

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

DOTTORATO DI RICERCA IN
Psicologia Generale e Clinica

Ciclo XXV

Settore Concorsuale di afferenza: 11/E1

Settore Scientifico disciplinare: M-PSI/01

Simulatore d'alba come possibile contromisura al
social jetlag in adolescenza

Tesi di Dottorato presentata dal dr. Lorenzo Tonetti

Coordinatore Dottorato

Relatore

Prof.ssa PierCarla Cicogna

Prof. Vincenzo Natale

Esame finale anno 2013

Indice

1. Premessa	4
2. Introduzione	6
2.1. Gli orologi biologici	6
2.2. Sincronizzatori ambientali e sociali	9
2.3. Alcuni esempi di mancata sincronizzazione tra orologi biologici e sincronizzatori socio-ambientali	12
2.4. Social Jetlag	17
2.4.1. Possibili rimedi al social jetlag in adolescenza	23
2.4.1.1. Posticipare gli orari d’inizio delle attività scolastiche	24
2.4.1.2. Interventi sull’orologio biologico	26
3. Obiettivi della ricerca	30
4. Materiali e metodi	34
4.1. Partecipanti	34
4.2. Materiali	36
4.2.1. Simulatore d’alba	36
4.2.2. Attigrafia	37
4.2.3. Strumento wireless per il monitoraggio elettroencefalografico del sonno (Zeo®)	42
4.2.4. Attention Network Test (ANT)	46
4.2.5. Questionari	49
4.2.5.1. Mini Sleep Questionnaire (MSQ)	49
4.2.5.2. Diario del sonno	50
4.2.5.3. Global Vigor and Affect Scale (GVA)	51
4.2.5.4. Morningness-Eveningness Questionnaire for Children and Adolescents (MEQ-CA)	52
4.2.5.5. Seasonal Pattern Assessment Questionnaire for Children and Adolescents (SPAQ-CA)	53
4.3. Disegno di ricerca e procedura	55
4.4. Analisi dei dati	58
5. Risultati	60

5.1. Questionari.....	61
5.1.1. Morningness-Eveningness Questionnaire for Children and Adolescents (MEQ-CA).....	61
5.1.2. Seasonal Pattern Assessment Questionnaire for Children and Adolescents (SPAQ-CA).....	62
5.1.3. Diario del sonno	63
5.1.4. Mini Sleep Questionnaire (MSQ).....	70
5.1.5. Global Vigor and Affect Scale (GVA)	79
5.2. Attigrafia	81
5.2.1. Parametri del sonno	81
5.2.2. Social jetlag, attività motoria diurna e pattern circadiano dell'attività motoria.....	87
5.2.3. Intensità luminosa ambientale.....	94
5.3. Strumento wireless per il monitoraggio elettroencefalografico del sonno (Zeo®).....	96
5.3.1. Parametri del sonno ed architettura del sonno.....	96
5.4. Confronto tra diario del sonno, attigrafia e Zeo®	101
5.5. Attention Network Test.....	104
5.5.1. Tempi di reazione complessivi.....	104
5.5.2. Accuratezza globale.....	105
5.5.3. Network attentivi	106
5.5.3.1. Alerting network.....	107
5.5.3.2. Orienting network	109
5.5.3.3. Executive network	111
5.6. Approfondimenti	113
5.6.1. Tipologia circadiana ed efficienza dell>alerting network.....	113
5.6.2. Disturbo affettivo stagionale ed efficienza dell>alerting network	114
6. Discussione generale dei dati	115
7. Conclusioni.....	125
8. Riferimenti bibliografici.....	132

1. Premessa

L'approccio comunemente utilizzato nello studio dei principi e delle funzioni dell'orologio biologico si basa su indagini di laboratorio, in condizioni controllate ed artificiali. Gli studi sul funzionamento dell'orologio biologico, nel mondo reale, sono rari e spesso oggetto di critica, a causa dei fattori potenzialmente influenti che non possono essere controllati. Tuttavia, essendo aumentata la consapevolezza del coinvolgimento dell'orologio biologico nel manifestarsi di varie condizioni di salute e malattia, è aumentata di pari passo l'esigenza di trasferire le conoscenze cronobiologiche dal mondo del laboratorio a quello della vita reale, per verificare la loro applicabilità a quest'ultimo. Una condizione di disagio che può manifestarsi nella vita reale è rappresentata dal social jetlag, che consiste in una mancata sincronizzazione tra orologi biologici e orologi sociali (Wittmann et al., 2006). Alcune delle conseguenze più note di tale desincronizzazione sono deprivazione di sonno, peggioramento del tono dell'umore e obesità (Roenneberg et al., 2012). Il social jetlag è presente nella maggior parte della popolazione, ma la sua entità risulta massima nel corso dell'adolescenza (Roenneberg et al., 2012), durante la quale si verifica un biologico ritardo di fase del ciclo sonno-veglia, che determina un posticipo degli orari di addormentamento e di risveglio (orologio biologico), mentre, in parallelo, l'orario d'inizio delle lezioni scolastiche (orologio sociale) rimane invariato.

L'obiettivo del presente progetto di ricerca, svolto sul campo, era determinare se l'utilizzo non clinico del simulatore d'alba (un dispositivo che emette luce in graduale aumento prima del risveglio) potesse rappresentare un'adeguata contromisura al social jetlag in adolescenza.

Il lavoro è iniziato con la ricerca degli strumenti, che sono stati successivamente utilizzati nel corso dello studio. Nello specifico sono state contattate tre aziende che producono, rispettivamente, il simulatore d'alba (Philips, Netherlands), Zeo[®], uno strumento per il monitoraggio elettroencefalografico wireless del sonno (Zeo, Newton, MA, USA) e l'attigrafo (Ambulatory Monitoring, Inc., Adrsley, NY, USA). Il presente progetto di ricerca è stato presentato a tali aziende che, dopo una lunga fase di negoziazione, hanno donato al Laboratorio di Cronopsicologia Applicata del Dipartimento di Psicologia dell'Università di Bologna il seguente equipaggiamento, che ha permesso di svolgere lo studio: 10 dispositivi per il monitoraggio elettroencefalografico wireless del sonno, 20 lampade che simulano l'alba e 20 attigrafi.

Poiché il simulatore d'alba e Zeo[®] non erano stati usati in precedenza dal Laboratorio di Cronopsicologia Applicata dell'Università di Bologna, sono state condotte alcune ricerche preliminari, prima di dar avvio al lavoro di tesi. L'obiettivo di tali ricerche era testare tale strumentazione; nello specifico, sono stati condotti due studi per validare Zeo[®] confrontandolo con l'attigrafia (Tonetti et al., 2013) e la polisonnografia (Tonetti et al., inviato per la pubblicazione). Inoltre, le caratteristiche di funzionamento del simulatore d'alba sono state approfondite nell'ambito di un progetto di tesi di laurea magistrale, presso il Corso di Laurea Magistrale in Psicologia Cognitiva Applicata dell'Università di Bologna, il cui obiettivo era valutare la sensibilità alla luce in persone con diverso genotipo della variante P10L del gene della melanopsina OPN4.

Una volta terminata la fase di ricerca del materiale ed in parallelo agli studi preliminari sulle nuove strumentazioni, hanno avuto inizio i contatti con alcuni istituti di scuola secondaria di secondo grado, a cui è stato proposto il progetto. E' stato necessario ottenere l'approvazione del consiglio d'istituto, del consiglio di classe e

coinvolgere alcuni docenti, prima di poter presentare la ricerca agli studenti ed ai loro genitori.

La ricerca, indagando gli effetti della somministrazione della luce sul benessere, si è potuta svolgere solo nel periodo autunnale ed invernale, per massimizzarne gli esiti.

2. Introduzione

Prima di procedere alla descrizione del social jetlag (Wittmann et al., 2006) e dei possibili rimedi alle sue conseguenze, saranno brevemente passate in rassegna le seguenti nozioni relative al modello cronobiologico: la scoperta degli orologi biologici endogeni, il ruolo dei sincronizzatori sociali ed ambientali nell'influenzare le ritmicità endogene e la mancanza di sincronizzazione tra ritmi endogeni e ritmi dei sincronizzatori socio-ambientali come causa di malessere.

2.1. Gli orologi biologici

La cronobiologia è una disciplina che indaga le fluttuazioni ritmiche dei parametri biologici negli esseri viventi, i così detti ritmi biologici; è possibile collocare la sua data di nascita tra la fine del 1800 e l'inizio del 1900, anche se solo negli ultimi sessant'anni è stato possibile osservare uno sviluppo notevole di tale disciplina. L'ipotesi principale, alla base del modello cronobiologico, è che tutti gli esseri viventi siano dotati di orologi biologici endogeni (Gillette & Sejnowski, 2005), una sorta di marcatempo interno autonomo, molto vantaggioso da un punto di vista adattativo, in

grado di anticipare i cambiamenti ciclici dell'ambiente esterno. Così facendo, tali orologi biologici permettono agli esseri viventi di mettere in atto i comportamenti più adeguati, aumentando conseguentemente le possibilità di sopravvivenza. Per poter suffragare tale ipotesi, furono condotte diverse ricerche nel mondo vegetale prima (ad esempio lo studio sul movimento delle foglie di mimosa pudica pubblicato da De Candolle nel 1832) e animale poi (ad esempio la ricerca sul comportamento delle api condotta da Beling nel 1929) che confermarono la persistenza di ritmicità endogene, anche in condizioni di isolamento. In assenza di informazioni ambientali su luce e buio, l'orologio biologico scandiva ritmi con periodicità superiore alle 24 ore, il così detto ritmo free-running. Nei mammiferi le prime ricerche volte a confermare la presenza di ritmicità endogene furono condotte nel 1866 (studio sulla variazione diurna della temperatura corporea in esseri umani) (Ogle, 1866), seguite dagli studi di Simpson e Galbraith (1906), che mostrarono, in condizioni di laboratorio, che la temperatura corporea delle scimmie oscillava nell'arco delle 24 ore, persino in condizioni costanti di luce o buio.

In seguito, alcuni esperimenti condotti in condizione di isolamento ambientale, su esseri umani, confermarono che il sistema circadiano umano è di natura endogena (Aschoff & Wever, 1962; Dement, 1974; Siffre, 1964, 1975). Queste ricerche evidenziarono che, anche in isolamento, le persone mantenevano la ritmicità delle funzioni biologiche prese in esame, tra cui anche il ciclo sonno/veglia, anche se con periodicità free-running superiore alle 24 ore. Tali studi permisero di concludere che anche gli esseri umani, al pari di vegetali e altri mammiferi, sono caratterizzati dalla presenza di un sistema circadiano endogeno.

Gli studi d'isolamento temporale ed ambientale hanno permesso di evidenziare il fenomeno della così detta dissociazione interna (Aschoff, 1981). Alcuni ritmi che in condizioni di non isolamento erano scanditi con uno stesso periodo, dopo circa tre settimane di free-running (nell'uomo il ritmo free-running è di circa 25 ore), erano caratterizzati da periodi diversi. Nello specifico, alcune variabili seguirebbero il ritmo del ciclo sonno/veglia (ad esempio la concentrazione nel plasma dell'ormone della crescita) mentre altre seguirebbero il ritmo della temperatura corporea (ad esempio la concentrazione nel plasma di cortisolo) (Czeisler et al., 1980; Wever, 1979). Tali risultati portarono ad ipotizzare che il sistema circadiano fosse contraddistinto dalla presenza di più orologi endogeni, il così detto modello dei multi-oscillatori. Tale modello ipotizza che negli animali di ordine superiore vi siano almeno due processi, in base ai quali poter dar conto della programmazione circadiana: un meccanismo che genera il ritmo circadiano endogeno (self-sustaining endogenous circadian pacemaker) e un meccanismo regolatore del ciclo sonno/veglia (sleep/wake cycle). Questi meccanismi, solo per citare alcuni esempi, sono stati etichettati con il nome di "processo C" e "processo S" nel modello proposto da Borbély (1982) e come "oscillatori I e II" nel modello di Wever (1975).

Per ciò che riguarda la localizzazione anatomica degli orologi endogeni, nel 1972 due gruppi di ricerca individuarono, separatamente, un nucleo dell'ipotalamo anteriore, il nucleo soprachiasmatico, quale sede dell'orologio biologico endogeno (Moore & Eichler, 1972; Stephan & Zucker, 1972). Tale nucleo è posto sopra il chiasma ottico, dove passano i fasci nevosi provenienti dai bulbi oculari. A causa di tale vicinanza, il nucleo potrebbe essere sensibile alla luce che colpisce la retina. L'attività neuronale del nucleo sarebbe modulata indirettamente dalla luce, dunque dal sole

(Natale, 1998). Studi anatomici hanno evidenziato l'esistenza di una via diretta, dalla retina al nucleo soprachiasmatico, detta via retinoipotalamica. I fotorecettori retinici che inviano informazioni direttamente al nucleo soprachiasmatico non sono né i coni né i bastoncelli, le cellule che trasmettono le informazioni necessarie alla percezione visiva; ciò sta ad indicare la presenza di uno speciale fotorecettore retinico, la melanopsina, responsabile della sincronizzazione dei ritmi diurni (Carlson, 2001).

Tale nucleo è in stretta relazione con la ghiandola pineale, regolatore dell'attività circadiana ormonale. L'osservazione che la lesione selettiva del nucleo soprachiasmatico era in grado di abolire la ritmicità circadiana di molte variabili fisiologiche e comportamentali, portò ulteriori prove al fatto che tale nucleo fosse la principale sede dell'orologio biologico endogeno. Infatti, in seguito alla lesione del nucleo soprachiasmatico, il ritmo sonno-veglia divenne molto irregolare (Stampi, 1991).

2.2. Sincronizzatori ambientali e sociali

Come osservato nel paragrafo precedente, il sistema circadiano endogeno è sì determinato biologicamente, ma risulta al tempo stesso fortemente influenzato da elementi esterni (siano essi ambientali oppure sociali): si tratta dei "Zeitgeber" (dal Tedesco "Zeit" che indica il tempo e "Geber" che significa donatore) o sincronizzatori (Aschoff, 1954). I ritmi biologici oscillano con frequenze in linea con quelle dei fenomeni geofisici, come ad esempio la rotazione terrestre all'incirca di 24 ore (ritmo circadiano). I nostri ritmi sono influenzati da sincronizzatori primari o secondari, in funzione della rilevanza che essi assumono nei confronti del ritmo in oggetto. I ritmi

dunque tendono a sincronizzarsi con il principale sincronizzatore, assumendo il suo ritmo (Natale, 1996).

E' interessante osservare come la gerarchia dei sincronizzatori possa cambiare, con alcuni primari che in determinate condizioni possono assumere il ruolo di sincronizzatori secondari e l'opposto. Nella specie umana, esistono sincronizzatori sia ambientali che sociali. Uno dei più importanti sincronizzatori ambientali è rappresentato dall'alternarsi ciclico di luce e buio, determinato dalla rotazione terrestre che porta all'alternanza tra giorno e notte. Tra i sincronizzatori sociali, è possibile individuare gli orari delle attività lavorative (Mecacci & Zani, 1983) e, per ciò che riguarda gli studenti, gli orari delle attività scolastiche. Nell'uomo, una prova a favore dell'influenza contemporanea dei sincronizzatori ambientali e sociali deriva da alcune considerazioni condotte a posteriori sui primi studi di Aschoff e Wever. Aschoff e collaboratori (1969), in un primo lavoro, mostrarono come la manipolazione del ciclo luce/buio fosse effettivamente in grado di trascinare le ritmicità dei partecipanti allo studio. In seguito, Wever (1970), conducendo un altro studio, mostrò come la presenza di un sincronizzatore sociale (in quel caso il suono di un campanello che permetteva un collegamento tra ricercatori e partecipanti) avesse trascinato le funzioni ritmiche dei partecipanti, assumendo una rilevanza maggiore del sincronizzatore ambientale, che in quel caso era rappresentato dalla manipolazione del ciclo luce/buio. Wever (1970) evidenziò infatti come la manipolazione del ciclo luce/buio, in assenza del suono del campanello, non permise il trascinarsi delle ritmicità dei partecipanti al suo studio.

Diversi studi hanno mostrato come i sincronizzatori non siano in grado di determinare la comparsa dei ritmi biologici, ma siano solamente capaci di influenzarli,

portando ulteriori prove a favore della loro origine endogena (Aschoff & Wever, 1962; Siffre, 1964, 1975).

Uno studio pubblicato da Simpson e collaboratori (1970) indagò gli effetti della manipolazione di un sincronizzatore sociale sulla ritmicità di alcune funzioni biologiche. Gli autori isolarono alcuni partecipanti alla ricerca ed imposero loro un ritmo attività/riposo di 21 ore: gli consegnarono un orologio, sul cui quadrante venivano visualizzate le 24 ore, mentre in realtà ne venivano battute 21. Gli autori osservarono che alcune variabili assunsero un periodo di 21 ore (in questo caso si verificò un effetto di trascinamento), mentre per altre rimase a 24 ore (effetto trascinamento selettivo), concludendo che solo per le prime, in cui si era osservato un effetto di trascinamento, esiste probabilmente una più elevata sensibilità al sincronizzatore sociale.

E' opportuno ricordare come tale effetto di trascinamento non si verifichi sempre e comunque, ma solo entro determinati limiti (*range of entrainment*); la sincronizzazione si verificherà solo se il sincronizzatore imporrà all'oscillatore una ritmicità il cui periodo sia incluso in quei limiti. Ad esempio, i limiti di trascinamento del ciclo sonno/veglia sono compresi tra 17 e 33 ore, per cui l'alternarsi ciclico di luce e buio (24 ore) può assumere il ruolo di sincronizzatore di tale ritmicità.

A partire dagli anni ottanta del secolo scorso, è stato documentato un effetto di spostamento della fase di alcuni ritmi circadiani, derivante dalla somministrazione di luce ad alta intensità (ad esempio Czeisler et al., 1981). In quel periodo, alcuni autori giunsero ad ipotizzare che tale spostamento di fase avrebbe permesso una remissione della sintomatologia depressiva stagionale (caratterizzata dalla presenza di un anomalo ritardo di fase dei ritmi circadiani) e delle problematiche a carico del ciclo sonno/veglia, determinate da jetlag e lavoro a turni (vedi paragrafo 2.3) (Lewy et al., 1983). Alcuni

studi documentarono come non solo la durata e l'intensità dell'esposizione alla luce erano importanti nel determinare uno spostamento di fase, ma che anche l'ora in cui essa veniva somministrata era di grande rilievo (Lewy et al., 1983); nello specifico, gli effetti della somministrazione della luce varierebbero in funzione della *phase response curve* (Lewy et al., 1984), in base alla quale la somministrazione di luce al mattino determinerebbe un anticipo della fase dei ritmi circadiani, mentre la somministrazione di luce nelle ore serali determinerebbe un ritardo di fase. Tali ipotesi sono state corroborate dalle ricerche che hanno documentato un anticipo di fase del ritmo di secrezione della melatonina, in pazienti affetti da depressione stagionale, in seguito alla somministrazione di luce ad alta intensità al mattino, accompagnato dalla remissione della sintomatologia (Lewy et al., 1987).

2.3. Alcuni esempi di mancata sincronizzazione tra orologi biologi e sincronizzatori socio-ambientali

Nello studio di Simpson e collaboratori (1970), imponendo un ritmo attività/riposo di 21 ore, si era determinato un cambiamento della fase circadiana dei sincronizzatori sociali ed ambientali. Quando vengono attraversati rapidamente diversi fusi orari, nel corso di un volo, ha luogo una modifica della fase circadiana del sincronizzatore sociale ed ambientale, senza che vi sia stato un cambiamento del periodo. Questo fenomeno, il così detto jetlag (slittamento di fase del sincronizzatore), è caratterizzato da una mancanza di sincronizzazione tra gli orologi biologi e l'ora del luogo in cui ci si trova. Il jetlag può determinare alcuni sintomi, tra cui il senso di stanchezza ed un sonno non ristoratore, che sono dirette manifestazioni del difficile

processo di adattamento al nuovo sincronizzatore, che il nostro corpo deve affrontare. Tale slittamento di fase può manifestarsi in due diverse direzioni: indietro, in seguito ai voli da ovest verso est (accorciamento del ritmo) ed in avanti, in seguito ai voli da est verso ovest (allungamento del ritmo). Dato che il sistema circadiano umano oscilla con un periodo leggermente superiore alle 24 ore (Czeisler et al., 1999; Valdez et al., 2003), si ipotizza che sia più facile adattarsi alla condizione di allungamento del ritmo, in seguito ai voli da est verso ovest (una sorta di ritardo di fase) rispetto alla condizione di accorciamento del ritmo, in seguito ai voli da ovest verso est (una sorta di anticipo di fase). A conferma di tale ipotesi, la temperatura corporea necessita di più tempo per adattarsi al nuovo programma del sincronizzatore sociale ed ambientale, in seguito ai voli verso est (accorciamento del ritmo, dunque anticipo di fase), rispetto ai voli verso ovest (allungamento del ritmo, dunque ritardo di fase). Si è inoltre osservato come, in seguito all'insorgenza del jetlag, si manifesti una diversa durata del processo di adattamento di alcune funzioni biologiche: alcune funzioni (ad esempio il ritmo cardiaco) si adattano rapidamente, mentre altre (ad esempio la temperatura corporea) impiegano sino ad una settimana di tempo per completare tale processo (Higgins et al., 1975). Le manifestazioni cronobiologiche che sono state precedentemente passate in rassegna (dissociazione interna, trascinarsi selettivo, diversa durata del processo di adattamento in seguito allo slittamento di fase del sincronizzatore) portarono ad ipotizzare che diversi orologi biologici endogeni fossero presenti nel sistema circadiano umano (modello dei multi-oscillatori).

Nella vita di molti esseri umani, due volte ogni anno, si verifica uno slittamento di fase del sincronizzatore dell'ampiezza di un'ora: si tratta del passaggio dall'ora solare all'ora legale (che ha luogo nell'ultima settimana di Marzo) e del passaggio dall'ora

legale a quella solare (che si verifica nell'ultima settimana di Ottobre). Nel primo caso, le lancette dell'orologio vengono spostate in avanti di un'ora, mentre nel secondo caso vengono spostate indietro di un'ora. L'ora legale fu introdotta originariamente in Germania nel 1916 con l'obiettivo ultimo di ridurre il consumo di energia elettrica. Ad oggi, l'ora legale è in vigore nella maggior parte dell'Europa e del Nord America, influenzando una popolazione di circa 1.6 miliardi di persone (Kantermann et al., 2007). Oltre ad avere ipotetici effetti benefici sul consumo di energia elettrica, l'entrata e l'uscita dall'ora legale potrebbero avere effetti negativi sulla qualità del ciclo sonno/veglia, poiché, come evidenziato in precedenza, rappresentano piccoli slittamenti di fase del sincronizzatore, una sorta di jetlag della durata di 1 ora. In effetti, negli ultimi anni, alcuni studi comportamentali hanno messo in luce come l'entrata e l'uscita dall'ora legale possano compromettere il sonno e il ciclo attività/riposo di persone adulte (Kantermann et al., 2007; Lahti et al., 2006, 2008). Un recente studio, al momento non ancora pubblicato (Tonetti et al., in preparazione), ha indagato gli effetti della transizione dentro e fuori l'ora legale sulla qualità del ciclo sonno/veglia (monitorato tramite attigrafia), in un campione di giovani adulti Italiani. I principali risultati hanno evidenziato un effetto maggiormente negativo nel passaggio all'ora legale (una sorta di anticipo di fase), con un peggioramento di efficienza del sonno, attività motoria notturna e veglia infra-sonno, rispetto alla transizione all'ora solare (una sorta di ritardo di fase) che ha determinato il peggioramento di un solo parametro attigrafico. Tali risultati sono stati interpretati in base alla maggiore facilità del sistema circadiano nel riuscire ad adattarsi al ritardo di fase (il passaggio all'ora solare), rispetto all'anticipo di fase (il passaggio all'ora legale) poiché esso oscilla con un periodo leggermente superiore alle 24 ore (Czeisler et al., 1999; Valdez et al., 2003). E'

interessante osservare come tali modeste asincronie tra ritmicità biologiche e sincronizzatori socio-ambientali, oltre a determinare un rilevante peggioramento della qualità oggettiva del ciclo sonno/veglia, siano state messe in relazione anche con l'aumento del rischio di infarto miocardico acuto (Janszky et al., 2012).

Un altro esempio di asincronia tra orologi biologici e sincronizzatori socio-ambientali è rappresentato dal lavoro a turni, sempre più frequente a causa dell'aumento del numero di aziende che necessitano di produrre a ciclo continuo. Un'indagine condotta dalla European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions (2007) ha evidenziato come la percentuale dei lavoratori a turno nei 27 paesi dell'Unione Europea e nei due paesi della European Free Trade Association (Svizzera e Norvegia) varia dall'8% a più del 20%.

Il lavoro a turni forza le persone a lavorare quando la maggior parte degli individui dormirebbe oppure sfrutterebbe il tempo a disposizione per lo svolgimento di attività ricreative. Come documentato in precedenza, il nostro sistema circadiano si adatta più facilmente ad un ritardo piuttosto che ad un anticipo di fase, poiché esso oscilla con una periodicità superiore alle 24 ore (Czeisler et al., 1999; Valdez et al., 2003). In base a queste osservazioni, i cronobiologi hanno suggerito che l'organizzazione dei turni di lavoro (solitamente caratterizzata tra tre turni ognuno della durata di otto ore) determinerebbe meno effetti deleteri sulla salute dei lavoratori se essa ruotasse in avanti, con un passaggio dal turno del mattino a quello del pomeriggio per terminare con quello notturno.

Esiste un dibattito in riferimento alla frequenza ideale di rotazione dei turni, poiché alcuni autori (ad esempio Knauth & Rutenfranz, 1976) sostengono che una rapida frequenza di rotazione (ogni due o tre giorni) non permetterebbe al nostro corpo

di entrare in sincronia con le nuove ritmicità imposte dai sincronizzatori sociali, rimanendo dunque sincronizzato con le ritmicità endogene. Al contrario, altri ricercatori ipotizzano che una rotazione lenta (ogni quattro settimane o oltre) darebbe la possibilità al nostro corpo di sincronizzarsi con il nuovo ritmo impostogli, determinando una riduzione delle ripercussioni dovute alla mancata sincronizzazione tra ritmicità endogene ed esogene.

Le conseguenze del lavoro a turni sulla salute dei lavoratori, sono state approfonditamente indagate. Nello specifico, i lavoratori a turni presentano un'elevata prevalenza di disturbi del sonno, metabolici, cardiovascolari e cancro, se confrontati con i non turnisti (Åkerstedt, 2003; Costa, 1997, 2003; Haus & Smolensky, 2006; Knutsson, 2003; van Mark et al., 2006). Tali effetti sono stati analizzati prendendo in esame anche la direzione della rotazione; alcuni studi hanno documentato come la rotazione in avanti, rispetto a quella all'indietro, sia caratterizzata da un migliore adattamento del ciclo sonno/veglia, minore deprivazione di sonno e meno disturbi circadiani (Knauth, 1996; Lavie et al., 1992). Tuttavia, alcuni studi più recenti (ad esempio Cruz et al., 2003) non hanno evidenziato differenze a livello di qualità del sonno, tono dell'umore e sonnolenza soggettiva tra lavoratori inseriti in sistemi di rotazione in avanti ed altri all'indietro. In relazione alle conseguenze del lavoro a turni sul lungo periodo, Hadengue e Waguet (1982) osservarono un'incidenza di disturbi del sonno del 15% nei maschi e del 25% nelle femmine adulte e del 6% dei disturbi del tono dell'umore, in seguito a 22 anni di lavoro notturno. Uno studio longitudinale più recente (Suwazono et al., 2006), condotto su un arco temporale di 10 anni, ha documentato come il lavoro a turni alternati rappresenti un fattore di rischio indipendente per l'insorgenza del diabete mellito.

In questo paragrafo sono stati presentati alcuni esempi di mancata sincronizzazione tra ritmi endogeni e ritmi dei sincronizzatori socio-ambientali. Il jetlag ed il lavoro a turni, inseriti all'interno della sezione dei disturbi del ritmo circadiano del sonno del Manuale Diagnostico e Statistico dei Disturbi Mentali (DSM-IV-TR) (American Psychiatric Association, 2000), sono prevalenti in una minoranza della popolazione. Da una parte, infatti, il jetlag si manifesta in seguito in seguito a voli transmeridiani con rapido attraversamento dei fusi orari, che, nonostante un recente e considerevole aumento del traffico aereo per motivi di affari e turistici, riguardano pur sempre una percentuale contenuta della popolazione generale. Dall'altro lato, come evidenziato in precedenza, la percentuale dei lavoratori a turni nei 27 paesi dell'Unione Europea (oltre a Svizzera e Norvegia) oscilla tra l'8% ed il 20% (European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, 2007). In riferimento all'ultimo esempio di desincronizzazione descritto in precedenza, l'entrata e l'uscita dall'ora legale, essa influenza sì tutta la popolazione, tuttavia ha luogo solo due volte ogni anno e l'entità dello slittamento di fase del sincronizzatore è limitata ad un'ora. Nel successivo paragrafo sarà descritto un altro tipo di desincronizzazione, il social jetlag (Wittmann et al., 2006), che si caratterizza per essere presente nella maggioranza della popolazione nei paesi industrializzati, dalla pre-adolescenza sino all'età adulta (Roenneberg et al., 2012), e per essere cronico.

2.4. Social Jetlag

Il social jetlag fu descritto per la prima volta da Wittmann e collaboratori nell'anno 2006, come una mancanza di sincronizzazione tra gli orologi biologici e gli

orologi sociali che può portare ad una forma cronica di jetlag. Wittmann e collaboratori (2006) proposero la seguente formula per calcolare il social jetlag: (midpoint of sleep nei giorni festivi) - (midpoint of sleep nei giorni feriali). Il midpoint of sleep è definito come il punto di mezzo tra l'ora d'inizio e l'ora di fine del sonno ed è considerato come il miglior marker della fase del ciclo sonno-veglia. Tale indice, espresso in ore e minuti, viene efficacemente e comunemente utilizzato poiché è indipendente dalla durata del sonno; all'aumentare del valore di tale indice, corrisponde una fase ritardata del ciclo sonno/veglia, mentre al suo diminuire corrisponde un anticipo di fase. Il social jetlag viene dunque misurato in ore. Wittmann e collaboratori (2006) misurarono il social jetlag tramite la somministrazione di un questionario (a 501 partecipanti allo studio di età compresa tra 14 e 94 anni), il Munich Chronotype Questionnaire (Roenneberg et al., 2003), nel quale i partecipanti alla ricerca indicavano anche gli orari di addormentamento e risveglio nei giorni feriali e nei giorni festivi; gli stessi partecipanti all'indagine compilarono inoltre un questionario standard socio-demografico per valutare il consumo di alcool, tabacco e caffeina. Gli autori evidenziarono che all'aumentare del social jetlag, aumentava il consumo di sigarette, alcool e bevande a base di caffeina.

Come evidenziato nel paragrafo 2.3, ci si riferiva al jetlag per documentare solamente gli effetti collaterali che sperimentano i viaggiatori in seguito al cambio di fuso orario (Waterhouse et al., 2003, 2005), mentre l'impatto del social jetlag sulla fisiologia, fino all'anno 2006, fu complessivamente trascurato. A differenza del jetlag, che risulta transitorio, il social jetlag è cronico ed è presente nella maggioranza della popolazione nei paesi industrializzati (Roenneberg et al., 2012). Durante le giornate di lavoro, e a volte anche in occasione dei giorni festivi, le determinanti sociali degli orari

di lavoro interferiscono con le preferenze individuali legate al sonno e alla veglia, la così detta tipologia circadiana (Natale & Cicogna, 2002).

La tipologia circadiana è fondamentalmente riconducibile a tre tipi: mattutini (altrimenti detti *allodole*), intermedi e serotini (altrimenti detti *gufi*). I primi sono coloro che tendenzialmente si svegliano spontaneamente alle prime ore del mattino, sono molto attivi nella prima parte della giornata e tendono ad addormentarsi alle prime ore della sera. Specularmente, i tipi serotini sono coloro che spontaneamente tendono ad alzarsi in tarda mattinata, tendono ad addormentarsi a tarda notte e sono più attivi verso sera. Infine, i tipi intermedi si collocano a metà tra le due tipologie circadiane estreme. La tipologia circadiana varia in funzione dell'età; la tipologia mattutina ha un'incidenza più alta nella popolazione sotto i 10 anni e sopra i 50 anni (Roenneberg et al. 2004). L'adolescenza rappresenta una fase di transizione nella maturazione del sistema circadiano, essendo caratterizzata da un ritardo di fase del ciclo sonno-veglia, che si concretizza in una percentuale più alta di serotini rispetto a quella presente nel corso della pre-adolescenza (Carskadon et al., 1993; Diaz-Morales et al., 2007; Ishihara et al., 1990; Laberge et al., 2001; Tonetti et al., 2008b; Yang et al., 2005). L'inizio di tale ritardo di fase avviene tra i 12 e i 13 anni di età, in adolescenti di diverse culture (Caci et al., 2005; Carskadon et al., 1993; Ishihara et al., 1990; Laberge et al., 2001; Park et al., 1999; Russo et al., 2007; Shinkoda et al., 2000) facendo ipotizzare che i fattori biologici possano svolgere un ruolo primario in tale cambiamento. Tale ritardo di fase giunge al massimo livello attorno ai 18-20 anni d'età e Roenneberg e collaboratori (2004) hanno ipotizzato che questo apice del ritardo di fase possa essere considerato come un marker del termine dell'adolescenza.

Nella maggioranza della popolazione, gli orari mattutini d'inizio delle attività scolastiche o lavorative determinano una condizione di deprivazione di sonno durante i giorni di scuola o lavoro, che viene compensata nel corso del fine settimana, tramite un'estensione della durata del sonno. Il fatto che molte persone, nella nostra società, spostino gli orari di addormentamento e di risveglio di diverse ore tra i giorni di lavoro ed i giorni festivi, è comparabile al jetlag. Il social jetlag è più marcatamente presente nei tipi serotini, ma caratterizza anche i tipi intermedi e mattutini, benché ad un livello inferiore (Wittmann et al., 2006).

Nel corso dell'adolescenza, la mancanza di sincronizzazione tra orologio biologico (che tende al ritardo di fase) ed orologio sociale (ora d'inizio delle lezioni che rimane fissa) fa sì che l'ampiezza del social jetlag sia massima (Roenneberg et al., 2012). Una delle conseguenze più negative del social jetlag, in adolescenza, è la deprivazione di sonno (Loessl et al., 2008) che, a sua volta, è stata messa in relazione con scarsa performance scolastica (Dewald et al., 2010), peggioramento del tono dell'umore (Talbot et al., 2010), sonnolenza (Dewald et al., 2010) ed obesità (Garaulet et al., 2011).

Nell'anno 2011 Levandovski e collaboratori hanno pubblicato uno studio in cui hanno indagato la relazione diretta tra depressione e social jetlag, in una popolazione rurale Brasiliana (range d'età 18-65 anni), somministrando il Beck Depression Inventory (Beck et al., 1996) e il Munich Chronotype Questionnaire (Roenneberg et al., 2003) a 4.501 persone. Gli autori hanno evidenziato una correlazione positiva tra depressione e social jetlag, concludendo che la mancanza di sincronizzazione tra il timing circadiano ed il timing sociale (social jetlag) può essere un fattore di rischio per

lo sviluppo di una condizione depressiva, in particolar modo nei partecipanti alla ricerca di età compresa tra i 31 ed i 40 anni.

Recentemente il gruppo di ricerca dell'Università di Monaco, coordinato dal Professor Till Roenneberg, ha pubblicato alcuni interessanti dati epidemiologici sul social jetlag e la sua relazione con l'obesità (Roenneberg et al., 2012), che hanno permesso di specificare meglio le caratteristiche del social jetlag stesso. Gli autori hanno somministrato il Munich Chronotype Questionnaire (Roenneberg et al., 2003) ad un campione di circa 65.000 partecipanti di alcuni paesi dell'Europa Centrale, evidenziando come il social jetlag sia presente nella maggior parte della popolazione. Nello specifico, un terzo della popolazione riportava 2 o più ore di social jetlag, mentre il 69% dei partecipanti allo studio riferiva almeno 1 ora di social jetlag. Gli autori hanno anche documentato come la prevalenza del social jetlag vari con l'età, con un picco massimo (durata di circa 3 ore) nel corso dell'adolescenza. Tale desincronizzazione risulta tuttavia presente anche prima e dopo l'adolescenza, anche se con entità inferiore. Il picco massimo nel corso dell'adolescenza è stato spiegato in base al ritardo di fase del timing circadiano in associazione agli orari d'inizio delle attività scolastiche, che non sono sincronizzati con le ritmicità circadiane endogene (Carskadon et al., 1999). Al di là del periodo adolescenziale, il social jetlag si manifestava nella maggioranza della popolazione perché circa l'80% dei partecipanti all'indagine condotta da Roenneberg e collaboratori (2012), utilizzava la sveglia per alzarsi nei giorni feriali, determinando una prematura interruzione del sonno (più marcata nei tipi serotini) che portava ad una condizione di privazione di sonno, compensata tramite un'estensione della durata del sonno nel corso del weekend. Poiché la differenza a livello di sleep timing tra giorni lavorativi e giorni festivi può richiamare alla mente la situazione di una persona che

intraprende un viaggio verso ovest il venerdì sera cambiando fuso orario (andando incontro ad un ritardo di fase) e torna indietro il lunedì mattina (facendo esperienza di un anticipo di fase), tale fenomeno, come illustrato in precedenza, prese il nome di social jetlag (Wittmann et al., 2006). I sintomi del jetlag sono dovuti al sistema circadiano disallineato e sono transitori, venendo meno quando l'orologio biologico si sincronizza con l'alternarsi ciclico di luce e buio; al contrario, le conseguenze del social jetlag si caratterizzano per essere croniche. Per ciò che riguarda più nel dettaglio la relazione tra social jetlag e obesità, Roenneberg e collaboratori (2012) hanno mostrato come il social jetlag risulti positivamente associato all'aumento ponderale nelle persone in sovrappeso.

L'ultimo lavoro pubblicato in riferimento al social jetlag (Kantermann et al., in stampa), ha indagato il rischio di arteriosclerosi in lavoratori a turno che seguivano una diversa rotazione (in avanti, all'indietro e turno diurno) ed approfondito la sua relazione con il social jetlag. Il campione esaminato era composto da 32 lavoratori a turno con rotazione in avanti, 30 lavoratori a turno con rotazione all'indietro e 15 lavoratori diurni; l'età media dei partecipanti allo studio era 42 ± 7.6 anni. I principali risultati hanno messo in luce una correlazione significativamente positiva tra il battito cardiaco, un marker del disturbo cardiovascolare, ed il social jetlag, indipendentemente dal tipo di turno.

Come evidenziato nel presente paragrafo, pochi studi hanno indagato gli effetti diretti del social jetlag. Tale condizione, benché presente nella maggioranza della popolazione (Roenneberg et al., 2012), non sempre determina l'insorgenza della malattia; si potrebbe ipotizzare che il social jetlag rappresenti una condizione di disagio

che, in presenza di determinati fattori scatenanti a livello biologico, psicologico e sociale (Engel, 1977), possa più facilmente predisporre l'individuo alla malattia.

2.4.1. Possibili rimedi al social jetlag in adolescenza

Per poter contrastare gli effetti negativi del social jetlag, potrebbero essere messi in campo due differenti tipi di intervento. Il primo intervento potrebbe concentrarsi su una modifica dei sincronizzatori sociali del ciclo sonno-veglia degli adolescenti, il più importante dei quali è rappresentato dall'orario di inizio delle attività scolastiche; nello specifico alcuni studi hanno sperimentato gli effetti del posticipare l'orario d'inizio delle lezioni su sonno e performance attentiva in studenti di scuola secondaria di secondo grado (vedi paragrafo 2.4.1.1). Tale interventi sono tuttavia difficilmente implementabili poiché richiedono una profonda riorganizzazione del sistema scolastico ed extra-scolastico (ad esempio modifiche agli orari dei mezzi di trasporto pubblico). Una seconda possibile soluzione consiste nell'intervenire sull'orologio biologico tramite, ad esempio, la somministrazione di luce, che è uno dei principali sincronizzatori ambientali del sistema circadiano. Il sistema circadiano, per funzionare efficacemente, necessita infatti di essere sincronizzato con l'alternarsi ciclico di luce e buio dell'ambiente. Nel paragrafo 2.4.1.2 sarà illustrato un dispositivo che potrebbe essere utilmente impiegato a tal fine.

2.4.1.1. Posticipare gli orari d'inizio delle attività scolastiche

Nell'anno 2002 Wahlstrom pubblicò i risultati di uno studio che indagava gli effetti del posticipo dell'ora di inizio delle lezioni in sette scuole secondarie di secondo grado, nel distretto scolastico di Minneapolis (USA). L'orario d'inizio, per il gruppo sperimentale (n=467), passò dalle ore 7:15 alle ore 8:40, mentre rimase invariato alle ore 7:15 per il gruppo di controllo (n=169). Gli studenti che presero parte a tale progetto, di età compresa tra i 14 e i 17 anni, compilarono la School Sleep Habits Survey (Carskadon et al., 1991), una batteria di questionari volta ad indagare le abitudini di sonno degli adolescenti, messa a punto dal gruppo coordinato da Mary Carskadon alla Brown University (Providence, RI, USA). Tra i principali risultati, fu possibile osservare una diminuzione di sonnolenza, depressione e percentuale di assenze scolastiche nel gruppo sperimentale rispetto al gruppo di controllo.

