurazione delle performance in orari predeterminati: immediatamente dopo il risveglio, alle 11.00, alle 14.00, alle 17.00, alle 20.00 e alle 23.00. Nelle giornate successive alla condizione di riduzione erano previste delle ulteriori sessioni di misurazione ogni 30 minuti a partire dal risveglio fino alle 5.00.

In figura 6 viene illustrato l'intero protocollo sperimentale.

**Figura 6**

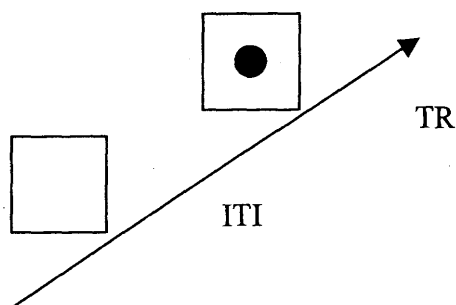


**Materiale**

Nelle sessioni di misurazione le prestazioni dei soggetti sono state valutate per mezzo di due test: un compito di tempi di reazione semplici senza segnale di avvertimento e un compito di tempi di reazione semplici secondo le caratteristiche del paradigma di Posner. Entrambi i test sono stati costruiti con il linguaggio di programmazione MEL (Schneider, 1990) e somministrati tramite personal computer. L'ordine di presentazione dei test è stato randomizzato tra le sessioni. La distanza dallo schermo su cui venivano somministrati gli stimoli è stata mantenuta costante (80 cm) grazie all'uso di una mentoniera. Le caratteristiche principali dei test utilizzati vengono riportate in figura 7

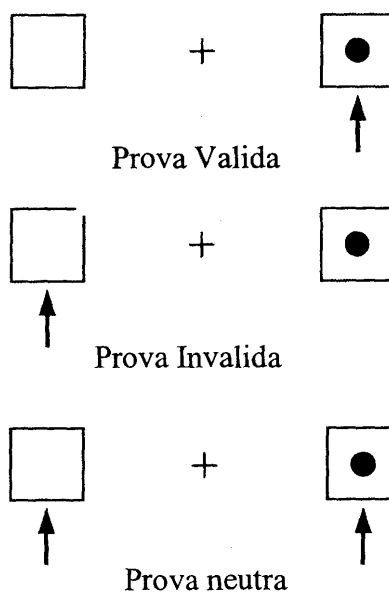
**Figura 7**  
**Tempi di reazione semplici**

ITI= intervallo casuale tra gli stimoli compreso tra 600 e 2000 msec.  
 TR= tempo concesso per l'emissione della Risposta: 1000 msec.  
 Numero totale dei trial: 64

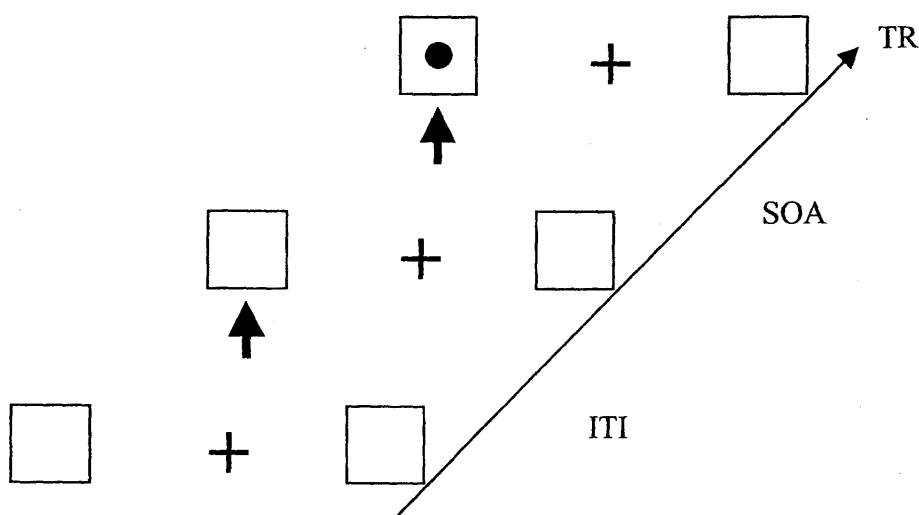


### Compito di orientamento spaziale

Numero totale dei trial = 100  
Prove valide = 32%  
Prove neutre = 40%  
Prove invalide = 8%  
Catch trials = 20%



### Sequenza di un singolo trial



SOA= 600 millisecondi

ITI= 1000 millisecondi

TR = tempo concesso per l'emissione della risposta: 1000 millisecondi

### Tempi di reazione semplici

Il soggetto sedeva di fronte allo schermo del computer, al centro del quale veniva presentato un quadrato visibile per la durata dell'intera prova. Al centro del quadrato



comparivano gli stimoli, a cui il soggetto doveva rispondere premendo il più rapidamente possibile la barra spaziatrice della tastiera posta tra lo schermo e il soggetto. La prova prevedeva la somministrazione di 64 stimoli separati da un intervallo di tempo casuale, compreso tra 600 e 2000 millisecondi. Dopo la comparsa dello stimolo il tempo concesso per l'emissione della risposta era di 1000 millisecondi. Se entro questo periodo non veniva emessa una risposta lo stimolo scompariva e, dopo che l'intervallo interstimolo era trascorso, veniva presentato lo stimolo successivo. Il completamento del test richiedeva circa due minuti.

#### *Tempi di reazione con segnale di avvertimento (compito di orientamento spaziale)*

Sullo schermo erano visibili per la durata dell'intera prova un punto di fissazione e due quadrati posti 6 gradi di angolo visivo a destra e a sinistra del punto di fissazione centrale. Gli stimoli, chiaramente identificabili rispetto allo sfondo, potevano comparire in uno dei due quadrati. Indipendentemente dalla posizione di comparsa, il soggetto doveva rispondere alla presentazione dello stimolo premendo la barra spaziatrice della tastiera. 600 millisecondi prima della comparsa di ciascuno stimolo (SOA) veniva presentato un suggerimento (una freccia) posto al di sotto di uno (prove valide o prove invalide) o di entrambi i quadrati (prove neutre). Il numero totale dei trial era 100 di cui il 32% era costituito da prove valide, l'8% da prove invalide, il 40% da prove neutre e il 20% da catch trials. Le prove a cui corrispondevano tempi di reazione inferiori a 100 millisecondi o superiori a 800 millisecondi sono state ripetute senza fornire alcun feedback al soggetto. La durata complessiva del test era di circa cinque minuti.

#### **Analisi statistiche**

Poiché nella condizione di riduzione di sonno non è stato possibile per tutti i soggetti effettuare i risvegli nelle due fasi di sonno previste originariamente, per le analisi statistiche sono state considerate solo le prove ottenute dalle ore 11.00 alle 23.00 di ciascuna condizione sperimentale. Avendo escluso tutte le misurazioni comprese all'interno del periodo in cui la sleep inertia avrebbe potuto esercitare i propri effetti sulle performance, le due settimane sperimentali sono state considerate equivalenti e i risultati di ciascuna sessione sono costituiti dalla media delle osservazioni effettuate nelle due settimane sperimentali.

I due test sono stati analizzati separatamente per mezzo di ANOVA a misure ripetute utilizzando come variabile dipendente la media dei tempi di reazione.

Per l'analisi dei risultati che si riferiscono al compito di tempi di reazione semplici è stata utilizzata una ANOVA a misure ripetute con due fattori: il primo fattore era costituito dalla quantità di sonno (baseline, riduzione di sonno) e il secondo fattore dall'orario in cui è stata effettuata la misurazione (11.00, 14.00, 17.00, 20.00, 23.00).

Per l'analisi dei risultati del compito di orientamento spaziale è stata utilizzata una ANOVA a tre vie in cui il primo fattore era costituito dalla quantità di sonno (baseline, riduzione di sonno), il secondo fattore dall'orario in cui è stata effettuata la misurazione (11.00, 14.00, 17.00, 20.00, 23.00) e il terzo fattore dal tipo di prova (valida, neutra, invalida).

Nel compito di tempi di reazione semplici è stato analizzato con lo stesso disegno sperimentale anche il numero di risposte omesse in ciascuna sessione allo scopo di valutare la presenza di intrusioni di sonno nel corso della esecuzione del test.

## **RISULTATI**

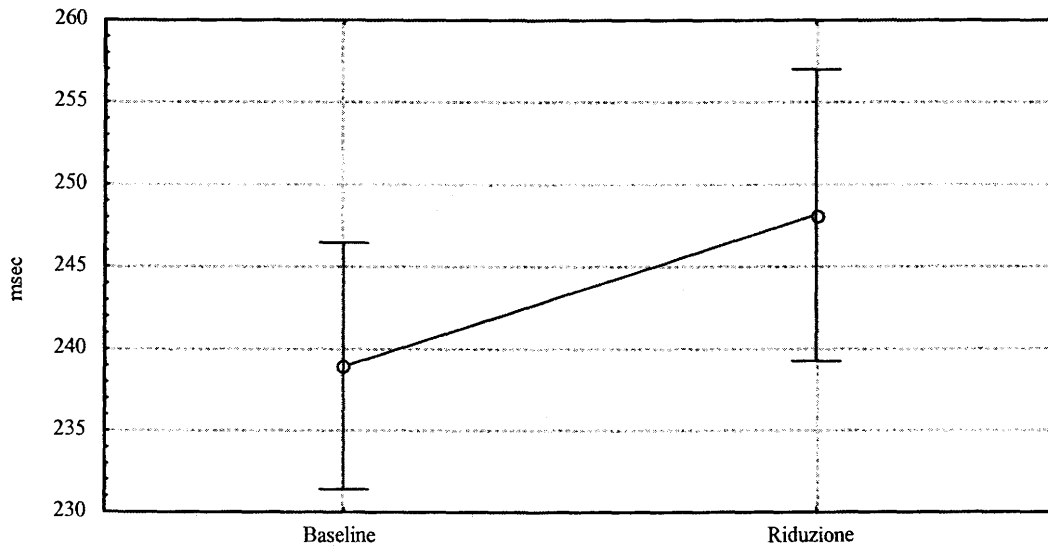
I risultati presentati si riferiscono a 11 dei 14 soggetti che hanno partecipato all'esperimento dal momento che delle difficoltà tecniche hanno impedito il completamento della fase sperimentale per tre soggetti.

L'analisi della varianza effettuata sulle medie delle latenze di risposta al compito di tempi di reazione semplici ha fornito un risultato significativo solo per quanto riguarda l'effetto principale quantità di sonno ( $F_{1,10}=6.47$ ;  $p=.0291$ ). I tempi di reazione sono passati da 239 ( $\pm 8$ ) millisecondi nella condizione di baseline a 248 ( $\pm 9$ ) millisecondi nella condizione di riduzione di sonno (si veda Figura 8)

FIGURA 8

Tempi di reazione semplici

Latenze medie di risposta nei due giorni sperimentali

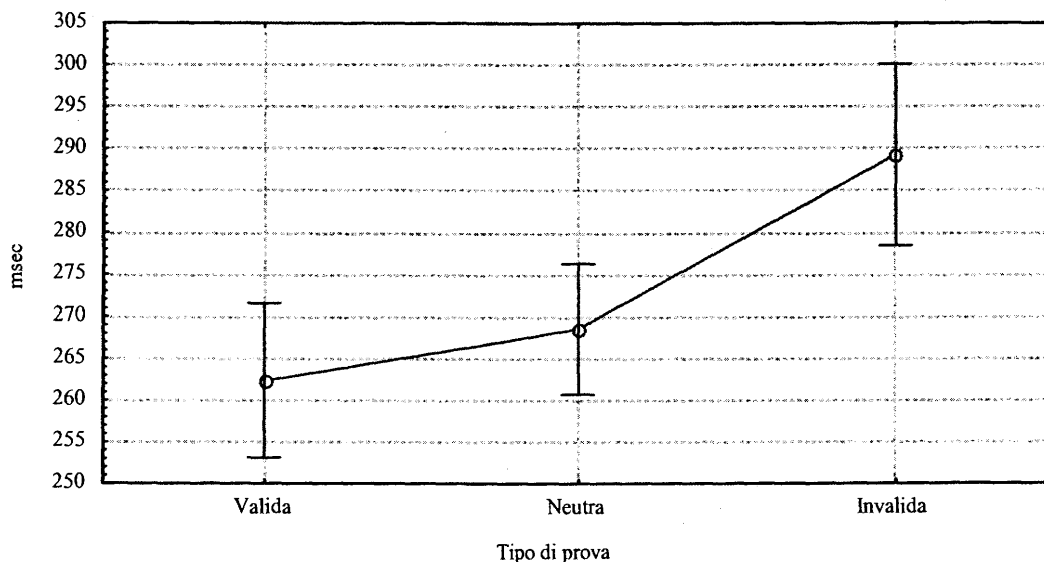


L'analisi statistica in cui il numero delle risposte omesse è stato usato come variabile dipendente non ha fornito alcun risultato significativo dimostrando così la assenza di microsogni nel corso delle sessioni di misurazione.

L'analisi delle latenze di risposta nel compito di orientamento spaziale ha messo in luce un effetto significativo per quanto riguarda l'effetto principale tipo di prova ( $F_{2, 20}=29.79, p<.0001$ ) che permette di affermare come, in generale, il compito si sia dimostrato efficace nell'evidenziare le differenze nelle latenze di risposta dovute all'orientamento dell'attenzione nello spazio (si veda figura 9). I confronti pianificati hanno evidenziato come le prove valide ( $262 \pm 9$  millisecondi) si differenzino in maniera significativa ( $p=.04$ ) dalle prove neutre ( $268 \pm 8$  millisecondi) che, a loro volta, sono significativamente diverse ( $p<.001$ ) dalle prove invalide ( $289 \pm 11$  millisecondi).

FIGURA 9

Compito di orientamento spaziale  
 Latenze medie di risposta nei tre tipi di prova



Dall'analisi è risultata significativa anche l'interazione quantità di sonno per tipo di prova ( $F_{2, 20}=12.51, p=.0003$ ). I valori che si riferiscono alle latenze di risposta nelle prove valide neutre e invalide delle due condizioni sperimentali sono riportati in tabella 1 e figura 10.

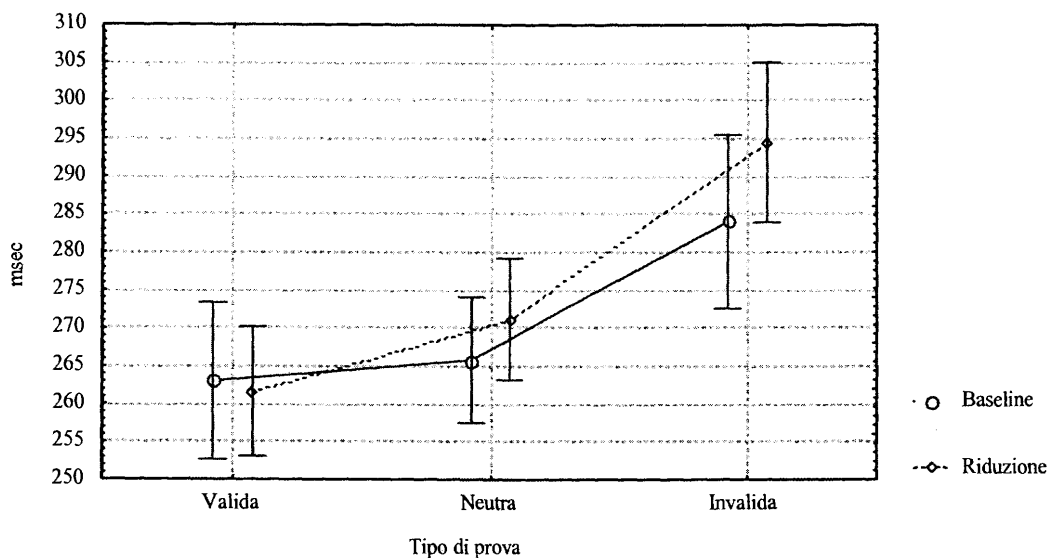
Tabella 1

Condizione	Tipo di prova	Media	Errore standard
Baseline	Valida	263	10
Baseline	Neutra	266	8
Baseline	Invalida	284	11
Riduzione	Valida	262	9
Riduzione	Neutra	271	8
Riduzione	Invalida	294	11

FIGURA 10

Compito di orientamento spaziale

Interazione quantità di sonno per tipo di prova



I confronti pianificati hanno messo in evidenza come la condizione di riduzione di sonno si differenzi in modo significativo dalla condizione di baseline solo per quanto riguarda i tempi di reazione alle prove invalide ( $p=.01$ ), mentre la differenza che si osserva tra i tempi di reazione alle prove neutre non ha raggiunto la significatività statistica ( $p=.30$ ).

### DISCUSSIONE

L'incremento significativo delle latenze di risposta osservato nel compito di tempi di reazione semplici dimostra come la riduzione di sonno abbia determinato l'abbassamento del livello di attivazione del soggetto. La quantità di sonno relativamente elevata concessa anche nella condizione di riduzione (in questa condizione il tempo medio di sonno è stato di 150 minuti), la scelta di escludere dalle analisi le prove registrate immediatamente dopo il risveglio, quando maggiori sarebbero stati gli effetti della riduzione di sonno e, infine, la durata estremamente breve del test utilizzato hanno certamente contribuito a ridurre l'entità dell'incremento dei tempi di reazione (circa 10 millesec). In questo caso l'impatto limitato della riduzione di sonno sulle performance deve essere considerato un elemento positivo: lo scopo della manipolazione sperimentale, infatti, era ridurre il livello di attivazione senza aumentare la probabilità che durante l'esecuzione dei test si presentassero microsogni. Alla luce della assenza di omissioni della risposta anche

in seguito alla riduzione di sonno può essere esclusa la presenza di brevi addormentamenti durante la prova e l'incremento dei tempi di reazione può essere attribuito all'abbassamento tonico del livello di arousal evidenziabile anche attraverso il test estremamente breve da noi utilizzato.

L'ipotesi che gli effetti della riduzione di sonno siano attribuibili ad un generico abbassamento delle risorse attentive viene però smentita dai risultati ottenuti nel compito di orientamento spaziale: se questa ipotesi fosse corretta, nel secondo giorno sperimentale i tempi di reazione avrebbero dovuto risultare uniformemente più lenti nei tre tipi di prova che costituiscono il compito di orientamento spaziale. I confronti effettuati tra le due condizioni sperimentali, invece, hanno evidenziato un incremento significativo dei tempi di reazione solo in corrispondenza delle prove invalide.

Interpretando questo risultato alla luce delle sottocomponenti in cui è stato scomposto il processo di orientamento della attenzione nello spazio (Posner, 1980) è possibile affermare che l'efficienza del meccanismo preposto all'ancoraggio dell'attenzione non viene ridotta in seguito alla riduzione della quantità di sonno: la riduzione della capacità dei soggetti nel mantenere il fuoco dell'attenzione nella posizione di probabile comparsa dello stimolo per lunghi periodi (il SOA era di 600 millisecondi), avrebbe determinato un incremento dei tempi di reazione anche in corrispondenza delle prove valide. I dati ottenuti permettono, dunque, di escludere questa ipotesi.

Per quanto riguarda gli effetti della riduzione di sonno sulle componenti di spostamento e di ancoraggio, i dati non possono essere considerati conclusivi: entrambe le componenti sono coinvolte nell'esecuzione delle prove invalide. Secondo il modello proposto da Posner (Posner and Raichle, 1994) dopo la comparsa dello stimolo target nella posizione disattesa il focus attentivo verrebbe prima disancorato dalla posizione rivelatasi errata e successivamente spostato verso la nuova posizione spaziale. L'aumento dei tempi di reazione osservato in corrispondenza delle prove invalide, dunque, potrebbe essere attribuito sia a una diminuzione dell'efficienza nell'esecuzione della prima sia della seconda operazione. Una possibilità di discriminare tra queste due ipotesi potrebbe derivare dall'analisi dei risultati ottenuti in corrispondenza delle prove neutre, considerate come una indispensabile condizione di controllo rispetto alle prove invalide (Yantis, 1988).

La possibilità di calcolare i benefici e i costi che derivano dall'orientamento corretto o errato della attenzione nello spazio deriva dall'ipotesi che la somministrazione di

un cue non informativo permetta al soggetto di orientare l'attenzione solo successivamente alla comparsa dello stimolo target. La differenza che si osserva tra le prove valide e quelle neutre sarebbe dovuta al tempo necessario per l'esecuzione dello spostamento e dell'ancoraggio in corrispondenza della posizione di comparsa dello stimolo. La differenza che si osserva tra la condizione neutra e la condizione invalida, invece, poiché entrambe condividono l'operazione dello spostamento, dovrebbe essere attribuita al tempo necessario per la esecuzione del disancoraggio, presente solo nelle prove invalide.

Se questa ipotesi fosse corretta, quindi, la differenza significativa dopo la riduzione di sonno, osservata esclusivamente in corrispondenza delle prove invalide, potrebbe essere attribuita alla diminuzione nell'efficienza con cui viene effettuato il disancoraggio del focus attentivo.

Per accogliere questa interpretazione, però, sono necessarie due assunzioni:

(a) nella condizione neutra il fuoco della attenzione dovrebbe essere mantenuto in corrispondenza del punto di fissazione centrale fino alla comparsa dello stimolo e

(b) lo spostamento dell'attenzione nello spazio dovrebbe avvenire a tempo costante (in altre parole l'ampiezza dello spostamento da effettuare non dovrebbe influenzare il tempo necessario per l'esecuzione dello spostamento stesso). Le prove neutre e le prove invalide, infatti, condividono la componente dello spostamento, ma nelle prime la posizione di comparsa dello stimolo dista  $6^\circ$  dall'area in cui dovrebbe essere orientato il fuoco attenzionale al momento della sua comparsa, mentre nelle seconde questa distanza è di  $12^\circ$  di angolo visivo.

In letteratura esistono numerose prove a favore dell'ipotesi secondo cui gli spostamenti del focus attentivo nello spazio vengano eseguiti a tempo costante (Sperling and Weichselgartner, 1995; Yantis, 1988; Remington and Pierce, 1984), ma la possibilità che avvengano a velocità costante non può essere esclusa con certezza: i dati riportati da Shulman et al. (1979) e da Tsal (1983) sembrano infatti indicare che il tempo impiegato dal focus attentivo per spostarsi tra due punti sia proporzionale alla distanza da percorrere, in linea con l'ipotesi di una modalità di spostamento del focus attentivo analogica (Posner, 1980).

Se questa seconda ipotesi fosse corretta, l'incremento dei tempi di reazione nelle prove invalide osservato successivamente alla riduzione di sonno, potrebbe essere attribuito all'aumento del tempo necessario per effettuare lo spostamento del fuoco dell'attenzione. Anche la differenza osservata tra i tempi di reazione alle prove

neutre, quindi, sarebbe attribuibile alla diminuzione della velocità di spostamento del focus attentivo e l'assenza della significatività statistica potrebbe essere attribuita al basso potere risolutivo del compito utilizzato. E' interessante notare infatti che la differenza nei tempi di reazione osservata nella condizione invalida, dove lo spostamento da effettuare è di 12° di angolo visivo, è di entità doppia rispetto alla differenza osservata nella condizione neutra, in cui lo spostamento da effettuare è di 6° di angolo visivo.

Adottando questa spiegazione l'assenza di differenze osservata in corrispondenza delle prove valide potrebbe essere attribuita alla lunga durata dell'intervallo tra la presentazione del cue e la presentazione del target (600 msec) che consentirebbe di completare lo spostamento prima della comparsa dello stimolo imperativo.

Entrambe le precedenti ipotesi presuppongono:

- (a) che le prove neutre e le prove invalide differiscano solo per la ampiezza dello spostamento da effettuare, 6° nella prima condizione, 12° nella seconda condizione e
- (b) che nella condizione neutra lo spostamento del fuoco dell'attenzione abbia inizio dal punto di fissazione centrale successivamente alla comparsa dello stimolo target.

In letteratura, però, esistono dei dati che inducono a considerare le prove neutre di natura diversa rispetto alle altre prove che costituiscono il compito di orientamento spaziale perchè richiederebbero, prima dell'emissione della risposta, l'esecuzione di operazioni mentali diverse rispetto a quelle sottostanti alle prove valide o invalide. Se per le prove invalide possiamo considerare che i tempi di reazione siano più lenti di quelli osservati in corrispondenza delle prove valide a causa della necessità di disancorare il fuoco della attenzione dalla posizione precedentemente considerata valida e spostarlo verso la posizione in cui il target è comparso, nelle prove neutre la presentazione di un suggerimento non informativo potrebbe, invece, determinare una ampia diffusione della attenzione allo scopo di tenere sotto controllo entrambe le posizioni in cui lo stimolo può comparire. Se questa ipotesi fosse corretta i tempi di reazione più lenti di quelli registrati in corrispondenza delle prove valide non potrebbero essere attribuiti alla esecuzione delle operazioni di spostamento e ancoraggio dopo la comparsa dello stimolo target, ma al tempo necessario per passare dalla condizione di attenzione diffusa a quella di attenzione focalizzata.

L'ipotesi secondo cui le prove neutre presupporrebbero delle operazioni mentali diverse rispetto alle prove valide e alle prove invalide, sembrerebbe confermata da un recente lavoro di Fan et al. (2002) nel quale viene presentato un test finalizzato allo



studio delle tre reti attenzionali individuate dal modello di Posner e Petersen (1990). Il test, un compito di tempi di reazione, prevede che il soggetto risponda alla presentazione di stimoli somministrati in due posizioni spaziali, al di sopra o al di sotto di un punto di fissazione centrale. Lo stimolo può comparire senza essere preceduto da un segnale di avvertimento, preceduto da un suggerimento valido, preceduto da un suggerimento presentato in corrispondenza del punto di fissazione oppure preceduto da un suggerimento che non fornisce informazioni spaziali riguardo alla posizione di comparsa del target. L'efficienza del meccanismo preposto all'orientamento dell'attenzione nello spazio viene inferita effettuando la differenza tra i tempi di reazione alle prove in cui il suggerimento è stato presentato in corrispondenza del punto di fissazione e i tempi di reazione alle prove valide, mentre l'efficienza del meccanismo preposto al mantenimento del livello di allerta viene ricavata effettuando la differenza tra i tempi di reazione alle prove non precedute da alcun segnale e quelli ottenuti in seguito alla somministrazione del cue non informativo. Queste due condizioni, secondo Fan e collaboratori (2002), sarebbero confrontabili tra loro in quanto entrambe caratterizzate da una condizione di attenzione diffusa.

Una ulteriore spiegazione per rendere conto delle differenze nei tempi di reazioni alle prove valide e alle prove neutre potrebbero risiedere nelle dimensioni dell'area da mantenere sotto controllo in queste due condizioni anziché all'esecuzione, nella condizione neutra, delle operazioni di spostamento e ancoraggio dopo la comparsa dello stimolo target. Castiello e Umiltà (1990), attraverso un compito di orientamento spaziale, hanno dimostrato che le dimensioni dell'area da tenere sotto controllo influenzano le latenze di risposta allo stimolo imperativo: all'aumentare delle dimensioni dell'area attesa aumenta anche il tempo necessario per passare dalla condizione di attenzione diffusa che precede la somministrazione del target, alla condizione di attenzione focalizzata necessaria per l'emissione della risposta.

Alla luce di questi dati, dunque, le prove neutre non possono essere utilizzate come una condizione di controllo per le prove invalide impedendo così di chiarire se l'incremento significativo dei tempi di reazione osservato in seguito alla riduzione di sonno in queste ultime sia da attribuire alla minore efficienza del meccanismo del disancoraggio o alla diminuzione della velocità dello spostamento.

Nonostante questa ambiguità i dati ottenuti sembrerebbero indicare che, a differenza di quanto ipotizzato precedentemente (Fernandez Duque and Posner, 1998; Posner

and Petersen, 1990; Dinges and Barone Kribbs, 1991), la riduzione del livello di arousal provocata dalla restrizione del tempo di sonno interferisca con la capacità di orientare l'attenzione nello spazio dimostrando in questo modo la non indipendenza delle reti deputate al mantenimento della vigilanza e all'orientamento della attenzione.

Una interpretazione alternativa dei dati ottenuti, però, potrebbe essere rappresentata dall'ipotesi avanzata da LaBerge e collaboratori (LaBerge, 1995; LaBerge and Brown, 1986; LaBerge et al., 1997) a proposito dei processi sottostanti al compito di orientamento spaziale.

In questo modello le differenze nei tempi di reazione che si osservano tra prove valide, prove neutre e prove invalide non vengono attribuite all'esecuzione di specifiche operazioni mentali, ma sono interpretate come la conseguenza della distribuzione delle risorse attentive nello spazio. Successivamente alla presentazione del cue si formerebbe un gradiente di risorse attentive che presenterebbe un picco massimo in corrispondenza della posizione indicata dal suggerimento. La velocità della risposta che si osserva in corrispondenza dei tre tipi di prova che costituiscono il compito di orientamento spaziale dipenderebbe dalle caratteristiche che il gradiente di risorse attentive assumerebbe dopo la somministrazione dei diversi suggerimenti. Nelle prove valide il picco massimo di risorse attentive si troverebbe in corrispondenza della posizione di comparsa del target, nelle prove neutre le risorse attentive verrebbero distribuite uniformemente nello spazio da mantenere sotto controllo, mentre nelle prove invalide le risorse attentive in corrispondenza della posizione di comparsa del target sarebbero ridotte in seguito alla formazione del picco massimo di risorse nella posizione considerata valida fino al momento della comparsa dello stimolo.

Anche questo modello prevede che il processo di orientamento dall'attenzione non interagisca con il meccanismo deputato al mantenimento della vigilanza (LaBerge, 1995): la diminuzione del volume delle risorse disponibili in seguito alla riduzione del livello di allerta dovrebbe determinare un aumento dei tempi di reazione di entità comparabile nelle prove valide, invalide e neutre.

La presenza dell'interazione quantità di sonno per tipo di prova, quindi, sembrerebbe in contrasto anche con le previsioni che possono essere avanzate adottando il modello proposto da LaBerge e collaboratori.

L'uso di un SOA prolungato potrebbe, però, aver contribuito a mascherare la riduzione delle risorse attentive nella condizione valida. E' possibile che l'intervallo di 600 millisecondi tra la presentazione del suggerimento e quella del target sia sufficiente perché, anche nella condizione di sonno ridotto, la quantità di risorse disponibili nella posizione valida raggiunga un livello tale da rendere indistinguibili i tempi di reazione osservati nelle due condizioni sperimentali.

## SECONDO ESPERIMENTO

Dal momento che i risultati ottenuti nel primo esperimento presentavano delle ambiguità a causa dell'impossibilità di distinguere il contributo fornito al tempo di reazione dalle componenti dello spostamento e del disancoraggio, è stato condotto un secondo esperimento allo scopo di valutare le caratteristiche di un compito preposto a questo scopo. Per valutare se lo spostamento dell'attenzione avvenisse a tempo costante o a velocità costante e discriminare il tempo necessario ad effettuare il disancoraggio dell'attenzione da quello impiegato per eseguire lo spostamento del focus attentivo, sono state modificate alcune caratteristiche del compito utilizzato nel precedente esperimento.

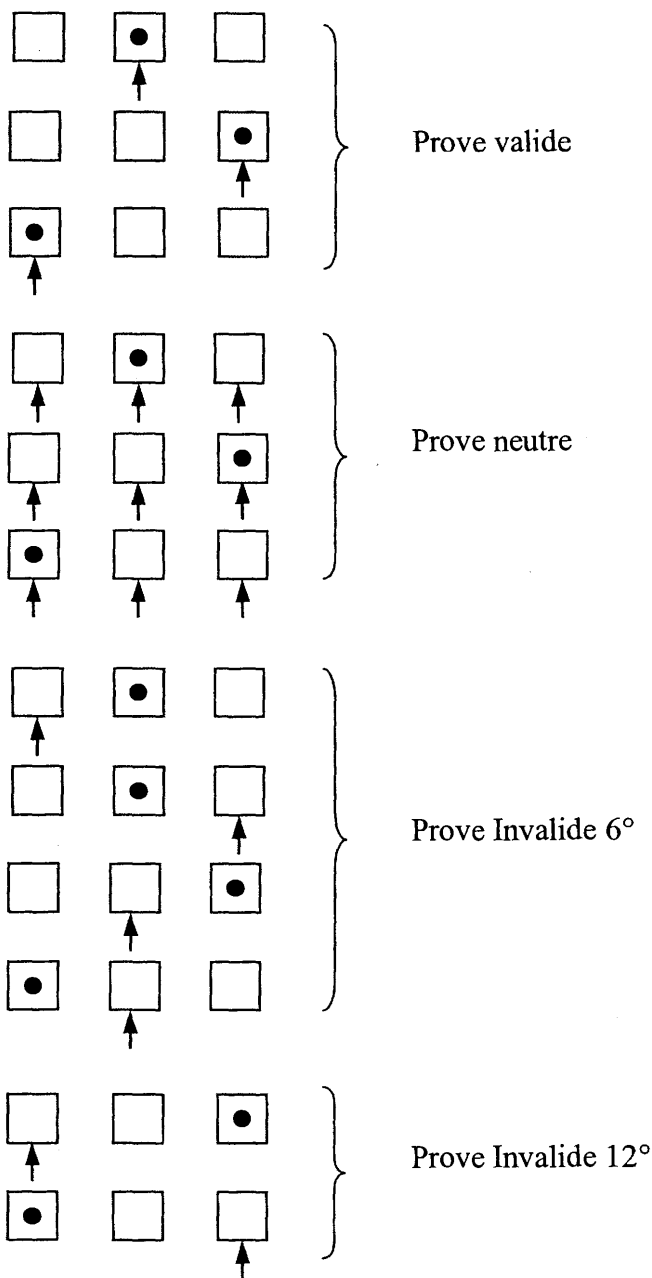
La croce, che costituiva il punto di fissazione centrale nel compito utilizzato nel precedente esperimento, è stata sostituita da un quadrato, identico ai due laterali. Il baricentro geometrico del quadrato centrale distava  $6^\circ$  di angolo visivo dal centro di ciascuno dei due quadrati laterali. All'interno dei tre quadrati venivano presentati, con la stessa frequenza in ciascuna delle tre posizioni, i target a cui il soggetto doveva rispondere premendo un pulsante il più rapidamente possibile. Per indurre l'orientamento della attenzione, 600 msec prima della comparsa del target, veniva somministrato un suggerimento che poteva essere costituito dalla presentazione al di sotto di un quadrato di una freccia (prove valide e invalide) o dalla presentazione simultanea di tre frecce, una sotto ciascun quadrato (prove neutre). Grazie alla presenza di tre possibili posizioni di comparsa dello stimolo, le prove invalide sono distinguibili in relazione alla distanza che separa la posizione di comparsa del cue dalla posizione in cui viene somministrato il target: quando il suggerimento indica il quadrato centrale e il target viene presentato in uno dei due quadrati laterali deve essere effettuato uno spostamento di  $6^\circ$  di angolo visivo, mentre, quando il cue indica uno dei due quadrati laterali, ad esempio quello di destra, e il target compare nel quadrato posto all'estremo opposto, nel quadrato di sinistra, lo spostamento necessario è di  $12^\circ$  gradi di angolo visivo (Si veda figura 11). Poiché entrambi i tipi di prova invalida presuppongono sia il disancoraggio sia lo spostamento dell'attenzione, se il tempo necessario per spostare l'attenzione nello spazio fosse costante indipendentemente dalla distanza da percorrere, i tempi di reazione ai due tipi di prova invalida non dovrebbero differire tra loro, mentre se lo spostamento del

focus attento nello spazio avvenisse a velocità costante, i tempi di reazione registrati in corrispondenza delle prove invalide in cui lo spostamento è di  $12^\circ$  di angolo visivo dovrebbero essere superiori a quelli delle prove invalide che prevedono uno spostamento di  $6^\circ$ .

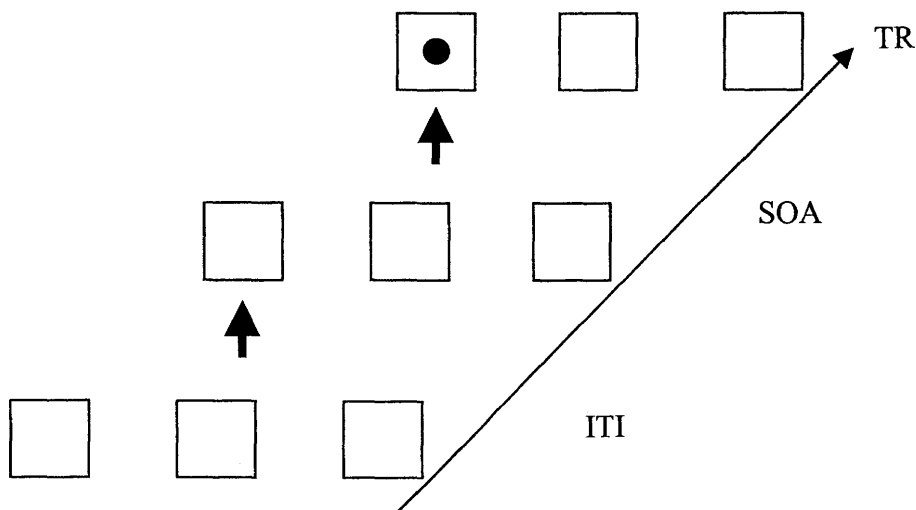
Come nel compito precedentemente utilizzato i tempi di reazione alle prove valide dovrebbero risultare inferiori a quelli registrati in corrispondenza delle prove neutre, a loro volta inferiori rispetto a quelli registrati in corrispondenza di entrambi i tipi di prova invalida.