Dexter e colleghi (2003) misero a confronto studenti appartenenti a due istituti di scuola secondaria di secondo grado, con differenti orari d'inizio delle lezioni: ore 7:50 (n=242) e ore 8:35 (n=774). Gli studenti che iniziavano le lezioni più tardi riferirono di dormire di più (11.4 minuti di differenza, che risultò statisticamente significativa), mentre non si differenziarono dall'altro gruppo per ciò che riguardava la sonnolenza percepita.

Nell'anno 2010 Owens e collaboratori pubblicarono uno studio su un campione di 201 studenti dello stato del Rhode Island (USA), di età compresa tra 14 e 17 anni. In seguito al passaggio dell'ora d'inizio delle lezioni dalle ore 8 alle ore 8:30, gli studenti, che compilarono la School Sleep Habits Survey (Carskadon et al., 1991), riferirono un

aumento della durata del sonno e la diminuzione di sonnolenza diurna, stanchezza, umore depresso e del tasso di assenteismo scolastico.

Lufi e collaboratori (2011) valutarono gli effetti del posticipo dell'inizio delle lezioni di 1 ora, sui livelli attentivi di un campione di adolescenti Israeliani di 14 anni d'età (n=26) rispetto ad un gruppo di controllo che continuò ad andare a scuola alla stessa ora (n=21). Ai partecipanti alla ricerca furono fatti svolgere il Mathematics Continuous Performance Test e il d2 Test of Attention; inoltre, il ciclo sonno/veglia dei partecipanti allo studio fu monitorato tramite attigrafia. I risultati evidenziarono che i partecipanti all'indagine del gruppo sperimentale dormirono in media 55 minuti in più rispetto al gruppo di controllo e riportarono una migliore performance attentiva.

Recentemente, Vedaa e collaboratori (2012) hanno valutato gli effetti dell'inizio ritardato delle attività scolastiche nel gruppo sperimentale (n=55) (ore 9:30) rispetto ad un gruppo di controllo (n=51) (orario d'inizio fisso alle ore 8:30). Gli studenti Norvegesi svolsero un compito di tempi di reazione semplici e compilarono alcuni questionari relativi a sonnolenza, sonno e umore. Il gruppo sperimentale riportò una più estesa durata del sonno rispetto al gruppo di controllo ed una migliore performance al compito di tempi di reazione semplici.

Per ciò che riguarda la realtà Italiana, l'istituto tecnico economico "Mainetti" di Traversetolo (PR), nell'anno scolastico 2012/2013, ha deciso di sperimentare un orario scolastico differente, con inizio delle lezioni alle ore 9 (anziché alle ore 8) e fine alle ore 16:30 per cinque giorni alla settimana. Il liceo scientifico statale "Avogrado" di Biella ha programmato, per l'anno scolastico 2013/2014, l'attivazione di due classi prime che inizieranno le lezioni alle ore 10:15 (anziché alle ore 8:00) e le termineranno alle ore 16:30, con un intervallo di un'ora per la pausa pranzo.

Come evidenziato in precedenza, nonostante i benefici messi in luce dai precedenti studi, interventi di questo tipo vengono realizzati con estrema difficoltà poiché implicano una profonda ristrutturazione del sistema scolastico ed extra-scolastico.

2.4.1.2. Interventi sull'orologio biologico

Una seconda possibile soluzione, per limitare le conseguenze del social jetlag in adolescenza, consiste nell'intervenire sull'orologio biologico tramite, ad esempio, la somministrazione di luce. Infatti, anche se il sistema circadiano risulta determinato biologicamente, esso incorpora gli stimoli ambientali, in particolare quelli legati al ciclo luce/buio. La luce rappresenta dunque uno dei principali sincronizzatori ambientali del sistema circadiano che, per funzionare efficacemente, necessita di essere sincronizzato con l'alternarsi ciclico di luce e buio dell'ambiente.

E' noto come la luce eserciti numerosi effetti neurobiologici negli esseri umani, incluso la capacità di resettare il pacemaker circadiano endogeno (Boivin et al., 1996), aumentare la temperatura corporea (Dijk et al., 1991) e stimolare la produzione di cortisolo nelle prime ore del mattino (Scheer & Buijs, 1999). La luce è anche in grado di esercitare effetti attivanti/stimolanti, come evidenziato tramite la misurazione della sonnolenza soggettiva, il miglioramento in compiti di tempi di reazione e la riduzione di errori attentivi (Badia et al., 1991; Daurat et al., 1993; Lavoie et al. 2003). A proposito di luce, il simulatore d'alba, una lampada che emette luce in graduale aumento prima del risveglio, è in grado di ridurre la sintomatologia tipica del disturbo affettivo stagionale (DAS) di tipo inverno (Avery et al., 1993). Nello specifico gli autori

indagarono un campione di 22 pazienti affetti da DAS - tipo inverno che furono assegnati casualmente ad una di queste condizioni: 1) uso del simulatore per 1 settimana, con tempo di simulazione pari a 2 ore e massima intensità luminosa di 250 lux; 2) uso del simulatore per 1 settimana, con tempo di simulazione pari a 30 minuti e massima intensità luminosa di 0.2 lux. In seguito all'uso del simulatore d'alba, i pazienti appartenenti alla condizione 1 riportarono livelli significativamente inferiori di depressione rispetto a quelli della condizione 2. Avery e collaboratori nel 2001 pubblicarono un altro studio che confrontò gli effetti del simulatore d'alba (un'ora e mezzo di simulazione con massima intensità di 250 lux) e della terapia della luce (10.000 lux per 30 minuti di tempo) nel trattamento di 95 pazienti affetti da DAS; i principali risultati misero in luce che i pazienti trattati con il simulatore d'alba riportarono una maggiore remissione della sintomatologia rispetto a quelli trattati con la terapia della luce. Il gruppo coordinato da Avery pubblicò un nuovo lavoro, nell'anno 2002, che si concentrò su un aspetto specifico della sintomatologia depressiva stagionale, la difficoltà di risveglio al mattino. Cinquantacinque pazienti affetti da DAS, associato ad ipersonnia, furono assegnati casualmente alle seguenti condizioni: 1 settimana di simulatore d'alba (250 lux) oppure segnale placebo (0.2-2 lux). In seguito all'uso del simulatore d'alba, i pazienti riportarono livelli inferiori di sonnolenza e minori difficoltà di risveglio rispetto al gruppo assegnato alla condizione placebo.

Il simulatore d'alba è stato utilizzato da Fontana Gasio e collaboratori (2003) per il trattamento delle alterazioni del ciclo sonno/veglia in 13 pazienti affetti da demenza senile. Gli autori evidenziarono, nel gruppo sottoposto a trattamento, una diminuzione della latenza di addormentamento, dell'attività motoria notturna ed un aumento della durata del sonno, rispetto al gruppo di controllo.

Al di là dell'ambito patologico, la lampada che simula l'alba pare in grado di migliorare la qualità del sonno auto-riferita, così come evidenziato da Leppämäki e collaboratori (2003) che indagarono un campione di 100 volontari sani. Oltre a questo effetto sulla qualità del sonno, Thorn e collaboratori (2004) evidenziarono gli effetti del simulatore d'alba sulla produzione di cortisolo al risveglio e sul tono dell'umore, esaminando 12 partecipanti alla ricerca, sani. I partecipanti allo studio, nella condizione simulatore d'alba, furono esposti a luce in graduale aumento nei 30 minuti precedenti il risveglio, con l'intensità massima della luce pari a 250 lux; la produzione di cortisolo nei primi 45 minuti successivi al risveglio fu significativamente superiore rispetto alla condizione in cui gli stessi partecipanti non utilizzarono il dispositivo.

Recentemente il simulatore d'alba è stato impiegato con l'intento di ridurre le conseguenze negative della sleep inertia, uno stato fisiologico che segue il risveglio, caratterizzato da un calo dell'abilità motoria e dei livelli di vigilanza, che può interferire con la capacità di svolgere compiti fisici o mentali. Giménez e collaboratori (2010) hanno indagato un campione di 23 partecipanti (studenti universitari) che riferivano di aver bisogno di più di 60 minuti al mattino, dopo il risveglio, per sentirsi pienamente vigili. Dopo essere stati esposti per 2 settimane ad una simulazione dell'alba con intensità massima di 250 lux, i partecipanti alla ricerca riferirono una riduzione significativa delle lamentele legate alla sleep inertia rispetto alla condizione di controllo (0 lux per 2 settimane) e a quella con esposizione massima pari a 50 lux per 2 settimane (condizione intermedia). Tali risultati furono confermati da van de Werken e collaboratori (2010) che indagarono gli effetti dell'uso del simulatore d'alba (tempo di simulazione pari a 30 minuti, con intensità luminosa massima pari a 300 lux) sul dissiparsi della sleep inertia. Gli autori evidenziarono che, in seguito all'uso del

simulatore d'alba, la sonnolenza soggettiva diminuì significativamente così come aumentarono i livelli di vigilanza, rispetto alla condizione di controllo.

Oltre ad avere questo effetto attivante/stimolante, la lampada che simula l'alba è stata impiegata anche al fine di impedire il ritardo di fase, che si verifica spontaneamente, del pacemaker circadiano endogeno, poiché esso oscilla con un periodo leggermente superiore alle 24 ore. Nello specifico Danilenko e collaboratori (2000b) evidenziarono che l'uso del simulatore d'alba (6 giorni di utilizzo, valore medio dell'illuminazione pari a 155 lux, durata dell'esposizione di 1 ora e 30 minuti) impedì il ritardo di fase del ritmo di secrezione della melatonina e della temperatura corporea, in costanti condizioni di luce: il sistema circadiano rimase sincronizzato sulle 24 ore. Al contrario, i partecipanti allo studio nella condizione di controllo (illuminazione media pari a 0.1 lux, durata dell'esposizione di 1 ora e 30 minuti) manifestarono un ritardo di fase, dopo 6 giorni in costanti condizioni di luce. Danilenko e collaboratori (2000a) riportarono risultati simili, mostrando come l'uso del simulatore d'alba (massima intensità luminosa pari a 2.000 lux) fosse in grado di determinare un anticipo di fase del ritmo di secrezione della melatonina.

Recentemente Fromm e collaboratori (2011) hanno valutato gli effetti del simulatore d'alba sul benessere soggettivo e la qualità auto-riferita del risveglio, in una popolazione di bambini ed adolescenti Tedeschi. Il rationale per l'uso del simulatore d'alba in questa popolazione è la mancata sincronizzazione tra gli orologi biologici, che tendono al ritardo di fase nel corso dell'adolescenza (ad esempio Carskadon et al., 1993 e Tonetti et al., 2008b) e l'ora d'inizio della scuola, che rimane fissa, il così detto social jetlag (anche se gli autori non l'hanno mai citato esplicitamente). Fromm e collaboratori (2011) esaminarono un campione costituito da 103 bambini ed adolescenti, di età

compresa tra 7 e 18 anni. Metà partecipanti testò per primo il simulatore d'alba (per un totale di 7 giorni, tempo di simulazione pari a 30 minuti ed intensità luminosa scelta dagli stessi partecipanti) ed in seguito partecipò alla condizione di controllo (7 giorni senza simulatore). La restante metà del campione partecipò per primo alla condizione di controllo ed in seguito testò il simulatore d'alba. I partecipanti all'indagine compilarono un diario del sonno e risposero a domande inerenti la facilità di risveglio e i livelli di vigilanza. I principali risultati evidenziarono che, nella settimana sperimentale, i partecipanti allo studio si percepirono più vigili nel corso delle lezioni e riferirono una maggiore facilità di risveglio rispetto alla condizione di controllo. Fromm e collaboratori (2011) conclusero il loro lavoro suggerendo alcune caratteristiche che i futuri studi avrebbero dovuto implementare: 1) durata più lunga della ricerca; 2) misure più dirette della qualità del sonno e della vigilanza (ad esempio valutata tramite compiti di tempi di reazione) durante le settimane di scuola; 3) possibilità di utilizzare, nella condizione di controllo, uno strumento diverso dal simulatore d'alba.

3. Obiettivi della ricerca

Come evidenziato in precedenza (vedi paragrafo 2.4), il social jetlag è determinato da una mancata sincronizzazione tra gli orologi biologici e gli orologi sociali; recenti dati epidemiologici mostrano come tale sfasamento sia presente nella maggioranza della popolazione (Roenneberg et al., 2012), con entità diversa. Tale entità risulta massima nel corso dell'adolescenza poiché, durante questo stadio evolutivo, si manifesta un biologico ritardo di fase del ciclo sonno-veglia, che determina un posticipo

degli orari di addormentamento e di risveglio (orologio biologico), mentre, in parallelo, l'orario d'inizio delle lezioni scolastiche (orologio sociale) rimane invariato. Nonostante il fatto che l'inizio del ritardo di fase si manifesti attorno ai 12-13 anni di età in adolescenti di culture diverse (ad esempio Caci et al., 2005 e Ishihara et al., 1990), facendo ipotizzare che i fattori biologici giochino un ruolo primario in tale spostamento di fase, non si può trascurare il potenziale ruolo aggiuntivo svolto da fattori psicosociali (Randler et al., 2009). Ad esempio, gli adolescenti potrebbero posticipare l'orario di addormentamento per rivendicare una condizione di autonomia dalla coppia genitoriale; inoltre, la sempre maggiore disponibilità di dispositivi elettronici (ad esempio il computer, il telefono cellulare), accompagnata da un incremento del loro utilizzo, è stata costantemente messa in relazione con un ritardo dell'ora di addormentamento in bambini ed adolescenti (per una rassegna della letteratura vedi Cain & Gradisar, 2010).

Una delle conseguenze principali del social jetlag in adolescenza è la deprivazione di sonno (Loessl et al., 2008), che è stata messa in relazione con: scarsa performance scolastica (Dewald et al., 2010), peggioramento del tono dell'umore (Talbot et al., 2010), sonnolenza (Dewald et al., 2010) ed obesità (Garaulet et al., 2011). Inoltre, il social jetlag è stato messo direttamente in relazione con l'aumento del consumo di sigarette, alcool e bevande a base di caffeina (Wittmann et al., 2006), con un incremento del rischio per il manifestarsi di una condizione depressiva (Levandovski et al., 2011), con l'aumento ponderale in persone in sovrappeso (Roenneberg et al., 2012) e con l'aumento del battito cardiaco, marker del disturbo cardiovascolare (Kantermann et al., in stampa).

Come discusso nel paragrafo 2.4.1.2, la luce è uno dei principali sincronizzatori ambientali del sistema circadiano ed è in grado di determinare effetti attivanti/stimolanti

ed anti-depressivi. Il simulatore d'alba, dispositivo che emette luce in graduale aumento prima del risveglio, è in grado di ridurre la sintomatologia depressiva stagionale (Avery et al., 2001), migliora la qualità del risveglio in questi pazienti (Avery et al., 2002), aumentando anche i livelli di energia. Inoltre il simulatore d'alba è stato utilizzato anche in ambito non clinico, determinando una riduzione delle conseguenze della sleep inertia (Giménez et al., 2010; van de Werken et al., 2010), un miglioramento della facilità di risveglio (Fromm et al., 2011), un aumento dei livelli di vigilanza (van de Werken et al., 2010), del benessere auto-riferito (Fromm et al., 2011) ed un miglioramento della qualità percepita del sonno (Leppämäki et al., 2003).

Considerando tali proprietà e le cause del social jetlag in adolescenza, il simulatore d'alba potrebbe essere utilmente impiegato in una popolazione di adolescenti, per cercare di ridurre alcuni degli esiti del social jetlag, tramite una migliore sincronizzazione del loro sistema circadiano all'alternarsi ciclico di luce e buio dell'ambiente. Inoltre, i lavori di Danilenko e collaboratori (2000a,b) hanno evidenziato che la somministrazione della luce al mattino, tramite il simulatore d'alba, è in grado di determinare un anticipo della fase di alcuni ritmi circadiani e potrebbe dunque essere utilmente impiegata al fine di contrastare il biologico ritardo di fase del ciclo sonno/veglia che si manifesta in adolescenza. Tuttavia è opportuno evidenziare come nel presente lavoro verrà fatto un uso non clinico della luce, che si differenzia dagli studi di Danilenko e collaboratori (2000 a,b) sia per durata che per intensità della stimolazione luminosa (vedi paragrafo 4.2.1); in base a tale considerazione, è necessario esprimere cautela rispetto ad un possibile effetto della stimolazione luminosa a bassa intensità e durata, sulla fase del ciclo sonno/veglia, che sarà sottoposto a verifica nel presente studio.

L'obiettivo del presente progetto di ricerca è determinare se l'utilizzo non clinico del simulatore d'alba, basato su specifiche conoscenze cronobiologiche, possa ridurre alcune delle conseguenze del social jetlag, in studenti di scuola secondaria di secondo grado. Nello specifico, saranno valutati gli effetti del simulatore d'alba su tono dell'umore (valutato soggettivamente), livelli di attivazione (valutati soggettivamente), qualità/quantità di sonno (valutate oggettivamente e soggettivamente), architettura del sonno (valutata oggettivamente) ed efficienza dei tre network attentivi (alerting, orienting ed executive), secondo il modello di Posner e Petersen (1990) (valutata oggettivamente).

Se la lampada che simula l'alba dovesse rivelarsi un efficace dispositivo per la riduzione di alcune conseguenze del social jetlag, da una parte potremmo attenderci un miglioramento di tono dell'umore ed efficienza dei network attentivi e dall'altra un aumento di quantità/qualità di sonno e livelli di attivazione, in seguito al suo utilizzo. Inoltre, sarà verificata l'eventuale presenza di un anticipo di fase del ciclo sonno/veglia, in seguito alla somministrazione della luce, tramite il simulatore d'alba, nei minuti precedenti il risveglio.

Il presente lavoro di ricerca può essere considerato il proseguimento dell'unico lavoro, ad oggi pubblicato, sull'utilizzo del simulatore d'alba in una popolazione di adolescenti (Fromm et al., 2011). Rispetto al lavoro di Fromm e collaboratori (2011), il presente progetto di ricerca si caratterizza per una più lunga durata del disegno di ricerca (5 settimane rispetto alle 2 dei ricercatori Tedeschi) e per la presenza delle valutazioni oggettive di qualità/quantità di sonno ed efficienza del sistema attenzionale, che erano assenti nel precedente studio.

4. Materiali e metodi

4.1. Partecipanti

In totale hanno preso parte alla ricerca 56 adolescenti (24 femmine e 32 maschi) frequentanti due istituti di scuola secondaria di secondo grado, nella città di Cesena: il liceo classico statale “Vincenzo Monti” e il liceo scientifico statale “Augusto Righi”. L’età media dei partecipanti allo studio era di 17.68 ± 0.97 anni, con un range d’età che andava da un minimo di 15 ad un massimo di 20 anni (moda e mediana pari a 18 anni). L’età media delle femmine (17.56 ± 1.06) non era significativamente differente da quella dei maschi (17.84 ± 0.88) ($t_{54} = -1.48$; $p = 0.14$). Inoltre, come illustrato in Tabella 1, la distribuzione di maschi e femmine all’interno delle diverse fasce d’età prese in esame, non è risultata significativamente differente ($\chi^2_5 = 9.73$; $p = 0.08$).

Tabella 1 – Distribuzione dei maschi e delle femmine all’interno delle diverse fasce d’età. In tabella sono riportati i numeri grezzi e le percentuali di riga.

Genere/Età	15	16	17	18	19	20	Totale
Femmine	0 0%	7 29.16%	1 4.17%	15 62.50%	0 0%	1 4.17%	24 100%
Maschi	1 3.13%	3 9.37%	0 0%	24 75%	4 12.50%	0 0%	32 100%
Totale	1 1.79%	10 17.86%	1 1.79%	39 69.63%	4 7.14%	1 1.79%	56 100%

Il presente progetto di ricerca fu approvato dalla Commissione Etica del Dipartimento di Psicologia dell’Università di Bologna (protocollo numero 512 del 17/12/2010) e fu in seguito presentato ai dirigenti scolastici del liceo classico statale “Vincenzo Monti” e del liceo scientifico statale “Augusto Righi” di Cesena. Una volta

ottenuta la loro approvazione preliminare, il progetto fu presentato ad alcuni docenti che, per le materie di insegnamento, potevano essere interessati allo studio. In seguito alla presentazione ed approvazione del progetto in sede di consiglio d'istituto e di classe, la ricerca fu presentata agli studenti e ai loro genitori, che furono chiamati ad esprimersi in merito ad una loro eventuale partecipazione allo studio. Tutti gli studenti a cui fu proposto di partecipare (n=56) diedero la loro adesione. I partecipanti maggiorenni diedero il consenso informato scritto prima della partecipazione alla ricerca; nel caso degli studenti minorenni, i genitori fornirono il consenso scritto alla partecipazione dei loro figli allo studio.

La prima tranche della ricerca si è svolta da Novembre 2011 a Dicembre 2011, indagando un campione di 20 studenti (12 femmine e 8 maschi), con età media pari a 16.85 ± 1.09 anni (range d'età da un minimo di 15 ad un massimo di 18 anni). La seconda parte della ricerca ha avuto inizio nel mese di Gennaio 2012 ed è terminata a Febbraio 2012, prendendo in esame un campione composto da 20 adolescenti (8 femmine e 12 maschi), di età media pari a 18.20 ± 0.52 anni (range d'età tra 18 e 20 anni). Infine, l'ultima parte dello studio si è svolta da Novembre a Dicembre 2012, analizzando un totale di 16 studenti (4 femmine e 12 maschi), con età media di 18.06 ± 0.44 anni, che andava da un minimo di 17 ad un massimo di 19 anni.

Come evidenziato nella Premessa (capitolo 1), la presente ricerca, indagando gli effetti della somministrazione della luce sul benessere, si è potuta svolgere solo nella stagione autunnale degli anni 2011 e 2012 ed invernale del 2012, per massimizzarne gli esiti. Inoltre, è stato necessario suddividere lo studio in più parti, per la mancanza della numerosità necessaria di strumenti, affinché la ricerca potesse aver luogo in un'unica tranche.

4.2. Materiali

4.2.1. Simulatore d'alba

I partecipanti alla ricerca hanno utilizzato il simulatore d'alba, nello specifico il modello Wake-Up Light HF3485/01 (Figura 1) (Philips, Netherlands). Tale dispositivo emette luce in graduale aumento, prima del risveglio. La lampada simula il sorgere del sole, da un minimo di 20 ad un massimo di 40 minuti, che precedono l'ora del risveglio fissata dalla persona. Inoltre, è possibile impostare l'intensità luminosa del sorgere del sole, da un livello minimo di 0 (0 lux) ad uno massimo di 20 (250 lux); il livello massimo viene raggiunto al termine del tempo di simulazione dell'alba stabilito. La lampada inserita all'interno del simulatore d'alba era una lampada alogena Philips 100 W, 12 V, GY6.35, la cui durata prevista è superiore alle 4.000 ore. Le dimensioni del simulatore d'alba sono 25.2 cm di altezza e 17 cm di diametro, con peso di 1.45 Kg.

Nel corso della ricerca, i partecipanti allo studio furono istruiti su come utilizzare correttamente il simulatore d'alba e gli fu comunicato di fissare i seguenti parametri: tempo di simulazione dell'alba pari a 20 minuti ed intensità luminosa a livello 20 (250 lux alla fine della simulazione del sorgere del sole). Agli studenti fu chiesto di appoggiare il simulatore d'alba sul comodino, all'altezza della testa, ad una distanza di circa 40-50 cm dal volto; inoltre, gli fu domandato di verificare che l'apparecchio fosse posizionato ad un'altezza tale che la luce non fosse ostacolata dal letto, dal piumone o dal cuscino. Ai partecipanti all'indagine fu lasciata libera scelta per

ciò che riguardava la suoneria della sveglia, che, se fissata, si attivava solo al termine dei 20 minuti di simulazione dell'alba.



Figura 1 – Simulatore d'alba, modello Wake-Up Light HF3485/01 (Philips, Netherlands), utilizzato nello studio.

4.2.2. Attigrafia

I partecipanti alla prima (autunno 2011) e seconda (inverno 2012) tranche di ricerca hanno utilizzato l'attigrafo Actiwatch[®] (AW-64) (Figura 2) (Cambridge Neurotechnology Ltd), mentre i partecipanti all'ultima parte dello studio (autunno 2012) hanno indossato l'attigrafo Micro Motionlogger[®] Watch (MMW) (Figura 3) (Ambulatory Monitoring, Inc., Adrsley, NY).



Figura 2 – Attigrafo AW-64 (Cambridge Neurotechnology Ltd) impiegato nello studio.



Figura 3 – Attigrafo MMW (Ambulatory Monitoring, Inc., Adrsley, NY) utilizzato nella ricerca.

L'attigrafo è un dispositivo della grandezza simile a quella di un orologio da polso, che i partecipanti allo studio hanno indossato al polso della mano non dominante. Tale strumento è dotato, al suo interno, di un accelerometro che permette di registrare i dati relativi all'attività motoria che, trasformati tramite appositi algoritmi, forniscono

informazioni relative al ciclo sonno/veglia. L'attigrafo viene comunemente utilizzato per il monitoraggio protratto del ciclo sonno/veglia e ha il vantaggio di essere uno strumento ecologico, poiché permette ai partecipanti di dormire nelle proprie abitazioni, a differenza della polisonnografia che, pur rimanendo il gold standard per la misurazione del sonno, implica costi maggiori rispetto a quelli richiesti dall'attigrafia ed una minore validità ecologica. Per tale motivo, quando non è necessaria la valutazione dell'architettura del sonno oppure quando il sonno deve essere valutato sul lungo periodo, l'attigrafia è in grado di fornire misurazione oggettive attendibili dei pattern di sonno, nell'ambiente in cui le persone vivono (Ancoli-Israel et al., 2003). L'ultimo aggiornamento disponibile sui parametri pratici relativi all'uso dell'attigrafia nella valutazione del sonno (Morgenthaler et al., 2007), ha mostrato come l'attigrafo possa fornire una valutazione accurata dei pattern di sonno in persone sane e in coloro che si pensa che possano soffrire di un qualche disturbo del sonno. Inoltre, una recente rassegna pubblicata da Van de Water e collaboratori (2011) ha evidenziato come, nonostante siano stati sviluppati diversi metodi alternativi alla polisonnografia per la valutazione oggettiva del sonno a casa delle persone, l'attigrafia rimanga, a tal fine, il metodo maggiormente valido ed attendibile.

L'attigrafo AW-64 fu inizializzato per registrare i dati in epoche della durata di 1 minuto e tali dati furono analizzati tramite la versione 5.32 del programma Actiwatch Activity & Sleep Analysis 5[®] (Cambridge Neurotechnology Ltd). L'identificazione di ciascuna epoca come sonno o veglia era basata sul modello matematico realizzato e validato da Oakley (1997). Secondo tale modello, si era in presenza di sonno quando il conteggio totale dell'attività (A) era uguale o inferiore al livello soglia dell'attività, in accordo alla seguente formula: $A = a_n 2(1/25) + a_{n-1}(1/5) + a + a_1(1/5) + a_2(1/25)$. a_n e a_{n-1}

rappresentavano l'attività totale nei due precedenti minuti, a corrispondeva all'attività nell'epoca presa in esame, mentre a1 e a2 indicavano l'attività motoria nei due successivi minuti. Il ricercatore, prima di procedere allo scoring del tracciato attigrafico dell'AW-64, poteva stabilire il livello soglia di sensibilità alla veglia, scegliendo tra quattro opzioni: alto (conteggio totale dell'attività pari a 20 per epoca), medio (conteggio totale dell'attività pari a 40 per epoca), basso (conteggio totale dell'attività pari a 80 per epoca) e automatico [(attività totale nel periodo di sonno/numero di epoche diverse da zero) * (40/45) * (1/durata dell'epoca)]. In base ai risultati dello studio di Tonetti e collaboratori (2008c) che mostrarono, in un campione di giovani adulti sani, come la performance dell'AW-64 fosse più simile a quella della polisonnografia quando la soglia di sensibilità alla veglia era settata al livello basso, nella presente ricerca si è optato per analizzare i tracciati attigrafici utilizzando tale livello.

L'attigrafo MMW fu inizializzato tramite il software Watchware[®] (versione 1.94.0.0), per registrare i dati dell'attività motoria in modalità zero crossing e registrò tali dati in epoche della durata di 1 minuto. Tale attigrafo, a differenza dell'AW-64, è dotato di un sensore per la luce ambientale, in grado di registrare le variazioni dell'intensità luminosa nell'ambiente circostante. Inoltre, l'attigrafo MMW dispone di un sensore per registrare la temperatura del *case*; un rapido incremento della temperatura del *case* risultava associato al momento in cui i partecipanti indossavano l'attigrafo, mentre un rapido decremento di questo parametro era indice del fatto che gli studenti si erano tolti tale dispositivo. Le informazioni fornite dalla temperatura del *case* sono state utilmente impiegate nella fase di scoring del tracciato attigrafico. I dati dell'attigrafo MMW sono stati analizzati tramite il programma Action W-2[®], versione 2.7.1 (Ambulatory Monitoring, Inc., Adrsley, NY). Tale programma ha identificato

ciascuna epoca come sonno oppure veglia, usando il modello matematico validato da Cole e Kripke (1988) e da Cole e collaboratori (1992). Questo algoritmo calcolava una somma pesata dell'attività nella presente epoca, nelle quattro precedenti epoche e nelle successive due epoche, in accordo alla seguente formula: $S = 0.0033 (1.06a_n4 + 0.54a_n3 + 0.58a_n2 + 0.76a_n1 + 2.3a_0 + 0.74a_1 + 0.67a_2)$. A_n4 , a_n3 , a_n2 e a_n1 rappresentavano il conteggio totale dell'attività nei precedenti quattro minuti, a_0 corrispondeva all'attività totale nell'epoca presa in esame, mentre a_1 e a_2 indicavano il conteggio totale dell'attività nei successivi due minuti. Quando S era inferiore a 1, il minuto preso in esame veniva identificato come sonno.

Ai partecipanti alla ricerca fu chiesto di premere il pulsante marca-eventi, che si trova sulla superficie dell'attigrafo, per segnalare l'ora in cui andavano a letto e l'ora in cui si alzavano da letto.

Nella presente ricerca, furono analizzati i seguenti parametri attigrafici: ora in cui la persona andava a letto (*bedtime*), ora in cui si alzava da letto (*get up time*), tempo totale trascorso a letto (intervallo compreso tra il momento in cui la persona andava a letto ed il momento in cui si alzava da letto, espresso in minuti) (*time in bed*, TIB), midpoint of sleep [$((\text{get up time} + 24) - (\text{bed time})) / 2 + (\text{bed time})$], social jetlag (differenza tra il midpoint of sleep nei giorni festivi ed il midpoint of sleep nei giorni di scuola), latenza di addormentamento (intervallo in minuti tra il momento in cui la persona andava a letto ed il momento in cui iniziava a dormire) (*sleep onset latency*, SOL), tempo totale di sonno (somma, in minuti, di tutte le epoche di sonno tra l'inizio del sonno ed il momento in cui la persona si alzava da letto) (*total sleep time*, TST), veglia infra-sonno (somma, in minuti, di tutte le epoche di veglia tra l'inizio del sonno ed il momento in cui la persona si alzava da letto) (*wake after sleep onset*, WASO),

efficienza del sonno (rapporto tra tempo totale di sonno e tempo trascorso a letto, moltiplicato per 100) (*sleep efficiency*, SE), attività motoria notturna (numero medio di movimenti, in epoche della durata di 1 minuto, nel corso del periodo di sonno) (*mean activity score*, MAS), attività motoria diurna (numero medio di movimenti, in epoche della durata di 1 minuto, nel corso del periodo di veglia) (*average wake movement*, AWM) e numero di risvegli (calcolati tra l'inizio del sonno ed il momento in cui la persona si alzava da letto) (*wake bouts*, WB).

Inoltre, è stata calcolata l'attività motoria media oraria (numero medio di movimenti in epoche della durata di 1 minuto, in un'ora di registrazione, indipendentemente dalla presenza del sonno) al fine di definire la sua variazione nell'arco delle 24 ore (pattern circadiano). Tali dati sono stati ricavati tramite l'utilizzo del software Action4[®], versione 1.16 (Ambulatory Monitoring, Inc., Adrsley, NY).

In riferimento all'attigrafo MMW, sono stati esaminati anche i valori medi dell'intensità luminosa ambientale, registrati tramite l'apposito sensore di cui questo attigrafo è dotato, nei 20 minuti precedenti l'ora della sveglia fissata dai partecipanti, per verificare l'effettivo utilizzo del simulatore d'alba.

4.2.3. Strumento wireless per il monitoraggio elettroencefalografico del sonno (Zeo[®])

I partecipanti allo studio hanno indossato un dispositivo wireless per il monitoraggio elettroencefalografico del sonno, Zeo[®] (Zeo, Inc., Newton, MA) (Figura 4) (Shambroom et al., 2012), che ha permesso di determinare l'architettura del sonno.



Figura 4 – Immagine del dispositivo wireless per il monitoraggio elettroencefalografico del sonno, Zeo[®] (Zeo, Inc., Newton, MA), che è stato utilizzato dai partecipanti alla ricerca.

Zeo[®] utilizza un singolo elettrodo a secco bipolare, integrato all'interno di una fascetta elastica, che i partecipanti dovevano indossare sulla fronte; tale fascetta trasmetteva i dati del sonno in modalità wireless alla base di Zeo[®] (solitamente collocata sul comodino, vicino al letto sul quale la persona dormiva) all'interno della quale tali dati venivano analizzati in tempo reale, tramite un apposito algoritmo. Tale dispositivo utilizza tre puntali in argento per registrare un singolo segnale elettrico composto da attività cerebrale, tono muscolare e movimento oculare. Il segnale elettrico registrato è molto piccolo (5-100 microvolt), con frequenza di campionamento di 128 Hz; di seguito, vengono estratte specifiche caratteristiche del segnale utilizzando tecniche di analisi del segnale come la trasformazione di Fast Fourier. Tali caratteristiche del segnale, spesso associate a diversi stadi del sonno, vengono trasmesse alla base di Zeo[®], al cui interno è presente un microprocessore che determina, analizzando il segnale ricevuto, lo stadio del sonno, tramite un apposito algoritmo. Tale algoritmo assegna lo stadio di veglia oppure uno dei tre stadi del sonno (sonno leggero - stadio 1 e 2,

profondo - stadio 3 e 4, e REM) ad ogni due secondi di dati. Tali dati vengono di seguito riassunti in epoche della durata di 30 secondi.

Per poter verificare la validità ed attendibilità di Zeo[®] nel monitoraggio a lungo termine del sonno, a casa dei partecipanti, la sua performance è stata messa a confronto con quella dell'attigrafia (Tonetti et al., 2013). Nel corso dello studio, diciannove volontari sani (9 femmine; range d'età=22-63 anni) dormirono nelle loro abitazioni indossando in contemporanea Zeo[®] e l'attigrafo AW-64. Gli autori evidenziarono che Zeo[®] sovrastimava la latenza di addormentamento e la veglia infra-sonno rispetto all'attigrafo e sottostimava il tempo totale di sonno e l'efficienza del sonno. Tali risultati erano in linea con quelli di precedenti studi che misero a confronto la polisonnografia (il gold standard per la valutazione del sonno) con l'attigrafia (de Souza et al., 2003; Tonetti et al., 2008c), evidenziando come la performance di Zeo[®] fosse più simile a quella della polisonnografia rispetto a quella dell'attigrafia.

La performance di Zeo[®] è stata messa direttamente a confronto anche con quella della polisonnografia da Shambroom e collaboratori (2012), che hanno evidenziato complessivamente un funzionamento di Zeo[®] simile a quello della polisonnografia, in adulti sani. Un altro studio (Tonetti et al., inviato per la pubblicazione) ha validato Zeo[®], tramite un confronto con una concorrente registrazione polisonnografica, in 17 giovani adulti sani. I principali risultati hanno evidenziato come la sensibilità di Zeo[®] fosse alta (97.6%), indicando una buona capacità di tale dispositivo di individuare la presenza del sonno quando per la polisonnografia la persona stava dormendo; tale sensibilità era simile a quella dell'attigrafia, il metodo alternativo alla polisonnografia più usato e validato per il monitoraggio a lungo termine del sonno (Van de Water et al., 2011). Tuttavia la specificità di Zeo[®] (ovvero la sua capacità di individuare la presenza

della veglia, quando per la polisonnografia la persona era sveglia) era bassa (56.1%), ma al tempo stesso più alta di quella dell'attigrafia (ad esempio, 44% nel lavoro di de Souza et al., 2003), facendo ipotizzare che Zeo[®] occupi una posizione intermedia tra il gold standard (polisonnografia) e l'attigrafia. Inoltre è opportuno evidenziare come Zeo[®], rispetto all'attigrafia, presenti il rilevante vantaggio di poter determinare l'architettura del sonno.

Nella presente ricerca, i parametri del sonno ricavati da Zeo[®], che sono stati analizzati, erano i seguenti: latenza di addormentamento (intervallo in minuti tra il momento in cui la persona andava a letto ed il momento in cui iniziava a dormire) (*sleep onset latency*, SOL), tempo totale di sonno (somma, in minuti, di tutte le epoche di sonno tra l'inizio del sonno ed il momento in cui la persona si alzava da letto) (*total sleep time*, TST), veglia infra-sonno (somma, in minuti, di tutte le epoche di veglia tra l'inizio del sonno ed il momento in cui la persona si alzava da letto) (*wake after sleep onset*, WASO), efficienza del sonno (rapporto tra tempo totale di sonno e tempo trascorso a letto, moltiplicato per 100) (*sleep efficiency*, SE), numero di risvegli (calcolati tra l'inizio del sonno ed il momento in cui la persona si alzava da letto) (*wake bouts*, WB). Tale dispositivo ha permesso inoltre di valutare l'architettura del sonno, ricavando i seguenti parametri: sonno leggero (somma, in minuti, di tutte le epoche di sonno leggero) (*light sleep*), sonno profondo (somma, in minuti, di tutte le epoche di sonno profondo) (*deep sleep*) e sonno REM (somma, in minuti, di tutte le epoche di sonno REM) (*REM sleep*).

4.2.4. Attention Network Test (ANT)

I partecipanti alla ricerca hanno svolto, al computer, il compito dell'Attention Network Test (ANT) (Fan et al., 2002). Tale compito è stato messo a punto con l'obiettivo di valutare il modello dell'attenzione descritto da Posner e Petersen (1990). Secondo tale modello, le sorgenti dell'attenzione possono essere localizzate in specifiche aree anatomiche distinte, che possono essere ulteriormente suddivise in tre network attentivi isolabili: alerting, orienting ed executive. Questi network vengono definiti in base ad aspetti anatomici e funzionali, attraverso una corrispondenza tra le aree di attivazione nel cervello e la performance in compiti attentivi che misurano differenti funzioni dell'attenzione.

L>alerting si riferisce a cambiamenti nello stato mentale e fisiologico, determinati dalla presentazione di un segnale che fornisce informazioni rilevanti per il compito (Posner, 1978), così come alla capacità di raggiungere e mantenere uno stato di allerta. Tale network è stato messo in relazione con l'attivazione dell'emisfero destro e delle aree talamiche (Sturm & Willmes, 2001).

L'orienting fa riferimento all'orientamento dell'attenzione verso una fonte di segnali nello spazio ed è stato associato alle aree dei lobi parietali e al talamo (Posner & Raichle, 1994).

L'executive riguarda infine la risoluzione di conflitti, il controllo sulla presa di decisione, l'individuazione di errori e l'inibizione di risposte abituali; tale network è stato messo in relazione con l'attivazione della corteccia cingolata anteriore e della corteccia prefrontale laterale (Bush et al., 2000).

L'ANT risulta da una combinazione del *cued reaction time task* (Posner, 1980) e del *flanker task* (Eriksen & Eriksen, 1974). In ciascun trial, diversi tipi di cue (un asterisco) precedono la comparsa di una freccia al centro dello schermo (il target), orientata verso sinistra oppure verso destra, che è spesso accompagnata dalla presenza di distrattori. Il compito dei partecipanti era quello di mantenere lo sguardo sul punto di fissazione (una croce) che compariva al centro dello schermo; essi dovevano premere il più velocemente ed accuratamente possibile il tasto Q, con l'indice della mano sinistra, se ritenevano che la freccia centrale fosse orientata a sinistra. Al contrario, dovevano premere il più velocemente ed accuratamente possibile il tasto P, con l'indice della mano destra, se ritenevano che la freccia centrale fosse orientata a destra. I quattro cue che potevano precedere la comparsa del target erano: double cue (presentazione in contemporanea di un asterisco sopra e sotto il punto di fissazione), spatial cue (viene presentato un unico asterisco, al di sopra o al di sotto del punto di fissazione, che anticipa la comparsa del target), no cue (il target non è preceduto da alcun cue) e center cue (l'asterisco compare sul punto di fissazione) (vedi Figura 5a). I distrattori che accompagnavano la presentazione del target potevano essere orientati verso destra o sinistra, creando tre condizioni (vedi Figura 5b): congruente (il target è affiancato da frecce che vanno nella stessa direzione), incongruente (il target è accompagnato da frecce che vanno in direzione opposta) e neutro (il target è affiancato da due linee alla sua sinistra e destra) (vedi Figura 5b). In Figura 5c, viene riportato un esempio della procedura.