**Figura 11**

Compito di orientamento spaziale



### Sequenza di un singolo trial



SOA = 600 millisecondi

ITI = casuale compreso tra 800 e 1200 millisecondi

Numero totale di trial = 160

Prove valide = 96

Prove neutre = 24

Prove invalide  $8^{\circ} = 16$

## METODO

### Soggetti, materiale e procedura

All'esperimento hanno partecipato 43 studenti universitari volontari (di età compresa tra 20 e 26 anni), con acuità visiva normale o ricondotta alla norma. Nessun soggetto aveva partecipato all'esperimento precedente.

Il test era costituito dal compito di orientamento spaziale secondo le caratteristiche descritte in figura 11 costruito utilizzando il linguaggio di programmazione MEL (Schneider, 1990) e somministrato tramite personal computer in una stanza acusticamente isolata. La distanza tra il soggetto e lo schermo su cui venivano presentati gli stimoli era di 80 centimetri e veniva mantenuta costante grazie all'uso di una mentoniera.

L'intervallo tra la presentazione del suggerimento e la presentazione del target (SOA) era di 600 millisecondi.

Il numero totale delle prove era 160 di cui il 60% era costituito da prove valide, il 15% da prove neutre, il 15% da prove invalide e il 10% da catch trials. Come nell'esperimento precedente, dunque, la presentazione di una freccia indicava la posizione di comparsa del target con una predittività dell'80%.

La sessione incominciava con la lettura delle istruzioni per l'esecuzione del compito, in cui veniva enfatizzata l'importanza di evitare movimenti oculari nel corso della prova. Dopo la lettura delle istruzioni, in presenza dello sperimentatore, venivano somministrati 40 trial di apprendimento durante la presentazione dei quali veniva controllata la eventuale presenza di movimenti oculari. Al termine delle prove di apprendimento lo sperimentatore lasciava la stanza e la prova aveva inizio.

I trial di apprendimento non sono stati considerati nelle analisi statistiche. Tutte le prove a cui corrispondevano tempi di reazione inferiori a 100 millisecondi o superiori a 800 millisecondi sono state ripresentate nel corso della prova senza fornire alcun feedback al soggetto e i tempi di reazione delle prove scartate non sono state considerate nelle analisi statistiche.

### **Analisi statistiche**

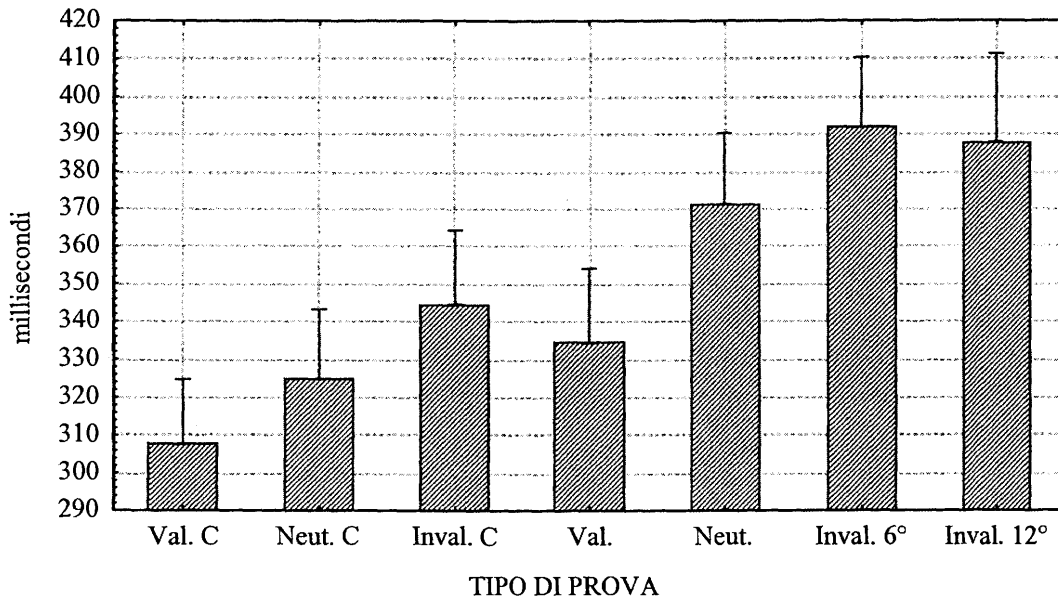
Poiché, le latenze di risposta ai target presentati nella posizione centrale sarebbero state inferiori a quelle registrate successivamente alla presentazione dei target nelle due posizioni laterali (Posner, 1978), l'analisi delle medie dei tempi di reazione è stata effettuata per mezzo di una ANOVA a misure ripetute con un fattore (tipo di prova) con sette livelli: prove valide, neutre e invalide in cui il target veniva presentato nel quadrato centrale e prove valide, neutre, invalide con spostamento di 6° e invalide con spostamento di 12°.

### **RISULTATI**

L'analisi effettuata ha fornito un risultato statisticamente significativo ( $F_{6, 252}=59.6$ ,  $p<.0001$ ) e i confronti a coppie condotti hanno permesso di evidenziare come la media delle latenze di risposta alle prove neutre sia risultata significativamente diversa sia dalle prove valide ( $p<.0001$ ) sia dalle prove invalide ( $p<.009$ ), mentre la differenza osservata tra i due tipi di prova invalida non risulti statisticamente significativa (si veda figura 12).

Come ipotizzato, le latenze di risposta registrate in seguito alla presentazione dei target nella posizione centrale, risultano inferiori a quelle registrate nelle prove in cui il target è stato presentato in posizione eccentrica.

**FIGURA 12**  
 Latenze medie di risposta nel compito di orientamento spaziale



### DISCUSSIONE

I risultati ottenuti permettono di concludere che il compito, analogamente a quello utilizzato precedentemente, evidenzia efficacemente le differenze nei tempi di reazione che derivano dall'orientamento corretto o errato dell'attenzione nello spazio: i tempi di reazione ottenuti per le prove valide risultano significativamente inferiori a quelli ottenuti negli altri tipi di prova.

L'assenza di differenze tra i tempi di reazione ottenuti nei due tipi di prova invalida, inoltre, sembra suggerire che lo spostamento dell'attenzione nello spazio venga effettuato a tempo costante anziché a velocità costante. Poiché i due tipi di prova invalida differiscono solo per la distanza che separa la posizione indicata dal suggerimento dalla posizione di comparsa del target (6° e 12° di angolo visivo), se il fuoco dell'attenzione si spostasse a velocità costante questa differenza dovrebbe determinare tempi di reazione superiori nella condizione in cui lo spazio da percorrere è maggiore. La assenza di differenze tra i due tipi di prova invalida sembrerebbe confermare l'ipotesi che prevede che il fuoco dell'attenzione si sposti



nello spazio in modo discreto anziché analogico (Sperling and Weichselgartner, 1995; Yantis, 1988; Remington and Pierce, 1984).

Alla luce dei risultati ottenuti somministrando questo compito, è stato messo a punto un disegno sperimentale che consentisse di chiarire se l'incremento delle latenze di risposta ottenuto in corrispondenza delle prove invalide nell'esperimento precedente sia da attribuire all'aumento del tempo necessario per effettuare il disancoraggio del focus attentivo o a quello necessario per lo spostamento dell'attenzione nello spazio.

## TERZO ESPERIMENTO

La possibilità di escludere che lo spostamento nello spazio del fuoco dell'attenzione avvenga a velocità costante implica che, per valutare se gli effetti osservati nel primo esperimento debbano essere attribuiti a un aumento del tempo necessario per l'esecuzione del disancoraggio oppure a un incremento del tempo impiegato per lo spostamento dell'attenzione, il compito di orientamento spaziale precedentemente messo a punto debba essere utilizzato in un esperimento che, accanto alle condizioni di baseline e riduzione di sonno, preveda una terza condizione di deprivazione totale di sonno.

Semplicemente replicando il primo esperimento, anche l'uso del nuovo compito non fornirebbe una risposta conclusiva ai quesiti ancora aperti a proposito delle interazioni tra livello di allerta e orientamento della attenzione: se la riduzione del livello di arousal interferisse con l'operazione del disancoraggio allora, successivamente alla riduzione del tempo di sonno, i tempi di reazione registrati in corrispondenza di entrambi i tipi di prova invalida dovrebbero subire un incremento della stessa entità, dal momento che entrambi i tipi di prova invalida condividono l'operazione del disancoraggio. Poiché spostamenti di ampiezza diversa richiedono la stessa quantità di tempo, anche se la riduzione di sonno provocasse un aumento del tempo necessario per l'esecuzione dello spostamento del focus attentivo emergerebbe un pattern di risultati indistinguibile da quello ipotizzato sopra.

Anche in questo caso i tempi di reazione registrati in corrispondenza delle prove neutre non possono essere utilizzati per discriminare tra queste due ipotesi, dal momento che, come illustrato nella discussione del precedente esperimento, non è chiaro quali operazioni mentali precedano l'emissione della risposta a un target che segue a un suggerimento neutro.

Riducendo ulteriormente il livello di arousal per mezzo della deprivazione totale di sonno, invece, se la riduzione del livello di attivazione interferisse con il disancoraggio dovrebbe emergere un pattern di dati distinto da quello che emergerebbe se la riduzione del livello di arousal interferisse con l'operazione di spostamento dell'attenzione.

Se fosse corretta la prima ipotesi, un'ulteriore riduzione del livello di arousal rispetto alla condizione di riduzione di sonno dovrebbe produrre un ulteriore aumento dei tempi di reazione solo in corrispondenza delle prove invalide.

Se, invece, fosse corretta l'ipotesi che attribuisce l'incremento dei tempi di reazione all'aumento del tempo necessario per spostare il fuoco dell'attenzione, nella condizione di deprivazione totale di sonno dovremmo osservare un incremento dei tempi di reazione non solo in corrispondenza delle prove invalide, ma anche in corrispondenza delle prove valide. Quest'ultima differenza, però, dovrebbe essere di entità inferiore rispetto a quella osservabile in corrispondenza delle prove invalide. Grazie alla somministrazione di un cue periferico predittivo, infatti, l'orientamento dell'attenzione dovrebbe avvenire in modo automatico. Poiché l'orientamento automatico della attenzione non potrebbe essere interrotto prima del suo completamento anche in seguito alla riduzione del livello di attivazione, in entrambe le condizioni invalide al tempo necessario per effettuare lo spostamento dalla posizione rivelatasi errata verso la posizione di effettiva comparsa dello stimolo, dovrebbe essere sommato il tempo necessario per completare lo spostamento che era stato iniziato al momento della somministrazione del cue.

Le previsioni che possono essere formulate utilizzando il modello proposto da LaBerge (1995) differiscono da quelle avanzate precedentemente.

L'introduzione della terza posizione nel compito di orientamento spaziale determinerebbe una diversa distribuzione delle risorse attentive prima della comparsa del cue: in corrispondenza di ciascuna posizione spaziale le risorse disponibili sarebbero inferiori rispetto a quelle disponibili nel compito che prevede solo due posizioni di comparsa del target dal momento che la stessa quantità di risorse dovrebbe essere distribuita su tre posizioni anziché su due. Poiché le latenze di risposta nelle posizioni disattese dipenderebbero dalla quantità di risorse attentive disponibili al momento della comparsa del target, il modello prevede che, in condizione di baseline, i tempi di reazione alle prove invalide e alle prove neutre siano significativamente più lenti rispetto alla condizione valida, ma simili tra loro. In seguito alla riduzione del tempo di sonno si dovrebbe verificare una diminuzione delle risorse attentive disponibili, che dovrebbe portare ad un incremento dei tempi di reazione comparabile sia nelle prove valide, sia nelle prove neutre, sia in quelle invalide.

La terza condizione introdotta nell'esperimento, la deprivazione totale di sonno, dovrebbe determinare un ulteriore aumento indifferenziato dei tempi di reazione dovuto alla ulteriore riduzione delle risorse disponibili.

## **METODO**

### **Soggetti**

All'esperimento hanno partecipato 16 soggetti (4 maschi), studenti universitari, volontari retribuiti, di età compresa tra i 20 e i 30 anni. I soggetti che hanno partecipato all'esperimento sono stati selezionati all'interno di un campione più ampio che aveva compilato 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. Prima dell'inizio della procedura sperimentale ai partecipanti all'esperimento è stato chiesto di mantenere costanti gli orari di addormentamento e di risveglio, che sono stati verificati attraverso un diario del sonno compilato per due settimane prima dell'inizio dell'esperimento.

### **Materiale**

I test utilizzati durante l'esperimento sono stati il compito di Tempi di Reazione Semplici, già descritto nella sezione "materiale" del primo esperimento e il Compito di Orientamento Spaziale Modificato, descritto nella sezione "materiale" del secondo esperimento. I due compiti sono stati presentati ai soggetti in ordine casuale all'interno delle sessioni di prova.

L'esecuzione dei due compiti richiedeva circa 10 minuti per il loro completamento.

### **Procedura**

L'intero esperimento era costituito da quattro condizioni: "adattamento", "baseline", "riduzione di sonno" e "deprivazione di sonno".

La condizione di adattamento è stata sempre effettuata una settimana prima dell'inizio della fase sperimentale vera e propria ed era costituita da una notte e un giorno presso il laboratorio del sonno. Le altre condizioni sperimentali sono state effettuate in ordine casuale tra i soggetti, separate da un intervallo di sette giorni. Ciascuna condizione prevedeva due notti e due giorni presso il laboratorio del sonno.

Le sessioni di prova durante le tre condizioni sperimentali sono state effettuate sempre negli stessi orari, allo scopo di mantenere costante l'influenza dei ritmi circadiani sulle prestazioni.

#### Fase di Adattamento

I soggetti si presentavano alle 21.00 presso il laboratorio del sonno e, dopo aver loro illustrato le caratteristiche dei compiti aveva inizio la procedura di apprendimento. I soggetti effettuavano 10 sessioni di prova per ciascun test, al termine delle quali venivano posizionati gli elettrodi per la polisonnografia notturna (2 canali EEG, 2 canali EOG, 1 canale EMG, 1 canale ECG) e la notte di adattamento aveva inizio. Questa aveva lo scopo di valutare oggettivamente le caratteristiche del sonno dei partecipanti all'esperimento allo scopo di non includere nel campione soggetti affetti da patologie del sonno. La notte di adattamento terminava alle 8.00 del mattino successivo quando i soggetti venivano svegliati e potevano continuare la procedura di apprendimento dei test. Questa prevedeva l'esecuzione di 20 sessioni di prova per ciascun test. Alla conclusione della fase di apprendimento i soggetti potevano lasciare il laboratorio presso cui si presentavano la settimana successiva per la prima delle tre condizioni sperimentali.

#### Fase Sperimentale

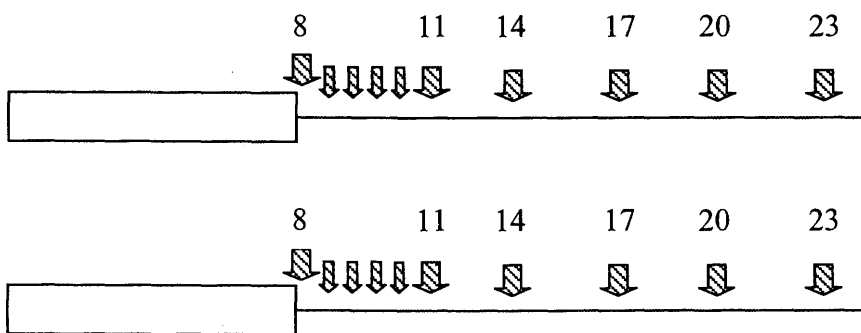
La fase sperimentale prevedeva tre condizioni, composte da due notti e due giorni consecutivi. Le tre condizioni venivano effettuate in ordine casuale tra i soggetti a distanza di una settimana l'una dall'altra. Le tre condizioni sperimentali differivano tra loro solo nella quantità di tempo in cui era concesso dormire nella seconda notte: 8 ore nella condizione "baseline", 2 ore e 45 minuti circa nella condizione "riduzione di sonno", 0 ore nella condizione "deprivazione totale di sonno" (si veda figura 12). In ogni condizione sperimentale i soggetti si presentavano alle 22 presso il laboratorio del sonno, effettuavano tre sessioni di "riscaldamento" per ciascun test al termine delle quali venivano posizionati gli elettrodi per la registrazione polisunnografica notturna. A mezzanotte i soggetti potevano andare a letto e venivano lasciati dormire fino alle 8.00 del mattino successivo, quando venivano svegliati. Immediatamente dopo il risveglio i soggetti si impegnavano nell'esecuzione della prima sessione sperimentale. Le sessioni successive erano programmate ogni 30 minuti fino alle ore 10.00 (8.30, 9.00, 9.30, 10.00). Le sessioni di prova riprendevano alle 11.00 e, successivamente, erano previste ogni 3 ore (14.00, 17.00, 20.00, 23.00). Dopo la sessione delle 23.00, se era stata programmata

la condizione di baseline venivano posizionati gli elettrodi per la registrazione polisonnografica notturna con le stesse caratteristiche della notte precedente, mentre se erano state programmate le condizioni di riduzione di sonno o di deprivazione totale di sonno il soggetto rimaneva sveglio ed erano state programmate due ulteriori sessioni di test alle 2.00 e alle 5.00. Al termine della sessione delle 5.00, nella condizione “riduzione di sonno”, il soggetto poteva dormire fino alle 8.00, mentre nella condizione deprivazione di sonno il soggetto rimaneva sveglio. A partire dalle ore 8.00, indipendentemente dalla condizione sperimentale i soggetti si impegnavano nella esecuzione delle sessioni di test secondo gli orari prestabiliti (8.00, 8.30, 9.00, 9.30, 10.00, 11.00, 14.00, 17.00, 20.00, 23.00).

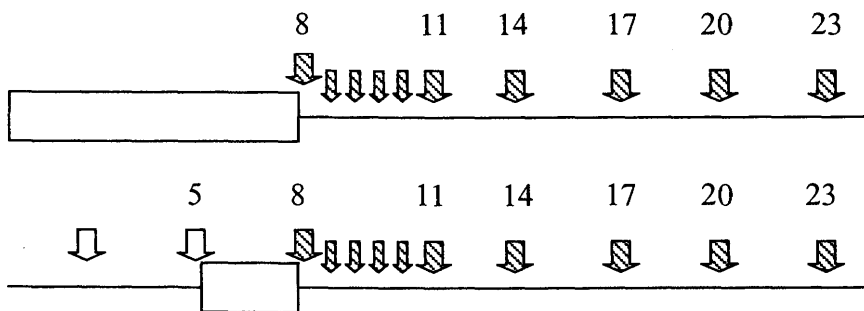
Ai soggetti non era concessa la possibilità di dormire durante il giorno in nessuna delle tre condizioni sperimentali fino al termine della sessione delle 23.00 del secondo giorno, quando potevano lasciare il laboratorio.

**Figura 13**

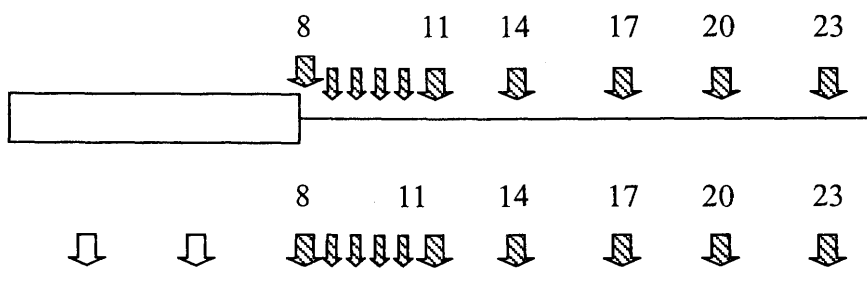
**BASELINE**


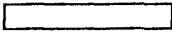




**RIDUZIONE DI SONNO**



**DEPRIVAZIONE TOTALE DI SONNO**



-  Sessioni incluse nelle analisi statistiche
-  Sonno
-  Sessioni non incluse nelle analisi statistiche
-  Veglia

**Riduzione dei dati e analisi statistiche**

Per evitare che l'aumento del numero dei lapses durante le sessioni sperimentali, causato dalla riduzione di sonno, potesse causare una distorsione dei risultati

portando a conclusioni errate nel compito di orientamento, per entrambi i compiti è stata adottata una procedura di riduzione dei dati che permettesse di escludere i trial classificabili come lapses.

Per il compito dei tempi di reazione semplici questa procedura prevedeva che, prima di calcolare le medie delle sessioni sperimentali, tutti i trial di ciascuna sessione venissero trasformati nel loro reciproco allo scopo di normalizzarne la distribuzione, successivamente i trial sono stati standardizzati. I trial che si discostavano di più di due deviazioni standard dalla media della sessione sperimentale sono stati considerati appartenenti al dominio dei lapses. Successivamente sono state ricalcolate le medie escludendo i trial precedentemente individuati.

Per il compito di orientamento spaziale la procedura sopra descritta è stata applicata separatamente per le prove valide, neutre e invalide di ciascuna sessione.

Le medie ottenute al termine della procedura di riduzione dei dati sono state utilizzate come variabile dipendente nelle successive analisi statistiche.

Dal momento che immediatamente dopo il risveglio la sleep inertia avrebbe potuto alterare le prestazioni dei soggetti, le prime 5 sessioni effettuate nel corso di ciascuna giornata sono state analizzate separatamente dalle sessioni di misurazione effettuate a partire dalle 11.00.

I risultati ottenuti al compito di tempi di reazione semplici sono stati analizzati per mezzo di due ANOVA a misure ripetute che prevedevano tre fattori: la condizione sperimentale (a tre livelli: baseline, riduzione di sonno, deprivazione totale di sonno), il giorno (a due livelli: primo giorno e secondo giorno) e l'ora della misurazione (a cinque livelli: 11.00, 14.00, 17.00, 20.00, 23.00 oppure: 8.00, 8.30, 9.00, 9.30, 10.00).

Le medie dei tempi di reazione ottenute successivamente alla somministrazione dei target nelle due posizioni eccentriche nel compito di orientamento spaziale sono state analizzate per mezzo di due ANOVA a misure ripetute che prevedevano 4 fattori: la condizione sperimentale (a tre livelli: baseline, riduzione di sonno, deprivazione totale di sonno), il giorno (a due livelli: primo giorno e secondo giorno), l'ora della misurazione (a cinque livelli: 11.00, 14.00, 17.00, 20.00, 23.00 oppure: 8.00, 8.30, 9.00, 9.30, 10.00) e il tipo di prova (a quattro livelli: prova valida, neutra, invalida con spostamento di 6° e invalida con spostamento di 12°).

Le prove in cui il target è stato presentato in posizione centrale non sono state considerate nelle analisi statistiche in quanto le differenze dovute alla sensibilità



retinica, accanto alla assenza di prove invalide con spostamento di 12° avrebbero reso i risultati difficilmente confrontabili con quelli ottenuti nel primo esperimento.

## **RISULTATI**

Cinque soggetti non sono stati inclusi nelle analisi statistiche. I risultati si riferiscono, quindi, a 11 soggetti dell'iniziale campione composto da 16 partecipanti.

I risultati delle analisi statistiche che si riferiscono ai due compiti verranno presentate separatamente e, per ciascun compito, verranno presentati prima i risultati ottenuti nelle sessioni dalle 8.00 alle 10.00 e successivamente quelli ottenuti nelle sessioni dalle 11.00 alle 23.00.

### **Prove dalle 8.00 alle 10.00**

#### *Tempi di reazione semplici*

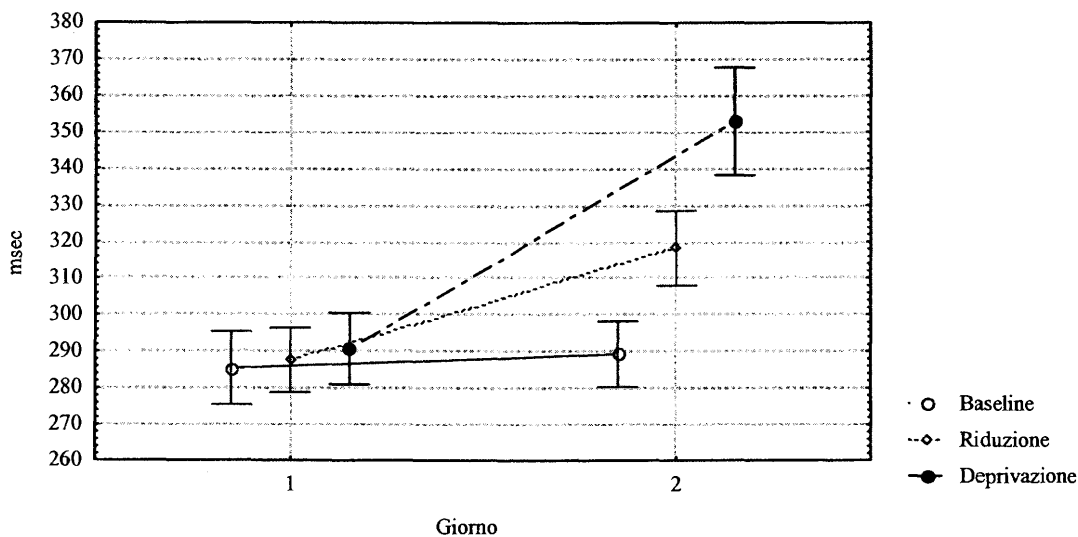
L'ANOVA condotta sulle sessioni di prova effettuate dalle 8.00 alle 10.00 ha mostrato una interazione significativa tra il fattore condizione sperimentale e il fattore giorno ( $F_{2, 20}=8.92, p=.0017$ ).

Le latenze medie di risposta osservate nel primo giorno sperimentale sono risultate analoghe nelle tre condizioni sperimentali (baseline:  $285 \pm 10$  msec, riduzione:  $288 \pm 9$  msec, deprivazione:  $291 \pm 10$  msec), mentre gli incrementi nelle latenze di risposta osservati dal primo al secondo giorno sono risultati significativi sia per la condizione riduzione ( $p<.009$ ), in cui la latenza media di risposta osservata è aumentata fino a  $318 (\pm 10)$  msec, sia per la condizione di deprivazione ( $p<.0005$ ), in cui la latenza media di risposta osservata ha raggiunto  $353 (\pm 15)$  msec. L'incremento di circa 4 msec osservato nella condizione di baseline non è risultato statisticamente significativo (figura 13).

**FIGURA 13**

**Tempi di reazione semplici**

Latenze medie di risposta nel primo e nel secondo giorno delle tre condizioni sperimentali

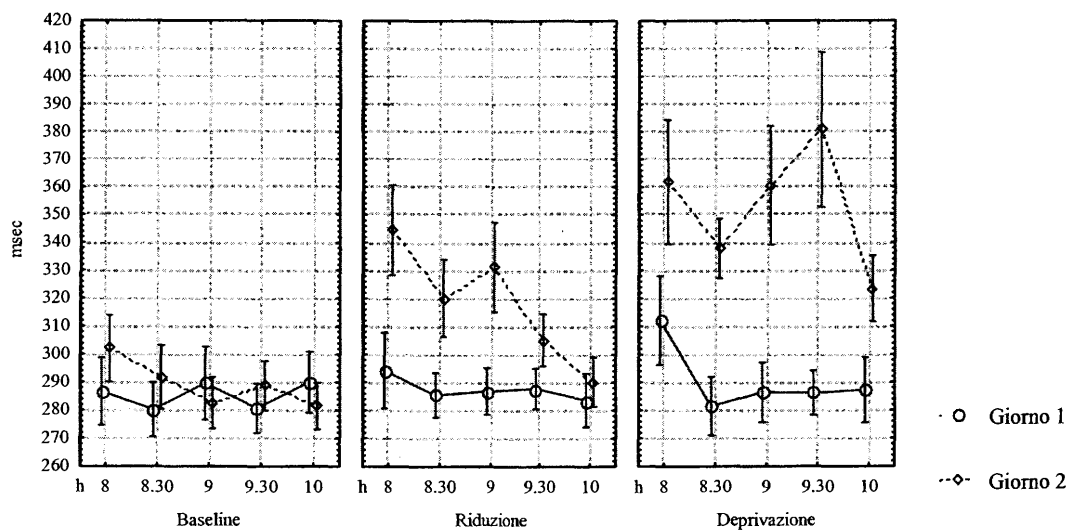


La figura 14 mostra il risultato dell'interazione condizione sperimentale per giorno per ora che, benchè non significativo ( $F_{8, 80}=1.5775, p=.14472$ ), mostra chiaramente nel secondo giorno della condizione di riduzione l'effetto esercitato dalla sleep inertia sulle latenze medie di risposta.

**FIGURA 14**

**tempi di reazione semplici**

Latenze medie di risposta nelle prime 5 sessioni di ciascun giorno delle tre condizioni sperimentali



### Compito di orientamento spaziale

Analizzando i tempi di reazione raccolti nelle sessioni effettuate a partire dalle 8.00 fino alle 10.00 è stata osservata una interazione significativa tra la condizione sperimentale e il giorno ( $F_{2, 20}=13.52, p<.0002$ ) che viene mostrata in figura 15. Anche in questo caso non è emersa alcuna differenza significativa né tra le latenze medie di risposta registrate il primo giorno nelle tre condizioni sperimentali né tra il primo e il secondo giorno della condizione di baseline. La differenza osservata nella condizione di riduzione di sonno ha sfiorato la significatività statistica ( $p=.053$ ), mentre quella osservata nella condizione di deprivazione totale è risultata significativa ( $p<.001$ ). La tabella 2 riporta le latenze medie di risposta registrate nei due giorni delle tre condizioni sperimentali.

FIGURA 15  
Compito di orientamento spaziale  
Latenze medie di risposta nel primo e nel secondo giorno  
delle tre condizioni sperimentali

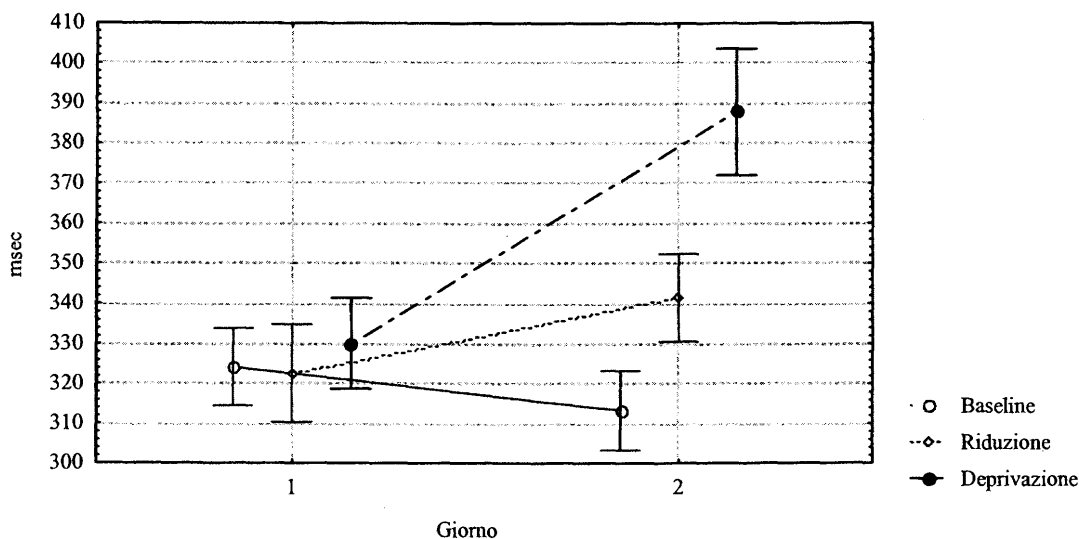
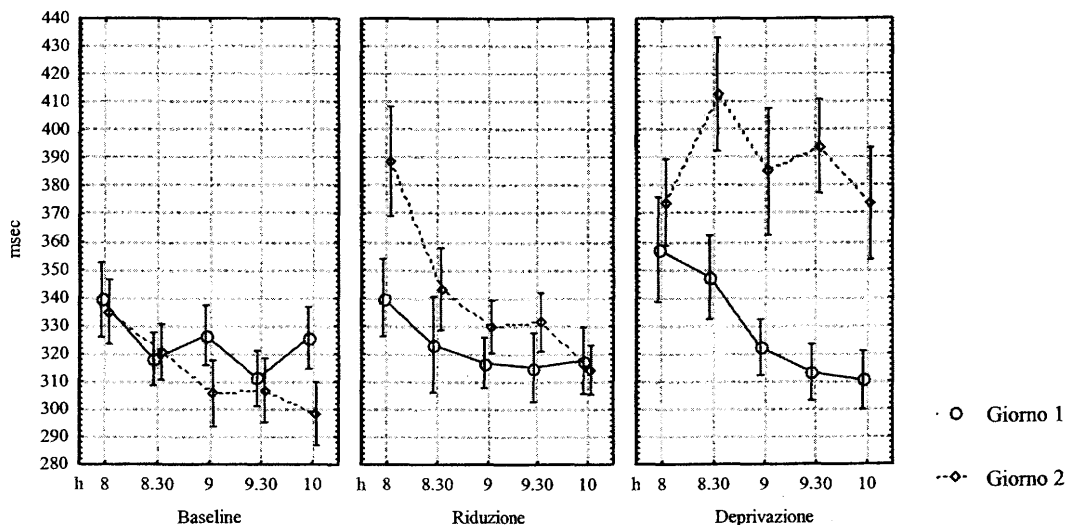


Tabella 2

Condizione	Giorno	Medie	Errore Standard
Baseline	1	324	10
Baseline	2	313	10
Riduzione	1	323	12
Riduzione	2	341	11
Deprivazione	1	330	11
Deprivazione	2	388	16

Anche l'interazione condizione sperimentale per giorno per ora è risultata statisticamente significativa ( $F_{8, 80}=4.14, p<.0004$ ) e in figura 16 ne viene mostrato il grafico. Anche in questo caso si può notare come nel secondo giorno della condizione di riduzione di sonno sia evidente l'effetto della sleep inertia che provoca un aumento significativo dei tempi di reazione nella sessione immediatamente successiva al risveglio ( $p<.01$ ). Questa differenza si riduce nelle prove successive fino a scomparire nella sessione delle 10.00. La condizione di deprivazione totale, invece, nel secondo giorno è caratterizzata da tempi di reazione significativamente superiori a quelli registrati nel primo giorno in tutte le sessioni eccetto quella delle 8.00, in cui la differenza osservata non è risultata statisticamente significativa.

**FIGURA 16**  
**Compito di orientamento spaziale**  
 Latenze medie di risposta nelle prime 5 sessioni  
 di ciascun giorno delle tre condizioni sperimentali



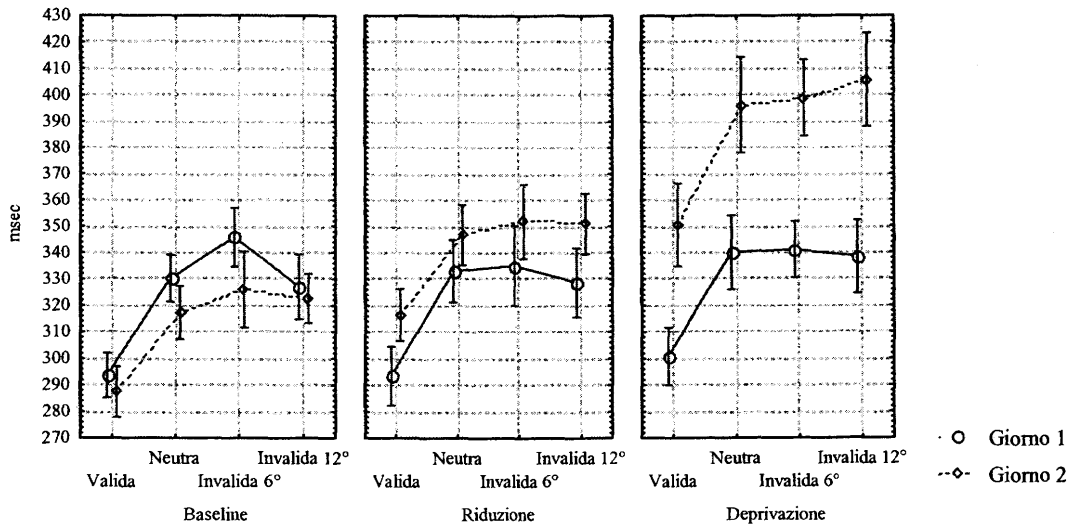
In figura 17 viene riportato il grafico dell'interazione non significativa ( $F_{6, 60}=.88, p=.51$ ) condizione sperimentale per giorno per tipo di prova. Anche in questo caso sono stati condotti all'interno delle tre condizioni sperimentali i confronti tra il primo e il secondo giorno per i quattro tipi di prova che costituiscono il compito. Nella condizione di baseline nessuna differenza è risultata significativa, mentre nella condizione di riduzione di sonno sono risultate significative le differenze osservate per le prove valide ( $p<.05$ ) e per le prove invalide con spostamento di  $12^\circ$  ( $p<.05$ ). Nella condizione di deprivazione totale tutte le differenze osservate tra il primo e il secondo giorno sono risultate statisticamente significative (prove valide:  $p<.001$ ,

prove neutre:  $p < .006$ , prove invalide 6°:  $p < .001$ , prove invalide 12°:  $p < .001$ ). In tabella 3 vengono riportate le medie delle latenze di risposta osservate in corrispondenza dei quattro tipi di prova nel corso dei due giorni che compongono ciascuna condizione sperimentale.