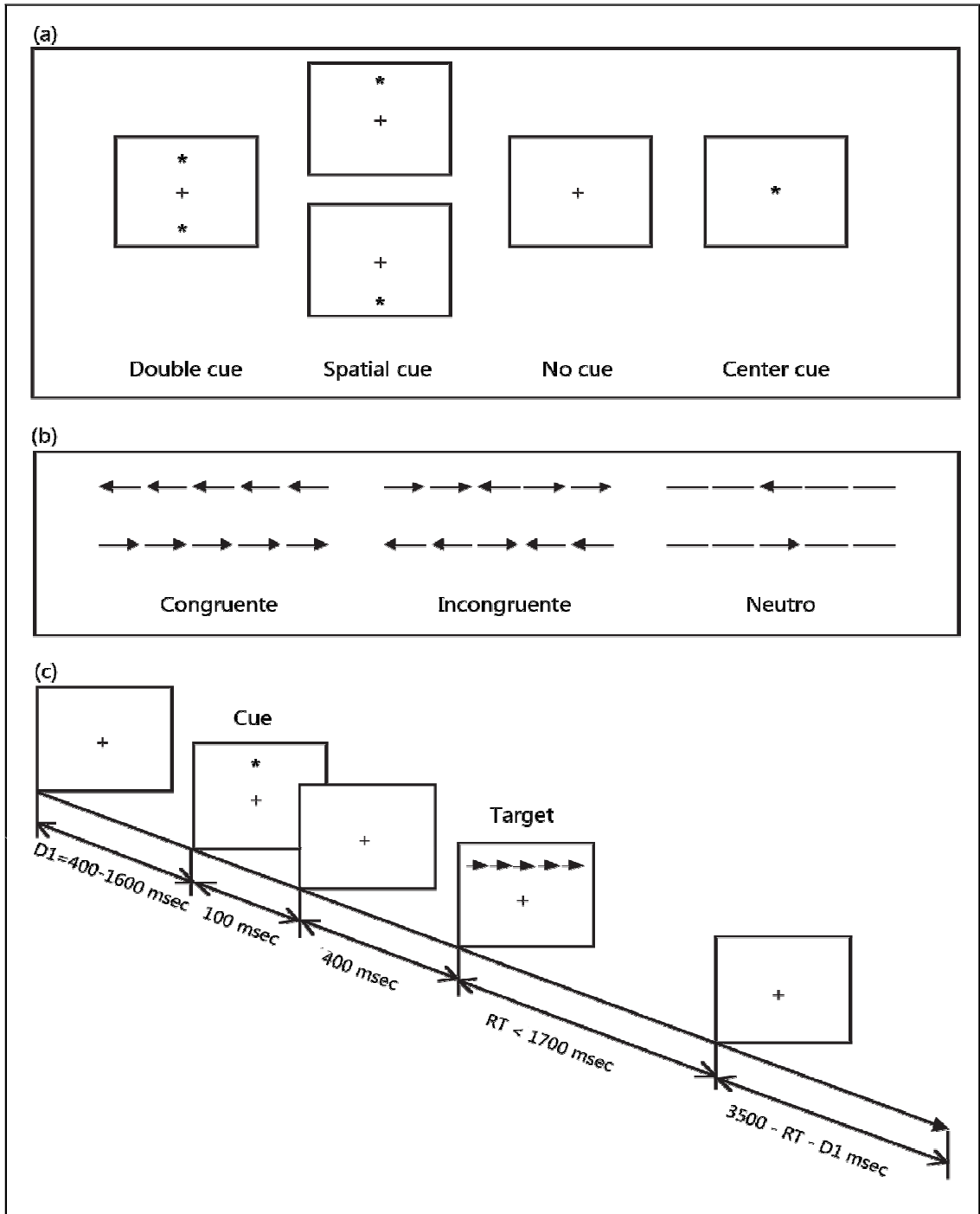


Figura 5 – Procedura sperimentale dell'Attention Network Test, tratta e adattata da Fan e collaboratori (2002). a) rappresentazione grafica delle quattro condizioni cue; b) rappresentazione grafica dei sei stimoli usati nell'esperimento; c) un esempio di procedura.

L'efficienza dell>alerting network si calcola in base alla differenza tra i tempi di reazione in condizione no cue ed i tempi di reazione in condizione double cue, mentre

l'efficienza dell'orienting network è data dalla differenza tra i tempi di reazione in condizione center cue ed i tempi di reazione in condizione spatial cue. Infine, per poter calcolare l'efficienza dell'executive network, si devono sottrarre i tempi di reazione in condizione congruente, dai tempi di reazione in condizione incongruente. Nella presente ricerca, si è proceduto al calcolo dell'efficienza dei tre network attentivi e dell'accuratezza globale, espressa come numero di risposte corrette, in termini percentuali, indipendentemente dalla condizione testata. Inoltre, sono stati anche presi in esame i tempi di reazione complessivi, a prescindere dal network attentivo esaminato.

I punti di forza dell'ANT, che hanno portato alla sua scelta, nel presente studio, quale test per la valutazione oggettiva della performance attentiva, sono il fatto che sia semplice, di breve durata ed in grado di misurare in maniera attendibile ciascun network (Fan et al., 2002). Inoltre, è stato osservato come l'ANT possa essere utilmente impiegato anche in caso di misurazioni ripetute, essendo scarsamente sensibile all'effetto apprendimento (Ishigami & Klein, 2010, 2011).

4.2.5. Questionari

4.2.5.1. Mini Sleep Questionnaire (MSQ)

I partecipanti all'indagine hanno compilato la versione Italiana (Fabbri et al., 2006) del Mini Sleep Questionnaire (MSQ) (Zomer et al., 1985) per valutare la qualità percepita del ciclo sonno/veglia. Tale questionario è composto da 10 domande su scala Likert a 7 punti (1 corrisponde a "sempre", 7 a "mai"), che fanno riferimento all'ultima settimana. L'MSQ include due fattori principali: sonno e veglia. Il fattore sonno

dell'MSQ è formato da 6 domande, con punteggi che variano da un minimo di 6 ad un massimo di 42, che indagano la frequenza percepita dei seguenti aspetti: difficoltà ad addormentarsi, risveglio mattutino precoce, uso di sonniferi, russare nel corso della notte, risvegli notturni e sonno non ristoratore. Il fattore veglia dell'MSQ è formato da 4 domande, con punteggi che vanno da un minimo di 4 ad un massimo di 28, che approfondiscono la frequenza con cui le persone percepiscono i seguenti sintomi: sonnolenza diurna, sensazione di stanchezza al risveglio mattutino, mal di testa dopo il risveglio mattutino e stanchezza prolungata senza una specifica ragione. Punteggi più alti al fattore sonno e veglia dell'MSQ, corrispondono ad una più alta qualità percepita di sonno e veglia. Inoltre la versione Italiana dell'MSQ (Fabbri et al., 2006) prevede i seguenti criteri di cut-off per discriminare, da una parte, una buona qualità del sonno da una cattiva qualità del sonno e, dall'altra, una buona qualità della veglia da una cattiva qualità della veglia: punteggi più alti di 27 indicano una buona qualità del sonno, mentre punteggi più alti di 14 evidenziano una buona qualità della veglia

4.2.5.2. Diario del sonno

I partecipanti allo studio hanno inoltre compilato, al mattino, il diario del sonno (Morin & Espie, 2003), un questionario contenente alcune domande riferite alla percezione della qualità e quantità del proprio sonno. Nello specifico, i partecipanti dovevano indicare, giorno per giorno, l'ora in cui andavano a letto, l'ora in cui si disponevano a dormire (ad esempio, spegnendo la luce) (*bedtime*), l'ora in cui si alzavano da letto (*get up time*), quanti minuti impiegavano per addormentarsi, il numero e la durata totale dei risvegli notturni e il numero di ore dormite. Le risposte a tali domande hanno permesso di calcolare i seguenti parametri, che vengono comunemente

utilizzati per valutare la qualità/quantità del sonno, oltre che la fase del ciclo sonno/veglia: midpoint of sleep (punto di mezzo tra l'ora d'inizio e l'ora di fine del sonno, espresso in ore e minuti), latenza di addormentamento (minuti impiegati per addormentarsi) (*sleep onset latency*, SOL), tempo trascorso a letto (intervallo in minuti tra l'ora in cui la persona va a letto e l'ora in cui si alza da letto) (*time in bed*, TIB), tempo totale di sonno (numero di ore dormite, trasformato in minuti) (*total sleep time*, TST), numero dei risvegli notturni (*wake bouts*, WB), veglia infra-sonno (data dalla somma della durata, in minuti, dei singoli risvegli notturni) (*wake after sleep onset*, WASO) ed efficienza del sonno (rapporto tra tempo totale di sonno e tempo trascorso a letto, moltiplicato per 100) (*sleep efficiency*, SE).

Il diario del sonno è stato inoltre utilizzato come una forma di controllo per lo scoring dei tracciati attigrafici, nel caso in cui il partecipante avesse ommesso di premere il pulsante marca-eventi sulla superficie dell'attigrafo, per indicare l'ora in cui si disponeva a dormire e l'ora in cui si alzava da letto. In tal caso, venivano utilizzati i relativi orari che il partecipante aveva indicato sul diario del sonno, per settare l'ora d'inizio e di fine dell'analisi del tracciato attigrafico.

4.2.5.3. Global Vigor and Affect Scale (GVA)

I partecipanti alla ricerca hanno compilato anche la Global Vigor and Affect Scale (GVA) (Monk, 1989). Tale questionario è composto da 8 domande su scala visuo-analogica, che indagano le seguenti due dimensioni: vigor, che corrisponde ad un indice percepito di attivazione e affect, che è indice della percezione del tono dell'umore. Ai partecipanti era richiesto di apporre un segno sul punto della linea, che pensavano

rappresentasse meglio come si sentivano in quel momento. Ogni linea era della lunghezza di 10 cm, i cui estremi erano “per nulla” (0 cm) e “moltissimo” (10 cm). Le domande relative alla sensazione di tensione (item 3), felicità (item 5), tristezza (item 2) e calma (item 7) rientravano nel fattore affect, mentre quelle relative alla sensazione di vigilanza (item 1), stanchezza (item 6), sforzo richiesto per fare qualcosa (item 4) e sonnolenza (item 8) contribuivano a definire il fattore vigor. La formula per determinare il punteggio del fattore affect era $((\text{item 5} + \text{item 7} + 200) - (\text{item 2} + \text{item 3})) / 4$, mentre la formula per il calcolo del fattore vigor era $((\text{item 1} + 300) - (\text{item 4} + \text{item 6} + \text{item 8})) / 4$. Punteggi più alti ai fattori affect e vigor corrispondevano, rispettivamente, ad una percezione di migliore tono dell’umore e ad un aumento dei livelli percepiti di attivazione.

4.2.5.4. Morningness-Eveningness Questionnaire for Children and Adolescents (MEQ-CA)

I partecipanti all’indagine hanno compilato la versione Italiana (Natale & Bruni, 2000; Tonetti, 2007; Tonetti et al., 2006) del Morningness-Eveningness Questionnaire for Children and Adolescents (MEQ-CA) (Ishihara et al., 1990), uno strumento comunemente utilizzato per la valutazione della tipologia circadiana in bambini ed adolescenti. Tale strumento è il risultato di un adattamento per bambini ed adolescenti della versione del Morningness-Eveningness Questionnaire (MEQ) per adulti, messa a punto da Horne e Östberg (1976). La principale differenza tra il MEQ ed il MEQ-CA consiste nella formulazione degli item, che risultano adattati alla realtà scolastica vissuta dagli adolescenti piuttosto che a quella lavorativa tipica degli adulti. La versione

Italiana del MEQ-CA è stata validata secondo criteri interni da Natale e Bruni (2000) e da Tonetti e collaboratori (2006) e secondo criteri esterni da Tonetti (2007), mostrando, nel complesso, soddisfacenti proprietà psicometriche.

Come la versione per adulti, anche tale strumento è formato da 19 item (14 a risposta forzata e 5 a risposta aperta) che riguardano il momento abituale di risveglio e di addormentamento, gli orari preferiti per svolgere attività fisiche e mentali e la facilità di risveglio. Gli item a risposta forzata chiedono alla persona di indicare, tra quattro risposte alternative, quella che ritiene lo rappresenti maggiormente. Gli item a risposta aperta chiedono all'individuo di indicare l'ora ed i minuti esatti corrispondenti al contenuto della domanda. I punteggi attribuibili alle domande a risposta aperta variano da 1 a 5 punti, in funzione dell'orario indicato. I punteggi che vengono invece attribuiti alle domande a risposta forzata variano da 1 a 4 punti, tranne che per l'item dodici (0, 2, 3, 5) e l'item diciannove (6, 4, 2, 0). Sommando i punteggi ottenuti a ciascun item, si ottiene il punteggio totale che varia da un minimo di 16 ad un massimo di 86 punti. In base ai punteggi di cut-off, si considerano mattutini coloro che ottengono un punteggio compreso tra 59 e 86, intermedi coloro che riportano un punteggio compreso tra 42 e 58 e serotini coloro che rientrano all'interno di un range di punteggio che varia da 16 a 41.

4.2.5.5. Seasonal Pattern Assessment Questionnaire for Children and Adolescents (SPAQ-CA)

I partecipanti alla ricerca hanno inoltre compilato la versione Italiana (Tonetti et al., 2008a) del Seasonal Pattern Assessment Questionnaire for Children and Adolescents (SPAQ-CA) (Swedo et al., 1995), che viene utilizzato per la valutazione

della stagionalità dell'umore e come strumento di screening per verificare la possibile predisposizione al disturbo affettivo stagionale (DAS) in bambini ed adolescenti.

Tale strumento è l'esito di un adattamento per bambini ed adolescenti della versione del Seasonal Pattern Assessment Questionnaire (SPAQ) per adulti, messa a punto da Rosenthal e collaboratori (1984). La versione Italiana dello SPAQ-CA è stata validata secondo criteri interni da Tonetti e collaboratori (2008a), che hanno evidenziato come lo strumento possieda soddisfacenti proprietà psicometriche.

Lo SPAQ-CA è composto da tre sezioni, due in meno rispetto alla versione per adulti. Nella prima sezione, costituita da tre domande (sette in meno rispetto alla versione per adulti), il partecipante doveva indicare in quali mesi dell'anno aveva il minimo d'energia, era assai irritabile e si sentiva peggio; le risposte a queste domande permettono di discriminare tra DAS tipo inverno e DAS tipo estate. La seconda sezione indaga, attraverso 11 domande (cinque in più rispetto alla versione per adulti), l'entità delle variazioni stagionali in un range di comportamenti che riguardano il sonno, l'interazione sociale, il rendimento scolastico, l'alimentazione e la sensazione di benessere. Così come nella versione per adulti, le possibili risposte a queste domande sono misurate su scala Likert a 5 livelli: "no" (0 punti), "un po'" (1 punto), "talvolta" (2 punti), "abbastanza" (3 punti), "molto" (4 punti). Sommando i punteggi ottenuti a queste 11 domande si ottiene il punteggio globale di stagionalità (*Global Seasonality Score* – GSS) che può variare da 0 a 44. Il GSS è un indice della sensibilità stagionale della persona che compila il questionario e a punteggi più alti corrisponde una maggiore sensibilità stagionale. Nell'ultima sezione viene chiesto al partecipante alla ricerca di valutare se i cambiamenti di stagione sono percepiti come un problema (Sì/No). Se sì, viene chiesto di valutare l'entità del problema: non importante (1), abbastanza

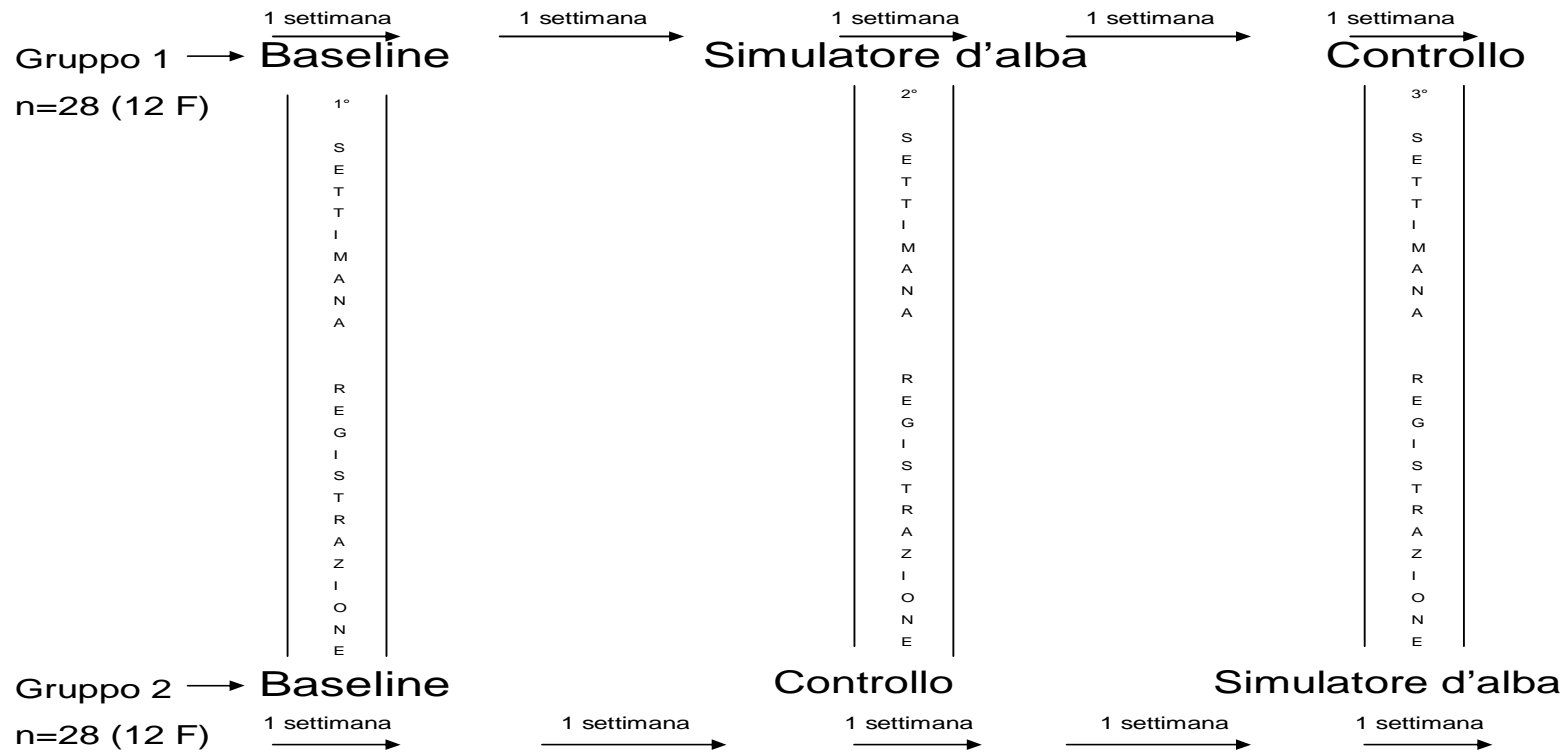
importante (2), molto importante (3), così importante che non riesco più a studiare (4). Le risposte date alla seconda e terza sezione vengono combinate per stabilire se la persona sia predisposta a sviluppare il disturbo affettivo stagionale (DAS) oppure no (NON-DAS). Secondo i criteri di cut-off proposti da Swedo e collaboratori (1995), si può ipotizzare la presenza di DAS se il punteggio di stagionalità risulta uguale o maggiore a 18 ed i cambiamenti stagionali sono vissuti almeno come un problema “abbastanza importante”.

4.3. Disegno di ricerca e procedura

Ad ogni studente è stata richiesta una partecipazione di 5 settimane consecutive (vedi Figura 6). Il disegno di ricerca prevedeva 3 condizioni sperimentali: baseline, simulatore d'alba e controllo. Le ultime due condizioni erano composte da 2 settimane, la prima delle quali era di adattamento, mentre la seconda era di registrazione. Nel corso delle settimane di registrazione (prima, terza e quinta del disegno di ricerca) i partecipanti indossarono l'attigrafo per il monitoraggio protratto del ciclo sonno/veglia e Zeo[®] per il monitoraggio wireless elettroencefalografico del sonno. Nel corso di tali settimane i partecipanti compilarono al mattino, giorno per giorno, entro 30 minuti dal risveglio, il diario del sonno ed al termine delle stesse gli fu chiesto di compilare l'MSQ (Fabbri et al., 2006; Zomer et al., 1985) e la GVA (Monk, 1989). Al termine delle tre settimane di registrazione, i partecipanti alla ricerca svolsero l'ANT, nel corso delle normali attività scolastiche. Solo al termine della settimana di baseline, gli studenti compilarono il MEQ-CA (Ishihara et al., 1990; Natale & Bruni, 2000) e lo SPAQ-CA (Swedo et al., 1995; Tonetti et al., 2008a).

Per poter ridurre al minimo l'effetto apprendimento, fu bilanciato l'ordine delle condizioni sperimentali tra i partecipanti allo studio (Figura 6). Nello specifico, metà partecipanti (gruppo 1, n=28, 12 femmine) testò per primo il simulatore d'alba (dalla seconda alla terza settimana del disegno di ricerca), mentre la restante metà (gruppo 2, n=28, 12 femmine), dopo aver completato la settimana di baseline, partecipò prima alla condizione di controllo ed in seguito testò il simulatore d'alba (dalla quarta alla quinta settimana del disegno di ricerca).

Nel corso delle condizioni baseline e controllo, i partecipanti non utilizzavano il simulatore d'alba, che fu invece usato durante la condizione simulatore d'alba per un totale di 14 giorni (sia nel corso della settimana di adattamento che in quella di registrazione). I partecipanti alla ricerca ricevettero le istruzioni su come utilizzare correttamente la lampada; nello specifico, fissarono il tempo di simulazione dell'alba a 20 minuti (la lampada iniziava dunque ad emettere luce in graduale aumento nei 20 minuti precedenti l'orario della sveglia). Inoltre l'intensità luminosa, su una scala da 0 a 20, fu fissata a livello 20, il che implicava che la lampada, al termine dei 20 minuti di simulazione dell'alba, emetteva luce di intensità pari a 250 lux. Dato che la lampada simulava l'alba solo nel caso in cui il partecipante avesse fissato la sveglia, agli studenti è stato chiesto di fissare la sveglia anche nei giorni festivi.



Durante le settimane di registrazione: attigrafo, Zeo®, diario del sonno, MSQ, GVA, ANT.

Nelle condizioni "baseline" e "controllo", i partecipanti non avevano in camera da letto il simulatore d'alba.

Nella condizione "simulatore d'alba", i partecipanti utilizzavano la lampada che emetteva luce in graduale aumento prima del risveglio.

Figura 6 – Rappresentazione grafica del disegno di ricerca.

4.4. Analisi dei dati

Per quello che riguarda i fattori vigor e affect della GVA, così come i parametri del sonno misurati tramite diario del sonno, attigrafia e Zeo[®], è stata effettuata un'analisi della varianza mista. Il fattore between era l'ordine delle condizioni sperimentali, a due livelli: gruppo 1 (baseline, simulatore d'alba e controllo) e gruppo 2 (baseline, controllo e simulatore d'alba). Il fattore within a tre livelli (baseline, simulatore d'alba e controllo) era rappresentato dai valori medi dei parametri in oggetto, nelle tre condizioni sperimentali. Nel caso in cui il fattore between fosse risultato significativo, sarebbe stato svolto il test HSD di Tukey, quale confronto post-hoc. Nel caso di effetto significativo del fattore within, è stato eseguito il confronto post-hoc di Scheffé, per verificare nello specifico quali condizioni si differenziassero significativamente tra loro. L'inserimento del fattore between, nel modello dell'analisi della varianza, ha permesso di controllare la presenza di un eventuale effetto dell'ordine con cui gli studenti hanno partecipato alle condizioni sperimentali (vedi paragrafo 4.3).

In relazione al parametro attigrafico dell'attività motoria media oraria, nell'arco delle 24 ore, sono state effettuate diverse analisi statistiche. In primo luogo, è stata eseguita un'analisi della varianza a misure ripetute con due fattori within, prendendo in esame la condizione baseline: ora del giorno (24 livelli) e giorni di scuola/fine settimana (2 livelli). Nel caso di interazione significativa tra i due fattori, è stata eseguita una serie di t-test per campioni dipendenti, per mettere a confronto, ora per ora, i valori medi dell'attività motoria registrati nei giorni di scuola e nel fine settimana. Inoltre è stata eseguita un'analisi della varianza a misure ripetute con due fattori within, prendendo in esame i soli giorni di scuola: ora del giorno (24 livelli) e condizioni sperimentali

(baseline, simulatore d'alba e controllo). Infine, è stata svolta un'analisi della varianza mista, in relazione ai giorni di scuola, con fattore between l'ordine delle condizioni sperimentali (gruppo 1 e gruppo 2) e fattori within l'ora del giorno (24 livelli) e le condizioni simulatore d'alba e controllo (2 livelli). L'eventuale presenza di interazioni significative che coinvolgevano il fattore ora del giorno, è stata approfondita eseguendo una serie di t-test per campioni dipendenti, ora per ora.

Per quanto riguarda l'MSQ, è stata testata preliminarmente la normalità distributiva dei punteggi del fattore sonno e del fattore veglia, nelle tre condizioni sperimentali esaminate, tramite il test di Kolmogorov-Smirnov. Dopo aver appurato che la distribuzione dei punteggi di tali variabili era normale, sono state effettuate separatamente due analisi della varianza miste, precedentemente descritte. In caso di effetti significativi del fattore within sulla dimensione sonno e/o veglia dell'MSQ, si è proceduto ad una serie di Friedman test, item per item (misurati su scala Likert a 7 punti), per valutare, domanda per domanda, la presenza di eventuali differenze significative. In caso di effetti significativi del Friedman test, tale risultato è stato approfondito tramite una serie di test di Wilcoxon per campioni appaiati, per verificare quale delle tre condizioni si differenziasse significativamente dalle altre; dato che con questo tipo di test vengono effettuati confronti multipli, per poter ridurre la possibilità di commettere un errore di primo tipo, è stata utilizzata la correzione di Bonferroni, data dal rapporto tra il livello di significatività scelto (nel caso della presente ricerca 0.05) ed il numero di confronti per item (3). Per considerare dunque come significativo un effetto al test di Wilcoxon per campioni appaiati, il livello di significatività doveva essere inferiore a 0.017. Inoltre è stato eseguito il test di Q di Cochran per verificare se vi erano differenze significative nelle proporzioni di partecipanti con buona/cattiva qualità

della veglia e buona/cattiva qualità del sonno, in base ai criteri di cut-off dello strumento, tra le tre condizioni sperimentali di baseline, simulatore d'alba e controllo; nel caso in cui tale test fosse risultato significativo, sarebbe stato eseguito il post-hoc test di McNemar.

Infine, in relazione all'ANT, è stata svolta un'operazione preliminare di pulizia dei dati; nello specifico, i tempi di reazione che si discostavano da ± 3 deviazioni standard dalla media della condizione sperimentale esaminata, furono eliminati. Oltre ad una serie di analisi della varianza miste, identiche a quelle descritte all'inizio del paragrafo ed effettuate in relazione a tutti i parametri dell'ANT presi in esame (paragrafo 4.2.4), per ciascun network attentivo si è proceduto ad un'ulteriore analisi della varianza a misure ripetute. Nello specifico, sono stati inseriti due fattori within: fattore condizione a 3 livelli (baseline, simulatore d'alba e controllo) ed un altro fattore a due livelli (no cue e double cue per il network dell>alerting, incongruente e congruente per il network dell'executive, central cue e spatial cue per il network dell'orienting). In caso di effetti significativi di tali fattori e/o della loro interazione, è stato effettuato il confronto post-hoc di Scheffé.

In riferimento a tutte le analisi precedentemente descritte, il livello di significatività era stato fissato a $p < 0.05$.

5. Risultati

In riferimento ad ognuna delle variabili dipendenti esaminate, come anticipato nel paragrafo 4.4, è stata effettuata un'analisi della varianza preliminare per controllare

l'effetto dell'ordine delle condizioni sperimentali tra i partecipanti alla ricerca; tale effetto non è risultato significativo e quindi il fattore gruppo non verrà considerato.

5.1. Questionari

5.1.1. Morningness-Eveningness Questionnaire for Children and Adolescents (MEQ-CA)

In base ai punteggi di cut-off descritti nel paragrafo 4.2.5.4, la somministrazione del MEQ-CA ha permesso di individuare, nel campione esaminato, un totale di 4 tipi mattutini (7.14%), 43 tipi intermedi (76.79%) e 9 tipi serotini (16.07%). La distribuzione dei maschi e delle femmine all'interno delle tre categorie della tipologia circadiana, non è risultata significativamente differente ($\chi^2_5=1.89$; $p=0.39$) (vedi Tabella 2).

Tabella 2 – Distribuzione dei maschi e delle femmine all'interno delle tre categorie della tipologia circadiana. In tabella sono riportati i numeri grezzi e i valori percentuali di riga.

Genere/Tipologia circadiana	Mattutini	Intermedi	Serotini	Totale
Femmine	3 12.50%	17 70.83%	4 16.67%	24 100%
Maschi	1 3.13%	26 81.25%	5 15.62%	32 100%
Totale	4 7.14%	43 76.79%	9 16.07%	56 100%

La distribuzione delle diverse fasce d'età all'interno delle tre categorie della tipologia circadiana, non era significativamente differente ($\chi^2_{10}=16.56$; $p=0.08$) (vedi Tabella 3).

Tabella 3 – Distribuzione delle diverse fasce d'età all'interno delle tre categorie della tipologia circadiana. In tabella sono riportati i numeri grezzi e i valori percentuali di riga.

Età/Tipologia circadiana	Mattutini	Intermedi	Serotini	Totale
15	0 0%	1 100%	0 0%	1 100%
16	3 30%	7 70%	0 0%	10 100%
17	0 0%	1 100%	0 0%	1 100%
18	1 2.56%	31 79.49%	7 17.95%	39 100%
19	0 0%	3 75%	1 25%	4 100%
20	0 0%	0 0%	1 100%	1 100%
Totale	4 7.14%	43 76.79%	9 16.07%	56 100%

5.1.2. Seasonal Pattern Assessment Questionnaire for Children and Adolescents (SPAQ-CA)

In base ai punteggi di cut-off descritti nel paragrafo 4.2.5.5, la somministrazione dello SPAQ-CA ha permesso di individuare, nel campione in esame, la possibile presenza del DAS in 10 adolescenti (17.86%), mentre i restanti 46 (82.14%) sono risultati immuni da tale disturbo (NON-DAS). La distribuzione dei maschi e delle femmine all'interno delle categorie DAS e NON-DAS non è risultata significativamente differente, anche se è emersa una tendenza alla significatività ($\chi^2_1=3.66$; $p=0.06$) con un numero maggiore di femmine predisposte al DAS rispetto ai maschi (vedi Tabella 4).

Tabella 4 – Distribuzione dei maschi e delle femmine all'interno delle categorie DAS e NON-DAS. In tabella sono riportati i numeri grezzi e i valori percentuali di riga.

Genere/DAS-NON DAS	DAS	NON-DAS	Totale
Femmine	7 29.17%	17 70.83%	24 100%
Maschi	3 9.37%	29 90.63%	32 100%
Totale	10 17.86%	46 82.14%	56 100%

La distribuzione delle diverse fasce d'età all'interno delle categorie DAS e NON-DAS, non è risultata significativamente differente ($\chi^2_5=6.85$; $p=0.23$) (vedi Tabella 5).

Tabella 5 – Distribuzione delle diverse fasce d'età all'interno delle categorie DAS e NON-DAS. In tabella sono riportati i numeri grezzi e i valori percentuali di riga.

Età/ DAS-NON DAS	DAS	NON-DAS	Totale
15	0 0%	1 100%	1 100%
16	3 30%	7 70%	10 100%
17	0 0%	1 100%	1 100%
18	5 12.82%	34 87.18%	39 100%
19	1 25%	3 75%	4 100%
20	1 100%	0 0%	1 100%
Totale	10 17.86%	46 82.14%	56 100%

5.1.3. Diario del sonno

In relazione al parametro bedtime, è emerso un effetto significativo del fattore within ($F_{2,108}=3.18$; $p<0.05$) (Figura 7). Tuttavia, al post-hoc test di Scheffé, non sono

emerse differenze significative tra le condizioni baseline (24:05 \pm 0.83), simulatore d'alba (24:17 \pm 0.90) e controllo (24:13 \pm 0.87).

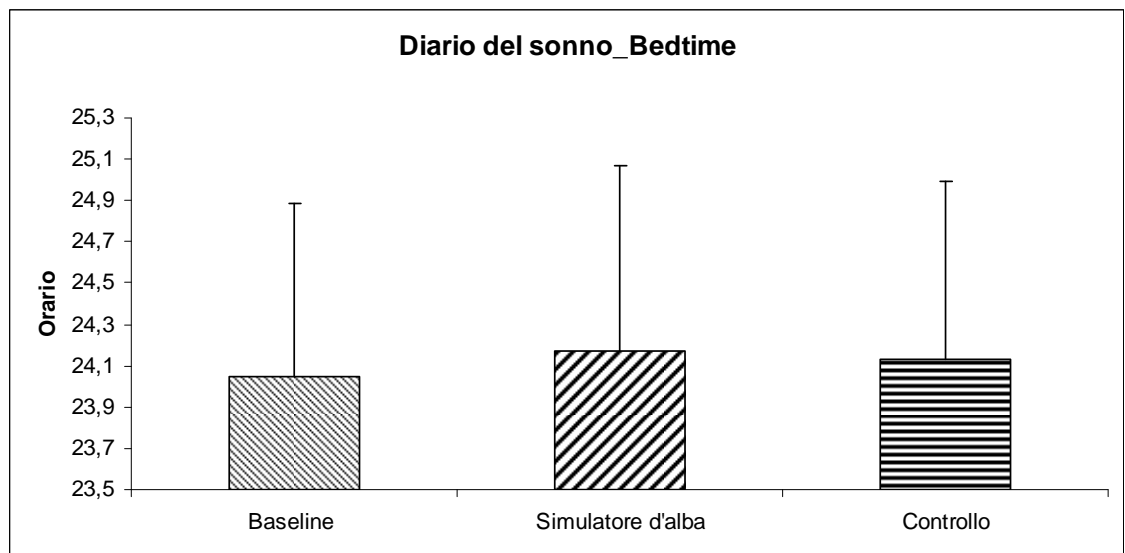


Figura 7 – Rappresentazione grafica dell'effetto del fattore within sul parametro bedtime. Nel grafico sono riportati i valori medi e le deviazioni standard.

Per ciò che riguarda la domanda relativa al get up time, le diverse risposte date per le condizioni sperimentali di baseline (7:30 \pm 0.40), simulatore d'alba (7:31 \pm 0.49) e controllo (7:29 \pm 0.41) non sono risultate significativamente differenti ($F_{2,108}=0.07$; $p=0.93$) (vedi Figura 8).

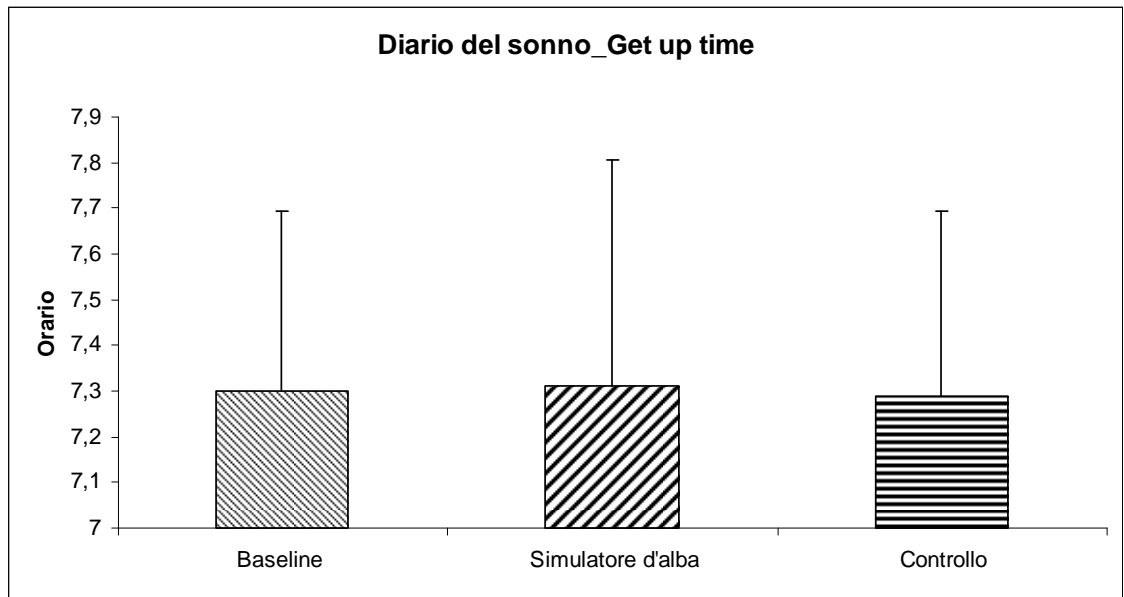


Figura 8 – Rappresentazione grafica del get up time, nelle tre condizioni sperimentali. Nel grafico vengono riportati i valori medi e le deviazioni standard.

Il parametro midpoint of sleep non si è differenziato significativamente tra baseline ($3:47 \pm 0.53$), simulatore d'alba ($3:54 \pm 0.60$) e controllo ($3:51 \pm 0.50$) ($F_{2,108}=1.87$; $p=0.16$) (Figura 9).

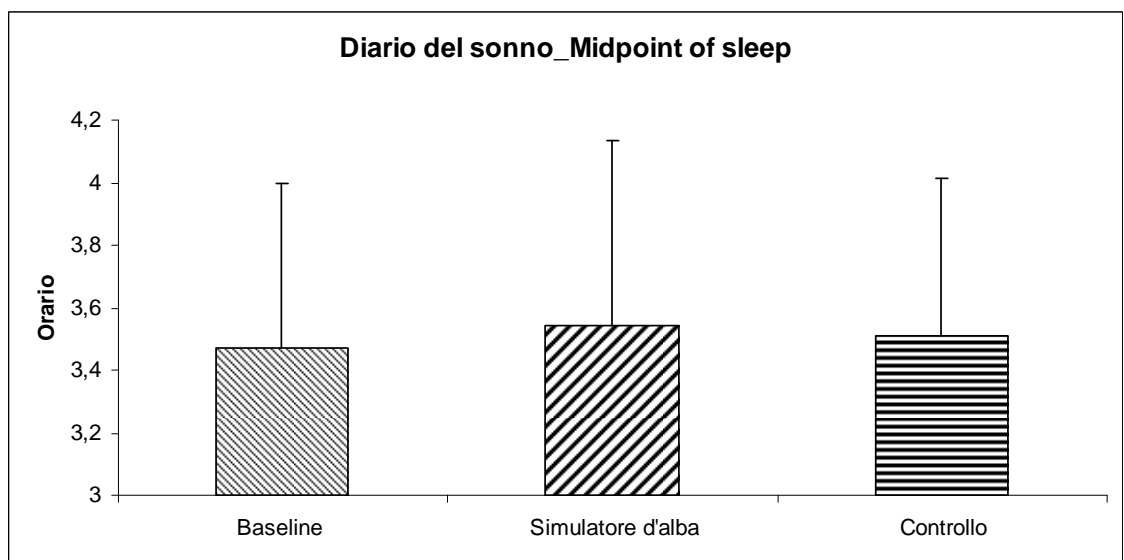


Figura 9 – Midpoint of sleep (medie e deviazioni standard) nelle tre condizioni sperimentali esaminate.

L'analisi della varianza a misure ripetute ha evidenziato un effetto significativo del fattore within sul parametro time in bed (TIB) ($F_{2,108}=3.14$; $p<0.05$) (Figura 10). Al post-hoc test di Scheffé, il TIB riferito in condizione baseline (445.95 ± 44.44) era significativamente superiore al TIB percepito in condizione simulatore d'alba (435.30 ± 49.52) ($p<0.05$).

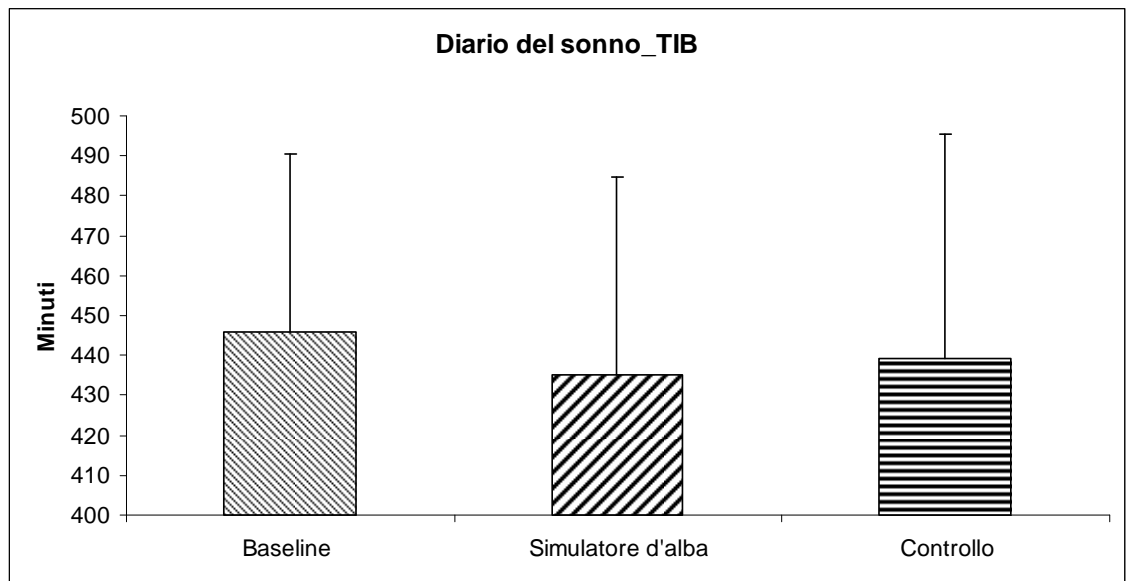


Figura 10 – TIB (medie e deviazioni standard) nelle tre condizioni sperimentali esaminate.

Un'ulteriore differenza significativa è emersa in relazione al parametro sleep onset latency (SOL) ($F_{2,108}=8.55$; $p<0.005$) (Figura 11). Il post-hoc test di Scheffé ha messo in luce come la SOL auto-riferita nella condizione di baseline (12.68 ± 6.99) fosse significativamente superiore a quella percepita nella condizione di controllo (9.94 ± 6.37) ($p<0.005$).

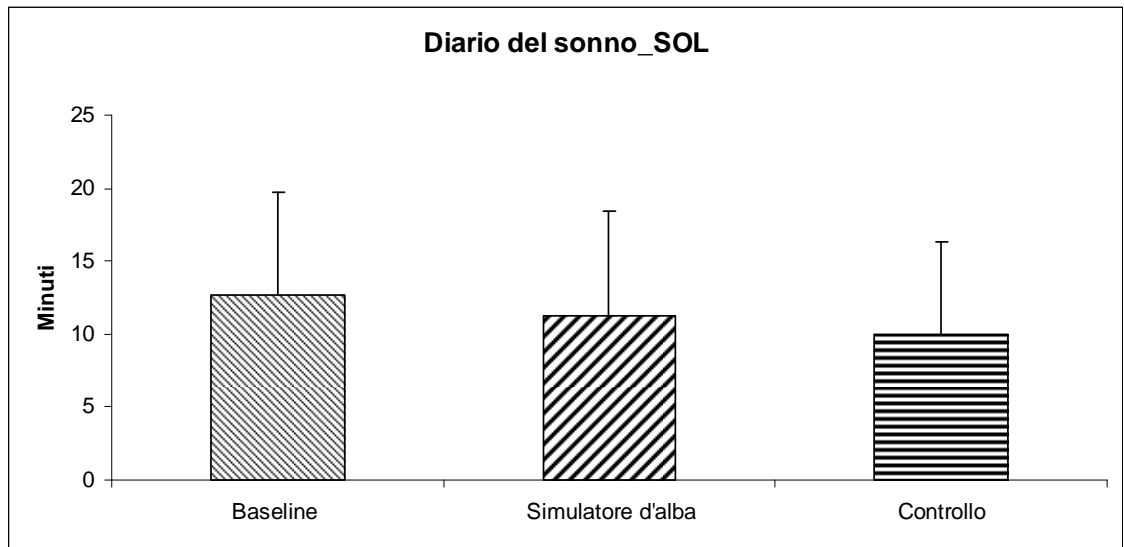


Figura 11 – Rappresentazione grafica dell'effetto del fattore within sul parametro SOL. Nel grafico sono riportati i valori medi e le deviazioni standard.

Anche in relazione al total sleep time (TST), è emerso un effetto significativo del fattore within ($F_{2,108}=8.08$; $p<0.005$) (Figura 12). Il post-hoc test di Scheffé ha evidenziato un TST significativamente più esteso in condizione baseline (416.94 ± 43.97) rispetto alla condizione simulatore d'alba (397.48 ± 52.82) ($p<0.005$).

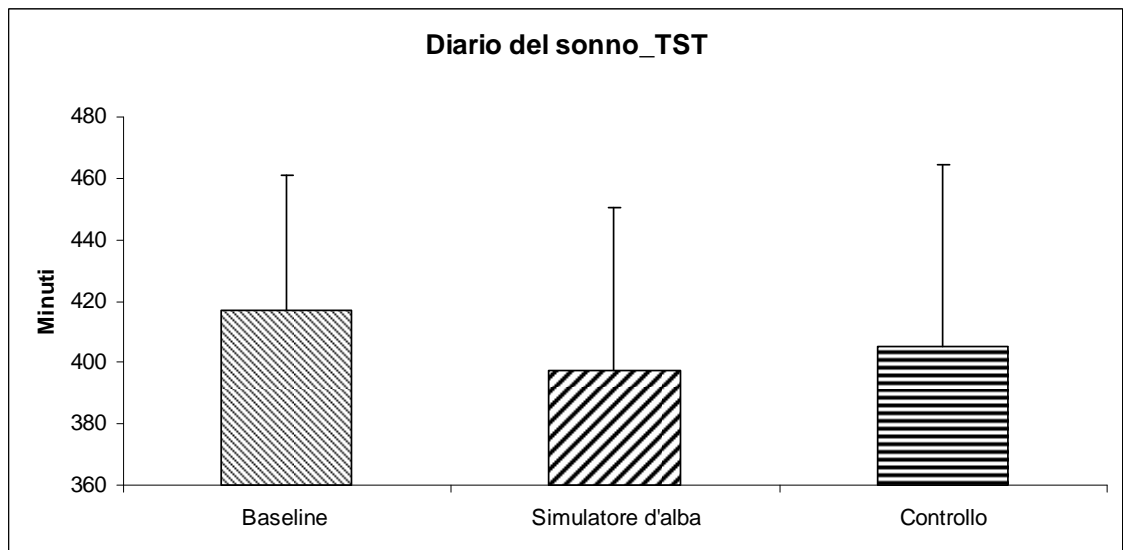


Figura 12 – Medie e relative deviazioni standard del parametro TST in baseline, simulatore d'alba e controllo.

Un ulteriore effetto del fattore within è stato osservato sul parametro sleep efficiency (SE) ($F_{2,108}=6.07$; $p<0.005$) (Figura 13). Al post-hoc test, la SE in baseline (93.79 ± 3.43) era percepita dai partecipanti alla ricerca come significativamente più alta rispetto a quella riferita nella condizione simulatore d'alba (91.27 ± 5.74) ($p<0.005$).

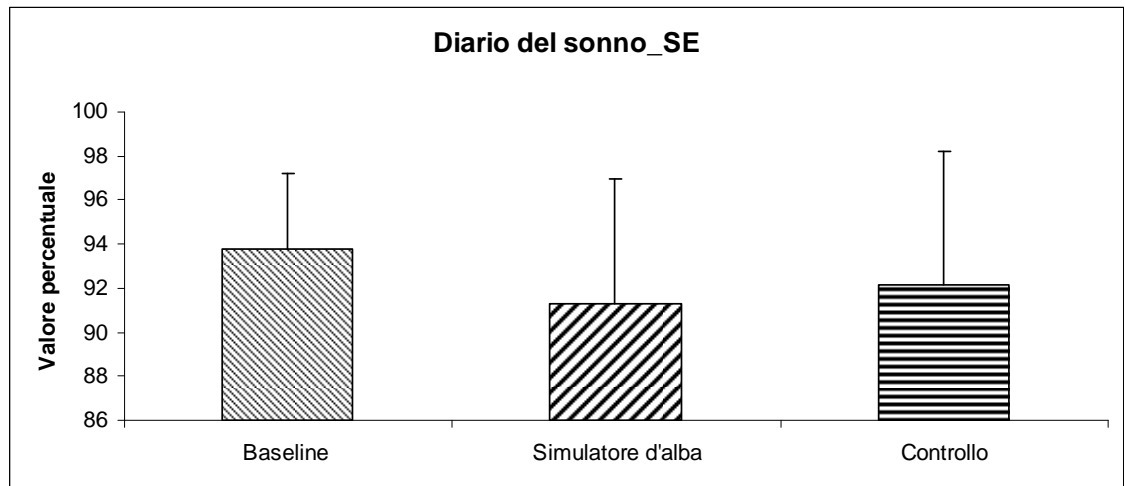


Figura 13 – SE (medie e deviazioni standard) nelle tre condizioni sperimentali esaminate.

L'analisi della varianza a misure ripetute ha messo in luce un effetto significativo del fattore within sulla wake after sleep onset (WASO) ($F_{2,108}=4.29$; $p<0.05$) (Figura 14); al post-hoc test di Scheffé, è emersa una durata della WASO significativamente più elevata in baseline (4.36 ± 4.73) rispetto al controllo (2.06 ± 3.05) ($p<0.05$).

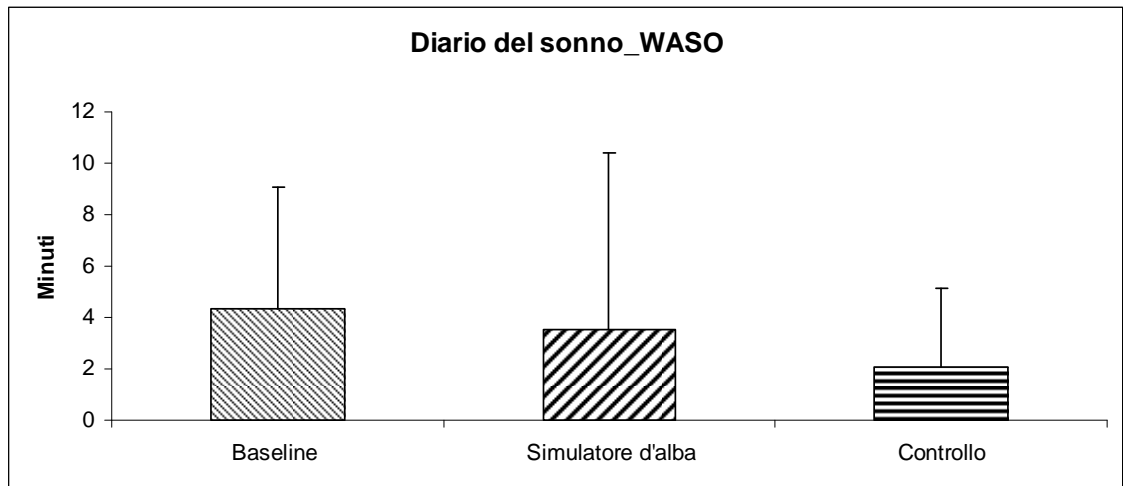


Figura 14 – Durata media e relativa deviazione standard della WASO in baseline, simulatore d'alba e controllo.

Infine, anche in relazione all'ultimo parametro del diario del sonno preso in esame, i wake bouts (WB), si è osservata una differenza significativa fra le tre condizioni oggetto di studio ($F_{2,106}=12.14$; $p<0.001$) (Figura 15). Il post-hoc test ha permesso di osservare un numero auto-riferito di WB significativamente più elevato in baseline (0.92 ± 0.90) rispetto a simulatore d'alba (0.57 ± 0.65) ($p<0.005$) e controllo (0.56 ± 0.74) ($p<0.005$).

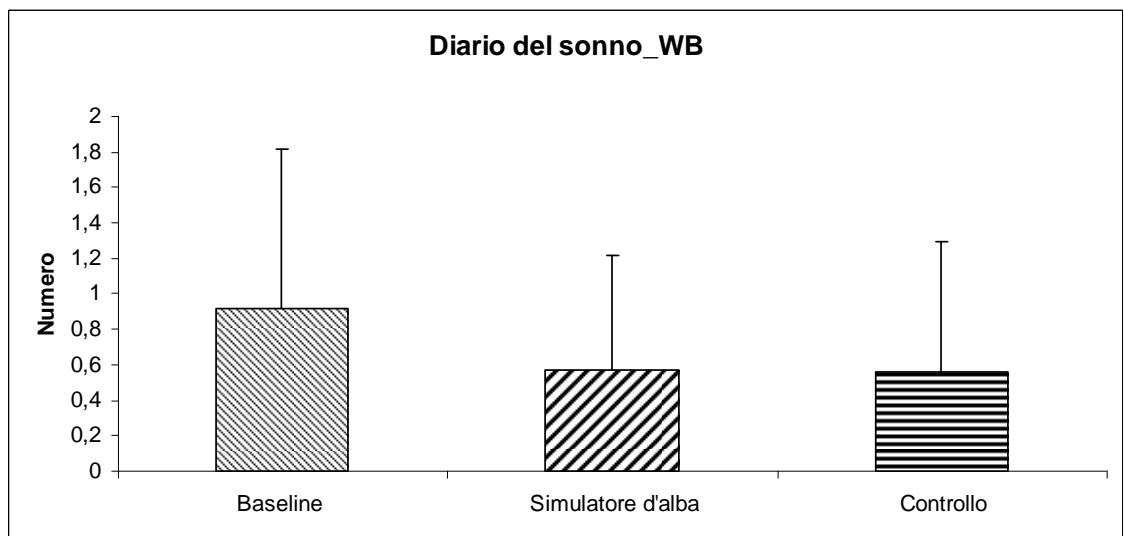


Figura 15 – WB (medie e deviazioni standard) nelle tre condizioni sperimentali esaminate.

5.1.4. Mini Sleep Questionnaire (MSQ)

Le distribuzioni dei punteggi del fattore veglia in baseline ($d=0.07$; $p>0.05$) (asimmetria= -0.49, curtosi= -0.18), simulatore d'alba ($d=0.09$; $p>0.05$) (asimmetria= -0.29, curtosi= 0.48) e controllo ($d=0.11$; $p>0.05$) (asimmetria= -0.24, curtosi= -1.27) erano normali, così come è stata verificata la normalità distributiva per il fattore sonno in baseline ($d=0.06$; $p>0.05$) (asimmetria= -0.82, curtosi= 1.12), simulatore d'alba ($d=0.09$; $p>0.05$) (asimmetria= -1.02, curtosi= 1.16) e controllo ($d=0.08$; $p>0.05$) (asimmetria= -0.65, curtosi= 1.02).

L'analisi della varianza a misure ripetute sul fattore veglia dell'MSQ ha messo in luce un effetto significativo del fattore within ($F_{2,110}=3.28$; $p<0.05$) (Figura 16). Al post-hoc test di Scheffé, i punteggi medi di baseline (19.09 ± 3.47), simulatore d'alba (19.23 ± 3.83) e controllo (18.32 ± 3.43) non si sono differenziati significativamente tra loro.

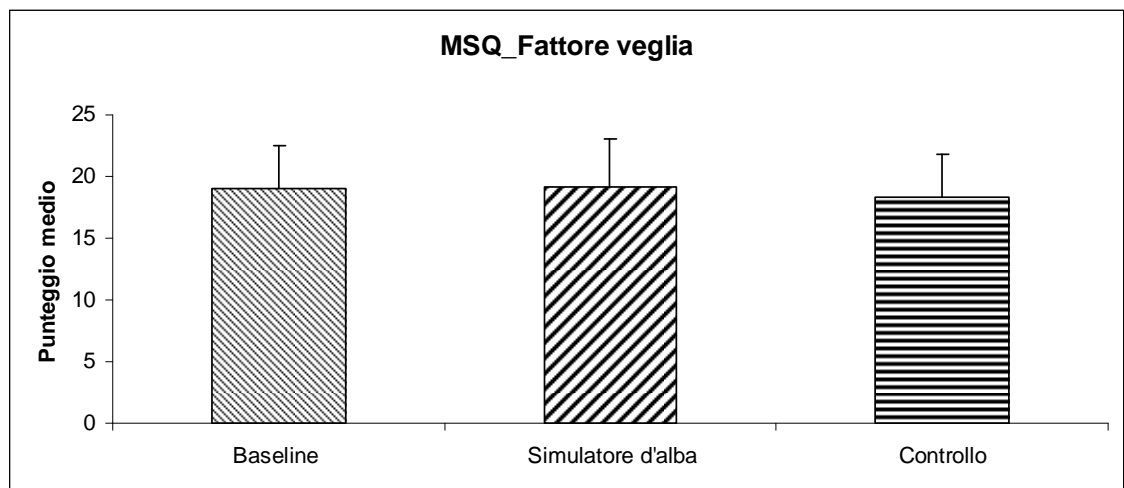


Figura 16 – Punteggi medi e relative deviazioni standard del fattore veglia dell'MSQ, in baseline, simulatore d'alba e controllo.

Anche in relazione alla dimensione sonno dell'MSQ, si è osservato un effetto significativo del fattore within ($F_{2,110}=3.27$; $p<0.05$) (Figura 17). In seguito alle analisi effettuate tramite il post-hoc test di Scheffé, è emerso come i valori medi di baseline (33.45 ± 4.29), simulatore d'alba (34.59 ± 4.37) e controllo (34.59 ± 4.10) non fossero significativamente diversi tra loro.

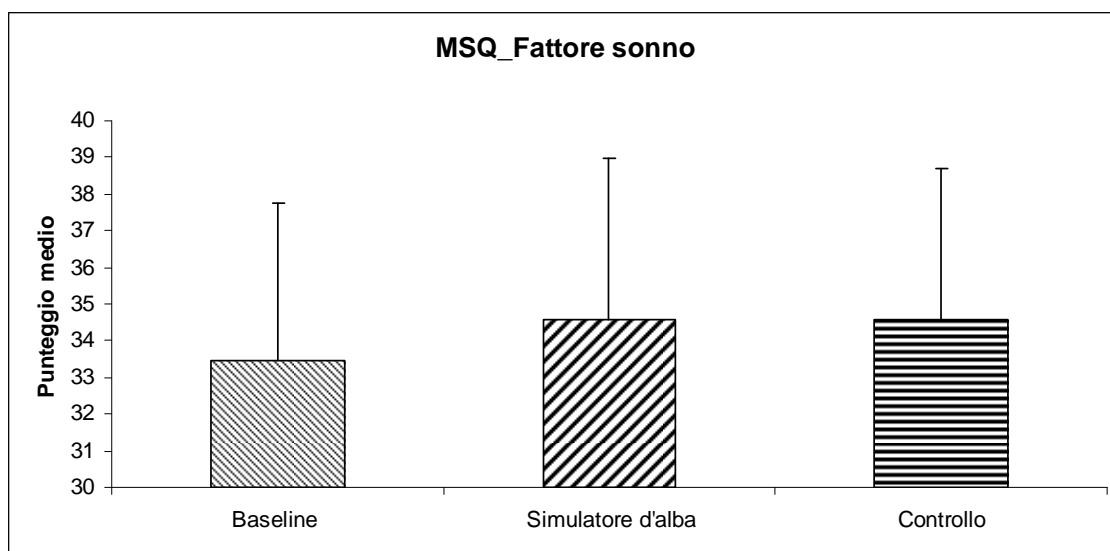


Figura 17 – Medie e deviazioni standard dei punteggi del fattore sonno dell'MSQ, nelle tre condizioni sperimentali esaminate.

Poiché sono stati osservati effetti significativi del fattore a misure ripetute sia sulla dimensione veglia che sulla dimensione sonno, si è proceduto ad una serie di Friedman test, domanda per domanda, per valutare la presenza di eventuali differenze significative specifiche tra le condizioni. Nel caso di effetti significativi, risultanti dal test di Friedman, tali risultati sono stati approfonditi tramite una serie di test di Wilcoxon per campioni appaiati.

In relazione alla prima domanda, “hai avuto problemi ad addormentarti?”, inclusa nel fattore sonno, è emersa una differenza significativa complessiva tra le tre

condizioni ($\chi^2_2=9.01$; $p<0.05$) (Figura 18). I test di Wilcoxon per campioni appaiati non hanno evidenziato differenze significative tra baseline e simulatore d'alba ($z=1.83$; $p=0.07$), baseline e controllo ($z=1.96$, $p=0.05$), simulatore d'alba e controllo ($z=0.28$; $p=0.78$).

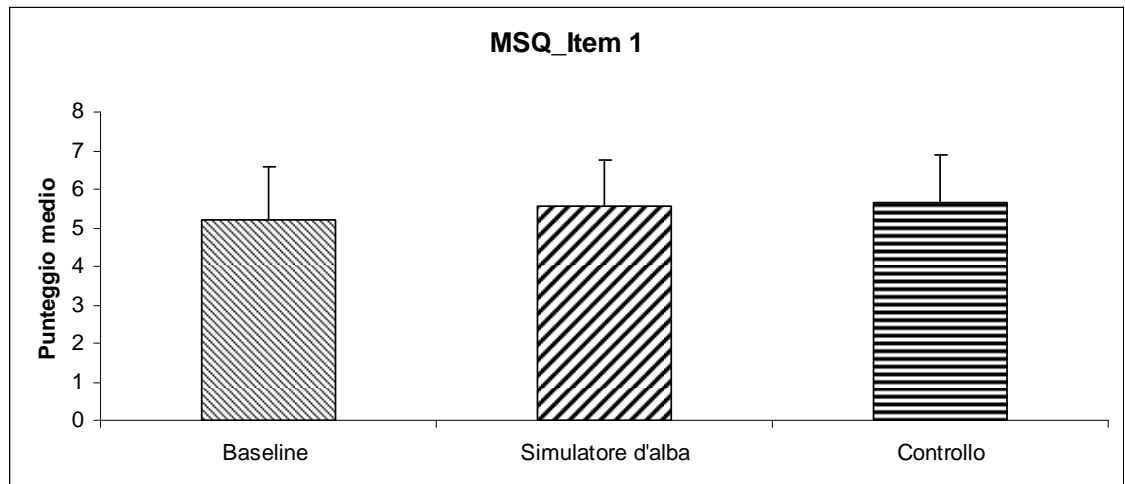


Figura 18 – Punteggi medi e deviazioni standard all'item 1 dell'MSQ ("hai avuto problemi ad addormentarti?"), nelle tre condizioni sperimentali esaminate.

Per quanto riguarda la seconda domanda, inclusa nel fattore sonno, "Ti sei svegliato/a presto al mattino e hai avuto difficoltà a riaddormentarti?", non sono state riscontrate differenze significative tra le medie in baseline (5.80 ± 1.35), simulatore d'alba (6.07 ± 1.20) e controllo (6.13 ± 1.24) ($\chi^2_2=5.18$; $p=0.07$) (Figura 19).

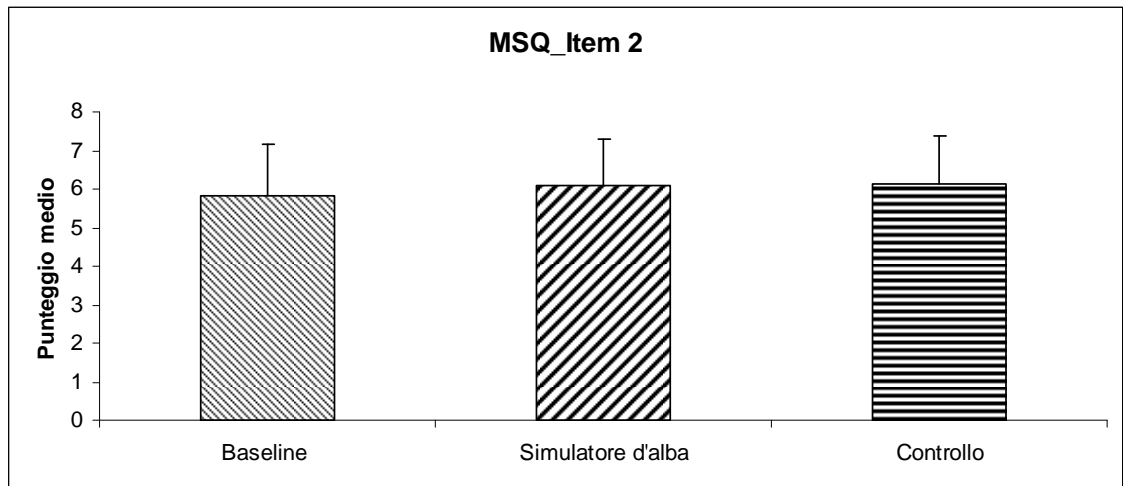


Figura 19 – Punteggi medi e deviazioni standard alla domanda 2 dell’MSQ (“Ti sei svegliato/a presto al mattino e hai avuto difficoltà a riaddormentarti?”) nelle tre condizioni sperimentali esaminate.

Rispetto alla domanda 3 dell’MSQ, “Hai assunto farmaci o altre sostanze per dormire?”, appartenente al fattore sonno, non sono state osservate differenze significative tra baseline (6.98 ± 0.13), simulatore d’alba (7) e controllo (6.89 ± 0.80) ($\chi^2_2=1$; $p=0.61$) (Figura 20).

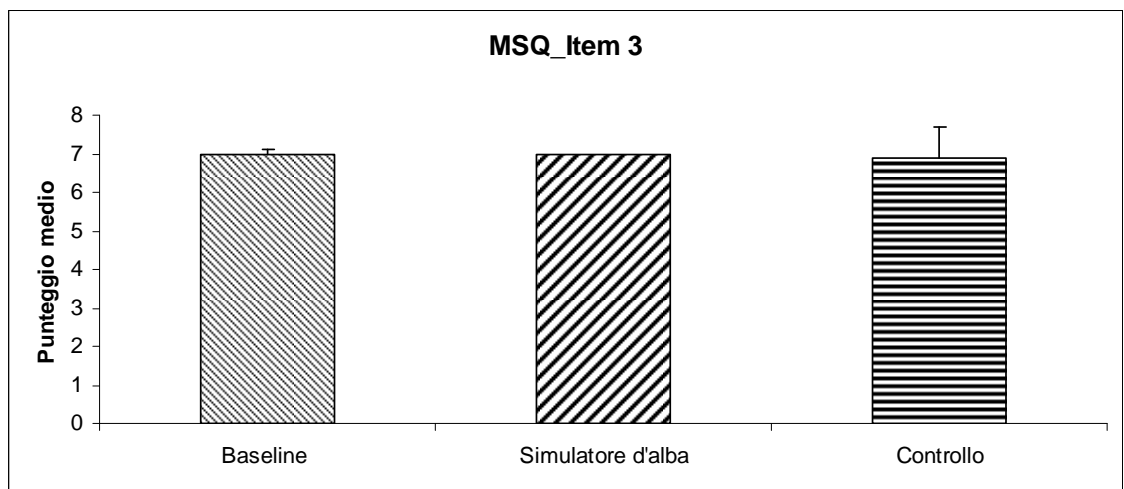


Figura 20 – Punteggi medi e deviazioni standard relativi all’item 3 dell’MSQ, “Hai assunto farmaci o altre sostanze per dormire?”, in baseline, simulatore d’alba e controllo.

E' emersa una differenza significativa complessiva tra le condizioni sperimentali esaminate ($\chi^2_2=10.58$; $p<0.05$), in riferimento alla quarta domanda "Ti sei sentito/a assennato/a durante il giorno, in modo particolare quando non eri attivo/a?", inclusa nel fattore veglia (Figura 21). Effettuando una serie di test di Wilcoxon per campioni appaiati, la baseline non è risultata significativamente differente dalle condizioni simulatore d'alba ($z=1.80$; $p=0.07$) e controllo ($z=1.33$; $p=0.18$), mentre la condizione simulatore d'alba si è differenziata significativamente da quella di controllo ($z=2.61$; $p<0.05$), con una frequenza auto-riferita della sensazione di sonnolenza diurna significativamente inferiore in seguito all'uso del simulatore d'alba rispetto al controllo.

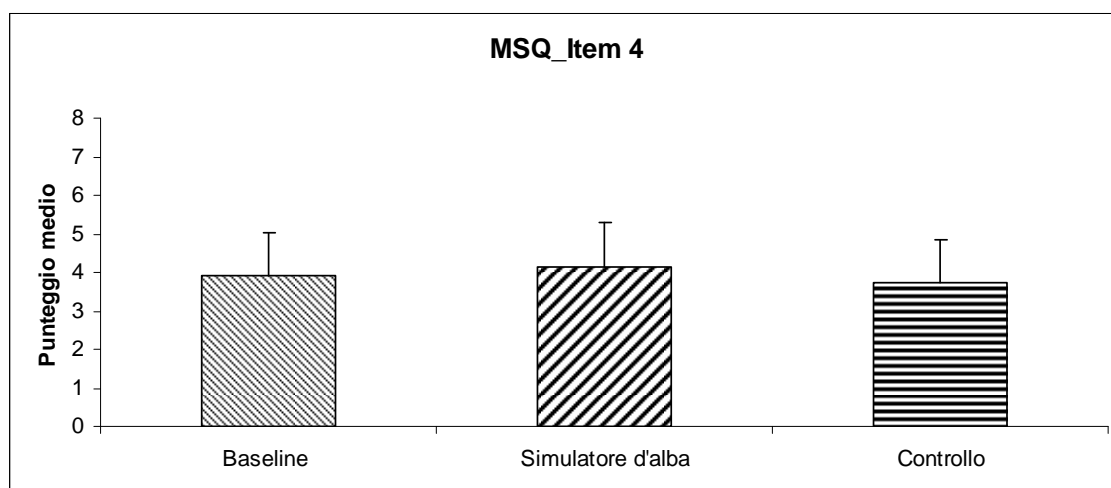


Figura 21 – Punteggi medi e deviazioni standard riferiti alla domanda 4 dell'MSQ ("Ti sei sentito/a assennato/a durante il giorno, in modo particolare quando non eri attivo/a?") nelle tre condizioni sperimentali esaminate.

Non sono emerse differenze significative, da un punto di vista statistico, tra i punteggi medi in baseline (3.45 ± 1.22), simulatore d'alba (3.66 ± 1.31) e controllo (3.36 ± 1.20) alla domanda numero 5, "Al mattino, dopo il risveglio, ti è capitato di sentirti stanco/a?", appartenente alla dimensione veglia ($\chi^2_2=4.40$; $p=0.11$) (Figura 22).

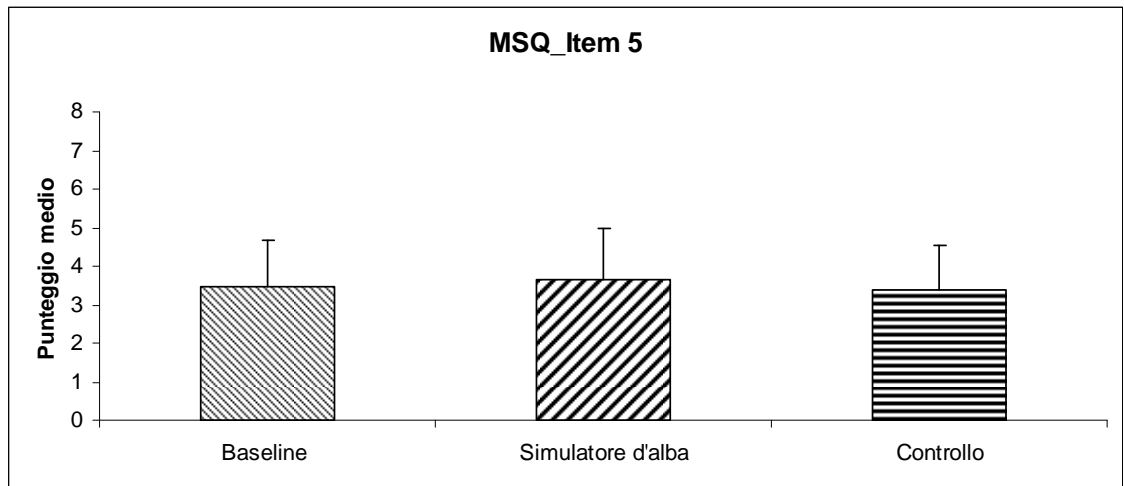


Figura 22 – Medie e deviazioni standard relative all’item 5 dell’MSQ, “Al mattino, dopo il risveglio, ti è capitato di sentirti stanco/a?”, in baseline, simulatore d’alba e controllo.

In relazione alla sesta domanda (“Ti è capitato di russare durante la notte?”), appartenente alla dimensione sonno, non sono emerse differenze significative tra le medie in baseline (6.22 ± 1.50), simulatore d’alba (6.20 ± 1.48) e controllo (6.29 ± 1.34) ($\chi^2=0.74$; $p=0.69$) (Figura 23).

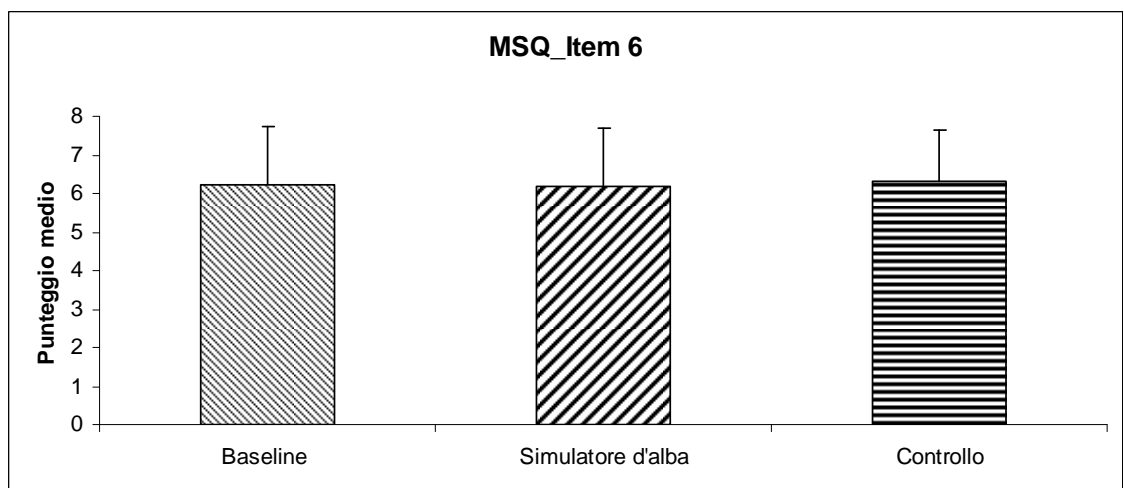


Figura 23 – Medie e deviazioni standard riferite alla domanda 6 dell’MSQ (“Ti è capitato di russare durante la notte?”), nelle tre condizioni sperimentali esaminate.

Alla domanda numero 7, “Hai avuto risvegli notturni?”, inclusa nel fattore sonno, è emersa una differenza complessiva, statisticamente significativa, tra le condizioni sperimentali ($\chi^2_2=11.54$; $p<0.005$) (Figura 24). I test di Wilcoxon per campioni appaiati hanno evidenziato una differenza significativa tra baseline e simulatore d’alba (minore frequenza auto-riferita di risvegli notturni nella condizione simulatore d’alba rispetto alla baseline) ($z=2.62$; $p<0.05$), mentre i confronti tra baseline e controllo ($z=2.43$; $p=0.02$) e simulatore d’alba e controllo ($z=0.14$; $p=0.89$) non hanno raggiunto la significatività statistica.

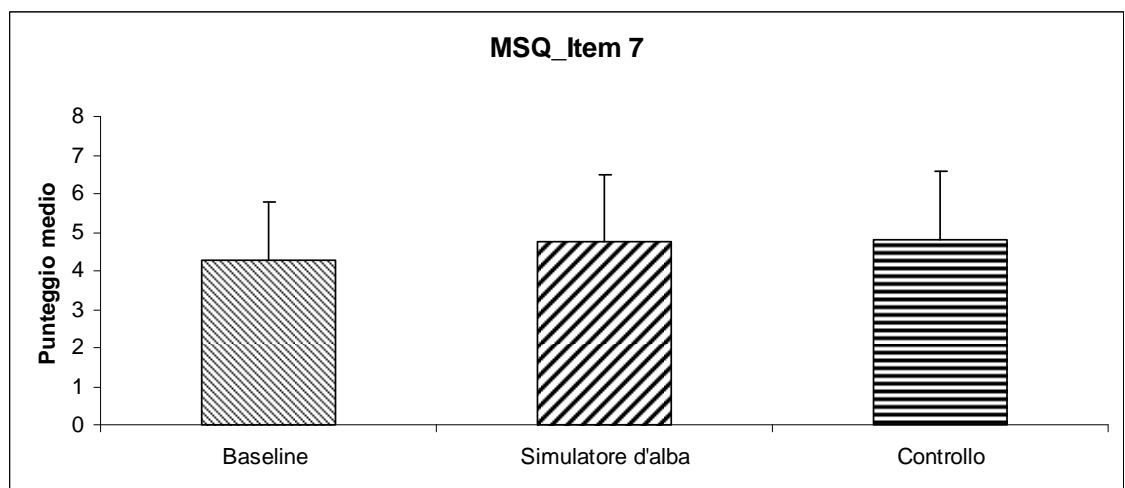


Figura 24 – Medie e deviazioni standard relative all’item 7 dell’MSQ, “Hai avuto risvegli notturni”, in baseline, simulatore d’alba e controllo.

Per quanto riguarda l’ottavo item, “Hai sofferto di mal di testa al risveglio?” (dimensione veglia), le medie nelle tre condizioni sperimentali (baseline= 6.07 ± 1.22 , simulatore d’alba= 6.09 ± 1.25 , controllo= 6.02 ± 1.09) non sono risultate significativamente differenti ($\chi^2_2=1.48$; $p=0.48$) (Figura 25).

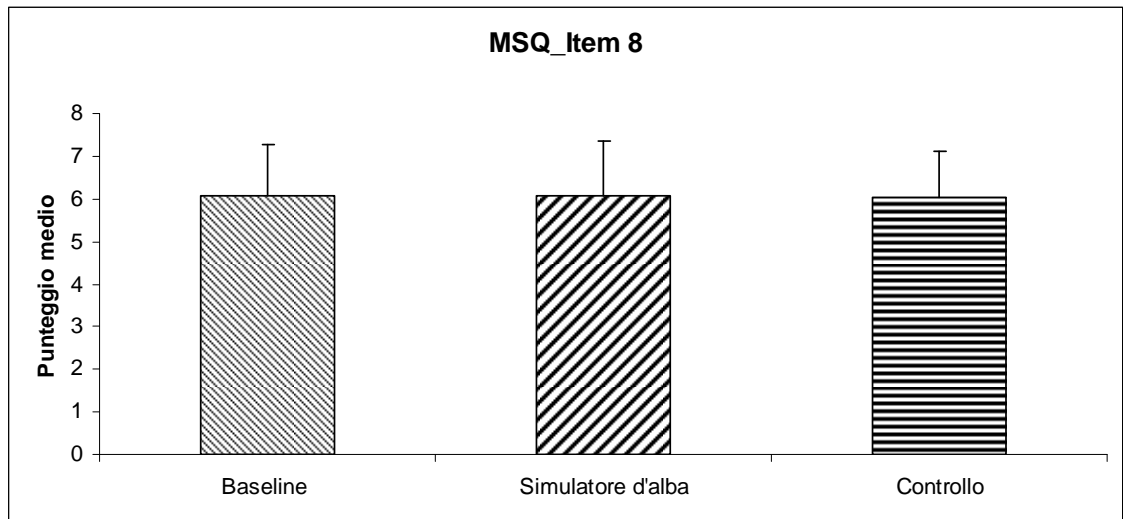


Figura 25 – Medie e deviazioni standard osservate alla domanda 8 dell’MSQ (“Hai sofferto di mal di testa al risveglio?”), nelle tre condizioni sperimentali esaminate.

In relazione alla domanda numero 9, “Hai sofferto di una stanchezza prolungata senza una specifica ragione?” (dimensione veglia), non state osservate differenze significative tra le condizioni baseline (5.68 ± 1.54), simulatore d’alba (5.36 ± 1.52) e controllo (5.20 ± 1.60) ($\chi^2_2=4.64$; $p=0.10$) (Figura 26).

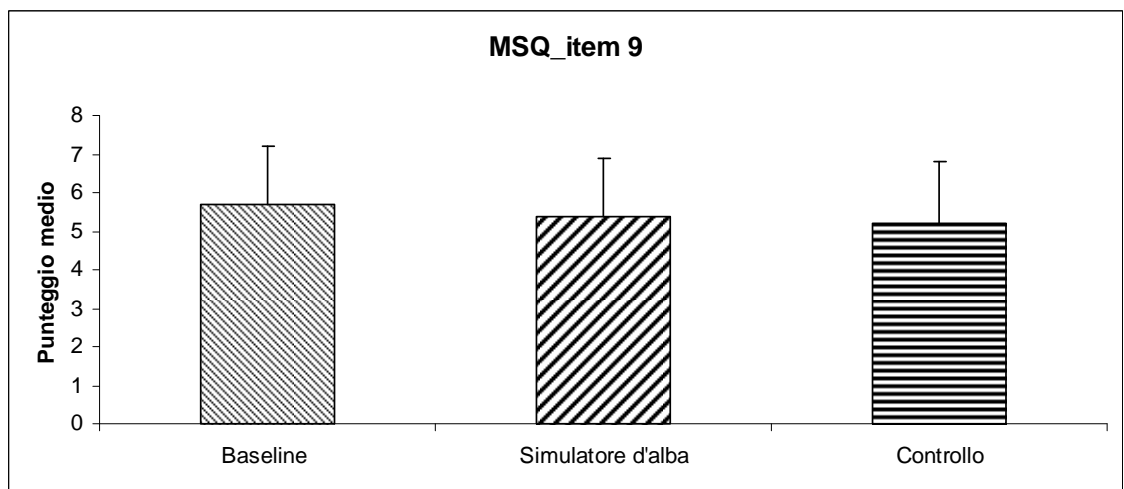


Figura 26 – Medie e deviazioni standard in relazione alla domanda 9 dell’MSQ (“Hai sofferto di una stanchezza prolungata senza una specifica ragione?”), nelle tre condizioni sperimentali esaminate.

Infine le medie di baseline (4.98 ± 1.52), simulatore d'alba (5.07 ± 1.31) e controllo (4.93 ± 1.43) non si sono differenziate significativamente in riferimento all'item 10, "Hai avuto un sonno non riposante (sonno molto agitato, eccetera)?", inserito nella dimensione sonno ($\chi^2=0.21$; $p=0.90$) (Figura 27).