**FIGURA 17**

**Compito di orientamento spaziale**

Latenze medie di risposta in ciascun giorno  
delle tre condizioni sperimentali nei 4 tipi di prova



**Tabella 3**

Condizione	Giorno	Tipo di Prova	Media	Err. Standard
Baseline	1	Valida	294	8
Baseline	1	Neutra	330	9
Baseline	1	Invalida 6°	346	11
Baseline	1	Invalida 12°	327	12
Baseline	2	Valida	287	10
Baseline	2	Neutra	317	10
Baseline	2	Invalida 6°	326	14
Baseline	2	Invalida 12°	323	9
Riduzione	1	Valida	293	11
Riduzione	1	Neutra	333	12
Riduzione	1	Invalida 6°	335	15
Riduzione	1	Invalida 12°	329	13
Riduzione	2	Valida	316	10
Riduzione	2	Neutra	347	11
Riduzione	2	Invalida 6°	352	14
Riduzione	2	Invalida 12°	351	12
Deprivazione	1	Valida	301	11
Deprivazione	1	Neutra	340	14
Deprivazione	1	Invalida 6°	341	11
Deprivazione	1	Invalida 12°	338	14
Deprivazione	2	Valida	351	16
Deprivazione	2	Neutra	396	18
Deprivazione	2	Invalida 6°	399	14
Deprivazione	2	Invalida 12°	406	18

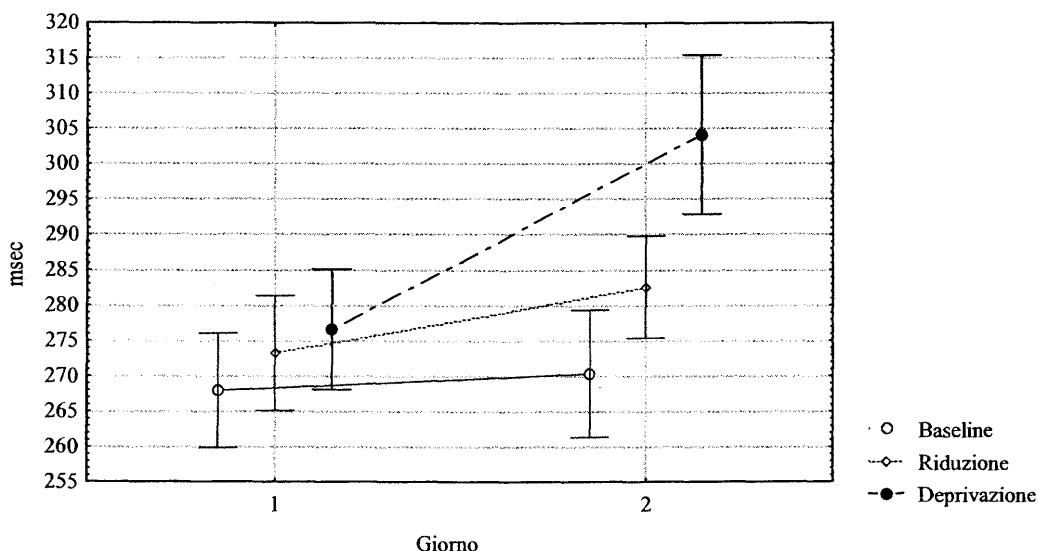
**Prove dalle 11.00 alle 23.00**

Tempi di reazione semplici

L'anova condotta ha messo in luce solo una interazione significativa del fattore condizione sperimentale con il fattore giorno ( $F_{2, 20}=6.59, p=.0063$ ). Come si può osservare in figura 18 le tre condizioni sperimentali non differiscono tra loro il primo giorno sperimentale, quando la quantità di sonno concessa è equivalente (baseline:

268  $\pm$ 8 msec, riduzione: 273  $\pm$ 8 msec, deprivazione: 277  $\pm$ 8 msec), mentre la riduzione della quantità di sonno provoca un aumento significativo dei tempi di reazione sia nella condizione di riduzione, nella quale la latenza media di risposta incrementa di circa 9 millisecondi rispetto al primo giorno sperimentale (283  $\pm$ 7msec;  $p < .003$ ), sia nella condizione di deprivazione totale in cui la latenza media di risposta nel secondo giorno sperimentale è di 304 ( $\pm$ 11) msec. ( $p < .007$ ). L'incremento di 2 millisecondi che si osserva nel secondo giorno della prima condizione sperimentale non è, invece, risultato significativo.

**FIGURA 18**  
**Tempi di reazione semplici**  
 Latenze medie di risposta nei due giorni  
 di ciascuna condizione sperimentale



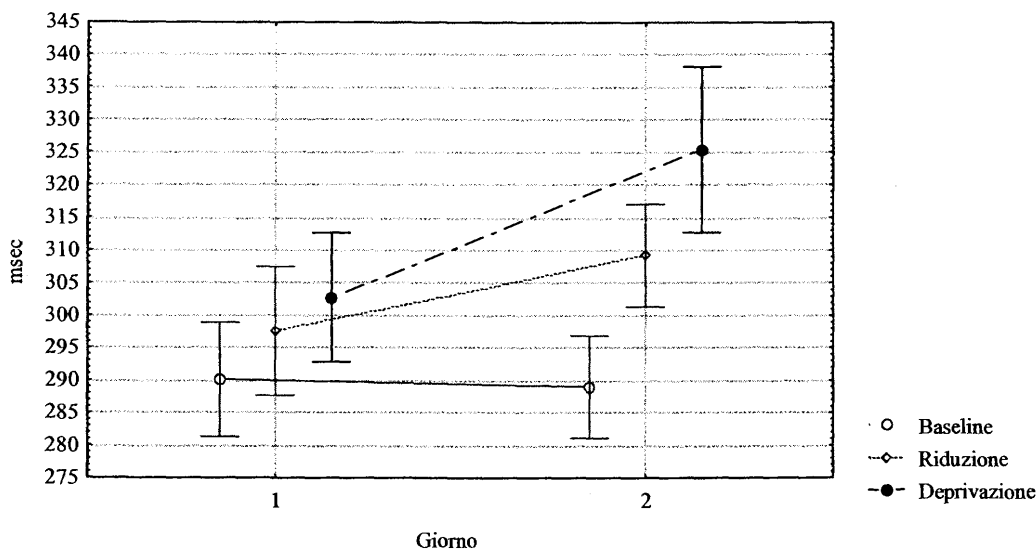
Compito di orientamento spaziale

L'analisi statistica condotta sul compito di orientamento spaziale utilizzando i dati ottenuti nelle sessioni svolte dalle 11.00 alle 23.00 ha messo in luce una interazione significativa tra la condizione sperimentale e il giorno ( $F_{2, 20} = 4.03$ ,  $p < .0339$ ) che viene mostrata in figura 19.

Anche in questo caso le differenze esistenti nelle latenze medie di risposta delle tre condizioni non sono risultate significativamente diverse tra loro il primo giorno (baseline: 290  $\pm$ 9 msec, riduzione: 298  $\pm$ 10 msec, deprivazione: 303  $\pm$ 10 msec). La differenza che si osserva tra il primo e il secondo giorno è risultata significativa nella condizione di riduzione di sonno ( $p < .01$ ), nella quale il tempo medio di reazione è aumentato fino a 309 ( $\pm$ 8) msec e nella condizione di deprivazione totale ( $p < .04$ ), in

cui, nella seconda giornata sperimentale, la latenza media di risposta registrata è stata di 325 ( $\pm 13$ ) msec.

**FIGURA 19**  
**Compito di orientamento spaziale**  
 Latenze medie di risposta nei due giorni  
 di ciascuna condizione sperimentale



In figura 20 viene riportata l'interazione condizione sperimentale per giorno per tipo di prova che, benchè non significativa ( $F_{6, 60}=1.6566, p=.14751$ ), mostra un risultato che, tendenzialmente, conferma quello osservato nel primo esperimento (si veda figura 10). I confronti a coppie effettuati all'interno di ciascuna condizione sperimentale tra il primo e il secondo giorno per i quattro tipi di risposta non hanno messo in evidenza alcuna differenza significativa all'interno della prima condizione sperimentale. Per quanto riguarda la condizione di riduzione di sonno, sia l'incremento osservato in corrispondenza delle prove valide sia quello osservato in corrispondenza delle prove neutre non sono risultati statisticamente significativi ( $.12 > p > .11$  per le prove valide e  $.11 > p > .10$  per le prove neutre). La differenza osservata in corrispondenza di entrambi i tipi di prova invalida è risultata significativa ( $p < .04$  e  $p < .03$  rispettivamente per le prove invalide con spostamento di  $6^\circ$  e  $12^\circ$  di angolo visivo). Nella condizione di deprivazione totale di sonno, invece, solo la differenza osservata in corrispondenza delle prove neutre non è risultata significativa ( $.10 > p > .09$ ), mentre sono risultati statisticamente significativi gli incrementi osservati in corrispondenza delle prove valide ( $p < .03$ ) e delle prove invalide ( $p < .05$  per entrambi i tipi di prova invalida).

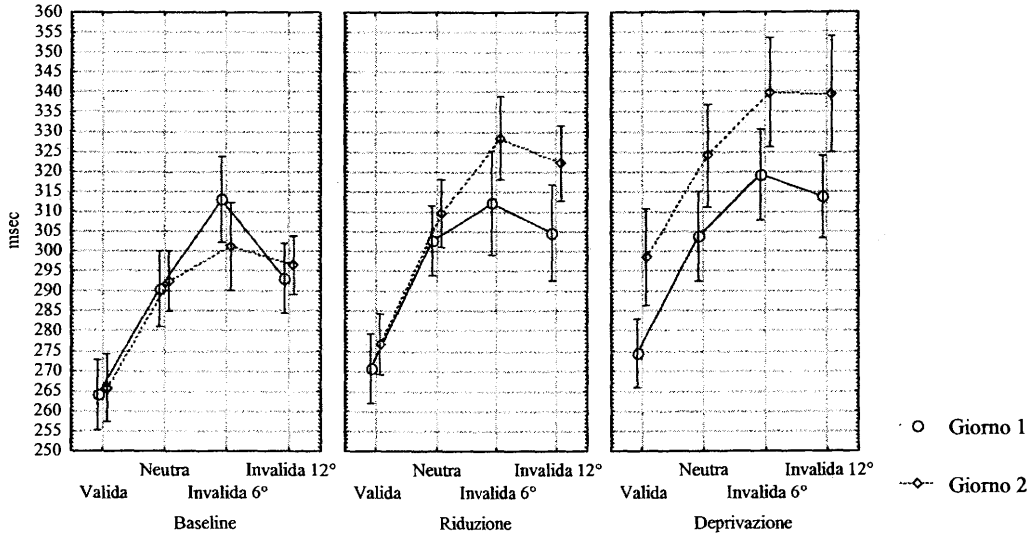


La tabella 4 riporta i tempi medi di reazione registrati nei due giorni delle tre condizioni sperimentali in corrispondenza dei quattro tipi di prova.

**FIGURA 20**

**Compito di orientamento spaziale**

Latenze medie di risposta in ciascun giorno  
delle tre condizioni sperimentali nei 4 tipi di prova



**Tabella 4**

<b>Condizione</b>	<b>Giorno</b>	<b>Tipo di Prova</b>	<b>Media</b>	<b>Err. Standard</b>
Baseline	1	Valida	264	9
Baseline	1	Neutra	291	10
Baseline	1	Invalida 6°	313	11
Baseline	1	Invalida 12°	293	9
Baseline	2	Valida	266	8
Baseline	2	Neutra	292	8
Baseline	2	Invalida 6°	301	11
Baseline	2	Invalida 12°	297	7
Riduzione	1	Valida	271	9
Riduzione	1	Neutra	303	9
Riduzione	1	Invalida 6°	312	13
Riduzione	1	Invalida 12°	305	12
Riduzione	2	Valida	277	8
Riduzione	2	Neutra	310	9
Riduzione	2	Invalida 6°	328	10
Riduzione	2	Invalida 12°	322	9
Deprivazione	1	Valida	274	9
Deprivazione	1	Neutra	304	11
Deprivazione	1	Invalida 6°	319	11
Deprivazione	1	Invalida 12°	314	10
Deprivazione	2	Valida	299	12
Deprivazione	2	Neutra	324	13
Deprivazione	2	Invalida 6°	340	14
Deprivazione	2	Invalida 12°	339	15

**DISCUSSIONE**

I dati ottenuti in questo esperimento hanno permesso di chiarire alcuni quesiti a cui il primo esperimento non aveva fornito una risposta. Grazie alla presenza della condizione di baseline, composta da due notti di sonno normale, è stato possibile escludere la possibilità che i risultati ottenuti nel primo esperimento, in cui la condizione di sonno ridotto veniva effettuata sempre successivamente alla

condizione di sonno normale, fossero attribuibili ad un effetto della sequenza di somministrazione delle condizioni sperimentali. Confrontando il primo con il secondo giorno della condizione di baseline non sono emerse differenze significative nelle prestazioni ottenute in entrambi i test utilizzati. La manipolazione della quantità di sonno, invece, ha dato luogo ad un incremento delle latenze di risposta proporzionale alla quantità di sonno dormita dimostrando in questo modo l'efficacia della riduzione di sonno nel modulare in maniera affidabile il livello di arousal.

Un secondo aspetto emerso dalle analisi statistiche riguarda la differenza esistente tra le prestazioni registrate nelle prime cinque misurazioni rispetto a quelle ottenute nelle sessioni effettuate a partire dalle 11.00. Anche se non è stato condotto un test statistico allo scopo di verificare la significatività di questa differenza è evidente come in entrambi i compiti le latenze di risposta ottenute fino alle 10.00 a.m. risultino superiori a quelle registrate nelle sessioni successive. In parte questo effetto può essere attribuito alla sleep inertia, come risulta evidente osservando i risultati presentati in figura 14 e figura 16: in tutte le condizioni sperimentali la sessione svolta immediatamente dopo il risveglio risulta quella in cui sono state registrate le prestazioni peggiori della giornata. Come previsto, l'effetto negativo della sleep inertia è evidente in particolare nella prima sessione effettuata il secondo giorno della condizione di riduzione di sonno, in cui le latenze di risposta non differiscono in maniera statisticamente significativa da quelle osservate nella sessione omologa della condizione di deprivazione totale di sonno. Questo risultato conferma l'importanza che Folkard e Akerstedt (1992) attribuiscono nel loro modello alla sleep inertia (processo "W"): solo la presenza di questa componente, accanto a quella circadiana (in questo esperimento controllata mantenendo costante in tutte le condizioni l'orario di somministrazione delle sessioni di test) e a quella omeostatica (che determina la relazione dose dipendente esistente tra la quantità di sonno concesso e il tempo di reazione registrato nelle sessioni effettuate successivamente) è in grado di spiegare i risultati che si osservano nella sessione sperimentale delle 8.00 a.m.

Il compito di orientamento spaziale, inoltre, sembra descrivere in maniera più accurata del compito di tempi di reazione semplici il progressivo dissiparsi dell'effetto della sleep inertia nelle condizioni in cui non è stata effettuata alcuna manipolazione sperimentale sulla quantità di sonno. Osservando in particolare il primo giorno della condizione di deprivazione totale (figure 14 e 16), si può notare come entrambi i compiti siano in grado di evidenziare un livello particolarmente

elevato di sleep inertia nella prima sessione, ma, mentre l'andamento del compito di tempi di reazione semplici farebbe supporre che questo effetto si sia completamente dissolto al momento della esecuzione della seconda sessione sperimentale (30 minuti più tardi), il compito di orientamento spaziale mostra che gli effetti negativi della sleep inertia sulle prestazioni si protraggono per oltre un'ora dissipandosi, come previsto dal modello di Folkard e Akerstedt (1992), in modo esponenziale. Probabilmente la differenza nella sensibilità mostrata dai due compiti è dovuta al diverso numero di trial che li compongono: le medie ottenute nel compito di tempi di reazione semplici sono state calcolate utilizzando 64 stimoli, mentre nel compito di orientamento spaziale i trial somministrati erano 160. Il migliore rapporto segnale-rumore nel secondo compito potrebbe spiegare la sua maggiore sensibilità agli effetti della sleep inertia.

Indipendentemente dall'influenza della sleep inertia, un altro aspetto che potrebbe aver contribuito ad aumentare le latenze di risposta nelle sessioni del mattino potrebbe essere costituito dalla maggiore frequenza con cui queste sono state somministrate nel periodo dalle 8.00 a.m. alle 10.00 a.m. L'elevata frequenza di somministrazione, assimilabile alla esecuzione di un compito continuo, potrebbe aver contribuito a ridurre il livello di attivazione in particolare nella condizione di deprivazione totale in cui, secondo l'ipotesi di Dinges (1989), le prestazioni del soggetto sarebbero maggiormente suscettibili all'influenza di fattori esterni in grado di modificare il livello di attivazione.

La presenza, nelle prime cinque sessioni delle tre condizioni sperimentali, di numerosi fattori diversi in grado di influenzare le prestazioni nei compiti utilizzati, impediscono di interpretare i risultati ottenuti in queste sessioni alla luce delle ipotesi formulate in precedenza a proposito degli effetti della riduzione di sonno a carico dell'orientamento spaziale.

Le ipotesi da noi avanzate prevedevano che la riduzione di sonno avrebbe determinato un aumento delle latenze di risposta nel compito di tempi di reazione semplici, mentre nel compito di orientamento spaziale la riduzione di sonno avrebbe provocato un incremento significativo dei tempi di reazione solo in corrispondenza delle prove invalide.