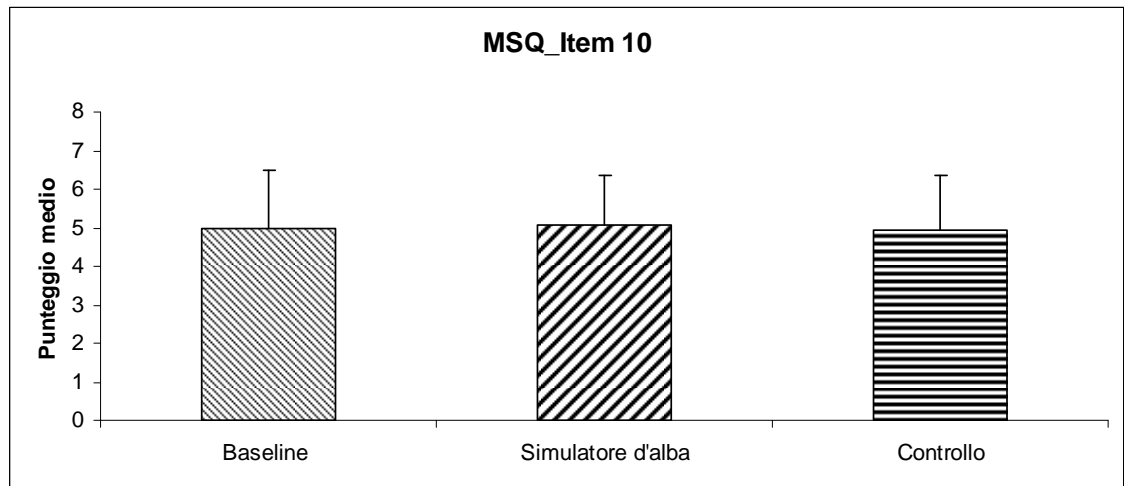


Figura 27 – Medie e deviazioni standard riferite alla domanda 10 dell'MSQ ("Hai avuto un sonno non riposante (sonno molto agitato, eccetera)?"), nelle tre condizioni sperimentali esaminate.

In seguito all'analisi item per item, è stato utilizzato un approccio categoriale per individuare gli studenti con buona oppure cattiva qualità della veglia e del sonno, in base ai punteggi di cut-off della versione Italiana dell'MSQ (vedi paragrafo 4.2.5.1). In relazione al confronto tra la proporzione di partecipanti con buona/cattiva qualità della veglia nelle tre condizioni sperimentali esaminate, è emersa una tendenza alla significatività ($Q_2=5.65$; $p=0.06$), con una diminuzione del numero di partecipanti con cattiva qualità della veglia nel passaggio dalla condizione baseline alla condizione simulatore d'alba (Tabella 6). Il confronto tra la proporzione di partecipanti alla ricerca

con buona/cattiva qualità del sonno in baseline, simulatore d'alba e controllo, non è risultato statisticamente significativo ($Q_2=2.33$; $p=0.31$) (Tabella 6).

Tabella 6 – Proporzioni di partecipanti con buona/cattiva qualità della veglia e buona/cattiva qualità del sonno, nelle tre condizioni sperimentali osservate. In tabella sono riportati i numeri grezzi e i valori percentuali di riga.

	Cattiva	Buona
Qualità della veglia		
Baseline	8 14.29%	48 85.71%
Simulatore d'alba	4 7.14%	52 92.86%
Controllo	12 21.43%	44 78.57%
Qualità del sonno		
Baseline	6 10.71%	50 89.29%
Simulatore d'alba	4 7.14%	52 92.86%
Controllo	3 5.36%	53 94.64%

5.1.5. Global Vigor and Affect Scale (GVA)

L'analisi della varianza a misure ripetute non ha messo in luce un effetto significativo del fattore within ($F_{2,110}=1.36$; $p=0.26$) sulla dimensione vigor della GVA. I punteggi medi di baseline (57.90 ± 15.67), simulatore d'alba (57.05 ± 16.47) e controllo (54.01 ± 16.53) non sono risultati significativamente differenti (Figura 28).

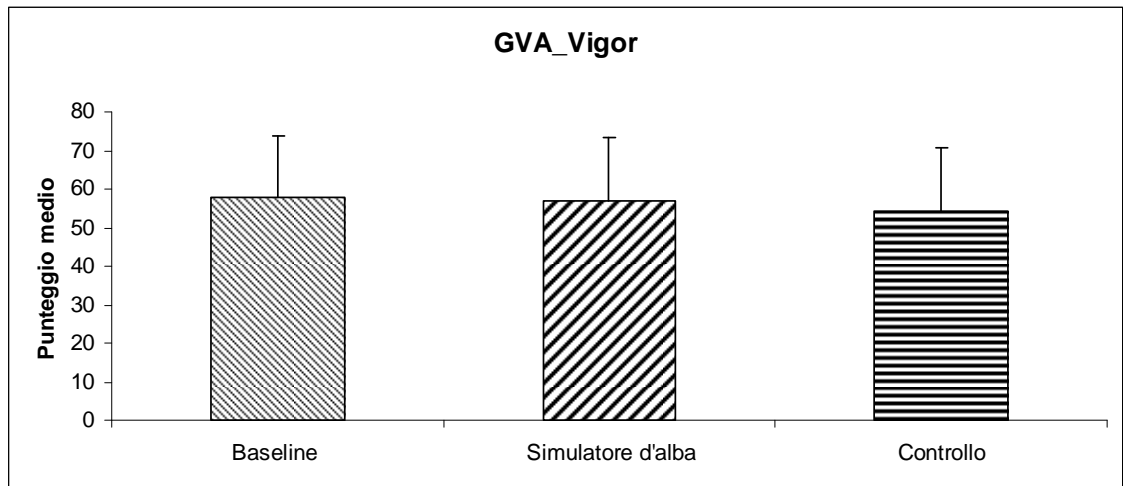


Figura 28 – Rappresentazione grafica dei punteggi medi e relative deviazioni standard, riportati dai partecipanti al fattore vigor della GVA, nelle tre condizioni sperimentali oggetto di studio.

Anche in relazione alla dimensione affect della GVA, non sono state osservate differenze significative tra baseline (66.13 ± 16.77), simulatore d'alba (68.29 ± 15.41) e controllo (64.22 ± 15.84) ($F_{2,110} = 2.08$; $p = 0.13$) (Figura 29).

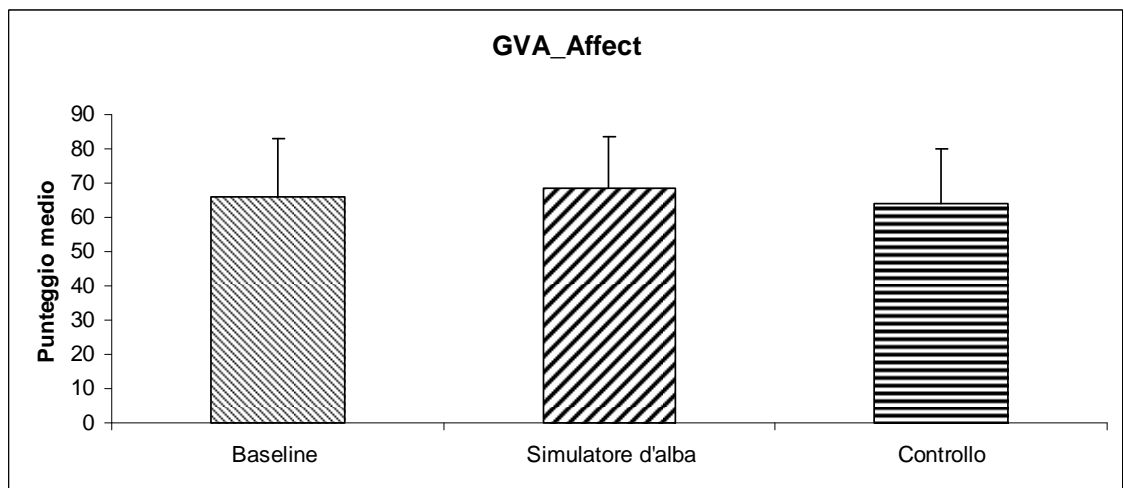


Figura 29 – Medie e deviazioni standard dei punteggi relativi al fattore affect della GVA, in baseline, simulatore d'alba e controllo.

5.2. Attigrafia

5.2.1. Parametri del sonno

In relazione al parametro bedtime, non sono state osservate differenze significative tra le condizioni baseline ($24:05 \pm 0.85$), simulatore d'alba ($24:11 \pm 0.84$) e controllo ($24:10 \pm 0.82$) ($F_{2,106}=0.72$; $p=0.49$) (vedi Figura 30).

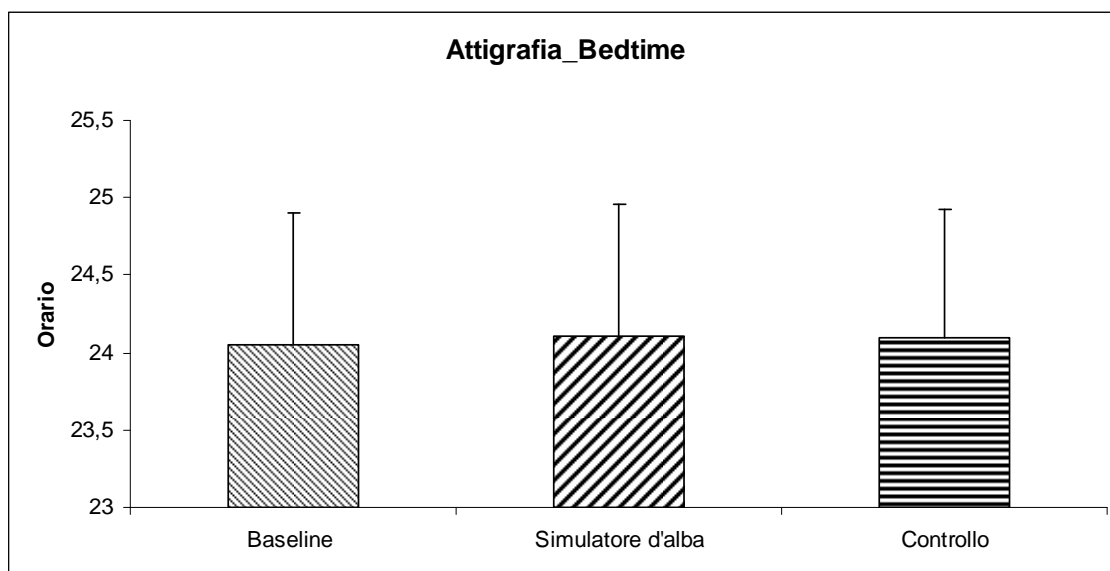


Figura 30 – Rappresentazione grafica dell'effetto del fattore within sul parametro attigrafico "bedtime". Nel grafico sono riportati i valori medi e le deviazioni standard.

Per quanto riguarda il parametro get up time, le condizioni sperimentali di baseline ($7:32 \pm 0.52$), simulatore d'alba ($7:25 \pm 0.46$) e controllo ($7:29 \pm 0.40$) non sono risultate significativamente differenti ($F_{2,106}=1.51$; $p=0.22$) (Figura 31).

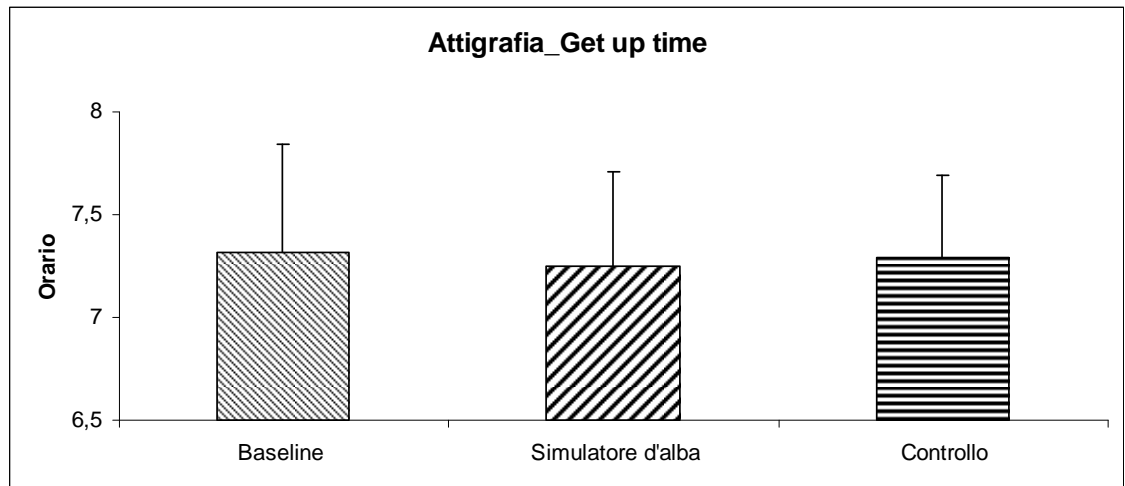


Figura 31 – Medie e deviazioni standard relative al parametro get up time, nelle tre condizioni sperimentali prese in esame.

L'effetto del fattore within sul parametro attigrafico midpoint of sleep (Figura 32) non ha raggiunto la significatività statistica ($F_{2,106}=0.12$; $p=0.89$) (baseline=3:49±0.59, simulatore d'alba=3:48±0.57, controllo=3:50±0.50).

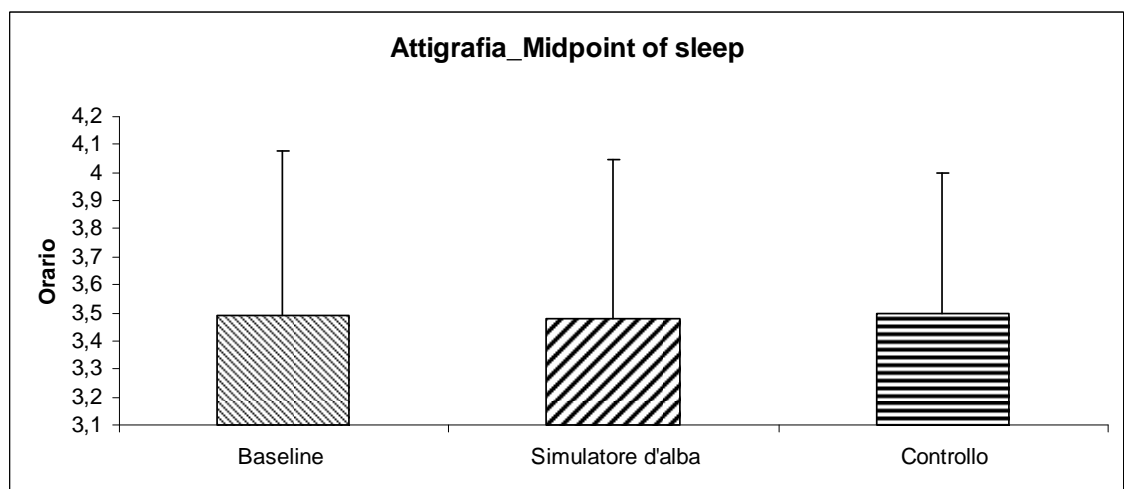


Figura 32 – Medie e deviazioni standard relative al parametro midpoint of sleep, nelle tre condizioni sperimentali prese in esame.

E' emerso un effetto significativo del fattore within sul parametro time in bed (TIB) ($F_{2,106}=4.52$; $p<0.05$). Il post-hoc test di Scheffé ha evidenziato una durata del

TIB significativamente più estesa nella condizione baseline (449.74 ± 47.25) rispetto alla condizione simulatore d'alba (435.17 ± 44.98) ($p < 0.05$) (Figura 33).

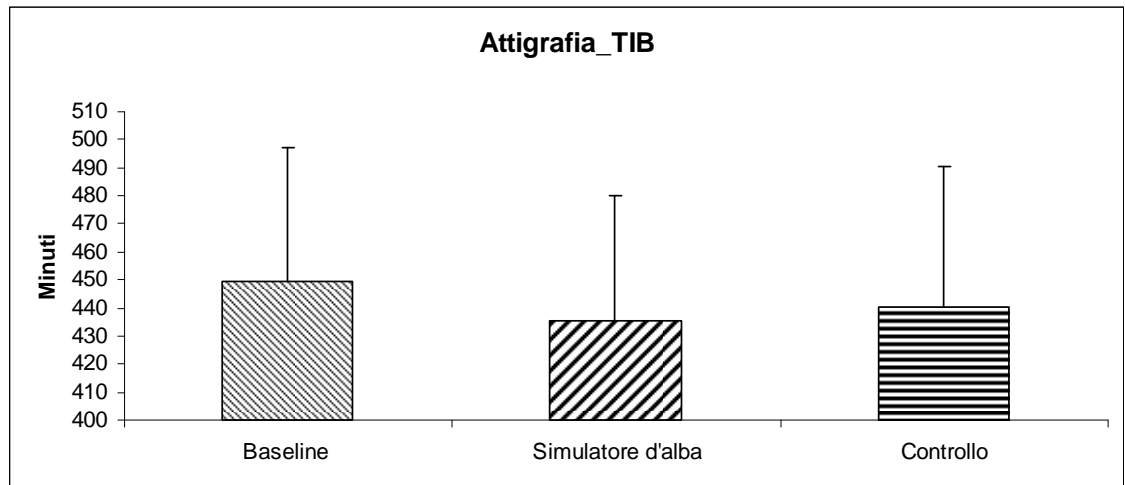


Figura 33 – Medie e deviazioni standard del parametro TIB, osservate nelle condizioni sperimentali di baseline, simulatore d'alba e controllo.

Il parametro sleep onset latency (SOL) non si è differenziato significativamente tra baseline (8.92 ± 6.47), simulatore d'alba (8.73 ± 5.09) e controllo (9.48 ± 6.48) ($F_{2,106} = 0.47$; $p = 0.62$) (Figura 34).

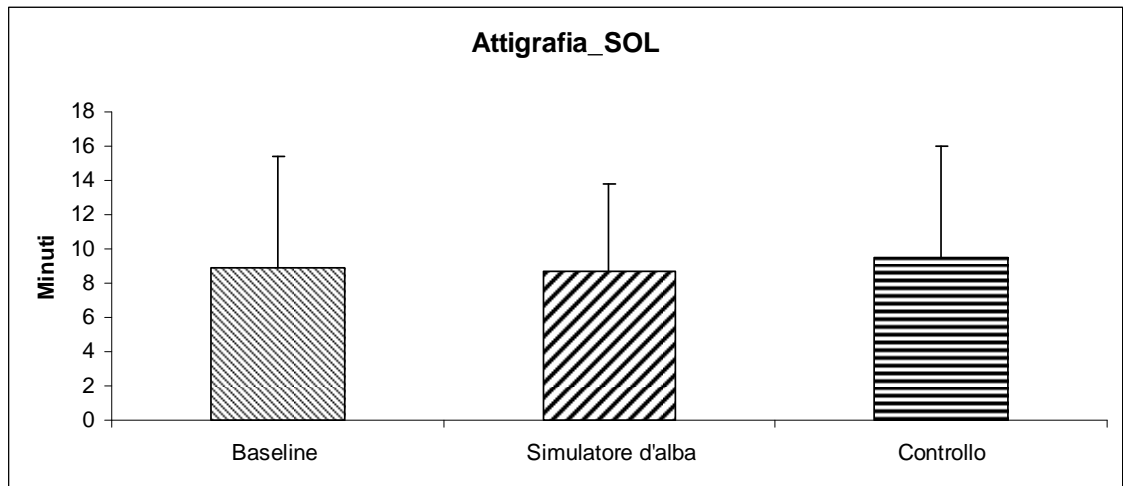


Figura 34 – Rappresentazione grafica dell’effetto del fattore within sul parametro SOL, nelle tre condizioni sperimentali esaminate. Nel grafico sono riportati i valori medi e le relative deviazioni standard.

Come mostrato in Figura 35, i valori medi del parametro mean activity score (MAS) non sono risultati significativamente differenti tra baseline (15.57 ± 5.73), simulatore d’alba (15.01 ± 5.87) e controllo (14.65 ± 5.16) ($F_{2,106} = 2.01$; $p = 0.14$).

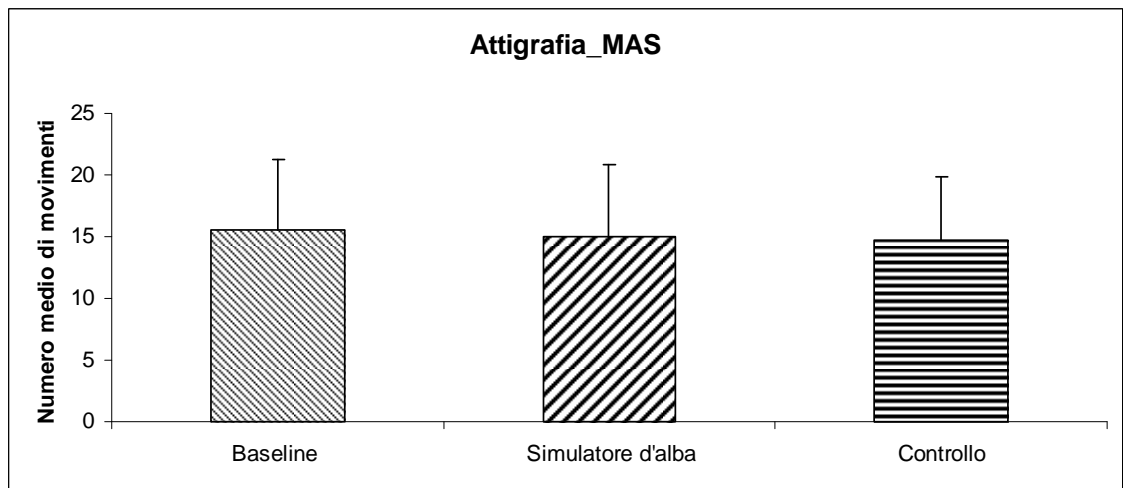


Figura 35 – Medie e deviazioni standard relative al parametro MAS, nelle condizioni sperimentali analizzate.

Per quanto riguarda il parametro total sleep time (TST) (Figura 36), non sono state osservate differenze significative tra baseline (405.05 ± 46.03), simulatore d'alba (395.86 ± 42.87) e controllo (400.33 ± 47.36) ($F_{2,106}=2.57$; $p=0.08$).

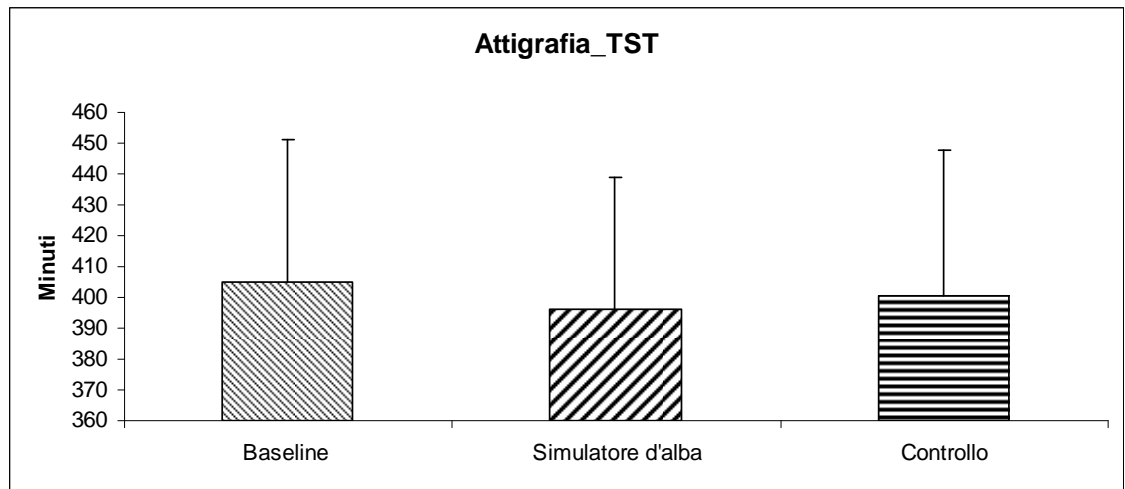


Figura 36 – Medie e deviazioni standard osservate in relazione al parametro attigrafico TST, nelle tre condizioni sperimentali prese in esame.

Il parametro sleep efficiency (SE) non si è differenziato significativamente (vedi Figura 37) tra baseline (90.60 ± 3.50), simulatore d'alba (91.01 ± 3.54) e controllo (90.94 ± 3.31) ($F_{2,106}=1.03$; $p=0.36$).

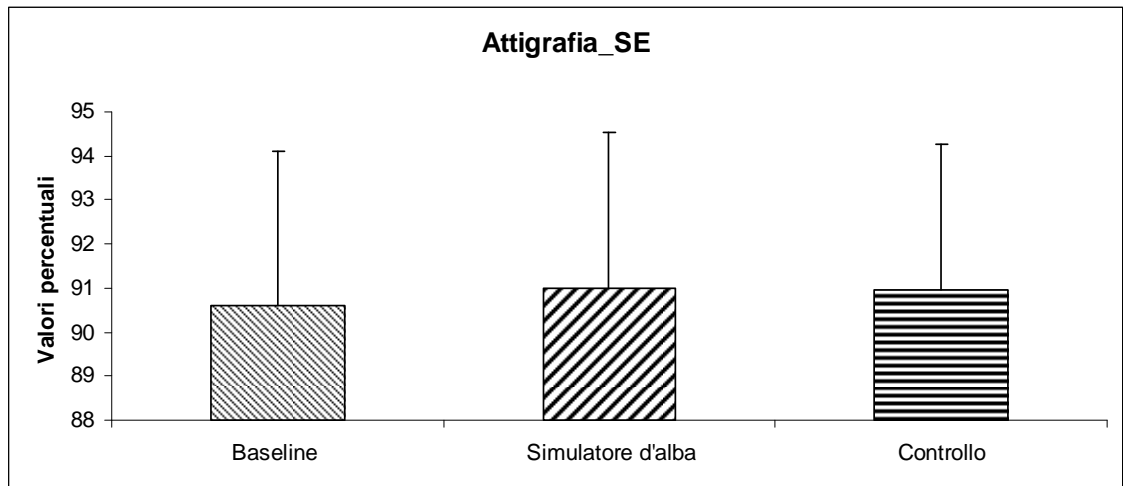


Figura 37 – Rappresentazione grafica dell'effetto del fattore within sul parametro SE, nelle tre condizioni sperimentali esaminate. Nel grafico sono riportati i valori medi e le relative deviazioni standard.

In relazione al parametro wake after sleep onset (WASO), i valori medi di baseline (30.02 ± 14.30), simulatore d'alba (28.57 ± 14.25) e controllo (28.25 ± 14.13) non sono risultati significativamente differenti ($F_{2,106} = 1.23$; $p = 0.30$) (Figura 38).

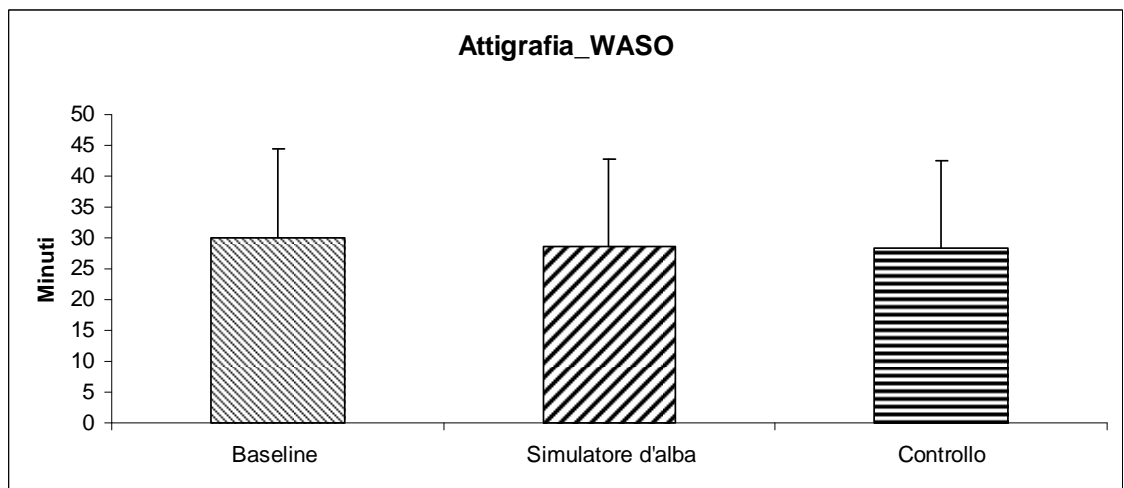


Figura 38 – Medie e deviazioni standard del parametro WASO nelle condizioni sperimentali di baseline, simulatore d'alba e controllo.

Come documentato in Figura 39, l'effetto del fattore within sul parametro wake bouts (WB) non ha raggiunto il livello di significatività statistica (baseline=17.50±7.54, simulatore d'alba=17.09±7.57, controllo=16.81±7.32) ($F_{2,106}=0.90$; $p=0.41$).

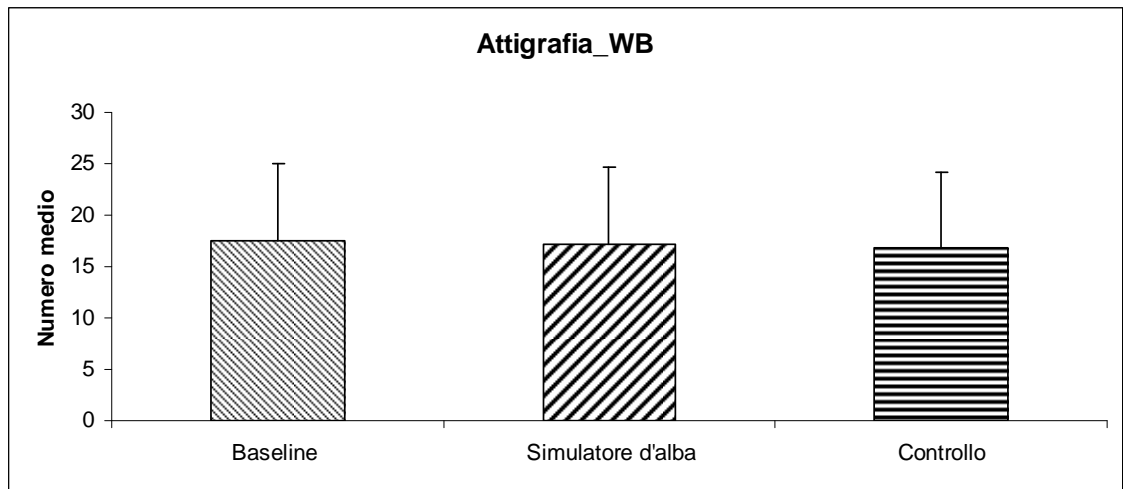


Figura 39 – Medie e deviazioni standard relative al parametro WB nelle tre condizioni sperimentali esaminate.

5.2.2. Social jetlag, attività motoria diurna e pattern circadiano dell'attività motoria

La durata del social jetlag, espressa in ore e minuti (Figura 40), non si è differenziata significativamente tra le condizioni sperimentali di baseline (2.29±1.43), simulatore d'alba (2.32±1.53) e controllo (2.08±1.36) ($F_{2,90}=1.07$; $p=0.35$).

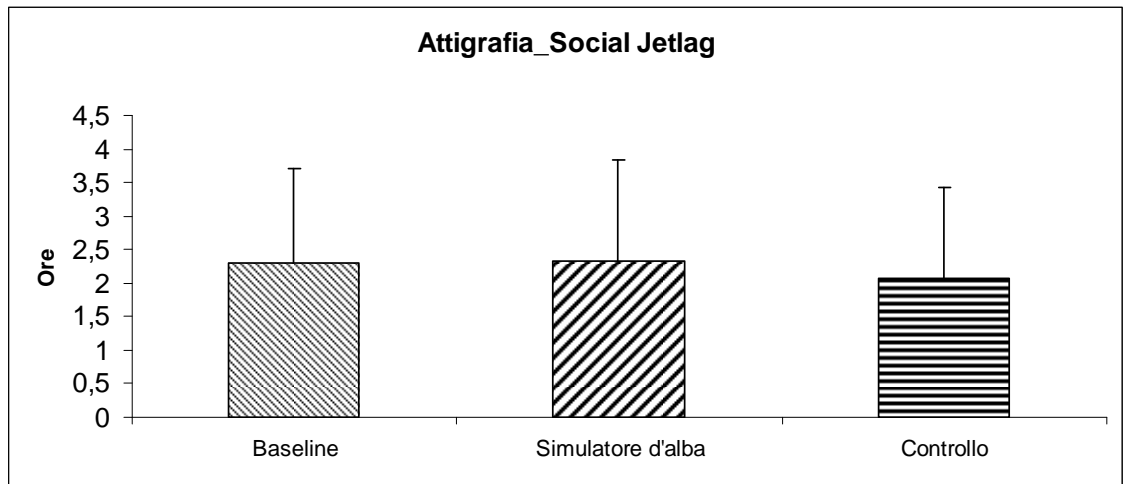


Figura 40 – Rappresentazione grafica dell’effetto del fattore within sulla durata del social jetlag, nelle tre condizioni sperimentali. Nel grafico, sono riportate le medie e le deviazioni standard.

Il parametro attigrafico average wake movement (AWM) non è risultato significativamente differente (Figura 41) nel confronto tra le condizioni di baseline (281.21 ± 92.06), simulatore d’alba (277.70 ± 89.85) e controllo (281.37 ± 92.68) ($F_{2,104}=0.27$; $p=0.77$).

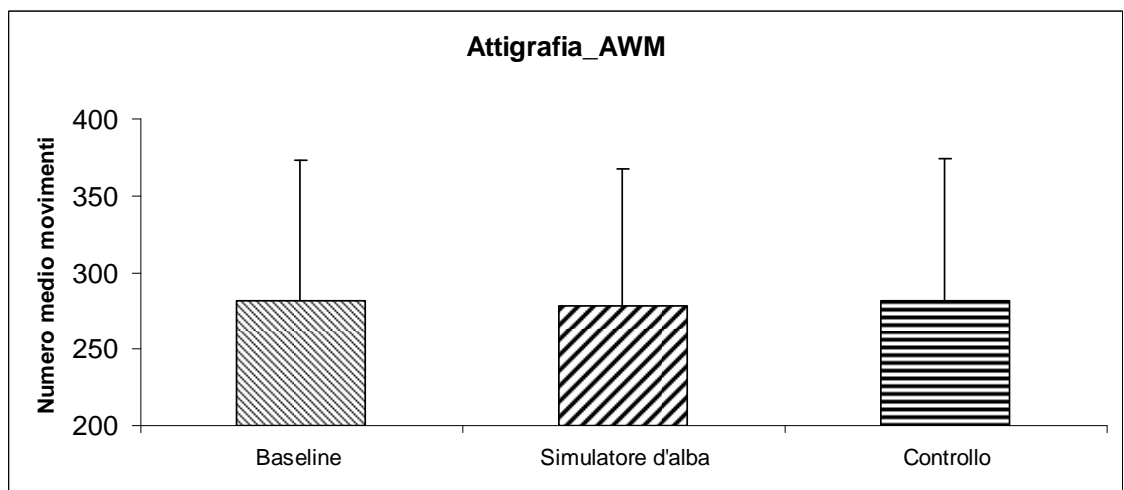


Figura 41 – Rappresentazione grafica dell’effetto del fattore within sul parametro AWM. Nel grafico sono riportati i valori medi e le relative deviazioni standard.

In relazione al confronto tra l'attività motoria media oraria nei giorni di scuola e nel fine settimana, nella sola condizione sperimentale di baseline, è emerso un effetto significativo del fattore giorni di scuola/fine settimana ($F_{1,55}=16.12$; $p<0.005$), con un'attività motoria oraria più elevata nei giorni di scuola (221.34) rispetto al weekend (198.15). L'effetto del fattore ora del giorno ha raggiunto il livello di significatività statistica ($F_{23,1265}=110.09$; $p<0.001$), al pari dell'interazione tra i due fattori ($F_{23,1265}=35.04$; $p<0.001$) (Figura 42). I t-test per campioni dipendenti hanno messo in luce un'attività motoria significativamente più elevata nel fine settimana, rispetto ai giorni di scuola, alle ore 00:00 ($p<0.001$), 01:00 ($p<0.005$), 02:00 ($p<0.005$), 03:00 ($p<0.005$), 04:00 ($p<0.05$), 16:00 ($p<0.005$), 18:00 ($p<0.05$), 19:00 ($p<0.05$) e 22:00 ($p<0.05$). Al contrario, l'attività motoria è risultata significativamente più elevata nei giorni di scuola, se confrontata con il fine settimana, alle ore 07:00 ($p<0.001$), 08:00 ($p<0.001$), 09:00 ($p<0.001$), 10:00 ($p<0.001$), 11:00 ($p<0.001$) e 13:00 ($p<0.001$).

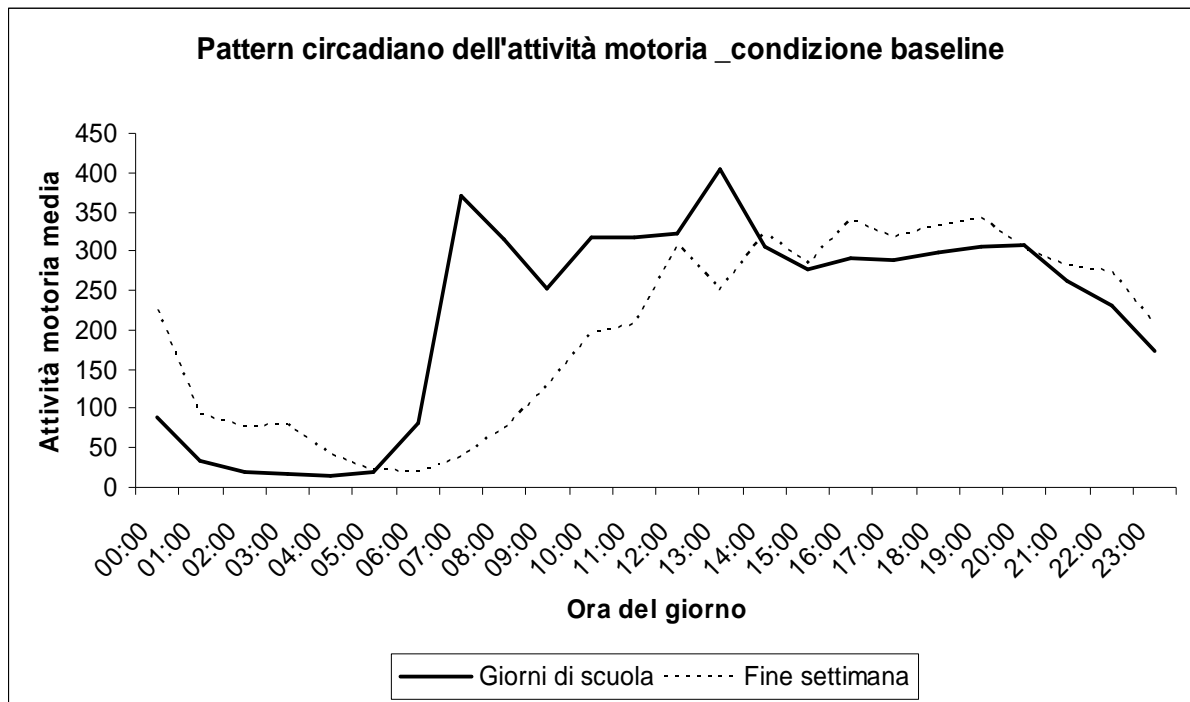


Figura 42 – Rappresentazione grafica dell’interazione tra l’ora del giorno e il fattore giorni di scuola/fine settimana, in relazione all’attività motoria media oraria, nell’arco delle 24 ore (solo condizione sperimentale di baseline).

Per quanto riguarda l’attività motoria media oraria nei giorni di scuola delle tre condizioni sperimentali di baseline, simulatore d’alba e controllo, non è stato osservato un effetto significativo del fattore condizione sperimentale ($F_{2,110}=2.38$; $p=0.10$) (baseline=221.34, simulatore d’alba=220.54, controllo=214.11). L’effetto ora del giorno è risultato statisticamente significativo ($F_{23,1265}=185.62$; $p<0.001$), mentre l’interazione tra i due fattori non ha raggiunto il livello di significatività ($F_{46,2530}=1.30$; $p=0.09$) (Figura 43).

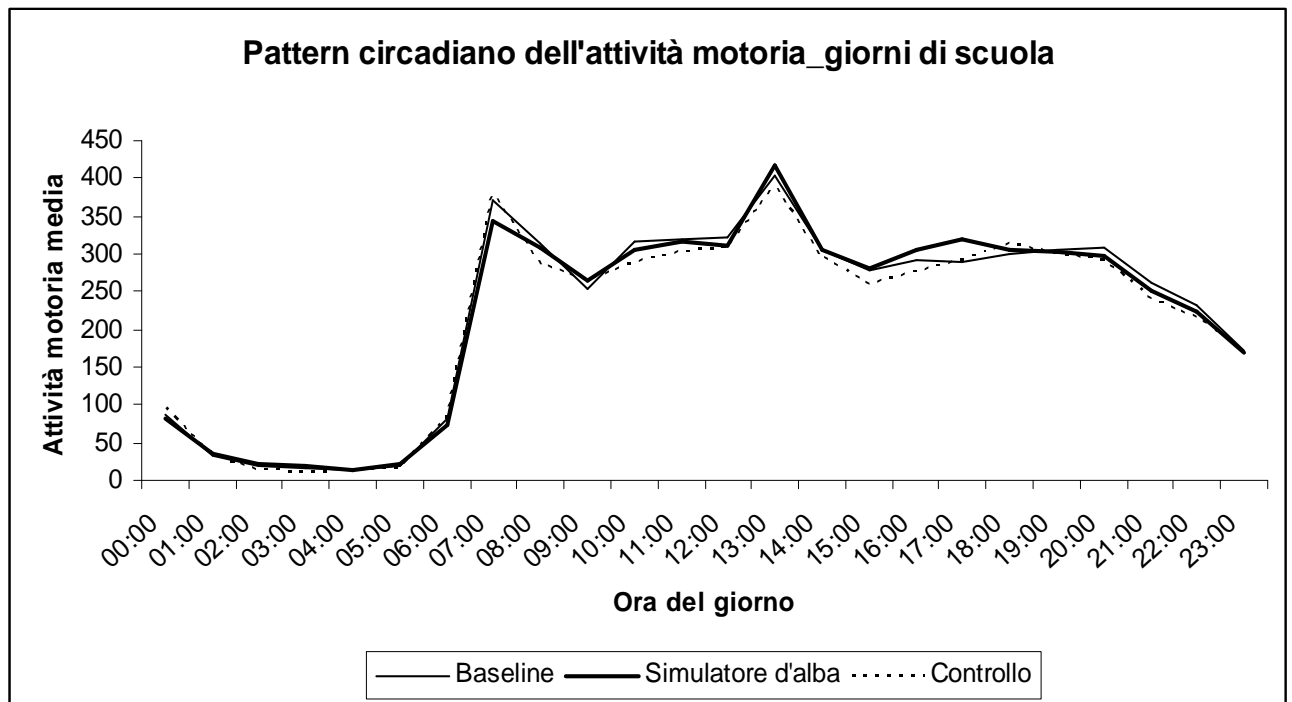


Figura 43 – Interazione tra l’ora del giorno e le tre condizioni sperimentali esaminate, in relazione all’attività motoria media oraria, nell’arco delle 24 ore, nei soli giorni di scuola.