I risultati ottenuti nelle sessioni svolte dalle 11.00 alle 23.00, confrontabili con quelli del primo esperimento, confermano quanto ipotizzato: la riduzione del tempo di sonno ha determinato una riduzione significativa del livello di attivazione,

evidenziato dall'incremento delle latenze di risposta in entrambi i compiti (figura 18 e figura 19), ma nel compito di orientamento spaziale la riduzione del livello di arousal ha determinato un aumento significativo delle latenze di risposta solo in corrispondenza dei due tipi di prova invalida (figura 20) confermando l'interferenza selettiva esercitata dalla riduzione di sonno sull'orientamento dell'attenzione nello spazio anziché un generico effetto dovuto alla de-attivazione.

Dal momento che questo risultato, come illustrato nella introduzione all'esperimento, può essere attribuito sia all'aumento del tempo necessario per l'esecuzione dello spostamento del focus attentivo, sia all'incremento del tempo necessario per l'esecuzione del disancoraggio, i risultati ottenuti nella condizione di deprivazione totale avrebbero dovuto chiarirne la natura. Le due ipotesi alternative proposte prevedevano che se i risultati osservati nella condizione di riduzione di sonno fossero dovuti all'aumento del tempo necessario all'esecuzione del disancoraggio allora, in seguito alla deprivazione totale di sonno, si sarebbe dovuto osservare un ulteriore aumento delle latenze di risposta solo per le prove invalide. Se, invece, gli effetti osservati nella condizione di riduzione di sonno fossero attribuibili all'aumento del tempo impiegato per completare lo spostamento del fuoco dell'attenzione verso la posizione di comparsa del target, nella condizione di deprivazione totale avremmo dovuto osservare, accanto all'incremento dei tempi di reazione nelle prove invalide, anche un aumento dei tempi di reazione in corrispondenza degli altri tipi di prova

Purtroppo i risultati ottenuti nella condizione di deprivazione totale di sonno non permettono di discriminare tra queste due ipotesi: l'incremento dei tempi di reazione osservato in corrispondenza delle prove valide nel secondo giorno di questa condizione sperimentale (successivamente alla deprivazione totale di sonno) non è del tutto compatibile con l'ipotesi che prevede, in seguito alla riduzione del livello di attivazione, la diminuzione della velocità con cui il fuoco dell'attenzione viene spostato. Se questa ipotesi fosse corretta la differenza osservata in corrispondenza delle prove valide avrebbe dovuto essere di ampiezza inferiore rispetto a quella osservata in corrispondenza delle prove invalide.

Dalla figura 20 risulta evidente come questa previsione non venga confermata dai dati ottenuti: le differenze che esistono tra il primo e il secondo giorno sperimentale sono di entità comparabile sia nella condizione valida (24 msec) sia nelle due condizioni invalide (21 msec e 26 msec rispettivamente per le prove invalide con spostamento di 6 e 12°).

L'andamento dei dati osservato nella condizione di deprivazione totale di sonno sembrerebbe indicare in questo caso un effetto aspecifico della riduzione del livello di arousal sulla capacità di orientare l'attenzione nello spazio, in contrasto con i risultati ottenuti nella condizione di riduzione di sonno con i risultati del primo esperimento.

I risultati ottenuti sono di difficile interpretazione anche alla luce del modello proposto da LaBerge (1995) in cui le differenze nei tempi di reazione che si osservano in corrispondenza dei diversi tipi di prova vengono attribuite alle caratteristiche del gradiente di risorse attentive che si formerebbe in seguito alla somministrazione del cue. Anche in questo caso, come nel primo esperimento, la assenza di differenze significative nella condizione valida della condizione di riduzione di sonno potrebbe essere attribuita all'effetto soffitto dovuto alla durata dell'intervallo che intercorre tra la somministrazione del cue e la somministrazione del target: 600 millisecondi potrebbero essere sufficienti perché la quantità di risorse attentive disponibili in corrispondenza della posizione valida al momento della comparsa dello stimolo target abbia raggiunto un livello che permette l'emissione della risposta ottimale in relazione alle caratteristiche del test utilizzato.

Questa spiegazione, però, si adatta più difficilmente al risultato osservato in corrispondenza delle prove neutre. I tempi di reazione significativamente superiori a quelli registrati in corrispondenza delle prove valide nelle sessioni che seguono alle notti in cui è stata concessa una quantità di sonno normale confermerebbero, secondo il modello di LaBerge (1995), la minore disponibilità di risorse attentive in seguito alla somministrazione del suggerimento neutro. La minore disponibilità di risorse attentive in condizioni di baseline, che rende le latenze di risposta alle prove neutre simili a quelle ottenute in corrispondenza delle prove invalide, dovrebbe determinare, in seguito alla riduzione del tempo di sonno, un aumento significativo delle latenze di risposta anche in corrispondenza delle prove neutre. Questa differenza non è stata osservata né nella condizione di riduzione di sonno né nella condizione di deprivazione totale di sonno.

In quest'ultima condizione, inoltre, anche il modello di LaBerge (1995) prevedeva, accanto all'incremento dei tempi di reazione in tutte i tipi di prova, che la differenza osservata in corrispondenza delle prove valide fosse inferiore a quella osservata in corrispondenza degli altri tipi di prova.

Indipendentemente dal modello teorico adottato a proposito delle caratteristiche dell'orientamento della attenzione nello spazio, una possibile spiegazione del pattern di risultati osservato nella condizione di deprivazione totale di sonno potrebbe essere costituita dalla presenza, in questa condizione, di un grado di sonnolenza talmente elevato da provocare la presenza di brevi addormentamenti nel corso delle sessioni di test. Benchè i tempi di reazione classificabili come lapses siano stati esclusi dalle analisi statistiche, la presenza di microsonni durante l'esecuzione dei compiti potrebbe aver indotto i soggetti a mettere in atto nella esecuzione del compito di orientamento spaziale delle strategie diverse da quelle utilizzate nella altre condizioni sperimentali.

Allo scopo di valutare se i risultati ottenuti nella condizione di deprivazione totale fossero comparabili a quelli raccolti nelle condizioni di baseline e di riduzione di sonno è stata valutata l'accuratezza dei soggetti nella emissione della risposta.

Come indice del tasso di errore è stata considerata la somma del numero di falsi allarmi, di anticipazioni e di mancate risposte che ciascun soggetto ha compiuto nel corso dello svolgimento delle sessioni di test. Questo valore è stato utilizzato come variabile dipendente in una analisi della varianza a misure ripetute che prevedeva come fattori la condizione sperimentale (a tre livelli), il giorno (a due livelli) e l'ora della sessione (a cinque livelli). L'unico risultato significativo che questa analisi ha fornito è stata l'interazione condizione sperimentale per giorno ( $F_{2, 20}=8.00, p<.003$ ) in cui la differenza osservata tra il primo e il secondo giorno sperimentale è risultata significativa ( $p<.03$ ) solo per la condizione di deprivazione totale di sonno. La media degli errori registrata è infatti raddoppiata passando da 4 errori nel primo giorno a 8 errori nella giornata che seguiva la deprivazione totale di sonno.

Questo risultato ci ha indotto a concludere che i dati ottenuti in seguito alla notte di veglia ininterrotta siano qualitativamente diversi da quelli raccolti nelle altre condizioni sperimentali e siano di difficile interpretazione per quanto riguarda le caratteristiche dell'orientamento della attenzione nello spazio. E' probabile che, nonostante il suggerimento somministrato abbia mantenuto la sua efficacia nel produrre l'orientamento automatico della attenzione da parte del soggetto verso la posizione indicata (la differenza tra i tempi di reazione alle prove valide e quelli alle prove invalide è presente anche dopo la deprivazione totale di sonno), il grado elevato di sonnolenza abbia determinato la modifica di qualche aspetto connesso con

le componenti attentive volontarie che si sovrappongono a quelle automatiche nel corso dell'intervallo che intercorre tra la somministrazione del cue e quella del target. Alla luce di questi risultati, dunque, non è ancora possibile concludere se l'incremento dei tempi di reazione osservato in corrispondenza dei due tipi di prova invalida nella condizione di riduzione di sonno sia attribuibile a un aumento del tempo necessario per effettuare il disancoraggio o alla diminuzione della velocità con cui viene effettuato lo spostamento oppure, adottando il modello di LaBerge (1995), se questo risultato possa essere attribuito alla riduzione delle risorse attentive che segue la riduzione del tempo di sonno.



## QUARTO ESPERIMENTO

Questo esperimento aveva lo scopo di discriminare tra le ipotesi formulate a proposito degli effetti della riduzione di sonno sull'orientamento dell'attenzione nello spazio riducendo, nel compito di orientamento spaziale, l'intervallo che intercorre tra la somministrazione del cue e la somministrazione dello stimolo target (SOA).

Il SOA è stato portato a 150 millisecondi, un intervallo nettamente inferiore a quello utilizzato negli esperimenti precedenti, ma sufficiente perché si possano osservare gli effetti dovuti all'orientamento dell'attenzione nello spazio (Posner, 1978).

Poiché i risultati ottenuti nel secondo e nel terzo esperimento hanno confermato che il movimento dell'attenzione nello spazio avviene a tempo costante, il compito utilizzato in questo esperimento prevedeva solo due posizioni spaziali, 6° a destra e 6° a sinistra del punto di fissazione centrale.

Poiché l'esperimento precedente ha messo in luce che la deprivazione totale di sonno determina, accanto all'incremento dei tempi di reazione, anche un aumento del tasso di errore che rende difficilmente interpretabili i dati ottenuti, in questo esperimento si è deciso di sottoporre i partecipanti alla sola condizione di riduzione di sonno.

Le ipotesi che possono essere avanzate sono analoghe a quelle dell'esperimento precedente.

Adottando il modello di Posner e Petersen (1990): se la riduzione del livello di arousal interferisse con il processo di orientamento nello spazio provocando l'aumento del tempo necessario ad effettuare il disancoraggio, dovremmo osservare, dopo la riduzione di sonno, un incremento dei tempi di reazione solo in corrispondenza delle prove invalide. Se, invece, la riduzione di sonno determinasse un rallentamento della velocità con cui viene spostato nello spazio il fuoco dell'attenzione allora dovremmo osservare un incremento dei tempi di reazione sia in corrispondenza delle prove valide sia in corrispondenza delle prove invalide, ma quest'ultima differenza dovrebbe essere di entità superiore alla precedente.

Quest'ultima ipotesi è simile a quanto può essere previsto adottando il modello di LaBerge (1995), secondo cui però, anche i tempi di reazione alle prove neutre dovrebbero subire un incremento significativo dopo la riduzione di sonno.

## **METODO**

### **Soggetti**

All'esperimento hanno partecipato 8 soggetti (3 maschi) studenti universitari volontari retribuiti di età compresa tra i 20 e i 26 anni. I soggetti sono stati selezionati all'interno di un campione più ampio di potenziali partecipanti che aveva compilato un questionario finalizzato ad indagare le abitudini sonno-veglia e la presenza di 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. Prima dell'inizio della procedura sperimentale ai partecipanti all'esperimento è stato chiesto di mantenere costanti gli orari di addormentamento e risveglio e compilare per due settimane un diario del sonno.

### **Materiale**

I test utilizzati per valutare le prestazioni dei soggetti sono stati il Compito di Tempi di Reazione Semplici e il Compito di Orientamento Spaziale. Le caratteristiche di entrambi i compiti sono state descritte nella sezione "Materiale" del primo esperimento. L'unica differenza rispetto ai compiti utilizzati nel primo esperimento riguardava l'intervallo che, nel compito di orientamento spaziale, separava la somministrazione del cue dalla somministrazione del target: in questo caso è stata portata a 150 millisecondi.

### **Procedura**

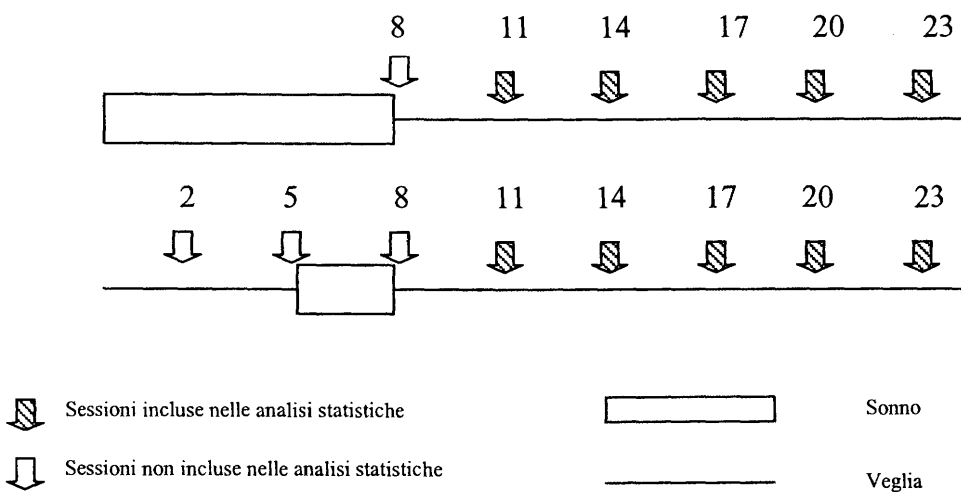
Anche in questo caso l'esperimento vero e proprio è stato preceduto da una notte di adattamento al laboratorio del sonno e da un periodo dedicato all'apprendimento dei test. Come negli esperimenti precedenti sono state effettuate 30 prove di apprendimento per ciascun test.

La fase sperimentale vera e propria prevedeva due notti e due giorni. La prima notte veniva concessa la possibilità di dormire da mezzanotte alle 8.00 del mattino successivo, mentre la seconda notte veniva concessa la possibilità di dormire solo dalle 5.00 a.m. alle 8.00 a.m. Durante le giornate che seguivano le notti sperimentali venivano svolte le sessioni di prova che avevano luogo, in entrambi i giorni, immediatamente dopo il risveglio (questa prova, a causa dell'influenza della sleep

inertia non è stata considerata nelle analisi statistiche), alle 11.00, alle 14.00, alle 17.00, alle 20.00 e alle 23.00 (si veda figura 21).

Durante le notti sperimentali sono state effettuate le registrazioni polisonnografiche (2 canali EEG, 2 canali EOG, 1 canale EMG) allo scopo di valutare lo stato sonno-veglia dei partecipanti all'esperimento.

**Figura 21**



### Analisi statistiche

Anche in questo caso prima di calcolare le medie dei tempi di reazione nei due compiti utilizzati sono state scartate le prove potenzialmente classificabili come lapses ricorrendo alla procedura descritta nella sezione “analisi statistiche” del terzo esperimento.

Le latenze medie di risposta sono state utilizzate come variabile dipendente in due ANOVA a misure ripetute. L’analisi del compito di tempi di reazione semplici prevedeva due fattori: il giorno sperimentale (a due livelli) e l’ora della misurazione (a cinque livelli: 11.00, 14.00, 17.00, 20.00, 23.00). L’analisi del compito di orientamento spaziale prevedeva tre fattori: il giorno sperimentale (a due livelli), l’ora della misurazione (a cinque livelli: 11.00, 14.00, 17.00, 20.00, 23.00) e il tipo di prova (a tre livelli: prova valida, prova neutra e prova invalida).

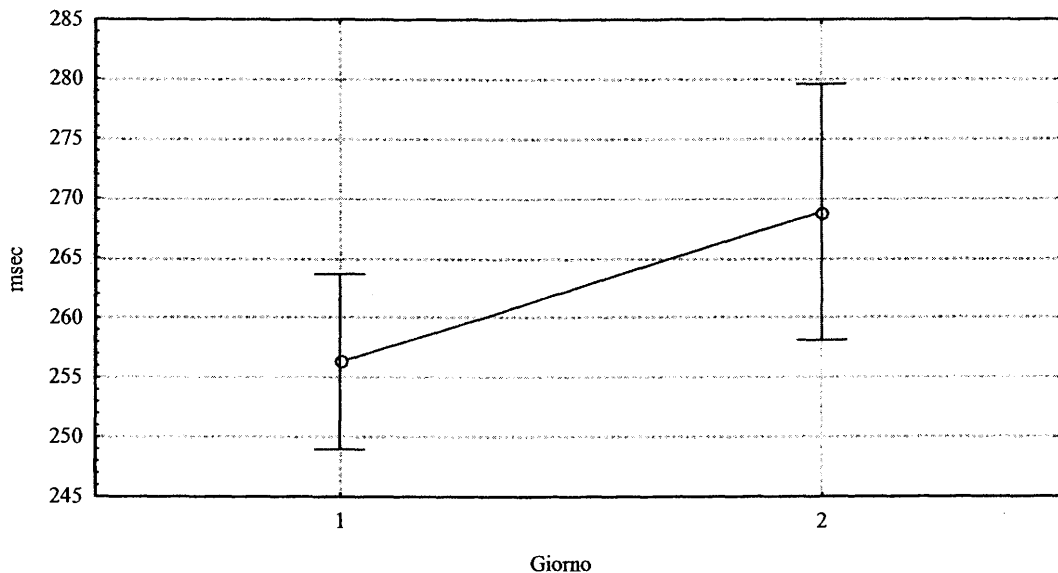
## RISULTATI

Nel compito di tempi di reazione semplici le latenze di risposta registrate il secondo giorno sperimentale sono risultate significativamente più lente di quelle registrate il primo giorno ( $F_1, \gamma=9.260, p=.0188$ ), mostrando, anche in questo caso, l'efficacia della riduzione parziale di sonno nel ridurre il livello generale di allerta. L'ANOVA non ha messo in evidenza altri effetti significativi. La figura 22 mostra le latenze di risposta registrate in corrispondenza del primo e del secondo giorno sperimentale.