In relazione al pattern circadiano dell’attività motoria nei giorni di scuola, nelle condizioni simulatore d’alba e controllo, l’analisi della varianza mista non ha messo in luce un effetto significativo del fattore “ordine delle condizioni sperimentali” ($F_{1,54}=0.77$; $p=0.38$), con l’attività motoria media oraria dei partecipanti inseriti nel gruppo 1 pari a 208.86, mentre per il gruppo 2 il valore medio dell’attività motoria oraria è risultato 225.79. Anche l’effetto del fattore condizione sperimentale non ha raggiunto il livello di significatività statistica ($F_{1,54}=2.85$; $p=0.10$), con un’attività motoria media oraria di 220.54 nella condizione simulatore d’alba e 214.11 nella condizione controllo. Al contrario, l’effetto ora del giorno è risultato statisticamente significativo ($F_{23,1242}=168.53$; $p<0.001$), mentre non sono risultate tali le interazioni tra il fattore between “ordine delle condizioni sperimentali” ed il fattore within “condizioni sperimentali” ($F_{1,54}=0.26$; $p=0.61$) e l’interazione tra il fattore between ed il fattore

within “ora del giorno” ($F_{23,1242}=1.23$; $p=0.20$). L’interazione tra i fattori within ora del giorno e condizione sperimentale era statisticamente significativa ($F_{23,1242}=1.55$; $p<0.05$) (Figura 44); i t-test per campioni dipendenti hanno evidenziato un’attività motoria media oraria significativamente più elevata in condizione simulatore d’alba, rispetto al controllo, alle ore 05:00 ($p<0.05$) e alle ore 08:00 ($p<0.005$), mentre un pattern opposto di risultati è stato documentato alle ore 07:00 ($p<0.05$). Anche se i seguenti confronti non sono risultati pienamente significativi da un punto di vista statistico, è interessante osservare come l’attività motoria oraria fosse più elevata in condizione simulatore d’alba, confrontata con il controllo, alle ore 10:00 ($p=0.09$), 13:00 ($p=0.09$), 15:00 ($p=0.08$) e 16:00 ($p=0.09$).

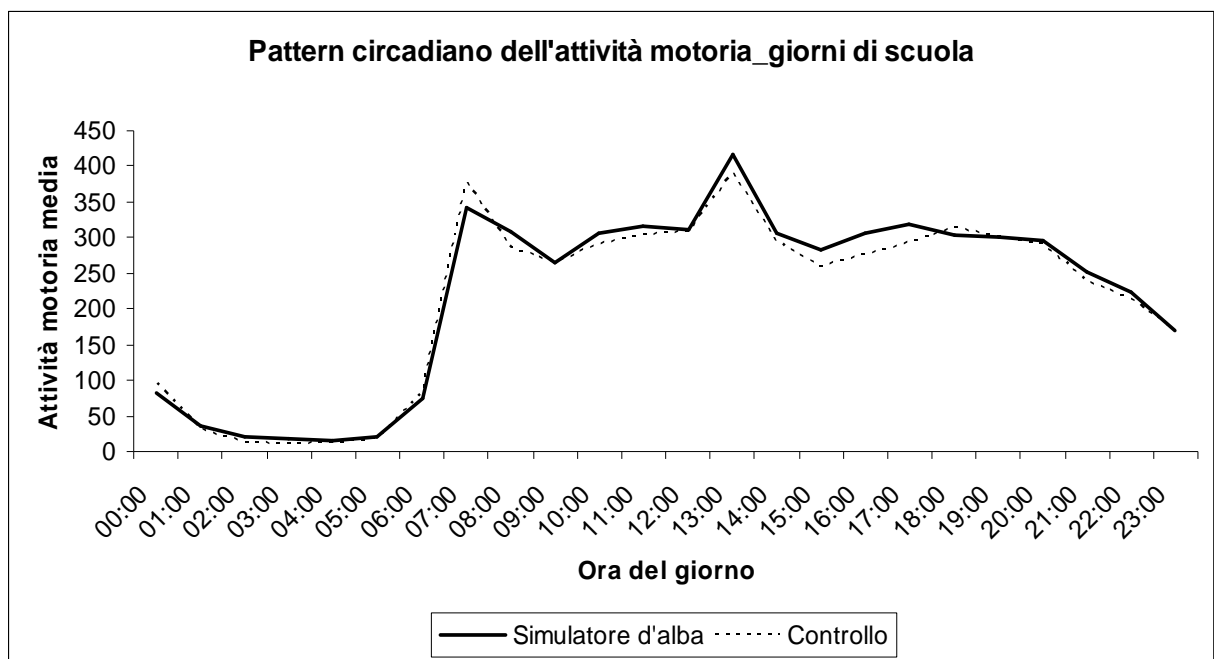


Figura 44 – Attività motoria media oraria, nei giorni di scuola, nelle condizioni sperimentali simulatore d’alba e controllo.

Infine, come è possibile osservare nella Figura 45a e 45b, l'interazione tra i fattori ordine delle condizioni sperimentali, ora del giorno e condizioni sperimentali, non è risultata statisticamente significativa ($F_{23,1242}=1.33$; $p=0.13$). Tuttavia è possibile osservare alcune differenze tra i due gruppi poiché, nel gruppo 2 (Figura 45 b), che ha testato il simulatore d'alba per ultimo, è emersa un'attività motoria più elevata nel periodo post-prandiale, in seguito all'utilizzo di tale dispositivo, rispetto al controllo; al contrario, nel gruppo 1 (Figura 45 a), che ha utilizzato il simulatore d'alba subito dopo aver completato la settimana di registrazione di baseline, l'attività motoria nella condizione di controllo risulta maggiormente simile a quella registrata nella condizione simulatore d'alba.

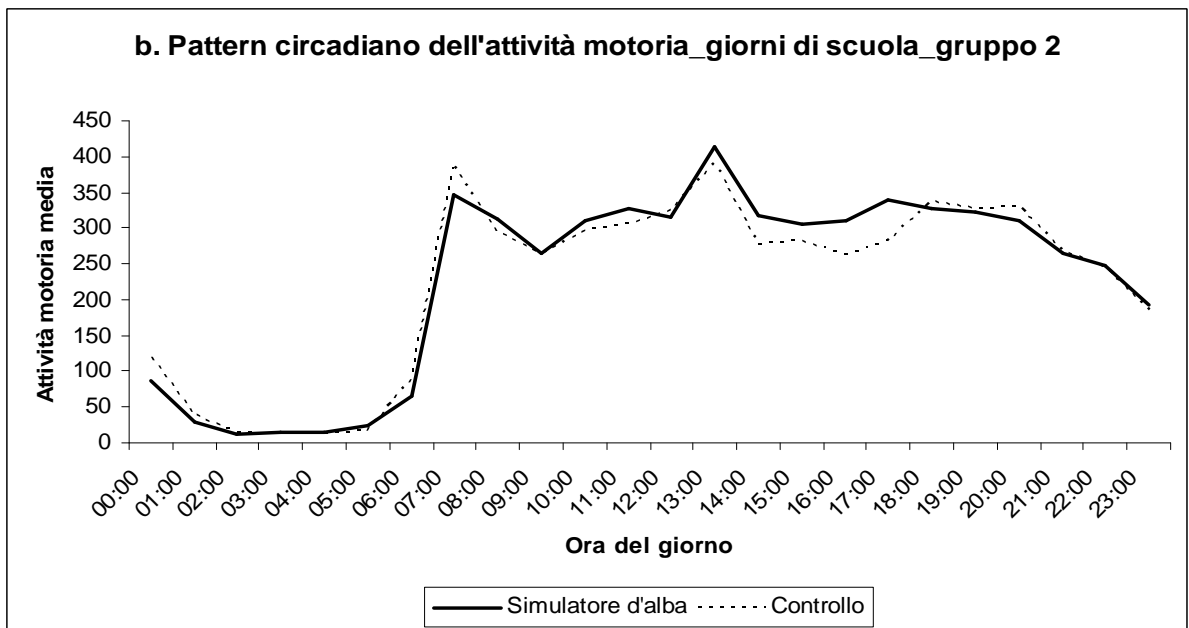
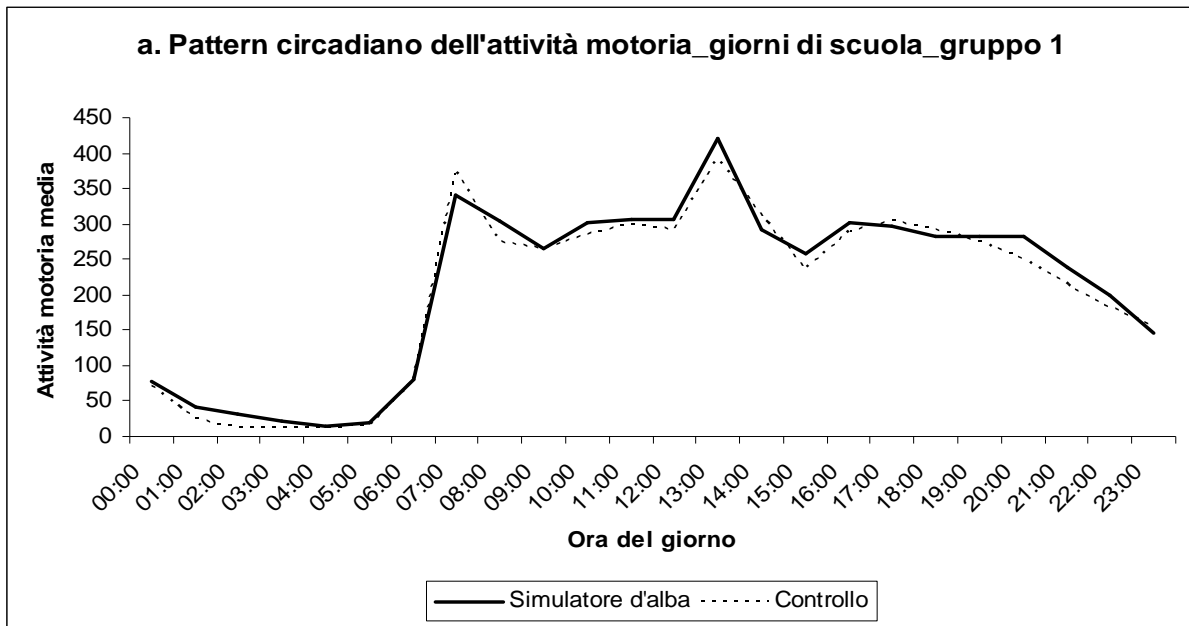


Figura 45 – Attività motoria media oraria nei giorni di scuola, nelle condizioni sperimentali di simulatore d'alba e controllo, separatamente per gruppo 1 (a) e gruppo 2 (b).

5.2.3. Intensità luminosa ambientale

Nella Figura 46, sono riportati i valori medi dell'intensità luminosa (lux), registrati nei 20 minuti precedenti il risveglio tramite l'attigrafo MMW (nei 16

partecipanti all'ultima tranche della ricerca che impiegarono tale dispositivo), nelle settimane di registrazione delle condizioni simulatore d'alba e controllo. Come è possibile osservare, nella condizione simulatore d'alba è stato registrato un graduale incremento dell'intensità luminosa nei 20 minuti precedenti il risveglio, che non è stato documentato nella condizione di controllo, a conferma del fatto che i partecipanti hanno utilizzato tale dispositivo.

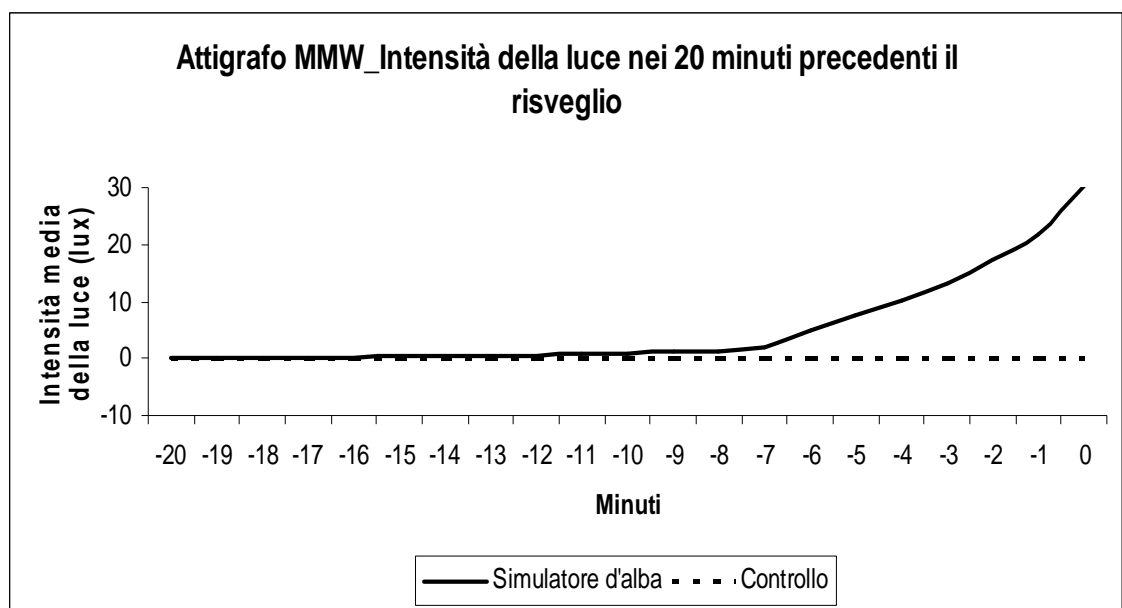


Figura 46 – Intensità luminosa, espressa in lux, registrata tramite l'attigrafo MMW nei 20 minuti precedenti il risveglio, nelle settimane sperimentali delle condizioni simulatore d'alba e controllo.

5.3. Strumento wireless per il monitoraggio elettroencefalografico del sonno (Zeo®)

5.3.1. Parametri del sonno ed architettura del sonno

Per quanto riguarda il parametro total sleep time (TST) (Figura 47) non sono emerse differenze significative tra baseline (416.62 ± 53.41), simulatore d'alba (402.34 ± 58.65) e controllo (408.41 ± 65.13) ($F_{2,84}=1.86$; $p=0.16$).

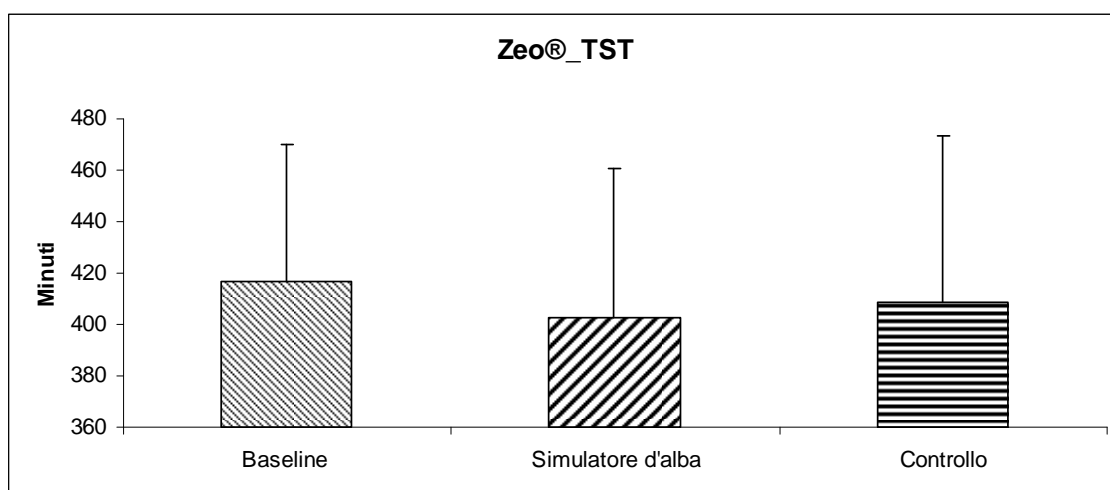


Figura 47 – Rappresentazione grafica dell'effetto del fattore within sul parametro TST nelle tre condizioni sperimentali esaminate. Nel grafico sono riportati i valori medi e le deviazioni standard.

L'effetto del fattore within sul parametro sleep onset latency (SOL) (Figura 48) non ha raggiunto il livello di significatività statistica ($F_{2,84}=0.82$; $p=0.45$) (baseline= 13.34 ± 7.16 , simulatore d'alba= 14.38 ± 9.44 , controllo= 12.58 ± 8.83).

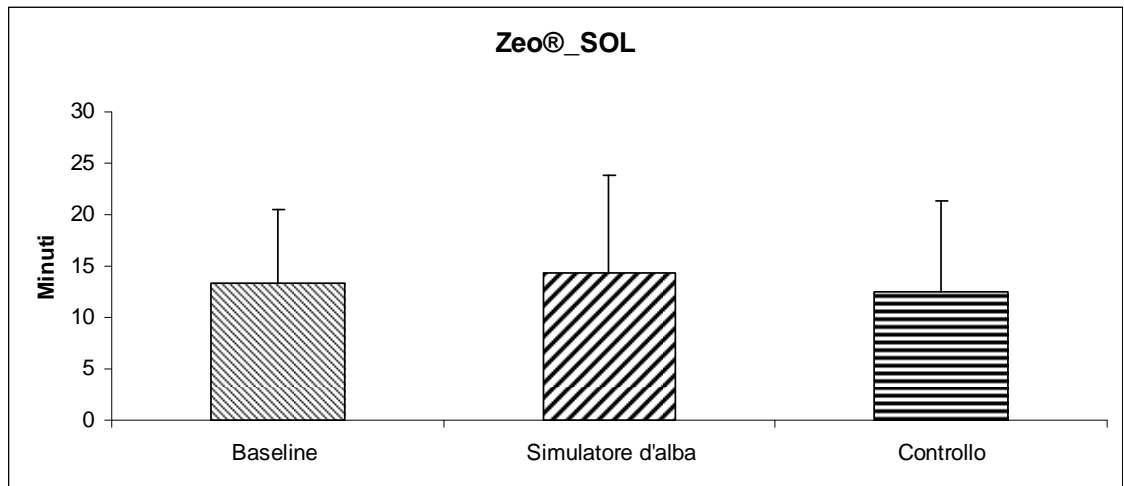


Figura 48 – Rappresentazione grafica dell'effetto del fattore within sul parametro SOL. Nel grafico sono riportate le medie e le deviazioni standard osservate nelle tre condizioni sperimentali.

Per quanto concerne il parametro wake after sleep onset (WASO) (Figura 49), i valori medi di baseline (2.91 ± 2.27), simulatore d'alba (4.95 ± 11) e controllo (2.98 ± 4.17) non sono risultati significativamente differenti ($F_{2,84}=1.59$; $p=0.21$).

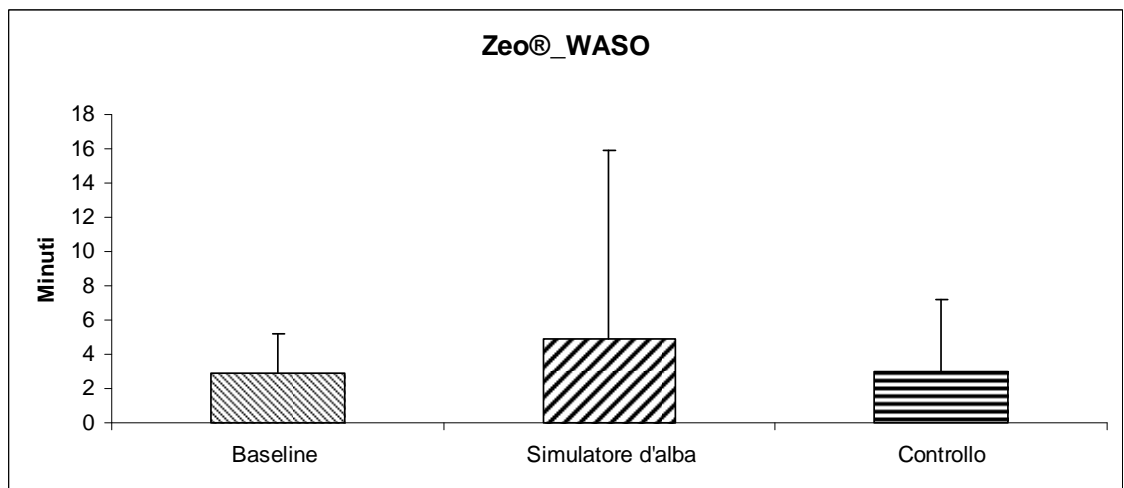


Figura 49 –Medie e deviazioni standard del parametro WASO nelle tre condizioni sperimentali prese in esame.

Non sono state osservate differenze significative tra il numero medio dei wake bouts (WB) in baseline (1.05 ± 0.69), simulatore d'alba (1.10 ± 1.12) e controllo (0.87 ± 0.84) ($F_{2,84}=1.48$; $p=0.23$) (Figura 50).

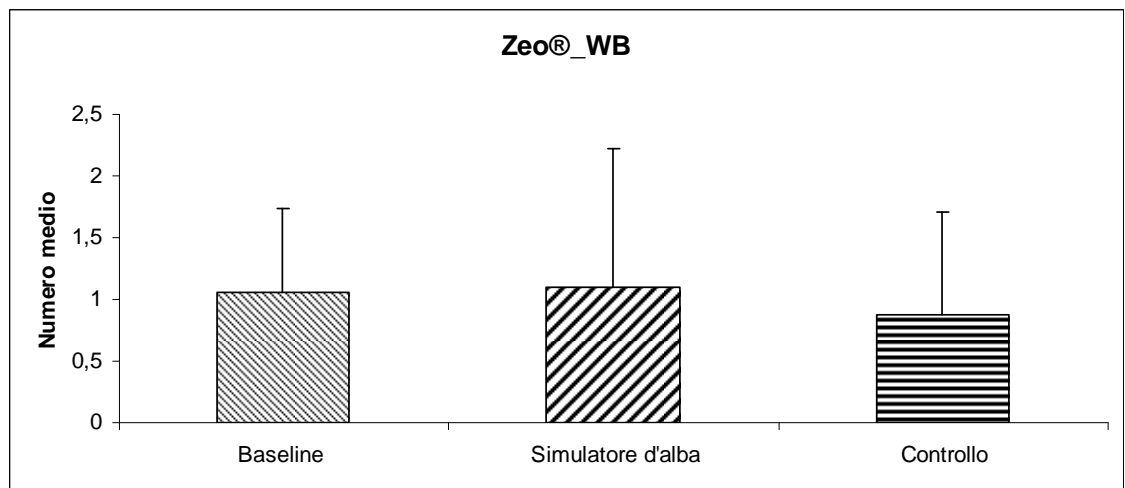


Figura 50 – Medie e deviazioni standard relative al parametro wake bouts nelle tre condizioni sperimentali esaminate.

Il parametro sleep efficiency (SE) non si è differenziato significativamente tra baseline (95.96 ± 2.67), simulatore d'alba (95.38 ± 3.76) e controllo (96.08 ± 2.97) ($F_{2,84}=1.23$; $p=0.30$) (Figura 51).

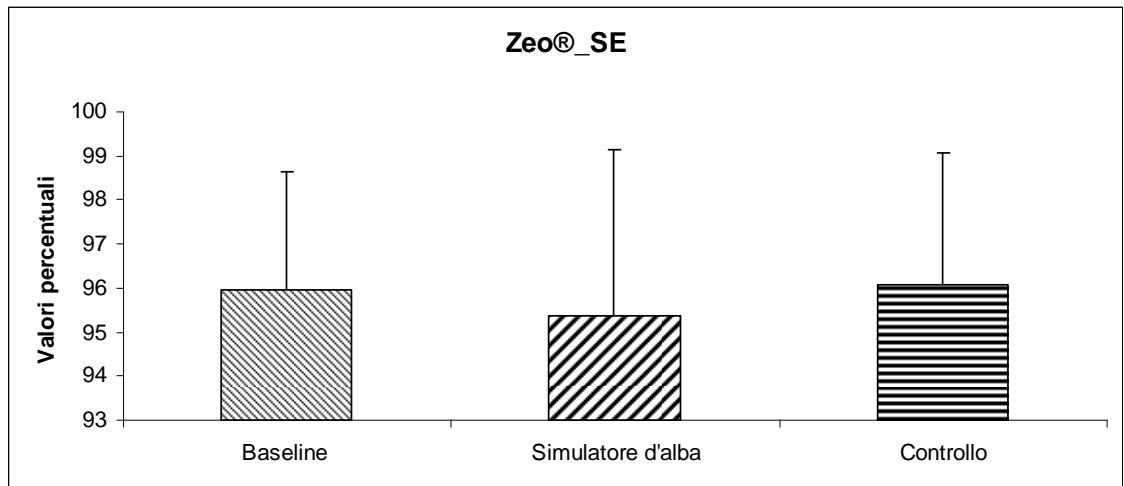


Figura 51 – Effetto del fattore within sul parametro SE nelle condizioni baseline, simulatore d'alba e controllo. Nel grafico vengono riportate le medie e le deviazioni standard.

Per quanto riguarda l'architettura del sonno, non è emerso un effetto significativo del fattore within sulla durata del sonno leggero (light sleep) (Figura 52), con la durata media in baseline pari a 209.93 ± 34.89 minuti, 200.17 ± 35.58 minuti nella condizione simulatore d'alba e 200.63 ± 37.94 minuti nella condizione controllo ($F_{2,84}=2.25$; $p=0.11$).

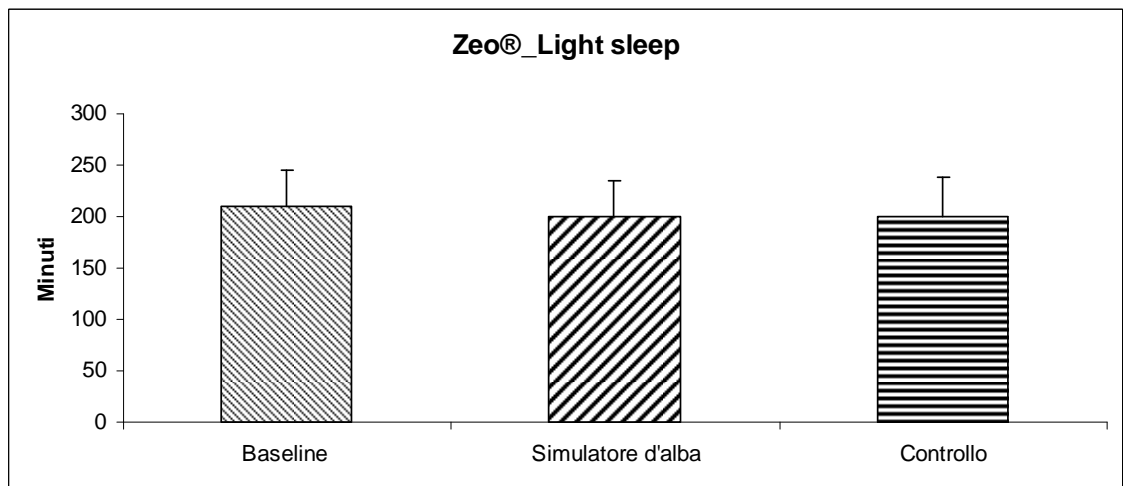


Figura 52 – Medie e deviazioni standard relative alla durata del light sleep nelle tre condizioni sperimentali esaminate.

La durata del sonno profondo (deep sleep) (Figura 53) non si è differenziata significativamente tra baseline (94.31 ± 20.60), simulatore d'alba (91.21 ± 21.46) e controllo (92.38 ± 23.09) ($F_{2,84}=0.66$; $p=0.52$).

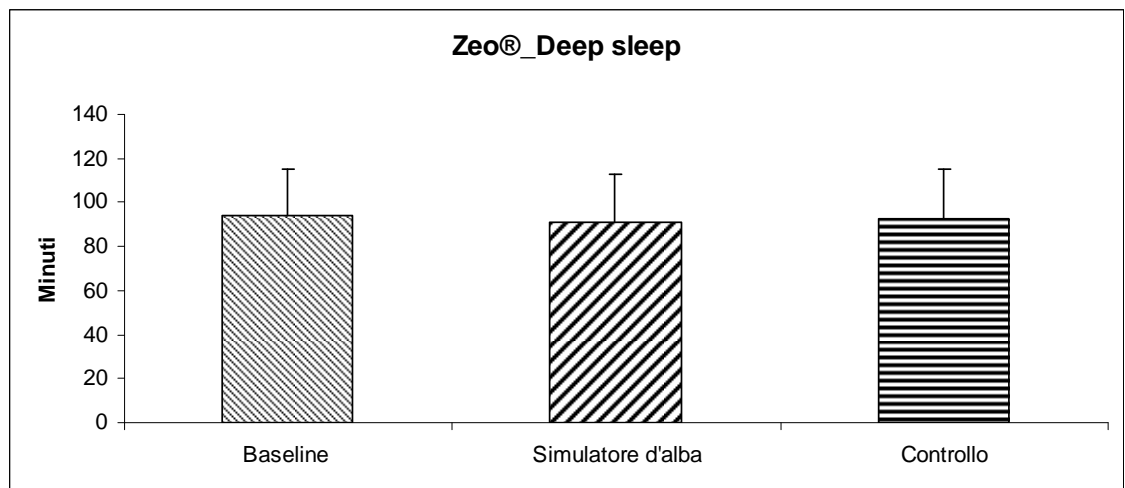


Figura 53 – Medie e deviazioni standard relative alla durata del deep sleep nelle tre condizioni sperimentali esaminate.

Infine, anche in relazione alla durata del sonno REM (REM sleep) (Figura 54) non sono state documentate differenze significative tra le condizioni baseline (114.81 ± 28.79), simulatore d'alba (110.99 ± 27.37) e controllo (115.48 ± 30.42) ($F_{2,84}=0.94$; $p=0.39$).

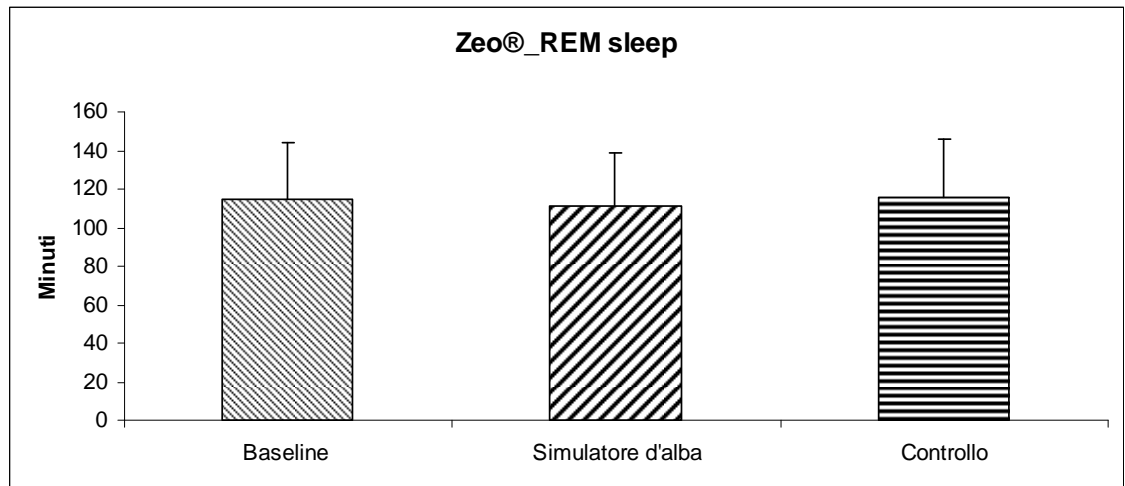


Figura 54 – Medie e deviazioni standard relative alla durata del REM sleep nelle tre condizioni sperimentali esaminate.

5.4. Confronto tra diario del sonno, attigrafia e Zeo®

Al fine di verificare la presenza di eventuali differenze tra i valori di uno stesso parametro del sonno, misurato da diario del sonno, attigrafia e Zeo®, sono state condotte diverse analisi della varianza a misure ripetute, con fattore within il valore del parametro esaminato, fornito dai tre strumenti (diario del sonno, attigrafia e Zeo®), separatamente per baseline, simulatore d'alba e controllo (vedi Tabella 7). In caso di effetti significativi del fattore within, è stato svolto il post-hoc test di Scheffé.

Tabella 7 – Confronto tra lo stesso parametro del sonno (medie e deviazioni standard) misurato da diario del sonno, attigrafia e Zeo[®], separatamente per baseline, simulatore d'alba e controllo. Le differenze significative complessive, tra le tre condizioni sperimentali, sono evidenziate in grassetto.

		Diario del sonno	Attigrafia	Zeo[®]	
TST	Baseline	416.83±44	403.13±44.17	414.08±54.14	F_{2,94}=8.90; p<0.005
	Simulatore d'alba	403.59±52.10	398.06±43.25	402.31±56.81	F _{2,92} =0.58; p=0.56
	Controllo	405.53±59.40	401.82±47.11	406.98±62.42	F _{2,104} =0.47; p=0.62
SOL	Baseline	12.43±5.74	8.31±5.22	12.66±7.16	F_{2,94}=9.18; p<0.005
	Simulatore d'alba	11.06±7.58	8.91±5.18	14.06±9.25	F_{2,92}=6.72; p<0.005
	Controllo	9.92±6.48	9.55±6.42	12.86±9.18	F_{2,104}=4.63; p<0.05
WASO	Baseline	4.61±4.99	31.24±15.40	2.76±2.25	F_{2,94}=153.90; p<0.001
	Simulatore d'alba	2.35±3.02	28.49±14.55	4.57±10.55	F_{2,92}=93.84; p<0.001
	Controllo	2.11±3.13	28.65±14.29	2.84±3.84	F_{2,102}=162.47; p<0.001
WB	Baseline	0.97±0.94	18.19±7.95	0.99±0.68	F_{2,94}=225.79; p<0.001
	Simulatore d'alba	0.60±0.65	17.09±7.92	1.09±1.07	F_{2,92}=199.65; p<0.001
	Controllo	0.97±0.94	18.19±7.95	0.99±0.68	F_{2,102}=256.18; p<0.001
SE	Baseline	93.65±3.54	90.42±3.55	96.18±2.62	F_{2,94}=49.46; p<0.001
	Simulatore d'alba	91.85±5.45	91.07±3.41	95.56±3.61	F_{2,92}=16.55; p<0.001
	Controllo	92.29±5.80	90.89±3.30	96.08±2.62	F_{2,104}=22.57; p<0.001

Legenda: TST=total sleep time; SOL=sleep onset latency; WASO=wake after sleep onset; WB=wake bouts; SE=sleep efficiency.

In relazione al parametro TST, in condizione baseline, il post-hoc test di Scheffé ha evidenziato una durata del TST, misurata tramite l'attigrafo, significativamente inferiore a quella misurata dal diario del sonno ($p < 0.005$) e da Zeo[®] ($p < 0.05$) (Tabella 7). Nelle condizioni simulatore d'alba e controllo, non sono state documentate differenze significative complessive tra i tre strumenti di misura.

Per quanto riguarda il parametro SOL, le differenze complessive tra i tre strumenti hanno raggiunto il livello di significatività nelle tre condizioni sperimentali esaminate (Tabella 7). Il post-hoc test di Scheffé, nella condizione baseline, ha permesso di individuare una durata della latenza di addormentamento, misurata dall'attigrafo, significativamente inferiore a quella determinata da diario del sonno ($p < 0.005$) e Zeo[®] ($p < 0.01$). Nelle condizioni simulatore d'alba e controllo, il post-hoc test di Scheffé ha documentato una latenza di addormentamento, secondo l'attigrafia, significativamente inferiore a quella misurata da Zeo[®] ($p < 0.01$ nella condizione simulatore d'alba e $p < 0.05$ nella condizione controllo).

Anche in riferimento ai parametri WASO e WB, le differenze complessive tra diario del sonno, attigrafia e Zeo[®] hanno raggiunto il livello di significatività statistica nelle tre condizioni sperimentali (Tabella 7). Al post-hoc test di Scheffé, la durata della veglia infra-sonno ed il numero di risvegli, misurati dall'attigrafo, erano significativamente superiori agli stessi parametri stimati dal diario del sonno ($p < 0.001$ nelle tre condizioni sperimentali) e da Zeo[®] ($p < 0.001$ in tutte le condizioni sperimentali).

In riferimento al parametro SE, sono state osservate differenze significative complessive tra i tre strumenti di misura, nelle condizioni sperimentali di baseline, simulatore d'alba e controllo (Tabella 7). Nella condizione di baseline, al post-hoc test

di Scheffé, tutti i confronti sono risultati significativi. Per quanto riguarda le condizioni simulatore d'alba e controllo, il post-hoc test di Scheffé ha evidenziato un'efficienza del sonno valutata tramite Zeo[®] significativamente superiore a quella misurata da diario del sonno ($p < 0.001$ in entrambe le condizioni) e attigrafia ($p < 0.001$ per le due condizioni).

5.5. Attention Network Test

5.5.1. Tempi di reazione complessivi

In relazione ai tempi di reazione complessivi, indipendentemente dal network attentivo che veniva esaminato, è emerso un effetto significativo del fattore within ($F_{2,110}=14.37$; $p < 0.001$) (Figura 55). Al post-hoc test di Scheffé, i tempi di reazione in baseline (526.84 ± 52.44) sono risultati significativamente superiori a quelli riportati nella condizione simulatore d'alba (506.82 ± 54.26) ($p < 0.001$) e nella condizione controllo (509.84 ± 53.37) ($p < 0.001$).

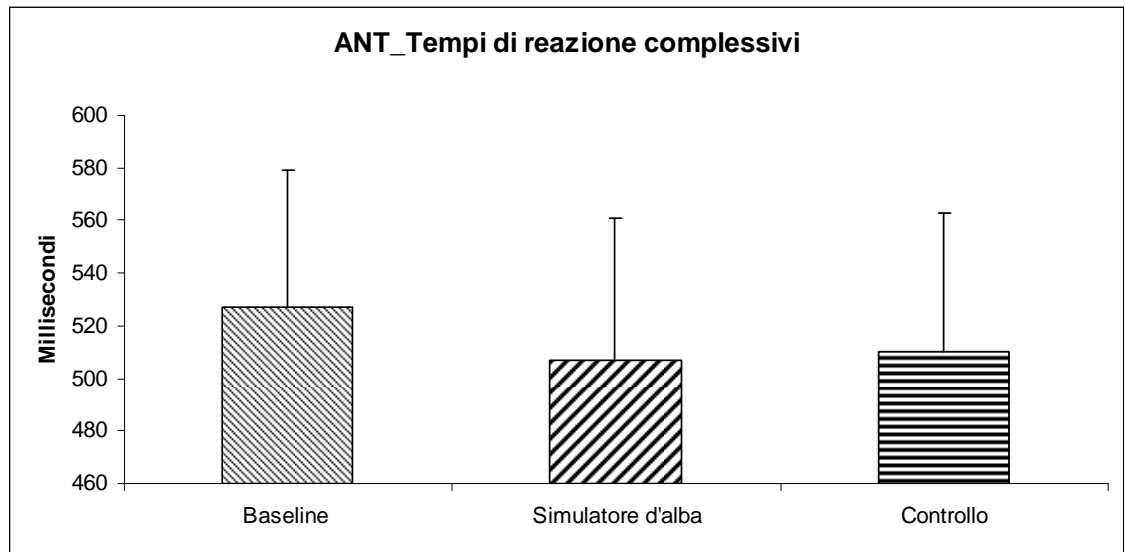


Figura 55 – Medie e deviazioni standard dei tempi di reazione complessivi, indipendentemente dal network attentivo esaminato, registrati nelle condizioni baseline, simulatore d'alba e controllo.

5.5.2. Accuratezza globale

Per quanto riguarda l'accuratezza globale in termini percentuali, indipendentemente dal network attentivo esaminato, l'analisi della varianza a misure ripetute non ha messo in luce una differenza significativa tra baseline (97.60 ± 2.94), simulatore d'alba (98.03 ± 1.85) e controllo (98.12 ± 1.84) ($F_{2,110}=1.28$; $p=0.28$) (Figura 56).

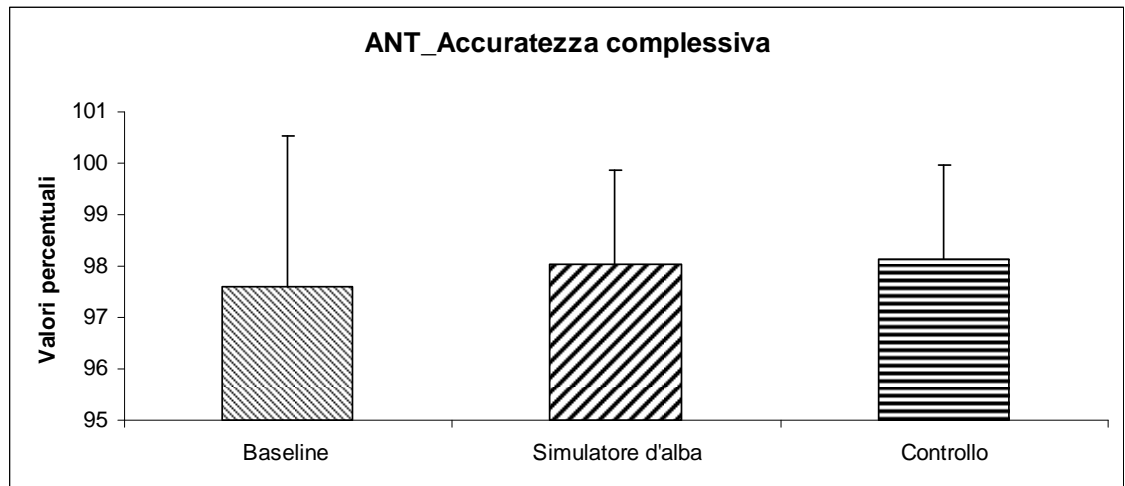


Figura 56 – Rappresentazione grafica dell'accuratezza complessiva (medie e deviazioni standard), a prescindere dal network attentivo esaminato, nelle condizioni baseline, simulatore d'alba e controllo.

5.5.3. Network attentivi

In tabella 8 sono riportati i valori medi e le deviazioni standard dei tempi di reazione ai diversi tipi di cue e flanker, nelle condizioni sperimentali di baseline, simulatore d'alba e controllo, che contribuiscono a definire i tre network attentivi di alerting, orienting ed executive.

Tabella 8 – Medie e deviazioni standard dei tempi di reazione ai diversi tipi di cue e flanker, nelle tre condizioni sperimentali esaminate.

Network attentivo	Tipo di cue, flanker/Condizioni sperimentali	Baseline	Simulatore d'alba	Controllo
Alerting	No cue	557.70 \pm 54.69	548.61 \pm 62.12	550.47 \pm 58.12
	Double cue	526.13 \pm 56.57	502.64 \pm 58.38	509.20 \pm 57.20
Orienting	Center cue	537.97 \pm 61.23	512.48 \pm 53.43	515.89 \pm 54.58
	Spatial cue	489.94 \pm 57.70	465.69 \pm 59.57	468.38 \pm 60.67
Executive	Flanker incongruente	577.07 \pm 76.03	540.79 \pm 66.46	546.23 \pm 70.48
	Flanker congruente	531.37 \pm 54.30	512.30 \pm 52.78	513.94 \pm 53.10

5.5.3.1. Alerting network

E' stato osservato un effetto significativo del fattore within ($F_{2,110}=3.97$; $p<0.05$), in relazione all'efficienza dell>alerting network (vedi Figura 57). Il post-hoc test di Scheffé ha evidenziato un significativo miglioramento dell'efficienza di tale network nella condizione simulatore d'alba (45.97 \pm 32.76), rispetto alla condizione baseline (31.57 \pm 26.97) ($p<0.05$).

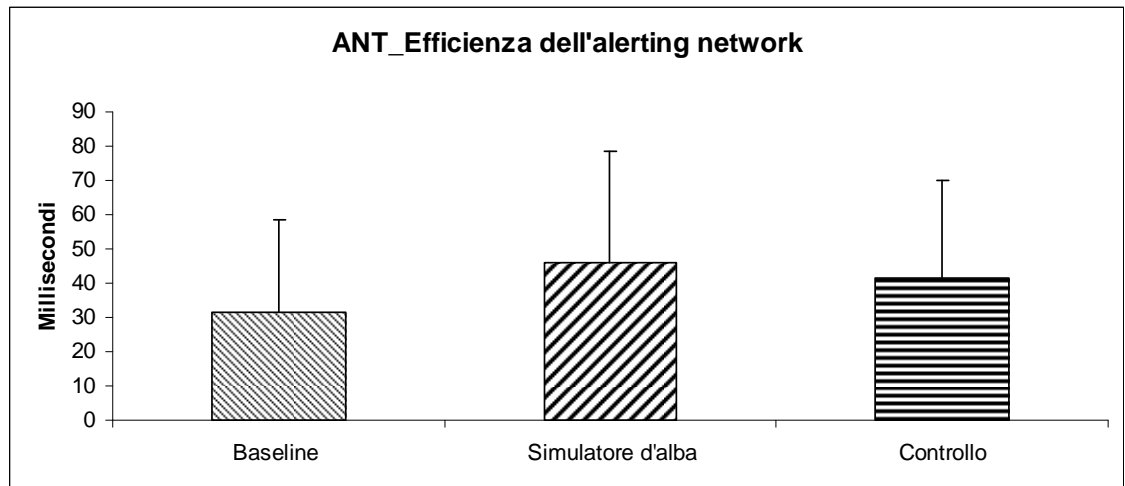


Figura 57 –Efficienza del network attentivo dell’alerting (medie e deviazioni standard), nelle condizioni baseline, simulatore d’alba e controllo.

L’analisi della varianza a misure ripetute con fattori within le condizioni sperimentali (baseline, simulatore d’alba e controllo) ed il tipo di cue (double cue e no cue) ha evidenziato un effetto significativo del fattore condizione ($F_{2,110}=6.87$; $p<0.005$). Il post-hoc test di Scheffé ha evidenziato come i tempi di reazione in baseline (541.91) fossero significativamente più alti dei tempi di reazione in simulatore d’alba (525.63) ($p<0.005$) ed in condizione di controllo (529.83) ($p<0.05$). Anche l’effetto del fattore tipo di cue ha raggiunto la significatività statistica ($F_{1,55}=241.80$; $p<0.001$), con tempi medi di reazione significativamente inferiori per la condizione double cue (512.65) rispetto alla condizione no cue (552.26) ($p<0.001$). L’interazione tra i due fattori è risultata statisticamente significativa ($F_{2,110}=3.97$; $p<0.05$) (Figura 58 e Tabella 8); l’interazione osservata è dovuta ad un significativo miglioramento a carico del double cue nel confronto tra condizione baseline (526.13 ± 56.57) e simulatore d’alba (502.64 ± 58.38) ($p<0.001$), rispetto al confronto tra il no cue in baseline (557.70 ± 54.69) e simulatore d’alba (548.61 ± 62.12), che non ha raggiunto la significatività statistica ($p=0.31$).

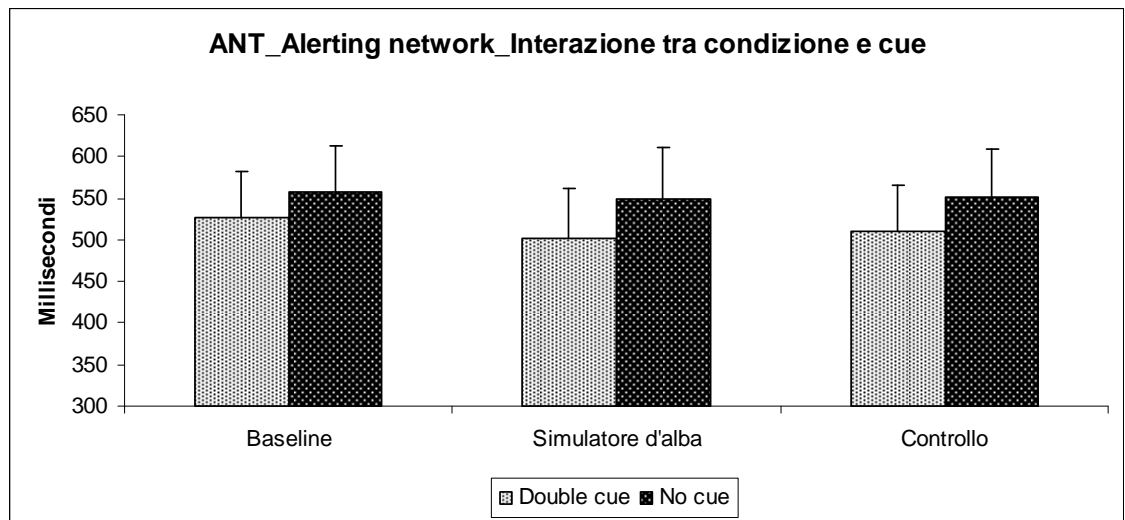


Figura 58 – Interazione tra condizione sperimentale e tipo di cue, riferita all’alerting network. Nel grafico, sono riportati i valori medi e le deviazioni standard dei tempi di reazione.

5.5.3.2. Orienting network

L’analisi della varianza a misure ripetute, in relazione all’efficienza dell’orienting network (Figura 59), non ha messo in luce una differenza significativa tra baseline (48.04 ± 39.78), simulatore d’alba (46.79 ± 29.86) e controllo (47.51 ± 35.70) ($F_{2,110}=0.03$; $p=0.97$).

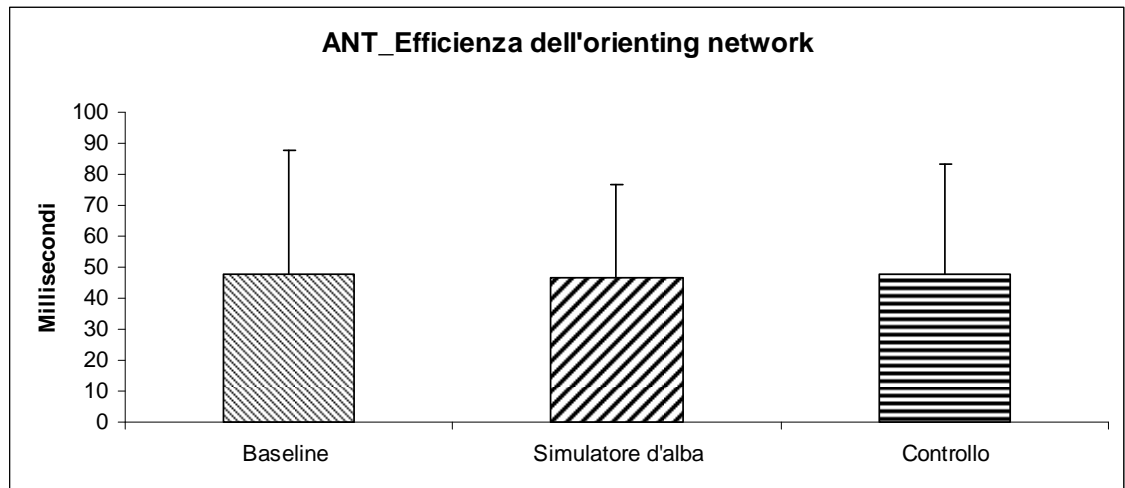


Figura 59 – Medie e deviazioni standard dell'orienting network (millisecondi) nelle condizioni sperimentali esaminate.

E' stata svolta un'analisi della varianza a misure ripetute con fattori within la condizione sperimentale (baseline, simulatore d'alba e controllo) ed il tipo di cue (center cue e spatial cue). Il fattore condizione è risultato significativo ($F_{2,110}=19.15$; $p<0.001$); il post-hoc test di Scheffé ha mostrato tempi di reazione significativamente superiori in baseline (513.96) rispetto a simulatore d'alba (489.08) ($p<0.001$) e controllo (492.13) ($p<0.001$). Anche il fattore tipo di cue ha raggiunto il livello di significatività statistica ($F_{1,55}=173.89$; $p<0.001$), con tempi di reazione significativamente inferiori nella condizione spatial cue (474.67) rispetto alla condizione center cue (522.11) ($p<0.001$). L'interazione tra i due fattori non è risultata significativa ($F_{2,110}=0.03$; $p=0.97$) (Figura 60 e Tabella 8).

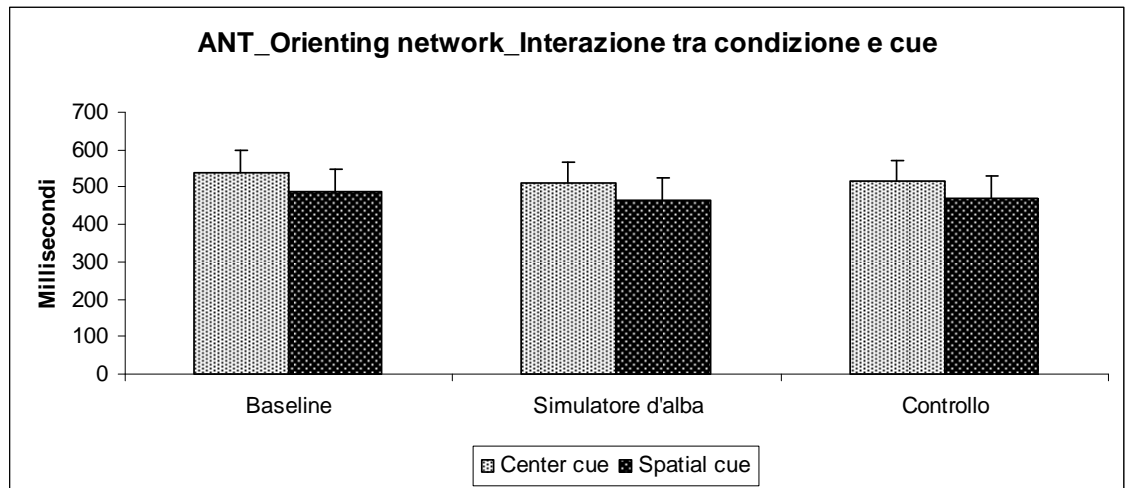


Figura 60 – Interazione tra condizione sperimentale e tipo di cue, in relazione al network dell'orienting. Nel grafico sono riportati i valori medi e le rispettive deviazioni standard dei tempi di reazione.

5.5.3.3. Executive network

In relazione all'efficienza dell'executive network, l'analisi della varianza a misure ripetute ha evidenziato un effetto significativo del fattore condizione ($F_{2,110}=5.94$; $p<0.005$) (Figura 61); al post-hoc test, i valori medi della baseline (45.69 ± 47.16) sono risultati significativamente inferiori a quelli del simulatore d'alba (28.49 ± 43) ($p<0.05$) e del controllo (32.29 ± 39.43) ($p<0.05$).

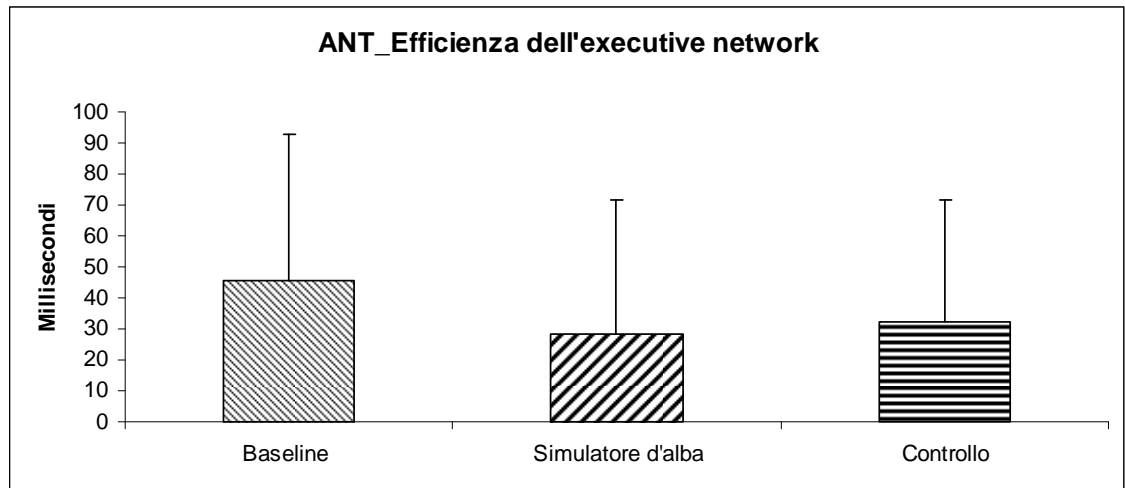


Figura 61 – Rappresentazione grafica dell'executive network (medie e deviazioni standard) in baseline, simulatore d'alba e controllo.

Infine è stata condotta un'analisi della varianza a misure ripetute, a due fattori: condizione (baseline, simulatore d'alba e controllo) e tipo di flanker (congruente e incongruente). Il primo fattore è risultato significativo ($F_{2,110}=22.56$; $p<0.001$), con i tempi di reazione medi in baseline (554.22) che erano significativamente più alti di quelli in simulatore d'alba (526.54) ($p<0.001$) e controllo (530.09) ($p<0.005$). Il fattore tipo di flanker ha raggiunto il livello di significatività statistica ($F_{1,55}=51.75$; $p<0.001$), con tempi medi di reazione più rapidi nella condizione congruente (519.20) rispetto a quella incongruente (554.70) ($p<0.001$). Anche l'interazione tra i due fattori era statisticamente significativa ($F_{2,110}=5.94$; $p<0.005$) (Figura 62 e Tabella 8); l'interazione era dovuta ad un miglioramento nei tempi di reazione a carico del flanker congruente nel confronto tra baseline (531.37 ± 54.30) e simulatore d'alba (512.30 ± 52.78) ($p<0.005$) e tra baseline e controllo (513.94 ± 53.10) ($p<0.01$). Inoltre, anche i tempi di reazione ai flanker incongruenti sono significativamente migliorati tra baseline (577.07 ± 76.03) e

simulatore d'alba (540.79 ± 66.46) ($p < 0.001$) e tra baseline e controllo (546.23 ± 70.48) ($p < 0.001$).

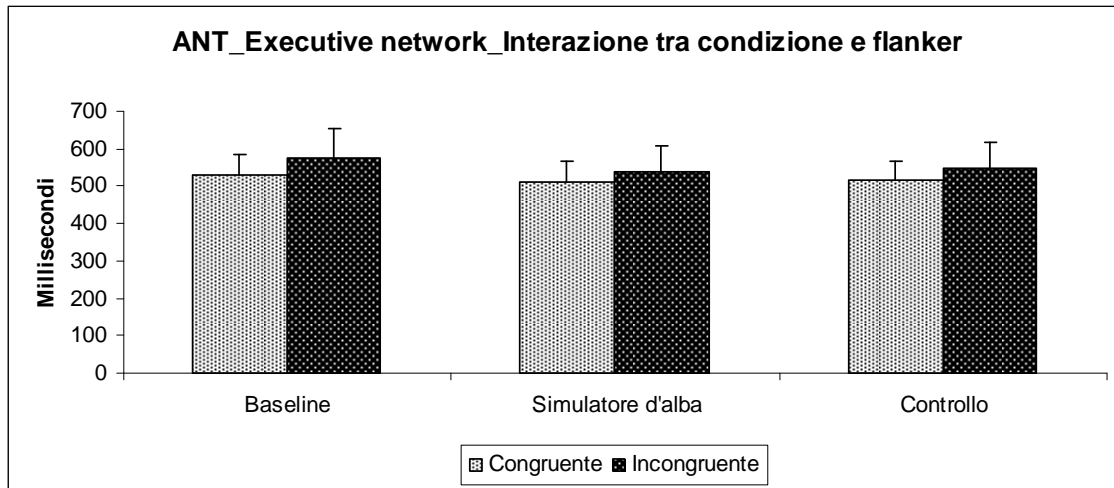


Figura 62 – Rappresentazione grafica dell'interazione tra il fattore condizione (baseline, simulatore d'alba e controllo) ed il fattore flanker (congruente ed incongruente). Nel grafico sono riportate le medie e le deviazioni standard dei tempi di reazione.

5.6. Approfondimenti

5.6.1. Tipologia circadiana ed efficienza dell'alerting network

Il miglioramento precedentemente osservato dell'efficienza del network attentivo dell'alerting (paragrafo 5.5.3.1), in seguito all'utilizzo del simulatore d'alba, rispetto alla condizione baseline, è stato approfondito verificando la presenza di eventuali effetti differenziali della tipologia circadiana dei partecipanti sull'efficienza di tale network nelle tre condizioni sperimentali esaminate. A tal fine è stata effettuata un'analisi della varianza mista con fattore between la tipologia circadiana (tre livelli: mattutini, intermedi e serotini) e fattore within il parametro dell'efficienza dell'alerting network nelle condizioni di baseline, simulatore d'alba e controllo.

L'effetto del fattore between (mattutini=36.42, intermedi=38.95, serotini=44.14) non è risultato significativo ($F_{2,53}=0.33$; $p=0.72$), così come l'effetto del fattore within (baseline=33.35, simulatore d'alba=44.41, controllo=41.75) ($F_{2,106}=1.03$; $p=0.36$). Anche l'interazione tra i due fattori non ha raggiunto il livello di significatività statistica ($F_{4,106}=1.04$; $p=0.39$) (vedi Figura 63).

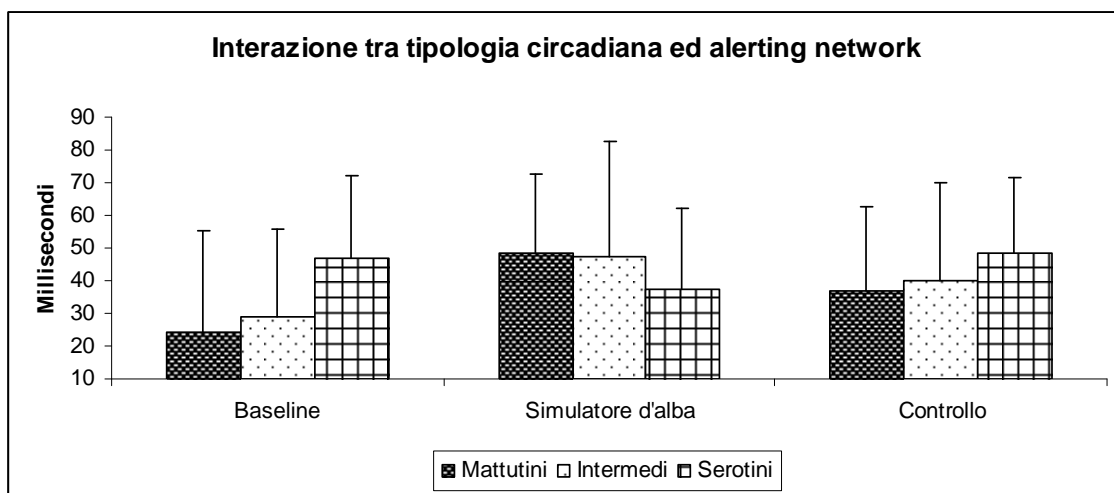


Figura 63 – Rappresentazione grafica dell'interazione tra la tipologia circadiana e l'efficienza del network attentivo dell'alerting nelle condizioni baseline, simulatore d'alba e controllo. Nel grafico sono riportati i valori medi e le deviazioni standard.

5.6.2. Disturbo affettivo stagionale ed efficienza dell'alerting network

Al fine di verificare la presenza di un eventuale effetto dovuto alla predisposizione o meno al disturbo affettivo stagionale (DAS), sul miglioramento dell'efficienza del network attentivo dell'alerting in seguito all'uso del simulatore d'alba (vedi paragrafo 5.5.3.1), è stata condotta un'analisi della varianza mista con il seguente fattore between a due livelli: DAS (presenza predisposizione al disturbo affettivo stagionale) e NON-DAS (assenza di tale predisposizione). Il fattore within era

rappresentato dall'efficienza del network attentivo dell'alerting nelle tre condizioni sperimentali.

L'effetto del fattore between (DAS=47.81, NON-DAS=37.82) non è risultato significativo ($F_{1,54}=2.31$; $p=0.13$), al pari dell'effetto del fattore within (baseline=34.16, simulatore d'alba=46.64, controllo=47.64) ($F_{2,108}=2.43$; $p=0.09$) e della loro interazione ($F_{2,108}=0.87$; $p=0.42$) (Figura 64).

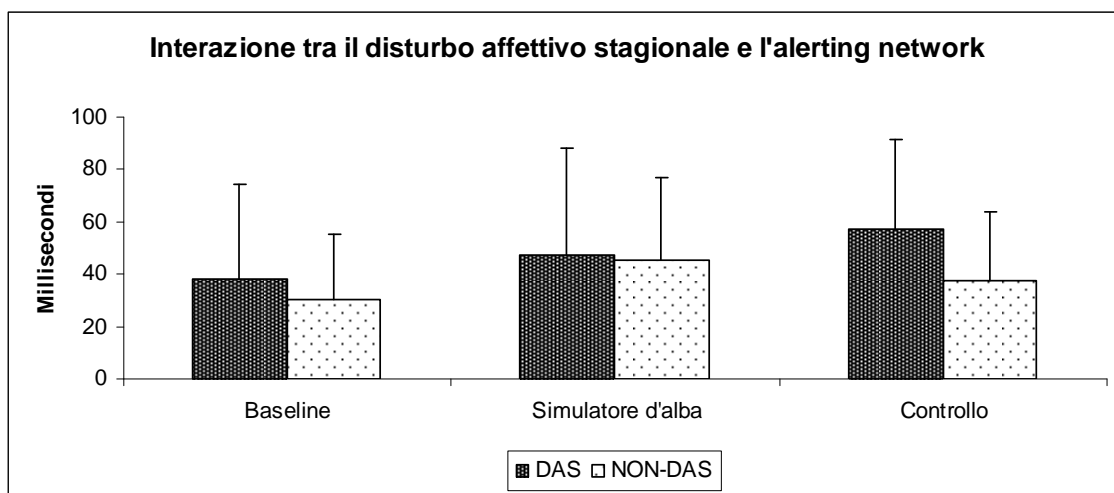


Figura 64 – Interazione tra la presenza (DAS) o assenza (NON-DAS) della predisposizione al disturbo affettivo stagionale e l'efficienza del network attentivo dell'alerting nelle tre condizioni sperimentali esaminate. In figura, sono illustrati i valori medi e le relative deviazioni standard.

6. Discussione generale dei dati

Le risposte date dai partecipanti al diario del sonno hanno evidenziato come gli studenti, in seguito all'utilizzo del simulatore d'alba, abbiano percepito di aver trascorso meno tempo a letto, così come una durata ed un'efficienza del sonno significativamente inferiori, rispetto alla condizione di baseline. Poiché questi dati non sono del tutto congruenti con quanto documentato tramite il monitoraggio attigrafico del ciclo

sonno/veglia, è possibile che i partecipanti, avendo percepito di aver trascorso un tempo inferiore a letto, abbiano conseguentemente ritenuto di aver dormito meno; inoltre, è ipotizzabile che gli studenti, essendo consapevoli del fatto che il simulatore d'alba avrebbe iniziato ad emettere la luce 20 minuti prima del suono della sveglia, abbiano percepito di essersi svegliati in anticipo a causa della luce stessa, riferendo conseguentemente un tempo totale di sonno minore. Infine, considerando la riduzione del tempo totale di sonno e del tempo trascorso a letto, era lecito attendersi un significativo peggioramento dell'efficienza del sonno percepita, poiché essa è data dal rapporto tra tempo totale di sonno e tempo trascorso a letto, moltiplicato per 100.

Per quanto riguarda il Mini Sleep Questionnaire (MSQ), in seguito all'analisi item per item, sono emerse una minore percezione di sonnolenza diurna (item 4, appartenente al fattore veglia) in seguito all'utilizzo del simulatore d'alba, rispetto alla condizione di controllo, ed una minore frequenza auto-riferita di risvegli notturni (item 7, incluso nel fattore sonno), quando la condizione simulatore d'alba è stata confrontata con la condizione di baseline. Utilizzando un approccio categoriale, in base ai punteggi di cut-off della versione Italiana del questionario, si è osservata una riduzione, tendente alla significatività, del numero di partecipanti che presentavano una cattiva qualità della veglia, nel passaggio dalla condizione baseline alla condizione simulatore d'alba. Si potrebbe dunque ipotizzare che l'uso del simulatore d'alba abbia determinato un effetto maggiormente benefico sulla qualità percepita della veglia, come se complessivamente i partecipanti avessero percepito una sensazione di maggiore attivazione nel corso della giornata, in particolar modo coloro che, ad inizio ricerca, presentavano una qualità scadente della veglia. Poiché all'analisi item per item, relativa al fattore veglia, l'unica domanda rispetto alla quale era emerso un effetto benefico del simulatore d'alba era

riferita alla sensazione di stanchezza diurna, la riduzione del numero di adolescenti con cattiva qualità della veglia, in seguito all'uso di tale dispositivo, risulta congruente con l'aumento dell'efficienza del network attentivo dell>alerting, nel passaggio da baseline a simulatore d'alba, così come con un ipotizzato effetto attivante della luce, di tipo tonico, che verranno discussi in seguito (capitolo 7).

In riferimento alla Global and Vigor Affect Scale (GVA), non è stata osservata una variazione significativa del fattore vigor, successivamente all'impiego del simulatore d'alba; tale dimensione può essere interpretata come un indice di attivazione di tipo fasico, poiché le istruzioni, che accompagnavano tale strumento, richiedevano ai partecipanti di rispondere in base a come si sentivano in quel momento. Dato che nel presente lavoro è stato documentato un significativo miglioramento dell'efficienza del network attentivo dell>alerting, di tipo fasico, all'Attention Network Test (ANT), si potrebbe ipotizzare l'esistenza di una sorta di discrepanza tra i due indici; questa ipotesi potrebbe trovare conferma nel lavoro recentemente pubblicato da Jugovac e Cavallero (2012) che hanno indagato gli effetti di una notte di deprivazione totale di sonno sull'efficienza dei tre network attentivi, valutata dall'ANT, in un campione di studenti universitari. Gli autori, somministrando anche la GVA, hanno evidenziato un peggioramento significativo a carico del fattore vigor, in seguito alla deprivazione di sonno, che però non si è accompagnato ad un peggioramento a carico della componente fasica dell>alerting, valutata tramite l'ANT. Sempre in relazione alla GVA, l'assenza, nel presente studio, di un effetto significativo del simulatore d'alba sul fattore affect potrebbe essere spiegata in base ad una ridotta sensibilità di tale dimensione agli effetti della luce; tale ipotesi è in linea con lo studio di Jugovac e Cavallero (2012) i quali, nonostante una manipolazione sperimentale nettamente più marcata rispetto a quella

introdotta nel presente studio, non hanno osservato differenze significative a carico di tale componente. Inoltre, l'assenza di una variazione del tono dell'umore percepito potrebbe essere legata alla mancanza, che verrà successivamente discussa (capitolo 7), di un miglioramento significativamente più marcato dell'efficienza del network attentivo dell>alerting all'ANT, in seguito all'utilizzo del simulatore d'alba, nei partecipanti predisposti al disturbo affettivo stagionale.

In relazione all'attigrafia, l'assenza di un effetto significativo del simulatore d'alba sui parametri che definiscono la qualità e la quantità di sonno potrebbe essere spiegata in base al fatto che tali valori, già in condizione di baseline, erano ampiamente nei limiti della norma (ad esempio, latenza di addormentamento inferiore a 15 minuti, attività motoria notturna inferiore a 20 movimenti in epoche della durata di 1 minuto, efficienza del sonno superiore all'85%) (Natale et al., 2009). Appare dunque molto improbabile poter migliorare significativamente la qualità e la quantità del sonno, che già ad inizio ricerca erano complessivamente buone.

Non è stata osservata una variazione significativa della fase del ciclo sonno/veglia, valutata attigraficamente tramite il parametro del midpoint of sleep, in seguito all'utilizzo del simulatore d'alba. Tale risultato non è del tutto sorprendente perché nei lavori che evidenziarono un anticipo di fase del ritmo di secrezione della melatonina e della temperatura corporea, i partecipanti furono esposti a luce con intensità massima di 2.000 lux (Danilenko et al., 2000b) oppure ad una durata dell'esposizione luminosa di 1 ora e 30 minuti (Danilenko et al., 2000a). Al contrario, nel presente lavoro, l'intensità massima della luce, al termine dei 20 minuti di simulazione dell'alba, era pari a 250 lux; dunque, il fatto che nella presente ricerca sia

stato fatto un uso non clinico della luce, in termini di intensità, potrebbe spiegare la differenza osservata rispetto agli studi di Danilenko e collaboratori (2000a,b).

Il calcolo, tramite la registrazione attigrafica, dell'attività motoria media oraria, nell'arco delle 24 ore, ha permesso di definire il suo pattern circadiano. Come è possibile osservare in Figura 42 (paragrafo 5.2.2), in condizione di baseline, il pattern motorio risultava nettamente posticipato nel corso del fine settimana, rispetto ai giorni di scuola; infatti, nel fine settimana, l'attività motoria media oraria era significativamente più elevata nel tardo pomeriggio e nelle ore notturne, mentre, specularmente, nei giorni di scuola è emersa un'attività motoria più marcata nella fascia oraria in cui i partecipanti erano a scuola. Tale risultato conferma indirettamente la presenza del social jetlag nel campione esaminato nella presente ricerca, la cui entità, misurata direttamente tramite la formula suggerita da Wittmann e collaboratori (2006), è risultata mediamente pari a 2 ore e 29 minuti in baseline (Figura 40, paragrafo 5.2.2). Tale entità risulta leggermente inferiore a quanto documentato da Roenneberg e colleghi (2012) in partecipanti di età compresa tra 15 e 20 anni: 3 ore di durata nei maschi e 2 ore e 30 minuti circa nella femmine. Tuttavia, è opportuno evidenziare come tale differenza possa essere dovuta al fatto che, mentre Roenneberg e collaboratori (2012) misurarono il social jetlag percepito somministrando il Munich Chronotype Questionnaire (Roenneberg et al., 2003), dunque tramite una valutazione soggettiva, nel presente studio si è proceduto alla sua misurazione oggettiva (tramite attigrafia).

In relazione allo strumento wireless per il monitoraggio elettroencefalografico del sonno, Zeo[®], non è stato osservato un effetto significativo del simulatore d'alba sull'architettura del sonno. E' possibile ipotizzare che tale risultato possa essere legato all'utilizzo non clinico, nel presente studio, della luce e al conseguente mancato effetto

del simulatore d'alba sulla fase del ciclo sonno/veglia. A sostegno di tale ipotesi, è interessante osservare come il lavoro di Carrier e Dumont (1995) documentò sì un effetto della terapia della luce sulla fase del ciclo sonno/veglia, che però non si accompagnò ad una significativa variazione dell'architettura del sonno; gli autori ipotizzarono che tale effetto non fosse stato sufficientemente ampio da poter produrre una ricaduta sull'architettura del sonno. Tuttavia, è opportuno sottolineare come il presente lavoro si caratterizzi per essere il primo ad aver indagato gli effetti del simulatore d'alba sull'architettura del sonno, per cui non esiste, al momento, la possibilità di confrontare i presenti risultati con una letteratura di riferimento. Inoltre, sempre per quanto riguarda Zeo[®], non esistono valori normativi relativi all'architettura del sonno negli adolescenti e dunque non è possibile avere un punto di riferimento certo con cui comparare i risultati ottenuti nel presente studio. Infatti, ad oggi, è stato possibile ritrovare solo un altro lavoro che ha impiegato tale strumento per il monitoraggio wireless del sonno in un campione di adolescenti (Boehm, 2012). Boehm (2012), nella sua tesi di dottorato, ha esaminato un campione di 34 studenti Tedeschi di scuola secondaria di secondo grado, con età media di 17 anni circa (range d'età da un minimo di 14 ad un massimo di 19 anni). I valori dei parametri che definiscono l'architettura del sonno, riscontrati nei due lavori, appaiono sostanzialmente in linea per quanto riguarda il sonno profondo: nel presente lavoro, in baseline, la durata media era pari a 94.31 ± 20.60 minuti, mentre nello studio di Boehm (2012) risultò 92.58 ± 19 minuti. Sono state osservate differenze più ampie in relazione al sonno leggero (209.93 ± 34.89 minuti nel presente studio, in baseline, e 229.71 ± 45.20 minuti nella ricerca Tedesca) e al sonno REM (114.81 ± 28.79 minuti nella presente ricerca e 141.70 ± 47.22 minuti nell'indagine della Boehm, 2012). I risultati dei due studi,

nonostante l'età media simile dei due campioni, possono tuttavia essere confrontati con una certa difficoltà, poiché gli adolescenti Tedeschi furono fatti dormire in un'ambulanza riadattata a laboratorio del sonno, mentre gli studenti del presente lavoro di ricerca hanno dormito nelle loro abitazioni.

Il confronto tra i valori di uno stesso parametro del sonno, misurato tramite diario del sonno, attigrafo e Zeo[®] (vedi Tabella 7), si è reso necessario per avere conferma di alcune note differenze tra i tre strumenti, poiché essi misurano aspetti diversi del ciclo veglia/sonno. Nello specifico, il diario del sonno ha permesso di valutare il pattern percepito del ciclo sonno/veglia, l'attigrafia ha permesso di monitorare oggettivamente ed in maniera protratta il ciclo sonno/veglia ed infine Zeo[®] ha registrato il segnale elettroencefalografico, determinando la qualità, la quantità e l'architettura del sonno. I risultati illustrati in Tabella 7 hanno confermato come la latenza di addormentamento, stimata dall'attigrafo, fosse inferiore a quella misurata tramite il diario del sonno (Lockley et al., 1999) e Zeo[®] (Tonetti et al., 2013). Nella condizione di baseline, la sovrastima del tempo totale di sonno, valutato tramite il diario del sonno, rispetto alla corrispondente stima fornita dall'attigrafia, così come la sovrastima attigrafica della veglia infra-sonno nelle tre condizioni sperimentali, confrontata con il diario del sonno, sono in linea con i risultati riportati in due studi recentemente pubblicati da Short e collaboratori (2012, 2013). Le differenze significative del numero di risvegli, misurati dai diversi strumenti, non sono sorprendenti, poiché le caratteristiche tecniche di attigrafia e Zeo[®] fanno sì che il risveglio venga definito e conseguentemente individuato diversamente. Infine, il fatto che siano state osservate alcune differenze tra attigrafia e Zeo[®] non in linea con i risultati dell'unico studio, ad oggi pubblicato, su tale argomento (Tonetti et al., 2013)

(ad esempio, in riferimento all'efficienza del sonno e al tempo totale di sonno) potrebbe essere proprio dovuto alla disponibilità di una sola ricerca pubblicata su questa tematica.

Per quanto riguarda il compito al computer dell'ANT (Fan et al., 2002), il principale risultato significativo, osservato al netto dell'effetto apprendimento, riguardava il miglioramento dell'efficienza del network attentivo dell>alerting, in seguito all'utilizzo del simulatore d'alba rispetto alla condizione di baseline (Figura 57, paragrafo 5.5.3.1). Lo svolgimento di un'analisi della varianza a misure ripetute, avente per fattori within le condizioni sperimentali (baseline, simulatore d'alba e controllo) ed il tipo di cue (double cue e no cue), ha permesso di approfondire il risultato precedentemente discusso; nello specifico, l'interazione significativa che è stata osservata tra i due fattori (Figura 58, paragrafo 5.5.3.1) ha evidenziato come i tempi di reazione ai trial anticipati dalla comparsa del double cue erano significativamente migliorati in seguito all'utilizzo del simulatore d'alba, rispetto alla baseline, mentre i tempi di reazione nella condizione no cue non erano variati significativamente tra baseline e simulatore d'alba. Questo risultato evidenzia come il miglioramento complessivo dell'efficienza del network attentivo dell>alerting era dovuto ad una maggiore reattività dei partecipanti in seguito alla comparsa del double cue, che anticipava la presentazione del target (freccia centrale di cui i partecipanti dovevano giudicare la direzione); con questo tipo di alerting, fasico, ci si riferisce alle variazioni nei livelli di attivazione successivi alla presentazione del segnale di avvertimento, il cue (Parasuram et al., 1998). Oltre all>alerting fasico, esiste anche l>alerting tonico, che rappresenta la vigilanza generale della persona, l'attenzione sostenuta. I compiti che vengono utilizzati per misurare i due tipi di alerting sono differenti, poiché l>alerting tonico viene misurato tramite compiti di lunga durata con presentazione episodica degli

stimoli, mentre l'alerting fasico tramite compiti di tempi di reazione, di durata inferiore a quelli utilizzati per misurare la vigilanza, nei quali il target è anticipato dalla comparsa di un cue. Secondo Posner (1978) i tempi di reazione di breve durata sarebbero in grado di misurare anche l'attenzione sostenuta, poiché le basi fisiologiche responsabili dei cali di vigilanza e della riduzione della velocità di risposta a target presentati dopo un cue, sarebbero le stesse (Posner, 1978). Posner (2008) ipotizza, dunque, che anche l'alerting tonico possa essere valutato tramite l'ANT, analizzando i tempi medi di reazione nella condizione no cue, nella quale i partecipanti rispondono basandosi solo sui loro livelli di vigilanza; tuttavia, non esiste consenso unanime in letteratura rispetto alla possibilità di misurare i livelli di vigilanza generale dell'individuo, tramite la somministrazione di compiti di tempi di reazione di breve durata (ad esempio, Robertson & Manly, 1999). Lo studio pubblicato da Jugovac e Cavallero (2012), che aveva indagato gli effetti di una notte di deprivazione totale di sonno sull'efficienza dei tre network attentivi (valutata tramite l'ANT), aveva evidenziato un peggioramento a carico della componente tonica dell'alerting, che non si era manifestato in relazione all'alerting fasico. Gli autori avevano concluso che tale discrepanza non è a favore dell'ipotesi di Posner (1978), secondo la quale i due tipi di alerting possono essere considerati un singolo fattore, confermando indirettamente l'ipotesi avanzata da Robertson e Manly (1999) secondo cui le componenti fasica e tonica dell'alerting devono essere considerate come distinte, poiché basate su differenti meccanismi fisiologici. Jugovac e Cavallero (2012), tuttavia, concludono il loro lavoro avanzando un'ipotesi alternativa secondo la quale l'ANT potrebbe non essere sufficientemente sensibile da poter individuare gli effetti della deprivazione di sonno sull'alerting fasico. Anche nel presente studio è stata documentata una discrepanza tra alerting fasico e tonico, valutati tramite l'ANT;

tuttavia, poiché questo lavoro è il primo ad aver indagato gli effetti della stimolazione luminosa, tramite simulatore d'alba, sull'efficienza dei tre network attentivi, allo stato attuale non è possibile propendere né per la prima (alerting fasico e tonico come componenti distinte) né per la seconda ipotesi (ridotta sensibilità dell'ANT agli effetti della stimolazione luminosa sull>alerting tonico), quale migliore spiegazione della discordanza osservata. Futuri studi dovranno cercare di trovare una risposta a questa domanda ancora aperta, approfondendo ulteriormente tale discrepanza.