FIGURA22

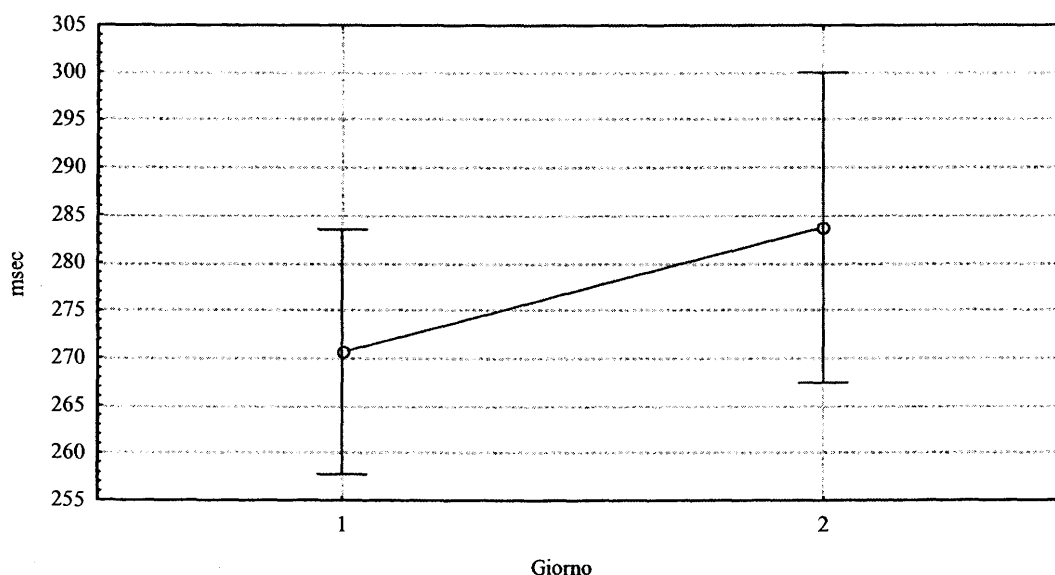
### Tempi di reazione semplici

Latenze medie di risposta nei due giorni sperimentali



L'ANOVA condotta sui risultati ottenuti nel compito di orientamento spaziale ha permesso di evidenziare, anche in questo caso, un effetto principale significativo per quanto riguarda il fattore giorno sperimentale ( $F_1, \gamma=5.67, p=.0489$ ); come si può osservare in figura 23 le latenze medie di risposta sono passate da 271 ( $\pm 13$ ) msec il primo giorno sperimentale a 284 ( $\pm 16$ ) msec il secondo giorno sperimentale.

**FIGURA 23**  
**Compito di orientamento spaziale**  
**Latenze medie di risposta nei due giorni sperimentali**



La tendenza alla significatività statistica emersa dall'analisi della interazione giorno per tipo di prova ( $F_{2, 14}=3.37, p=.0641$ ) conferma l'effetto negativo esercitato dalla riduzione del tempo di sonno a carico dell'orientamento dell'attenzione nello spazio (si veda figura 24).

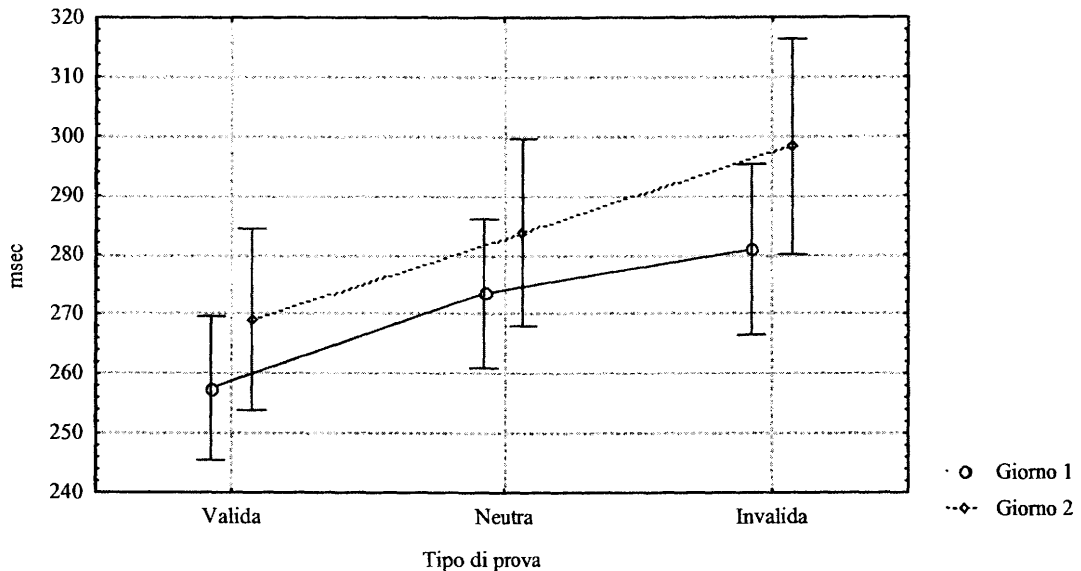
I confronti a coppie effettuati hanno messo in evidenza per le prove invalide una differenza significativa ( $p=.02$ ) tra le medie del primo ( $281 \pm 14$  msec) e del secondo giorno sperimentale ( $298 \pm 18$  msec), per le prove valide una forte tendenza verso la significatività statistica ( $p=.06$ ) per quanto riguarda la differenza esistente tra il primo e il secondo giorno sperimentale (rispettivamente  $258 \pm 12$  msec e  $269 \pm 15$  msec), mentre la differenza osservata tra il primo e il secondo giorno sperimentale per quanto riguarda le prove neutre (rispettivamente  $274 \pm 13$  msec e  $284 \pm 16$  msec) non è risultata significativa ( $.15 > p > .14$ ).

E' interessante notare che escludendo dall'analisi statistica i valori ottenuti in corrispondenza delle prove neutre l'interazione giorno per tipo di prova ha raggiunto la significatività statistica ( $F_{1, 7}=8.29, p=.0237$ )

**FIGURA 24**

**Compito di orientamento spaziale**

Latenze medie di risposta ai tre tipi di prova nei due giorni sperimentali



**DISCUSSIONE**

Il risultato ottenuto nel compito di orientamento spaziale per quanto riguarda l'interazione giorno per tipo di prova sembrerebbe in contrasto con l'ipotesi che l'abbassamento del livello di arousal provocato dalla riduzione di sonno determini un deficit selettivo a carico della componente del disancoraggio: se questa ipotesi fosse corretta, anche in questo esperimento, nonostante la riduzione dell'SOA a 150 millisecondi, avremmo dovuto osservare un incremento delle latenze di risposta solo in corrispondenza delle prove invalide. L'incremento quasi significativo osservato in corrispondenza delle prove valide, in cui, secondo il modello di Posner (1980), non dovrebbe essere coinvolta la componente del disancoraggio sembrerebbe indicare che i risultati ottenuti debbano essere attribuiti all'aumento del tempo necessario per spostare il fuoco dell'attenzione nello spazio: a causa della riduzione dell'SOA il fuoco dell'attenzione, al momento della comparsa dello stimolo target non avrebbe ancora raggiunto la posizione indicata dal suggerimento. L'incremento quasi significativo delle latenze di risposta osservato in corrispondenza della posizione valida, dunque, sarebbe dovuto al tempo necessario perché il focus attentivo raggiunga la posizione di comparsa del target. Questa interpretazione dei risultati, però, attribuisce al focus attentivo le caratteristiche di un fascio di luce che obbligatoriamente deve "illuminare" gli stimoli perché questi possano

successivamente essere ulteriormente processati e consentire l'emissione della risposta (Posner Snyder and Davidson, 1980). In altre parole il soggetto non potrebbe rispondere al target finché il "fascio di luce" attraverso cui potrebbe essere rappresentata l'attenzione non ha raggiunto la posizione in cui è comparso lo stimolo. Osservando i dati ottenuti questa ipotesi sembra difficilmente sostenibile. Dopo la riduzione di sonno, quando minore sarebbe la velocità con cui il focus attentivo si sposta, la differenza tra i tempi di reazione alle prove valide e i tempi di reazione alle prove invalide è di circa 30 msec. Se questo, dunque, è il tempo necessario perché uno spostamento del fuoco dell'attenzione venga effettuato, è evidente che i 150 millisecondi che intercorrono tra la presentazione del cue e quella del target sarebbero un tempo più che sufficiente perché lo spostamento venga completato prima della comparsa dello stimolo imperativo, contraddicendo, così, l'ipotesi che la riduzione di sonno provochi una riduzione della velocità con cui il focus attentivo si sposta nello spazio.

Una alternativa a questa posizione potrebbe essere rappresentata dall'ipotesi che il fascio di luce attraverso cui può essere metaforicamente rappresentata l'attenzione focalizzata, anziché esercitare un controllo completo sul processamento attentivo, abbia la funzione di facilitare il processamento delle informazioni provenienti da specifiche regioni spaziali (Cave and Bichot, 1999). La facilitazione sarebbe elevata al centro dell'area posta sotto il controllo del fuoco dell'attenzione e diminuirebbe gradualmente in funzione della distanza dal centro di quest'area. Questa ipotesi tra i suoi corollari prevede che lo spostamento del fuoco dell'attenzione avvenga più lentamente rispetto a quanto presupposto dall'ipotesi precedente: poiché il gradiente attentivo coprirebbe un'area sufficientemente ampia, non sarebbe cruciale spostare rapidamente il fuoco dell'attenzione allo scopo di mantenere al centro dell'area maggiormente facilitata gli stimoli che devono essere processati. Rappresentando l'area all'interno della quale le informazioni vengono processate più efficientemente anziché come un fascio di luce come il fuoco di una lente (Eriksen and St.James, 1986), dunque, la differenza osservata in corrispondenza delle prove valide potrebbe essere attribuita alla diminuzione della velocità con cui viene effettuato lo spostamento dell'attenzione nello spazio.

Questa interpretazione, però, è in contrasto con i risultati osservati nel secondo e nel terzo esperimento per quanto riguarda le latenze di risposta ai due tipi di prova invalida: se fosse corretta l'ipotesi che le risorse attentive si riducono all'aumentare

della distanza dal centro dell'area attesa avremmo dovuto osservare tempi di reazione più lenti in corrispondenza delle prove invalide in cui la comparsa dello stimolo target distava 12° di angolo visivo dalla posizione suggerita dal cue rispetto alle prove invalide in cui questa distanza è di soli 6°.

Il modello proposto da LaBerge (1995), a differenza dei precedenti, non prevede la esecuzione di operazioni mentali e spiega le differenze che si osservano nelle latenze di risposta alle prove che costituiscono il compito di orientamento spaziale in funzione delle caratteristiche del gradiente di risorse attentive che si formerebbe durante l'esecuzione della prova (la distanza dall'area suggerita non influenzerebbe in modo proporzionale le latenze di risposta alle prove invalide: le risorse disponibili a distanze diverse dalla posizione suggerita sarebbero identiche poiché nel compito utilizzato negli esperimenti qui presentati gli stimoli e i suggerimenti compaiono con la stessa frequenza in tutte le posizioni spaziali) e del picco di risorse attentive che si formerebbe immediatamente dopo la presentazione del cue in corrispondenza della posizione suggerita. Poiché la velocità con cui questo picco di risorse attentive si forma dipenderebbe dalla quantità di risorse disponibili precedentemente alla presentazione del cue, la differenza quasi significativa osservata in corrispondenza delle prove valide potrebbe essere attribuita, analogamente alla differenza rilevata per le prove invalide, alla diminuzione delle risorse che seguirebbe alla riduzione di sonno. A differenza degli esperimenti precedenti, in cui 600 millisecondi erano sufficienti perché il picco di risorse in corrispondenza della posizione valida al momento della comparsa dello stimolo avesse raggiunto un livello tale da mascherare l'effetto dovuto alla riduzione di sonno, l'adozione di un SOA di 150 millisecondi obbligherebbe il soggetto ad emettere una risposta prima che il picco di risorse attentive si sia completamente formato.

Le ipotesi che possono essere formulate adottando il modello proposto da LaBerge (1995), però, prevedono che, dopo la riduzione di sonno, anche i tempi di reazione registrati in corrispondenza delle prove neutre subiscano un incremento significativo: la quantità di risorse attentive disponibili al momento della comparsa di un target preceduto da un suggerimento spazialmente non informativo dovrebbe essere analoga a quella disponibile in corrispondenza delle posizioni disattese quando è stato presentato un suggerimento spazialmente informativo.

I risultati ottenuti in corrispondenza delle prove neutre, dunque, costituiscono una condizione che presenta risultati incompatibili sia con il modello di LaBerge sia con i



modelli che rappresentano l'attenzione come un fascio di luce che si sposta nello spazio. Anche in questi ultimi, infatti, non è chiaro quali operazioni mentali precedano l'emissione della risposta quando il suggerimento somministrato prima del target non è spazialmente informativo. I lavori più recenti del gruppo di Posner (Fan et al., 2002; Fernandez Duque and Posner, 2001) sembrerebbero indicare che alla somministrazione di un suggerimento neutro seguirebbe una condizione di attenzione diffusa in cui, per rilevare la presenza di stimoli semplici, l'orientamento della attenzione non sarebbe necessario.

Adottando questa interpretazione i dati ottenuti in corrispondenza delle prove neutre potrebbero non essere in contrasto con quelli ottenuti nelle altre condizioni che costituiscono il compito di orientamento spaziale, ma contribuirebbero a sostenere l'ipotesi che la riduzione di sonno interferisca selettivamente con l'orientamento della attenzione nello spazio.

## CONCLUSIONI

L'ipotesi da cui questo lavoro ha preso avvio prevedeva che l'uso di modelli e paradigmi sperimentali sviluppati nell'ambito delle scienze cognitive avrebbe potuto contribuire a chiarire la natura dei decrementi osservabili nelle prestazioni dei soggetti in debito di sonno.

Gli esperimenti che sono stati condotti avevano lo scopo di valutare le conseguenze della riduzione del tempo di sonno sull'attenzione spaziale attraverso l'impiego di due compiti in grado di indagare, accanto al livello di attivazione, anche l'efficienza dei meccanismi coinvolti nell'orientamento dell'attenzione nello spazio.

I risultati del primo esperimento, in cui le prestazioni ottenute in seguito a una notte di sonno normale sono state confrontate con quelle che seguivano una notte in cui la quantità di sonno era ridotta a tre ore, hanno messo in evidenza come la riduzione significativa del livello di attivazione, dimostrata dall'incremento delle latenze di risposta nel compito di tempi di reazione semplici, provocasse nel compito di orientamento spaziale un aumento delle latenze di risposta solo in seguito alla somministrazione di un suggerimento invalido.

Adottando il modello di Posner e Petersen (1990) questo risultato potrebbe essere attribuito ad un effetto specifico esercitato dalla riduzione di sonno a carico della operazione del disancoraggio. Alla luce del modello proposto da LaBerge (1995), invece, i dati ottenuti potrebbero essere interpretati come una conseguenza della riduzione delle risorse attentive disponibili nelle posizioni disattese.

Allo scopo di discriminare tra queste due ipotesi è stato messo a punto il test di orientamento spaziale utilizzato nel secondo esperimento. In questo caso i risultati ottenuti hanno confermato l'ipotesi che lo spostamento dell'attenzione nello spazio venga effettuato a tempo costante. La assenza di differenze significative tra le latenze di risposta ai due tipi di prova invalida, distanti rispettivamente 6° o 12° di angolo visivo dalla posizione suggerita dal cue, non confermano l'ipotesi che il tempo necessario perché il fuoco dell'attenzione venga spostato sia proporzionale alla distanza che deve essere percorsa.

Alla luce di questo risultato è stato messo a punto il disegno sperimentale del terzo esperimento: accanto alle condizioni di baseline e di sonno ridotto è stata introdotta una terza condizione sperimentale in cui le prestazioni dei soggetti venivano valutate successivamente a una notte di deprivazione totale di sonno.

Sia il modello di Posner e Petersen (1990) sia il modello di LaBerge (1995) prevedono per la condizione di riduzione parziale di sonno che solo i tempi di reazione ottenuti in corrispondenza delle prove invalide subiscano un incremento significativo. Per la condizione di deprivazione totale di sonno adottando il modello di Posner e Petersen (1990) è possibile ipotizzare un ulteriore incremento dei tempi di reazione alle prove invalide, mentre il modello di LaBerge (1995) prevede, accanto all'incremento dei tempi di reazione alle prove invalide, anche un aumento delle latenze di risposta in corrispondenza delle prova valide.

I risultati ottenuti nella condizione di riduzione di sonno hanno confermato quanto osservato nel primo esperimento: nonostante il decremento significativo delle prestazioni rilevato nel compito di tempi di reazione semplici, nel compito di orientamento spaziale solo i tempi di reazione alle prove invalide sono risultati significativamente più lenti.

I dati raccolti nella condizione di deprivazione totale di sonno, però, non hanno consentito di discriminare tra le due ipotesi avanzate precedentemente: il tasso di errore significativamente più elevato registrato nelle sessioni che seguivano la notte insonne rispetto alle sessioni che la precedevano ha impedito di interpretare i dati raccolti in modo affidabile.

Alla luce di questo risultato è stato messo a punto il quarto esperimento in cui l'effetto esercitato dalla riduzione del tempo di sonno sullo spostamento dell'attenzione nello spazio è stato valutato per mezzo del compito di orientamento spaziale, ma, allo scopo di discriminare tra l'ipotesi che prevede un aumento del tempo necessario per effettuare il disancoraggio della attenzione da quella che prevede una riduzione delle risorse attentive, è stato ridotto l'intervallo tra la presentazione del suggerimento e la presentazione dello stimolo target (SOA) portandolo da 600 a 150 millisecondi. Se la riduzione di sonno determinasse un aumento del tempo necessario per effettuare

l'operazione del disancoraggio, dovremmo osservare un aumento dei tempi di reazione solo in corrispondenza delle prove invalide anche in seguito alla riduzione dell'SOA. Alternativamente, se la riduzione del tempo di sonno determinasse un abbassamento delle risorse attentive disponibili, allora, accanto all'aumento dei tempi di reazione in corrispondenza delle prove invalide, dovremmo osservare anche un aumento dei tempi di reazione successivi alla somministrazione di suggerimenti validi.

I risultati ottenuti in questo esperimento sembrano confermare le previsioni avanzate adottando il modello proposto da LaBerge (1995): dopo la riduzione del tempo di sonno accanto all'incremento significativo dei tempi di reazione che seguono la somministrazione di suggerimenti invalidi, è stato possibile osservare un aumento delle latenze di risposta alle prove valide.

Globalmente i risultati ottenuti in questi esperimenti indicano che, a differenza di quanto solitamente ipotizzato in letteratura, la riduzione di sonno non solo provoca una riduzione aspecifica del livello di allerta, ma è anche in grado di alterare in modo significativo i processi connessi all'orientamento dell'attenzione nello spazio.

Questo risultato innanzitutto rappresenta un importante passo avanti per quanto riguarda la comprensione degli effetti esercitati dalla riduzione di sonno sul processamento cognitivo: l'adozione di un frame teorico attento alle recenti acquisizioni a proposito delle caratteristiche del processamento attentivo ottenute nell'ambito delle scienze cognitive ha reso possibile superare le generiche affermazioni a proposito dell'aumento della sonnolenza in seguito alla riduzione di sonno che, spesso, caratterizzano i lavori in cui vengono utilizzati i test comportamentali allo scopo di valutare gli effetti della mancanza di sonno.