L'effetto apprendimento documentato nel presente studio in relazione all'executive network e ai tempi di reazione complessivi, indipendentemente dal network attentivo esaminato, è in linea con quanto evidenziato da Ishigami e Klein (2010) che hanno mostrato la presenza di un effetto apprendimento in relazione all'executive network. Nonostante la presenza di una inevitabile quota di effetto dovuto alla pratica, Ishigami e Klein (2010, 2011) hanno rilevato come l'ANT sia un compito valido ed attendibile fino a dieci misurazioni ripetute.

Pochi studi hanno utilizzato l'ANT in adolescenti sani; tra questi, è possibile citare il lavoro di Ellis e collaboratori (2004) che, oltre ad altri compiti, hanno impiegato anche l'ANT in un campione di 104 adolescenti sani tra i 16 ed i 17 anni d'età, senza però riportare i valori medi dell'efficienza dei tre network attentivi e le medie dei tempi di reazione ai diversi tipi di cue e flanker, che contribuiscono a definire tali network. Baijal e collaboratori (2011) hanno indagato gli effetti di un training di meditazione sullo sviluppo dei tre network attentivi, valutati tramite l'ANT, mettendo a confronto un gruppo sperimentale (sottoposto al training) con uno di controllo (non sottoposto al training); le differenze osservate tra il presente studio ed il lavoro di Baijal e collaboratori (2011), in relazione ai valori medi dell'efficienza dei network attentivi di

alerting (nel presente studio, in baseline, 31.57 millisecondi e 45.72 millisecondi nella ricerca di Baijal et al., 2011), orienting (nella presente ricerca, in baseline, 48.04 millisecondi e 62.74 millisecondi nello studio di Baijal et al., 2011) ed executive (45.69 millisecondi, in baseline, nella presente ricerca e 130.32 millisecondi in Baijal et al., 2011), potrebbero essere dovute alla ridotta numerosità dei partecipanti inseriti nel gruppo di controllo (n=26), rispetto ai 56 adolescenti della presente ricerca, con età inferiore (15 anni) a quella degli studenti del presente lavoro (tra i quali solo uno aveva 15 anni d'età). Inoltre, gli adolescenti del lavoro di Baijal e collaboratori (2011) erano di nazionalità Indiana, il che potrebbe aver contribuito alle differenze osservate tra i due studi; infine, non è stato possibile effettuare un confronto completo poiché nell'articolo dei ricercatori Indiani non sono stati riportati i valori medi dei tempi di reazione ai diversi tipi di flanker e cue che permettono di misurare i tre network attentivi.

7. Conclusioni

Rispetto a quanto affermato nel capitolo degli Obiettivi, nel presente studio sono emersi un miglioramento significativo dell'efficienza del network attentivo dell>alerting ed una percezione di maggiore qualità della veglia, in seguito all'utilizzo del simulatore d'alba, in particolar modo legata alla riduzione della sonnolenza auto-riferita nel corso della giornata; tali risultati convergono nell'evidenziare la capacità di tale dispositivo di esercitare un effetto attivante/stimolante, sia a livello oggettivo che soggettivo, mostrando dunque come esso possa essere considerato uno strumento potenzialmente

utilizzabile quale contromisura al social jetlag in adolescenza, per la riduzione solamente di alcune conseguenze di tale asincronia tra ritmicità biologiche e sociali.

Uno dei limiti principali del presente lavoro di ricerca è legato al suo svolgimento sul campo. Infatti, a causa delle tipiche caratteristiche di uno studio di tal genere, non è stato possibile controllare alcuni fattori potenzialmente influenti, come ad esempio l'aderenza dei partecipanti alle prescrizioni dei ricercatori relative al corretto utilizzo del simulatore d'alba. Tale limite è valido solamente in relazione alla prima e seconda tranche di ricerca, nel corso delle quali è stato impiegato l'attigrafo AW-64, mentre è stato superato durante la terza tranche nel corso della quale i partecipanti hanno indossato l'attigrafo MMW che, essendo dotato di un sensore per la luminosità ambientale, ha permesso di verificare l'effettivo utilizzo del simulatore d'alba, come evidenziato in Figura 46. In base a quanto documentato, è possibile dedurre che anche i partecipanti alle prime due tranche di ricerca abbiano aderito alle prescrizioni dei ricercatori, riferite all'utilizzo del simulatore d'alba. Un altro limite, determinato dallo svolgimento dello studio sul campo, è rappresentato dal fatto che i partecipanti hanno potuto svolgere il compito al computer dell'ANT solo in tarda mattinata, ad alcune ore di distanza dall'esposizione alla luce; infatti, per motivi organizzativi ed esigenze scolastiche, non si è potuto procedere ad una somministrazione ripetuta del compito ad intervalli regolari, a partire dal momento del risveglio. Tuttavia, nonostante lo svolgimento dell'ANT a diversa distanza di tempo dal momento dell'esposizione alla luce, è opportuno evidenziare come sia ugualmente emerso un significativo miglioramento dell'efficienza dell>alerting network, in seguito all'utilizzo del simulatore d'alba.

Un ulteriore limite del lavoro di tesi è rappresentato dalla numerosità relativamente ridotta del campione (n=56), che deve comunque tener conto della lunga durata del disegno di ricerca (5 settimane consecutive) (paragrafo 4.3) a cui gli adolescenti hanno preso parte, delle sole stagioni autunnali ed invernali nel corso delle quali è stato possibile svolgere la ricerca (vedi Premessa), ed infine della necessaria fase di reperimento e testing preliminare degli strumenti utilizzati. Inoltre, è possibile ipotizzare che la ridotta numerosità dei sottogruppi della tipologia circadiana non abbia permesso di verificare la presenza di un effetto maggiormente attivante del simulatore d'alba nei tipi serotini, caratterizzati da una maggiore discrepanza tra timing biologico e timing sociale (Wittmann et al., 2006), rispetto a tipi intermedi e mattutini. Anche il mancato effetto della predisposizione al disturbo affettivo stagionale sul miglioramento dell'efficienza del network attentivo dell>alerting, in seguito all'uso del simulatore d'alba, potrebbe essere spiegato in base alla ridotta numerosità dei partecipanti predisposti al disturbo depressivo stagionale.

Un punto di forza della presente ricerca emerge nel confronto con l'unico lavoro che, ad oggi, ha valutato gli effetti del simulatore d'alba sul benessere soggettivo e la qualità auto-riferita del risveglio in bambini ed adolescenti (Fromm et al., 2011), rispetto al quale il presente studio si caratterizza per una durata più estesa del disegno di ricerca (5 settimane rispetto alle 2 dei ricercatori Tedeschi) e per la presenza delle valutazioni oggettive di qualità/quantità/architettura del sonno e performance cognitiva, che erano assenti nell'indagine di Fromm e collaboratori (2011).

Le caratteristiche metodologiche del presente lavoro, se da una parte rappresentano un limite, dall'altra possono essere interpretate come un vantaggio. Come già evidenziato nella Premessa, i lavori svolti sul campo, con l'obiettivo di indagare il

funzionamento dell'orologio biologico nel mondo reale, sono rari; tali studi presentano il pregio di poter studiare il comportamento dei partecipanti nel loro ambiente naturale, presentando dunque una validità ecologica superiore agli studi di laboratorio condotti in condizioni altamente controllate, benché artificiali. Gli studi condotti sul campo permettono inoltre di verificare l'applicabilità delle conoscenze cronobiologiche, derivanti da indagini di laboratorio, nella vita reale, con possibili ricadute applicative.

Se i risultati del presente studio saranno confermati da ulteriori indagini, una possibile ricaduta applicativa potrebbe consistere nel proporre l'utilizzo del simulatore d'alba per migliorare la performance attentiva in studenti di scuola secondaria di secondo grado. Un sistema attentivo più efficiente potrebbe garantire una partecipazione più attiva degli studenti alle lezioni, con ipotetiche ricadute benefiche sul loro rendimento scolastico. Tuttavia, rispetto a questa ipotizzata ricaduta applicativa, è opportuno esprimere cautela perché, anche se gli studenti fossero in grado di reagire più rapidamente alle sollecitazioni dei docenti, essi potrebbero anche non orientare la loro maggiore capacità attentiva verso gli insegnanti, rischiando dunque di essere più facilmente distraibili. Inoltre, un altro motivo di cautela deriva dal fatto che uno studio, pubblicato nell'anno 2008 da Checa e collaboratori, ha evidenziato come il network attentivo dell'executive fosse particolarmente implicato nel successo scolastico, in particolare in matematica, in un campione di pre-adolescenti (età media di 12 anni), mentre nella presente ricerca, al netto dell'effetto apprendimento, non è stato documentato un effetto del simulatore d'alba sull'efficienza di tale network.

In base alle caratteristiche del presente lavoro di ricerca, è possibile affermare che gli effetti del simulatore d'alba sull'efficienza del network attentivo dell>alerting sono stati osservati solo nei mesi autunnali ed invernali (vedi Premessa); futuri studi

potrebbero indagare le conseguenze derivanti dall'utilizzo del simulatore d'alba nelle stagioni primaverili ed estive.

Poiché, come evidenziato in precedenza, nel presente studio il compito al computer dell'ANT (Fan et al., 2002) è stato svolto un'unica volta al termine di ciascuna delle settimane di registrazione, in tarda mattinata, ad alcune ore di distanza dall'esposizione alla luce, non è dato sapere se la luce determini la comparsa di un effetto attivante immediato, di tipo fasico, che cala con il trascorrere delle ore, oppure un effetto di tipo tonico, sostenuto nel tempo. Tuttavia, al fine di avanzare ipotesi in merito al possibile effetto fasico oppure tonico della luce, potrebbe essere utile approfondire i risultati emersi dall'analisi del pattern circadiano dell'attività motoria (vedi paragrafo 5.2.2), valutato tramite l'attigrafia. Come illustrato in Figura 43, si è osservato un picco dell'attività motoria, nei giorni di scuola, corrispondente all'ingresso a scuola (tra le ore 7:00 e le ore 8:00 circa) ed un ulteriore picco nel momento di fine delle lezioni (tra le ore 13:00 e le ore 14:00). Inoltre, è emerso un calo dell'attività motoria nel periodo post-prandiale, che era meno marcato nella condizione simulatore d'alba, rispetto a baseline e controllo, come se l'utilizzo di tale dispositivo avesse determinato un effetto attivante proprio in quelle ore. Considerando solo le condizioni di simulatore d'alba e controllo, nei giorni di scuola, è stata nuovamente osservata un'attività motoria più marcata, nel periodo post-prandiale, nella condizione simulatore d'alba rispetto al controllo (Figura 44). Analizzando tale pattern separatamente per gruppo 1 e gruppo 2 (ordine delle condizioni sperimentali tra i partecipanti), l'effetto attivante nella condizione simulatore d'alba rispetto alla condizione controllo, nel periodo post-prandiale, è risultato più marcato nel gruppo 2 (vedi Figura 45 b), che ha testato il simulatore d'alba per ultimo (vedi paragrafo 4.3). Al contrario, nel gruppo 1

(vedi Figura 45 a), che ha testato il simulatore d'alba come prima condizione successiva alla baseline, tale effetto attivante nel periodo post-prandiale risulta presente, anche se ad un livello inferiore, come se fosse persistito anche nella condizione di controllo, che è risultata pertanto maggiormente simile al pattern circadiano dell'attività motoria nella condizione simulatore d'alba. In base a tali risultati, anche se non significativi da un punto di vista statistico, si potrebbe ipotizzare che l'effetto attivante della luce non sia di tipo fasico, ma tonico. Tale conclusione è congruente con i risultati ottenuti alla GVA e all'ANT, anche se in quest'ultimo caso potrebbe apparire controintuitiva; tuttavia, il fatto che sia stato osservato un effetto attivante di tipo fasico all'ANT, ad alcune ore di distanza dalla somministrazione della luce, potrebbe far propendere per la presenza di un effetto simile, se non addirittura più intenso, già a pochi minuti di distanza dal momento in cui la simulazione dell'alba giunge al termine. Per poter verificare la plausibilità di tale ipotesi, futuri studi potrebbero indagare la concentrazione del cortisolo al mattino, tramite prelievi salivari ripetuti ad intervalli regolari dopo il risveglio mattutino, ed in parallelo procedere alla somministrazione ripetuta dell'ANT ad intervalli simili, in seguito all'utilizzo del simulatore d'alba. Se tali futuri studi dovessero confermare un effetto attivante della luce di tipo tonico, potrebbe essere utile suggerire la sua somministrazione a cicli, al fine di evitarne un "accumulo" potenzialmente dannoso per l'organismo.

In conclusione, come documentato nel presente studio, il social jetlag è marcatamente presente nel corso dell'adolescenza. Al fine di contrastarne i possibili effetti negativi, potrebbero essere percorse due possibili strade: 1) posticipare gli orari d'inizio delle attività scolastiche; 2) intervenire sull'orologio biologico. Il primo intervento, volto a contrastare il social jetlag, è socialmente invasivo, poiché richiede

una profonda riorganizzazione del sistema scolastico ed extra-scolastico; è opportuno sottolineare come soluzioni di questo tipo possano rivelarsi non sempre efficaci, richiedendo dunque molta cautela in fase di progettazione/realizzazione. Ad esempio, un possibile rischio legato a questo primo intervento è rappresentato dall'eventualità che gli studenti, in seguito al posticipo dell'ora d'inizio delle attività scolastiche, decidano, conseguentemente, di ritardare anche l'orario di addormentamento; in tal modo, l'entità del social jetlag rimarrebbe inalterata. Uno dei possibili modi per intervenire sull'orologio biologico, al fine di ridurre le conseguenze del social jetlag, si basa sulla somministrazione della luce, volta a ripristinare un'ottimale sincronizzazione del sistema circadiano con l'alternarsi ciclico di luce e buio dell'ambiente. Tale soluzione è poco invasiva, poiché la somministrazione della luce a dosaggi non clinici (intensità ridotta e durata dell'esposizione limitata), come nel presente lavoro, non presenta particolari controindicazioni, potendo dunque essere utilizzata su larga scala; tuttavia, la mancanza di effetti collaterali legati a questo tipo di somministrazione dovrà essere ulteriormente approfondita. In base a tali considerazioni, è possibile suggerire che futuri studi percorrano tale seconda possibile strada, esplorando le potenzialità derivanti dall'utilizzo non clinico della luce non solamente negli adolescenti ma anche, ad esempio, nei lavoratori a turno caratterizzati anch'essi dalla presenza di un'asincronia tra orologi biologici e sincronizzatori socio-ambientali.

8. Riferimenti bibliografici

- Åkerstedt T. (2003). Shift work and disturbed sleep/wakefulness. *Occupational Medicine*, 53, 89-94.
- American Psychiatric Association. (2000). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (fourth edition, text revised; DSM-IV-TR)*. Washington: American Psychiatric Association.
- Ancoli-Israel S, Cole R, Alessi C, Chambers M, Moorcroft W, Pollak CP. (2003). The role of actigraphy in the study of sleep and circadian rhythms. *Sleep*, 26, 342-392.
- Aschoff J. (1954). Zeitgeber der tierischen Tagesperiodik. *Naturwissenschaften*, 41, 49-56.
- Aschoff J. (1981). *Biological rhythms. Handbook of behavioral neurobiology*, n. 4. New York: Plenum Press.
- Aschoff J, Poppel E, Wever R. (1969). Circadiane Periodik des Menschen unter dem Einfluß von Licht-Dunkel-Wechseln unterschiedlicher Periode. *Pflügers Archiv*, 306, 58-70.
- Aschoff J, Wever R. (1962). Spontanperiodik des Menschen bei Ausschluß aller Zeitgeber. *Naturwissenschaften*, 49, 337-342.
- Avery DH, Bolte MA, Dager SR, Wilson LG, Weyer M, Cox GB, Dunner DL. (1993). Dawn simulation treatment of winter depression: a controlled study. *American Journal of Psychiatry*, 150, 113-117.
- Avery DH, Eder DN, Bolte MA, Hellekson CJ, Dunner DL, Vitiello MV, Prinz PN. (2001). Dawn simulation and bright light in the treatment of SAD: A Controlled

- Study. *Biological Psychiatry*, 50, 205-216.
- Avery DH, Kouri ME, Monaghan K, Bolte MA, Hellekson C, Eder D. (2002). Is dawn simulation effective in ameliorating the difficulty awakening in seasonal affective disorder associated with hypersomnia? *Journal of Affective Disorders*, 69, 231-236.
- Badia P, Myers B, Boecker M, Culpepper J. (1991). Bright light effects on body temperature, alertness, EEG and behaviour. *Physiology & Behavior*, 50, 583-588.
- Bajjal S, Jha AP, Kiyonaga A, Singh R, Srinivasan N. (2011). The influence of concentrative meditation training on the development of attention networks during early adolescence. *Frontiers in Psychology*, 2, 153.
- Beck AT, Steer RA, Ball R, Ranieri W. (1996). Comparison of Beck Depression Inventories -IA and -II in psychiatric outpatients. *Journal of Personality Assessment*, 67, 588-597.
- Beling I. (1929). Über das Zeitgedächtnis der Bienen. *Zeitschrift für Vergleichende Physiologie*, 9, 259-338.
- Boehm S. (2012). *Sleep and chronotype in adolescents*. Tesi di dottorato. Monaco: Ludwig Maximilian University.
- Boivin DB, Duffy JF, Kronauer RE, Czeisler CA. (1996). Dose-response relationships for resetting of human circadian clock by light. *Nature*, 379, 540-542.
- Borbély AA. (1982). A two process model of sleep regulation. I. Physiological basis and outline. *Human Neurobiology*, 1, 195-204.
- Bush G, Luu P, Posner MI. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Science*, 4, 215-222.

- Caci H, Robert P, Dossios C, Boyer P. (2005). Morningness-eveningness for children scales: psychometric properties and month of birth effect. *Encephale*, 31, 56-64.
- Cain N, Gradisar M. (2010). Electronic media use and sleep in school-aged children and adolescents: A review. *Sleep Medicine*, 11, 735-742.
- Carlson NR. (2001). *Physiology of behavior*. Boston: Allyn & Bacon. Trad. it. *Fisiologia del comportamento*. Padova: Piccin, 2002.
- Carrier J, Dumont M. (1995). Sleep propensity and sleep architecture after bright light exposure at three different times of day. *Journal of Sleep Research*, 4, 202-211.
- Carskadon MA, Feifer R, Acebo C. (1991). Reliability of six scales in a sleep questionnaire for adolescents. *Sleep Research*, 20, 421.
- Carskadon MA, Labyak SE, Acebo C, Seifer R. (1999). Intrinsic circadian period of adolescent humans measured in conditions of forced desynchrony. *Neuroscience Letters*, 260, 129–132.
- Carskadon MA, Vieira C, Acebo C. (1993). Association between puberty and delayed phase preference. *Sleep*, 16, 258-262.
- Checa P, Rodríguez-Bailón R, Rueda MR. (2008). Neurocognitive and temperamental systems of self-regulation and early adolescents' social and academic outcomes. *Mind, Brain, and Education*, 2, 177-187.
- Cole RJ, Kripke DF. (1988). Progress in automatic sleep/wake scoring by wrist actigraph. *Sleep Research*, 17, 331.
- Cole RJ, Kripke DF, Gruen W, Mullaney DJ, Gillin JC. (1992). Automatic sleep/wake identification from wrist activity. *Sleep*, 15, 461-469.
- Costa G. (1997). The problem: shiftwork. *Chronobiology International*, 14, 89-98.

- Costa G. (2003). Shift work and occupational medicine: an overview. *Occupational Medicine*, 53, 83-88.
- Cruz C, Detwiler C, Nesthus T, Boquet A. (2003). Clockwise and counterclockwise rotating shifts: effects on sleep duration, timing, and quality. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 74, 597-605.
- Czeisler CA, Duffy JF, Shanahan TL, Brown EN, Mitchell JF, Rimmer DV, Ronda JM, Silva EJ, Allan JS, Emens JS, Dijk D-J, Kronauer RE. (1999). Stability, precision, and near-24-hour period of the human circadian pacemaker. *Science*, 284, 2177-2181.
- Czeisler CA, Richardson GS, Zimmerman JC, Moore-Ede MC, Weitzman ED. (1981). Entrainment of human circadian rhythms by light dark cycles: a reassessment. *Photochemistry and Photobiology*, 34, 239-247.
- Czeisler CA, Weitzman E, Moore-Ede MC, Zimmerman JC, Knauer RS. (1980). Human sleep: its duration and organization depend on its circadian phase. *Science*, 210, 1264-1267.
- Danilenko KV, Wirz-Justice A, Kräuchi K, Cajochen C, Weber JM, Fairhurst S, Terman M. (2000a). Phase advance after one or three simulated dawns in humans. *Chronobiology International*, 17, 659-668.
- Danilenko KV, Wirz-Justice A, Kräuchi K, Weber JM, Terman M. (2000b). The human circadian pacemaker can see by the dawns' early light. *Journal of Biological Rhythms*, 15, 437-446.

- Daurat A, Aguirre A, Foret J, Gonnet P, Keromes A, Benoit O. (1993). Bright light affects alertness and performance rhythms during a 24-h constant routine. *Physiology & Behavior*, 53, 929-936.
- De Candolle AP. (1832). *Physiologie Vegetale*. Vol. 2. Parigi: Bechet Jeune.
- de Souza L, Benedito-Silva AA, Nogueira Pires ML, Poyares D, Tufik S, Calil HM. (2003). Further validation of actigraphy for sleep studies. *Sleep*, 2, 81-85.
- Dement W. (1974). *Some must watch while some must sleep*. San Francisco: W.H. Freeman. Trad. it. *E c'è chi veglia e c'è chi può dormire*. Bologna: Zanichelli, 1977.
- Dewald JF, Meijer AM, Oort FJ, Kerkhof GA, Bögels SM. (2010). The influence of sleep quality, sleep duration and sleepiness on school performance in children and adolescents: A meta-analytic review. *Sleep Medicine*, 14, 179-189.
- Dexter D, Bijwadia J, Schilling D, Appelbaugh G. (2003). Sleep, sleepiness and school start times: a preliminary study. *Wisconsin Medical Journal*, 102, 44-46.
- Diaz-Morales JF, Davila de Leon MC, Sorroche MG. (2007). Validity of the Morningness Eveningness Scale for children among Spanish adolescents. *Chronobiology International*, 24, 435-447.
- Dijk DJ, Cajochen C, Borbély AA. (1991). Effect of a single 3-hour exposure to bright light on core body-temperature and sleep in humans. *Neuroscience Letters*, 121, 59-62.

- Ellis LK, Rothbart MK, Posner MI. (2004). Individual differences in executive attention predict self-regulation and adolescent psychosocial behaviors. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1021, 337-340.
- Engel GL. (1977). The need for a new medical model: a challenge for biomedicine. *Science*, 196, 129-136.
- Eriksen BA, Eriksen CW. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, 16, 143-149.
- European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions (2007). *Fourth European Working Conditions Survey*. Dublino: European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions.
- Fabbri M, Tonetti L, Martoni M, Natale V. (2006). Uno strumento per la valutazione della qualità del sonno: la versione italiana del Mini-Sleep Questionnaire. *Medicina Psicosomatica*, 51 (Suppl. 1(2)), 37.
- Fan J, McCandliss BD, Sommer T, Raz A, Posner MI. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 340-347.
- Fontana Gasio P, Kräuchi K, Cajochen C, van Someren E, Amrhein I, Pache M, Savaskan E, Wirz-Justice A. (2003). Dawn–dusk simulation light therapy of disturbed circadian rest–activity cycles in demented elderly. *Experimental Gerontology*, 38, 207-216.
- Fromm E, Horlebein C, Meergans A, Niesner M, Randler C. (2011). Evaluation of a dawn simulator in children and adolescents. *Biological Rhythm Research*, 42, 417-425.

- Garaulet M, Ortega FB, Ruiz JR, Rey-López JP, Béghin L, Manios Y, Cuenca-García M, Plada M, Diethelm K, Kafatos A, Molnár D, Al-Tahan J, Moreno LA. (2011). Short sleep duration is associated with increased obesity markers in European adolescents: Effect of physical activity and dietary habits. the HELENA study. *International Journal of Obesity*, 35, 1308-1317.
- Gillette MU, Sejnowski TJ. (2005). Biological clocks coordinately keep life on time. *Science*, 309, 1196-1198.
- Giménez MC, Hessels M, van de Werken M, de Vries B, Beersma DGM, Gordijn MCM. (2010). Effects of artificial dawn on subjective ratings of sleep inertia and dim light melatonin onset. *Chronobiology International*, 27, 1219-1241.
- Hadengue P, Wagué F. (1982). A propos du travail de nuit (étude, avec un recul de 22 ans d'une population travaillant la nuit en équipe fixe). In *XVII Journées Nationales de Médecine du Travail* (pp. 273-281). Parigi: Techniques et documentation.
- Haus E, Smolensky M. (2006). Biological clocks and shift work: circadian dysregulation and potential long-term effects. *Cancer Causes & Control*, 17, 489-500.
- Higgins EA, Chiles WD, McKenzie JM, Iampietro PF, Winget CM. (1975). *The effects of a 12-hour shift in the wake-sleep cycle on physiological and biochemical responses and on multiple task performance*. Washington: Federal Aviation Administration Office.
- Horne J, Östberg O. (1976). A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *International Journal of Chronobiology*, 4, 97-110.

- Ishigami Y, Klein RM. (2010). Repeated measurement of the components of attention using two versions of the Attention Network Test (ANT): Stability, isolability, robustness, and reliability. *Journal of Neuroscience Methods*, 190, 117–128.
- Ishigami Y, Klein RM. (2011). Repeated measurement of the components of attention of older adults using the two versions of the Attention Network Test: stability, isolability, robustness, and reliability. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 3, 1-13.
- Ishihara K, Honma Y, Miyake S. (1990). Investigation of the children's version of the morningness-eveningness questionnaire with primary and junior high school pupils in Japan. *Perceptual and Motor Skills*, 71, 1353-1354.
- Janszky I, Ahnve S, Ljung R, Mukamal KJ, Gautam S, Wallentin L, Stenestrand U. (2012). Daylight saving time shifts and incidence of acute myocardial infarction – Swedish register of information and knowledge about Swedish heart intensive care admissions (RIKS-HIA). *Sleep Medicine*, 13, 237-242.
- Jugovac D, Cavallero C. (2012). Twenty-four hours of total sleep deprivation selectively impairs attentional networks. *Experimental Psychology*, 59, 115-123.
- Kantermann T, Duboutay F, Haubruge D, Kerkhofs M, Schmidt-Trucksäss A, Skene DJ. (in stampa). Atherosclerotic risk and social jetlag in rotating shift-workers: First evidence from a pilot study. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, doi:10.3233/WOR-121531.
- Kantermann T, Juda M, Merrow M, Roenneberg T. (2007). The human circadian clock's seasonal adjustment is disrupted by daylight saving time. *Current Biology*, 17, 1996-2000.
- Knauth P. (1996). Designing better shift systems. *Applied Ergonomics*, 27, 39-44.

- Knauth P, Rutenfranz J. (1976). Experimental shift work studies of permanent night and rapidly rotating shift systems. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 37, 125-137.
- Knutsson A. (2003). Health disorders of shift workers. *Occupational Medicine*, 53, 103-108.
- Laberge L, Petit D, Simard C, Vitaro F, Tremblay RE, Montplaisir J. (2001). Development of sleep patterns in early adolescence. *Journal of Sleep Research*, 10, 59-67.
- Lahti TA, Leppämäki S, Lönnqvist J, Partonen T. (2006). Transitions to daylight saving time reduces sleep duration plus sleep efficiency of the deprived sleep. *Neuroscience Letters*, 406, 174-177.
- Lahti TA, Leppämäki S, Lönnqvist J, Partonen T. (2008). Transitions into and out of daylight saving time compromise sleep and the rest-activity cycle. *BMC Physiology*, 8, 3.
- Lavie P, Tzischinsky O, Epstein R, Zomer J. (1992). Sleep-wake cycle in shift workers on a "clockwise" and "counter-clockwise" rotation system. *Israel Journal of Medical Sciences*, 28, 636-644.
- Lavoie S, Paquet J, Selmaoui B, Rufiange M, Dumont M. (2003). Vigilance levels during and after bright light exposure in the first half of the night. *Chronobiology International*, 20, 1019-1038.
- Leppämäki S, Meesters Y, Haukka J, Lönnqvist J, Partonen T. (2003). Effect of simulated dawn on quality of sleep – a community-based trial. *BMC Psychiatry*, 3, 14.

- Levandovski R, Dantas G, Fernandes LC, Caumo W, Torres I, Roenneberg T, Hidalgo MPL, Allebrandt KV. (2011). Depression scores associate with chronotype and social jetlag in a rural population. *Chronobiology International*, 28, 771-778.
- Lewy AJ, Sack RL, Fredrickson RH, Reaves M, Danny D, Zielske DR. (1983). The use of bright light in the treatment of chronobiologic sleep and mood disorders: the phase-response curve. *Psychopharmacology Bulletin*, 19, 523-525.
- Lewy AJ, Sack RL, Miller LS, Hoban TM. (1987). Antidepressant and circadian phase-shifting effects of light. *Science*, 235, 352-354.
- Lewy AJ, Sack RL, Singer CL. (1984). Assessment and treatment of chronobiologic disorders using plasma melatonin levels and bright light exposure: The clock-gate model and the phase response curve. *Psychopharmacology Bulletin*, 20, 561-565.
- Lockley SW, Skene DJ, Arendt J. (1999). Comparison between subjective and actigraphic measurement of sleep and sleep rhythms. *Journal of Sleep Research*, 8, 175-183.
- Loessl B, Valerius G, Kopasz M, Hornyak M, Riemann D, Voderholzer U. (2008). Are adolescents chronically sleep-deprived? An investigation of sleep habits of adolescents in the Southwest of Germany. *Child: care, health and development*, 34, 549-556.
- Lufi D, Tzischinsky O, Hadar S. (2011). Delaying school starting time by one hour: Some effects on attention levels in adolescents. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 7, 137-143.

- Mecacci L, Zani A. (1983). Morningness-eveningness preferences and sleep-waking diary data of morning and evening types in student and worker samples. *Ergonomics*, 26, 1147-1153.
- Monk TH. (1989). A visual analogue scale technique to measure global vigor and affect. *Psychiatry Research*, 27, 89-99.
- Moore R, Eichler V. (1972). Loss of circadian adrenal corticosterone rhythm following suprachiasmatic lesions in rat. *Brain Research*, 42, 201-206.
- Morgenthaler T, Alessi C, Friedman L, Owens J, Kapur V, Boehlecke B, Brown T, Chesson A, Coleman J, Lee-Chiong T, Pancer J, Swick TJ. (2007). Practice parameters for the use of actigraphy in the assessment of sleep and sleep disorders: an update for 2007. *Sleep*, 30, 519-529.
- Morin CM, Espie CA. (2003). *Insomnia. A Clinical guide to assessment and treatment*. New York: Kluwer Academic. Trad. it. *Insomnia – Guida alla valutazione e all'intervento psicologico*. Milano: McGraw-Hill, 2004.
- Natale V. (1996). La ritmicità in biologia. In Cicogna PC, Natale V. *Elementi di Cronopsicologia* (pp. 3-17). Napoli: Gnocchi Editore.
- Natale V. (1998). *I ritmi della mente. Introduzione alla cronopsicologia*. Roma: Il Pensiero Scientifico Editore.
- Natale V, Bruni O. (2000). Confronto fra tre questionari per la valutazione della tipologia circadiana in adolescenza. *Testing Psicometria Metodologia*, 7, 33-44.
- Natale V, Cicogna PC. (2002). Morningness-eveningness dimension: is it really a continuum? *Personality and Individual Differences*, 32, 809-816.
- Natale V, Plazzi G, Martoni M. (2009). Actigraphy in the assessment of insomnia: A quantitative approach. *Sleep*, 32, 767-771.

- Oakley NR. (1997). *Validation with polysomnography of the Sleepwatch sleep/wake scoring algorithm used by the Actiwatch activity monitoring system*. Technical Report to Mini-Mitter Co., Inc.
- Ogle JW. (1866). On the diurnal variations in the temperature of the human body in health. *St. Georges Hospital Reports, 1*, 220-245.
- Owens JA, Belon K, Moss P. (2010). Impact of delaying school start time on adolescent sleep, mood, and behavior. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine, 164*, 608-614.
- Parasuram R, Warm JS, See JE. (1998). Brain systems of vigilance. In Parasuram R. (Ed.). *The attentive brain* (pp. 221-256). Cambridge, MA: The MIT press.
- Park YM, Matsumoto K, Seo YJ, Shinkoda H. (1999). Sleep and chronotype for children in Japan. *Perceptual and Motor Skills, 88*, 1315-1329.
- Posner MI. (1978). *Chronometric explorations of mind*. Hillsdale: Erlbaum.
- Posner MI. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 32*, 3-25.
- Posner MI. (2008). Measuring alertness. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1129*, 193-199.
- Posner MI, Petersen SE. (1990). The attention systems of the human brain. *Annual Review of Neuroscience, 13*, 25-42.
- Posner MI, Raichle ME. (1994). *Images of mind*. New York: Scientific American Library.
- Randler C, Bilger S, Diaz-Morales JF. (2009). Associations among sleep, chronotype, parental monitoring, and pubertal development among German adolescents. *The Journal of Psychology, 143*, 509-520.

- Robertson IH, Manly T. (1999). Sustained attention deficits in time and space. In Humphreys GW, Duncan J, Treisman A. (Eds.). *Attention, space and action* (pp. 297–310). Oxford, UK: Oxford University Press.
- Roenneberg T, Allebrandt KV, Merrow M, Vetter C. (2012). Social jetlag and obesity. *Current Biology*, 22, 939-943.
- Roenneberg T, Kuehnle T, Pramstaller PP, Ricken J, Havel M, Guth A, Merrow M. (2004). A marker for the end of adolescence. *Current Biology*, 14, R1038-R1039.
- Roenneberg T, Wirz-Justice A, Merrow M. (2003). Life between clocks: daily temporal patterns of human chronotype. *Journal of Biological Rhythms*, 18, 80-90.
- Rosenthal NE, Bradt GH, Wehr TA. (1984). *Seasonal Pattern Assessment Questionnaire (SPAQ)*. Bethesda, MD: National Institute of Mental Health.
- Russo PM, Bruni O, Lucidi F, Ferri R, Violani C. (2007). Sleep habits and circadian preference in Italian children and adolescents. *Journal of Sleep Research*, 16, 163-169.
- Scheer FAJL, Buijs RM. (1999). Light affects morning salivary cortisol in humans. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 84, 3395-3398.
- Shambroom JR, Fábregas SE, Johnstone J. (2012). Validation of an automated wireless system to monitor sleep in healthy adults. *Journal of Sleep Research*, 21, 221-230.
- Shinkoda H, Matsumoto K, Park YM, Nagashima H. (2000). Sleep-wake habits of schoolchildren according to grade. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 54, 287-289.

- Short MA, Gradisar M, Lack LC, Wright H, Carskadon MA. (2012). The discrepancy between actigraphic and sleep diary measures of sleep in adolescents. *Sleep Medicine, 13*, 378-384.
- Short MA, Gradisar M, Lack LC, Wright H, Chatburn A. (2013). Estimating adolescent sleep patterns: parent reports versus adolescent self-report surveys, sleep diaries, and actigraphy. *Nature and Science of Sleep, 5*, 23-26.
- Siffre M. (1964). *Beyond time*. New York: McGraw-Hill.
- Siffre M. (1975). Six months alone in a cave. *National Geographic, 3*, 426-435.
- Simpson HW, Lobban MC, Halberg F. (1970). Urinary near 24-hour rhythms in subjects living on a 21-hour routine in the Arctic. *Arctic Anthropology, 7*, 144-164.
- Simpson S, Galbraith JJ. (1906). Observations on the normal temperature of the monkey and its diurnal variation, and on the effect of changes in the daily routine on this variations. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, 45*, 65-106.
- Stampi C. (1991). Profilo cronobiologico del sistema sonno-veglia. In Bosinelli M, Cicogna PC. *Sogni: figli di un cervello ozioso* (pp. 189-207). Torino: Bollati Boringhieri.
- Stephan F, Zucker I. (1972). Circadian rhythms in drinking behavior and locomotor activity of rats are eliminated by hypothalamic lesions. *PNAS, 69*, 1583-1586.
- Sturm W, Willmes K. (2001). On the functional neuroanatomy of intrinsic and phasic alertness. *Neuroimage, 14*, 76-84.
- Suwazono Y, Sakata K, Okubo Y, Harada H, Oishi M, Kobayashi E, Uetani M, Kido T, Nogawa K. (2006). Long-term longitudinal study on the relationship between

- alternating shift work and the onset of diabetes mellitus in male Japanese workers. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 48, 455-461.
- Swedo SE, Pleeter JD, Richter DM, Hoffman CL, Allen AJ, Hamburger SD, Turner EH, Yamada EM, Rosenthal NE. (1995). Rates of seasonal affective disorder in children and adolescents. *American Journal of Psychiatry*, 152, 1016-1019.
- Talbot LS, McGlinchey EL, Kaplan KA, Dahl RE, Harvey AG. (2010). Sleep deprivation in adolescents and adults: changes in affect. *Emotion*, 10, 831-841.
- Thorn L, Hucklebridge F, Esgate A, Evans P, Clow A. (2004). The effect of dawn simulation on the cortisol response to awakening in healthy participants. *Psychoneuroendocrinology*, 29, 925-930.
- Tonetti L. (2007). Validity of the Morningness-Eveningness Questionnaire for Adolescents (MEQ-A). *Sleep & Hypnosis*, 9, 47-51.
- Tonetti L, Fabbri M, D'Alessandro I, Barbato G, Natale V. (2008a). Valutazione della stagionalità in un campione di preadolescenti ed adolescenti italiani. *Psicologia Clinica dello Sviluppo*, 22, 529-544.
- Tonetti L, Fabbri M, Martoni M, Natale V. (2006). Uno strumento per la valutazione della tipologia circadiana in adolescenza. *Testing Psicometria Metodologia*, 13, 25-38.
- Tonetti L, Fabbri M, Natale V. (2008b). Sex difference in sleep-time preference and sleep need: a cross-sectional survey among Italian pre-adolescents, adolescents, and adults. *Chronobiology International*, 25, 745-759.
- Tonetti L, Fábregas SE, Fabbri M, Occhionero M, Erbacci A, Martoni M, Natale V. (2013). Comparison of a wireless dry headband technology for sleep monitoring with actigraphy in healthy adults. *Biological Rhythm Research*, 44, 333-338.

- Tonetti L, Pasquini F, Fabbri M, Belluzzi M, Natale V. (2008c). Comparison of two different actigraphs with polysomnography in healthy young subjects. *Chronobiology International*, 25, 145-153.
- Valdez P, Ramirez C, Garcia A. (2003). Adjustment of the sleep-wake cycle to small (1-2h) changes in schedule. *Biological Rhythm Research*, 34, 145-155.
- Van de Water ATM, HOLEMS A, Hurley DA. (2011). Objective measurements of sleep for non-laboratory settings as alternatives to polysomnography – a systematic review. *Journal of Sleep Research*, 20, 183-200.
- van de Werken M, Giménez MC, de Vries B, Beersma DGM., van Someren EJW, Gordijn MCM. (2010). Effects of artificial dawn on sleep inertia, skin temperature, and the awakening cortisol response. *Journal of Sleep Research*, 19, 425-435.
- van Mark A, Spallek M, Kessel R, Brinkmann E. (2006). Shift work and pathological conditions. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 1, 25.
- Vedaa Ø, West Saxvig I, Wilhelmsen-Langeland A, Bjorvatn B, Pallesen S. (2012). School start time, sleepiness and functioning in Norwegian adolescents. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 56, 55-67.
- Wahlstrom K. (2002). Changing times: findings from the first longitudinal study of later high school start times. *NASSP Bulletin*, 86, 3-21.
- Waterhouse J, Nevill A, Edwards B, Godfrey R, Reilly T. (2003). The relationship between assessments of jet lag and some of its perceptions. *Chronobiology International*, 20, 1061–1073.

- Waterhouse J, Nevill A, Finnegan J, Williams P, Edwards B, Kao S-Y, Reilly T. (2005). Further assessment of the relationship between jet lag and some of its symptoms. *Chronobiology International*, 22, 121–136.
- Wever RA. (1970). Zur Zeitgeber-Stärke eines Licht-Dunkel-Wechsels für die circadiane periodik des Menschen. *Pflügers Archiv*, 321, 133–142.
- Wever RA. (1975). The circadian multi-oscillator system of man. *International Journal of Chronobiology*, 3, 19-55.
- Wever RA. (1979). *The circadian system of man. Results of experiments under temporal isolation*. New York: Springer Verlag.
- Wittmann M, Dinich J, Merrow M, Roenneberg T. (2006). Social jetlag: misalignment of biological and social time. *Chronobiology International*, 23, 497-509.
- Yang C-K, Kim JK, Patel SR, Lee J-H. (2005). Age-related changes in sleep/wake patterns among Korean teenagers. *Pediatrics*, 115, 250-256.
- Zomer J, Peder R, Rubin AH, Lavie P. (1985). Mini Sleep Questionnaire for screening large populations for EDS complaints. In Koella WP, Ruther E, Schulz H. (Eds.). *Sleep '84* (pp. 467-470). Stoccarda: Gustav Fischer Verlag.