La presenza di alterazioni qualitative delle prestazioni dopo la riduzione del tempo di sonno rappresenta, inoltre, un nuovo fattore che dovrebbe essere tenuto in considerazione nel momento in cui vengono ipotizzate delle strategie finalizzate a ridurre il rischio di incidenti dovuti alla sonnolenza: una maggiore attenzione alle caratteristiche dei processi cognitivi coinvolti nella esecuzione dei compiti, infatti, consentirebbe di prevedere le caratteristiche che più probabilmente protrebbero presentare gli errori degli operatori in debito di sonno. Questo tipo di informazioni,

accanto alla possibilità fornita dai modelli matematici di prevedere il momento della giornata in cui la presenza di errori dovuti alle alterazioni del regime sonno-veglia risulterebbe maggiormente probabile, potrebbero contribuire alla elaborazione di contromisure più adeguate ed efficaci.

Infine un aspetto che emerge dai dati raccolti riguarda la possibilità data dalla riduzione del tempo di sonno per indagare le relazioni esistenti tra livello di arousal e le altre strutture che costituiscono la rete attenzionale. Grazie alla affidabilità con cui questa manipolazione sperimentale è in grado di modificare il livello di attivazione è stato possibile mettere in luce come le relazioni tra livello di arousal e orientamento dell'attenzione nello spazio siano di natura diversa rispetto a quelle ipotizzate nella maggior parte dei modelli presenti in letteratura.

La riduzione di sonno, dunque, potrebbe costituire una manipolazione sperimentale affidabile per arricchire con nuovi dati i modelli presenti in letteratura allo scopo di una migliore comprensione dei processi coinvolti nel processamento attentivo degli stimoli visivi.

## BIBLIOGRAFIA

- Achermann, P., and Borbely A.A. (1994) Simulation of daytime vigilance by the additive interaction of a homeostatic and a circadian process. *Biological Cybernetics*; **71**(2) 115-121.
- Akerstedt, T. (1995) Work hours, sleepiness and the underlying mechanisms. *Journal of Sleep Research*; **4**(suppl.2): 15-22.
- Aston-Jones, G., Rajkowski, J., Kubiak, P., and Alexinsky, T. (1994) Locus coeruleus neurons in monkey are selectively activated by attended cues in a vigilance task. *Journal of Neuroscience*; **14**: 4467-4480.
- Babkoff, H., Caspy, T., Mikulincer, M. (1991) Subjective sleepiness ratings: the effects of sleep deprivation, circadian rhythmicity and cognitive performance. *Sleep*; **14**: 534-539.
- Benbadis, S.R., Qu, Y., Perry, M., C., Dinner, D.S., and Warnes, H. (1995) Interrater reliability of the multiple sleep latency test. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*; **95**: 302-304.
- Bonnet, M.H. (2000) Sleep deprivation. In: M.H., Kryger, T., Roth, W.C., Dement (Eds.) *Principles and Practice of sleep medicine*. Saunders, Philadelphia.
- Bonnet, M.H., and Arand, D.L. (2000) Activity, arousal, and the MSLT in patients with insomnia. *Sleep*; **23**(2):205-212
- Borbely, A.A., and Achermann, P. (1992) Concepts and models of sleep regulation: an overview. *Journal of Sleep Research*; **1**: 63-79.
- Carskadon, M.A. and Dement, W.C. (1977) Sleep tendency: an objective measure of sleep loss. *Sleep Research*; **6**: 200.
- Carskadon, M.A, and Dement, W.C. (1982a) The multiple sleep latency test: what does it measure? *Sleep*; **5**(2): S67-72
- Carskadon, M.A., and Dement, W.C. (1982b) Nocturnal determinants of daytime sleepiness. *Sleep*; **5**: S73-S81.
- Castiello, U., and Umiltà, C. (1990) Size of the attentional focus and efficiency of processing. *Acta Psychologica*; **73**: 195-209.

- Cave, K.R., and Bichot, N.P. (1999) Visuospatial attention: beyond a spotlight model. *Psychonomic Bulletin & Review*; **6**(2): 204-223
- Clark, C.R., Geffen, G.M., and Geffen, L.B. (1989) Catecholamines and the covert orienting of attention. *Neuropsychologia*; **27**(2): 131-140.
- Cluydts, R., De Valck, E., Verstraeten, E., and Theys, P. (2002) Daytime sleepiness and its evaluation. *Sleep Medicine Reviews*; **6**(2): 83-96.
- Coslett, H.B., Bowers, D., Heilman, K.M. (1987) Reduction in cerebral activation after right hemisphere stroke. *Neurology*; **37**: 957-962.
- Coull, J.T. (1988) Neural correlates of attention and arousal: insights from electrophysiology, functional neuroimaging and psychopharmacology. *Progress in Neurobiology*; **55**: 343-361.
- Dinges, D.F. (1989) The nature of sleepiness: causes, context, and consequences. In: A.J. Stunkard, and A. Baum (Eds.) *Eating, Sleeping, and Sex*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale.
- Dinges, D.F. (1992) Probing the limits of functional capacity: the effects of sleep loss on short duration tasks. In: R.J. Broughton and R.D. Ogilvie (Eds.) *Sleep, arousal, and performance*. Birkäuser, Boston.
- Dinges, D.F., and Barone Kribbs, N. (1991) Performing while sleepy: effects of experimentally-induced sleepiness. In: T.H. Monk (Ed.) *Sleep, Sleepiness and Performance*. John Wiley & Sons.
- Dinges, D.F., and Powell, J.W. (1988) Sleepiness is more than lapsing. *Sleep Research*; **17**: 84.
- Doran, S.M., Van Dongen, H.P.A., and Dinges, D.F. (2001) Sustained attention performance during sleep deprivation: evidence of state instability. *Archives Italiennes de Biologie*; **139**: 253-267.
- Duffy, E. (1962) *Activation and behavior*. John Wiley, New York.
- Duncan, J. (1980) The locus of interference in the perception of simultaneous stimuli. *Psychological Review*; **87**: 433-458.
- Eriksen, C.W., and St.James, J.D. (1986) Visual attention within and around the field of focal attention: a zoom lens model. *Perception & Psychophysics*; **40**: 225-240.

- Fan, J., McCandliss, B.D., Sommer, T., Raz, A., and Posner, M.I. (2002) Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*; **14**(3): 340-347.
- Fernandez-Duque, D., and Posner, M.I. (1997) Relating the mechanisms of orienting and alerting. *Neuropsychologia*; **35**: 477-486.
- Fernandez-Duque, D., and Posner, M.I. (2001) Brain imaging of attentional networks in normal and pathological states. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*; **23**(1): 74-93.
- Folkard S., and Akerstedt T. (1992) A three process model of the regulation of alertness and sleepiness. In: R.J. Broughton and R.D. Ogilvie (Eds.) *Sleep, Arousal, and Performance*. Birkäuser, Boston.
- Galfano, G. e Turatto, M. (2000) La cattura dell'attenzione visiva. *Giornale Italiano di Psicologia*; **XXVII**(1): 63-87.
- George, P.T. (2001) Sleepiness, troika of consciousness cycle, and the Epworth Sleepiness Scale. *Sleep and Breathing*; **5**(4): 181-191.
- Gillberg, M., Kecklund, G., and Akerstedt, T. (1994) Relations between performance and subjective ratings of sleepiness during a night awake. *Sleep*; **17**(3): 236-41.
- Hoddes, E., Zarcone, V., Smythe, H., Phillips, R., and Dement, W.C. (1973) Quantification of sleepiness: a new approach. *Psychophysiology*; **10**(4): 431-6
- Horne, J. (1988) *Why we sleep*. Oxford University Press.
- Horne, J. (1991) Dimensions to sleepiness In: T. H. Monk (Ed.) *Sleep, Sleepiness and Performance*. John Wiley & Sons.
- Horne, J. (1992) "Core" and "Optional" sleepiness. In: R.J. Broughton and R.D. Ogilvie (Eds.) *Sleep, Arousal, and Performance*. Birkäuser, Boston.
- Jones, K., and Harrison, Y. (2001) Frontal lobe function, sleep loss and fragmented sleep. *Sleep Medicine Reviews*; **5**(6): 463-475.
- LaBerge, D. (1995) *Attentional Processing*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.



- LaBerge, D., and Brown (1986) Variations in size of the visual field in which targets are presented: an attentional range effect. *Perception & Psychophysics*; **40**(3): 188-200.
- LaBerge, D., Carlson, R.L., Williams, J.K., and Bunney, B.G. (1997) Shifting attention in visual space: test of moving-spotlight models versus an activity-distribution model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*; **23**(5): 1380-1392.
- Ladavas, E., Menghini, G., and Umiltà, C. (1994) A rehabilitation study of hemispatial neglect. *Cognitive Neuropsychology*; **11**: 75-79.
- Lisper, H.O. (1969) Classical reaction time and signal rate in a vigilance setting. *Psychonomic Science*; **17**: 217-218.
- Lisper, H.O., and Kjellberg, A. (1972) Effects of 24-hour sleep deprivation on rate decrement in a 10-minute auditory reaction time task. *Journal of Experimental Psychology*; **96**: 287-290.
- Lubin, A., Hord, D.J., Tracy, M.L., and Johnson, L.C. (1976) Effects of exercise, bedrest and napping on performance decrement during 40 hours. *Psychophysiology*; **13**(4): 334-339.
- Mackworth, N.H. (1957) Some factors affecting vigilance. *Adv. Sci.* **53**:389-393.
- Mackworth, N.H. (1968) Vigilance, arousal and habituation. *Psychological Review*; **75**: 308-322.
- Makeig, S., and Inlow, M. (1993) Lapses in alertness: coherence of fluctuations in performance and EEG spectrum. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*; **86**(1): 23-35.
- Makeig, S., and Jung, T.P. (1995) Changes in alertness are a principal component of variance in the EEG spectrum. *Neuroreport*; **7**: 213-216.
- Marrocco, R.T, and Davidson, M.C. (1998) Neurochemistry of attention. In: R. Parasuraman (Ed.), *The attentive brain*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Millar, K. (1992) Some chronic problems in the methodology of performance tasks applied in clinical settings. In: R.J. Broughton and R.D. Ogilvie (Eds.) *Sleep, Arousal, and Performance*. Birkhäuser, Boston.

- Mirsky, A.F., Anthony, B.J., Duncan, C.C., Aheam, M.B., and Kellam, S.G. (1991) Analysis of the elements of attention: a neuropsychological approach. *Neuropsychology Review*; **2**, 109-145.
- Mitler, M.M., Gujavarty, K.S., and Browman, C.P. (1982) Maintenance of wakefulness test: a polysomnographic technique for evaluating treatment in patients with excessive somnolence. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*; **53**: 648-661.
- Monk, T.H. (1989) A Visual Analogue Scale technique to measure global vigor and affect. *Psychiatry Research*; **27**(1): 89-99
- Moruzzi, G., and Magoun, H.W. (1949) Brain stem reticular formation and activation of the EEG. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*; **1**: 455-473.
- Mueller, J.H. and Rabbit, P.M.A. (1989) Reflexive and voluntary orienting of visual attention: time course of activation and resistance to interrupt. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*; **15**: 315-330.
- Parasuraman, R. (1984a) The psychobiology of sustained attention. In: J.S. Warm (Ed.) *Sustained Attention in Human Performance*. John Wiley & Sons.
- Parasuraman, R. (1984b) Sustained Attention in Detection and Discrimination. In: R. Parasuraman and D.R. Davies (Eds.) *Varieties of attention*. Academic Press, Orlando, Florida.
- Parasuraman, R. and Davies, D.R. (1976) Decision theory analysis of response latencies in vigilance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*; **2**: 569-582.
- Parasuraman, R. and Davies, D.R. (1977) A taxonomic analysis of vigilance. In: R.R. Mackie (Ed.) *Vigilance: Theory, Operational Performance and Physiological Correlates*. Plenum Press, New York
- Parasuraman, R., Warm, J.S., and See, J.E. (1998) Brain systems of vigilance. In: R. Parasuraman (Ed.), *The attentive brain*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Pardo, P.J., Fox, P.T., and Raichle, M.E. (1991) Localization of a human system for sustained attention by positron emission tomography. *Nature*; **349**: 61-64.

- Paus, T., Zatorre, R.J., Hofle, N., Caramanos, Z., Gotman, J., Petrides, M., and Evans, A.C. (1997) Time-related changes in neural systems underlying attention and arousal during the performance of an auditory vigilance task. *Journal of Cognitive Neuroscience*; **9**: 392-408.
- Pivik, R.T. (1991) The several qualities of sleepiness: psychophysiological considerations. In: T.H. Monk (Ed.) *Sleep, Sleepiness and Performance*. John Wiley & Sons
- Portas, C.M., Rees, G., Howseman, A.M., Josephs, O., Turner, R., and Frith, C.D. (1998) A specific role for the thalamus in mediating the interaction of attention and arousal in humans. *The Journal of Neuroscience*; **18**(21): 8979-8989.
- Posner, M.I. (1978) *Chronometric Explorations of Mind*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey.
- Posner, M.I. (1980) Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*; **32**: 3-25.
- Posner, M.I., and Cohen, Y. (1984) Components of visual orienting. *Attention and Performance X*.
- Posner, M.I., and Petersen, S.E. (1990) The attention system of the human brain. *Annual Review of Neurosciences*; **13**: 25-42.
- Posner, M.I., and Raichle, M.E. (1994) *Images of mind*. Scientific American Library, New York.
- Posner, M.I., Inhoff, A., Friedrich, F. J., Cohen, A. (1987) Isolating attentional systems: a cognitive-anatomical analysis. *Psychobiology*; **15**: 107-121.
- Posner, M.I., Snyder, C.R.R., and Davidson, B.J. (1980) Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*; **109**: 160-174.
- Pribram, K.H. and McGuinness, D. (1975) Arousal, activation, and effort in the control of attention. *Psychological Review*; **82**(2): 116-149
- Rechtschaffen, A., and Kales, A. (1968) *A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects*. US Government Printing Office, Washington, DC.

- Remington, R., and Pierce, L. (1984) Moving attention: evidence for time-invariant shifts of visual selective attention. *Perception & Psychophysics*; **35**:393-399.
- Robbins, T.W. and Everitt, B.J. (1995) Arousal system and attention. In: M.S. Gazzaniga (Ed.) *The Cognitive Neuroscience*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Robertson, I.H. and Manly, T. (1999) Sustained attention deficits in time and space. In: G.W. Humphreys, J. Duncan, Treisman, A. (Eds.) *Attention, Space and Action*. Oxford University Press.
- Robertson, I.H., Mattingley, J.B., Roden, C., and Driver, J. (1998) Phasic alerting of right-hemisphere neglect patients overcomes their spatial deficit in visual awareness. *Nature*: **395**: 169-172.
- Schneider, W. (1990) *MEL user's guide: computer techniques for real time experimentation*. Psychology Software Tools Inc., Pittsburg, USA.
- Shulman, G.L., Remington, R.W., and McLean, J.P. (1979) Moving attention through physical space. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*; **5**: 522-526.
- Sperling, G., and Weichselgartner, E. (1995) Episodic theory of the dynamics of spatial attention. *Psychological Review*; **102**: 503-532.
- Tassi, P., and Muzet, A. (2000) Sleep inertia. *Sleep Medicine Reviews*; **4**(4): 341-353.
- Tsal, Y. (1983) Movements of attention across the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*; **9**: 523-530.
- Wilkins, A.J., Shallice, T., and McCarthy, R. (1987) Frontal lesions and sustained attention. *Neuropsychology*; **25**: 359-366.
- Wilkinson, R.T. (1969) Some factors influencing the effect of environmental stressors on performance. *Psychological Bulletin*; **72**: 260-272.
- Wilkinson, R.T. (1992) The measurement of sleepiness. In: R.J. Broughton and R.D. Ogilvie (Eds.) *Sleep, Arousal, and Performance*. Birkäuser, Boston.
- Wilkinson, R.T., and Houghton, D. (1982) Field test of arousal: a portable reaction timer with storage. *Human Factors*; **24**(4): 487-493.
- Williams, H.L., Lubin, A., and Goodnow, J.J. (1959) Impaired performance with acute sleep loss. *Psychological Monographs: General and Applied*; **73** (14): 1-26.

Yantis, S. (1988) On analog movements of visual attention. *Perception & Psychophysics*; **43**:203-206.

Zwyghuizen-Doorenbos, A., Rohers, T., Schafer, M., and Roth, T. (1988) Test-retest reliability of the MSLT. *Sleep*; **11**: 562-565.

## RINGRAZIAMENTI

Innanzitutto vorrei ringraziare Corrado Cavallero per avermi dato la possibilità di realizzare questo lavoro, per l'interesse con cui in questi anni ne ha seguito le fasi di sviluppo e per i commenti e i consigli che ho ricevuto da parte sua.

Vorrei poi ringraziare Luciano Stegagno: parte dei dati presentati in questo lavoro sono stati raccolti nel laboratorio di psicofisiologia del sonno da lui diretto presso il Dipartimento di Psicologia Generale dell'Università di Padova.

A Maurizio Codispoti va la mia riconoscenza. Innanzitutto per le sue critiche (spesso devastanti), ma, soprattutto, per i suoi consigli e gli spunti che ho sempre ricavato dalle discussioni che abbiamo avuto in questi ultimi anni. Devo poi rivolgergli un ringraziamento speciale per avermi introdotto alle gioie della programmazione in LabVIEW.

Un ringraziamento va anche a Michela Mazzetti per le lunghe e proficue discussioni, gli scambi di idee e di...ambiti scientifici che abbiamo avuto in questi anni.

Voglio ringraziare Enrico Mosanghini: le sue competenze nel campo dell'elettronica e dell'informatica hanno contribuito in modo sostanziale alla risoluzione di molti problemi.

Devo ringraziare anche tutti gli studenti che si sono laureati in Psicologia svolgendo le loro tesi di laurea presso i laboratori in cui i dati presentati in questo lavoro sono stati raccolti: il loro aiuto è stato determinante. In particolare vorrei ringraziare Chiara Biason, Davide Jugovac, Giuliano DeMin Tona, Sara Koterle, Laura Miccoli e Manola Mozzato. Vorrei, inoltre, rivolgere un ringraziamento particolare a Giuliano DeMin Tona: senza di lui non sarebbe stato possibile raccogliere i dati del quarto esperimento.

Naturalmente un ringraziamento va anche alle ragazze e ai ragazzi che, partecipando agli esperimenti, hanno reso possibile questo lavoro.

Vorrei ringraziare Rachele, Silvia e Massimo, gli "amici" che ho conosciuto qui a Trieste, per il loro sostegno (morale e materiale) che in questi anni non è mai venuto meno.

Infine voglio ringraziare Laura, per gli stessi suoi mille motivi.

Anche lei sa già quali sono.