



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA
DELL'INFORMAZIONE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA BIOMEDICA

Metodi per lo studio della Polisonnografia e applicazione nei disturbi del sonno

LAUREANDO/A

Maria Sgaravatto

Numero di Matricola 2001436

RELATORE

Prof. Mattia Veronese

Università di Padova

ANNO ACCADEMICO
2022/2023

Indice

<i>Abstract</i>	5
<i>Capitolo 1: La Polisonnografia</i>	7
1a. Cenni storici	7
1b. Segnali analizzati e strumentazione utilizzata	8
<i>Capitolo 2: Il sonno e lo Sleep Scoring</i>	16
2a. Gli stadi del sonno.....	16
2b. Segnali da analizzare nello <i>Sleep Scoring</i>	18
2c. Forme d'onda rilevate	21
<i>Capitolo 3: Metodi ed applicazioni per la Polisonnografia</i>	25
3a. Tipi di Polisonnografie e differenze fra Polisonnografia domiciliare o in laboratorio	25
3b. Lettura ed interpretazione di un tracciato polisonnografico	27
3c. Applicazioni nel campo dei disturbi del sonno	30
<i>Capitolo 4: Conclusione</i>	34
<i>Bibliografia</i>	36

Abstract

La Polisonnografia (PSG) è una metodologia di rilevamento e monitoraggio del sonno, ampiamente utilizzata nella valutazione dei disturbi del sonno. Questa tesi si propone di esaminare in dettaglio i metodi impiegati nello studio della PSG e di esplorare le loro applicazioni nel contesto dei disturbi del sonno.

Per prima cosa, si svolgerà un'analisi della Polisonnografia e dei parametri utilizzati per valutare in modo completo i disturbi del sonno. Sarà necessario includere l'elettroencefalogramma (EEG) per descrivere l'attività cerebrale, l'elettromiogramma (EMG) per registrare l'attività muscolare, l'elettrooculogramma (EOG) per misurare i movimenti oculari, l'elettrocardiogramma (ECG) per monitorare l'attività cardiaca, la pulsossimetria per misurare i livelli di ossigeno nel sangue, l'airflow per registrare il flusso d'aria nelle vie respiratorie, lo sforzo respiratorio per valutare l'effort fatto dal paziente durante la respirazione e la posizione corporea del paziente. Si parlerà anche della strumentazione utilizzata per registrare i segnali precedentemente citati.

Per comprendere appieno la PSG, è importante, inoltre, compiere un'analisi del sonno stesso e della sua suddivisione in fasi. Il sonno è diviso in cicli che comprendono le fasi del sonno *N-REM* (movimenti oculari rapidi) e del sonno *REM*. Durante questa discussione, si tornerà a parlare di EEG, EMG e EOG, i quali sono segnali molto utili per la suddivisione delle fasi del sonno e per identificare eventuali irregolarità durante esse.

Nella parte successiva, ci si focalizzerà sui diversi tipi di studi del sonno e sulla loro funzione. Alcuni studi del sonno, infatti, possono richiedere la registrazione di tutti i parametri citati in precedenza, mentre altri possono necessitare solo di informazioni necessarie per una diagnosi di un disturbo di cui già si sospetta. Si parlerà, poi, di ciò a cui bisogna prestare attenzione per rendere la PSG quanto più accurata e per evitare di introdurre eventuali bias. Si approfondiranno, successivamente, eventuali modalità e rappresentazioni che facilitano la lettura di un tracciato polisonnografico.

In conclusione, si presenteranno e discuteranno disturbi del sonno molto frequenti nella popolazione o che possono essere rilevati e/o trattati grazie alla strumentazione e alle tipologie di studi citati in precedenza.

Capitolo 1: La Polisonnografia

Il sonno è un'attività fondamentale per il benessere psico-fisico dei viventi in generale, ragion per cui, l'essere umano, passa circa un terzo della sua vita a dormire. Per questo motivo, può risultare utile studiare ed analizzare i comportamenti dell'individuo mentre dorme [4].

Le funzioni conosciute del sonno sono molteplici: sviluppo fisiologico, facilitazione di apprendimento e memoria, possibilità di dimenticare informazioni non necessarie, pulizia dai prodotti di scarto metabolici generati dall'attività del cervello dell'individuo sveglio e conservazione dell'energia metabolica. Si può quindi affermare con certezza che il sonno è un bisogno fisiologico fondamentale [3]. Per questi fattori, risulta indispensabile analizzarlo per accertarsi che venga ottimizzato e per evitare che incombano patologie legate ad esso.

Da un punto di vista scientifico, il sonno si può descrivere sia grazie ai comportamenti adottati da una persona durante esso, che ai cambiamenti fisiologici rilevabili dall'attività elettrica, che si differenziano rispetto ai momenti di veglia. Fra i criteri comportamentali dell'individuo si possono osservare: la mobilità del soggetto, i movimenti lenti degli occhi, le caratteristiche posturali, le risposte agli stimoli esterni, l'aumento del tempo di reazione, una soglia di eccitazione elevata e uno stato inconscio reversibile [3].

Per condurre un'analisi completa del sonno di un paziente, è necessario registrare simultaneamente tutti i parametri rilevanti che possono fornire informazioni utili. Uno dei metodi più comuni per farlo è la Polisonnografia.

La Polisonnografia (PSG) è una procedura non invasiva e indolore che richiede la raccolta di dati da diversi strumenti per valutare la qualità del sonno. I principali segnali registrati durante la PSG includono: elettroencefalogramma (EEG), elettromiogramma (EMG), elettrooculogramma (EOG) elettrocardiogramma (ECG), pulsossimetria e dalle analisi compiute sul flusso d'aria e sullo sforzo respiratorio. Spesso, a questi segnali, vengono integrati i dati che riguardano la posizione del paziente durante il sonno, che possono essere ricavati da un video o usando un monitor di posizione, attaccato al paziente [1]. Grazie alla sua precisione e completezza, la Polisonnografia è diventata uno dei metodi più utilizzati per lo studio e la valutazione del sonno umano. I dati raccolti durante la PSG forniscono informazioni importanti per la diagnosi di disturbi del sonno e per la pianificazione di un trattamento adeguato.

1a. Cenni storici

Il pioniere degli studi moderni della Polisonnografia fu Caton, che, nel 1875, riuscì a registrare l'attività elettrica cerebrale degli animali. Successivamente, Berger, nel 1929, descrisse la

differenza tra il sonno e la veglia. Nel 1937, Loomis ed altri suoi colleghi registrarono per la prima volta un'intera notte di EEG, aprendo così la strada ad ulteriori ricerche sul sonno [1].

Negli anni '50, Aserinsky, Kleitman, Dement e Jouviet stabilirono l'utilità di combinare l'EEG, l'EOG e l'EMG per individuare i comportamenti durante il sonno. In particolare, Dement e Kleitman proposero una nomenclatura per i vari stadi del sonno (Aserinsky and Kleitman, 1953; Dement e Kleitman, 1957; Jouvet et al., 1958). Il primo manuale standardizzato contenente tutte le terminologie riguardanti il sonno, il manuale Rechtschaffen e Kales (R and K), fu pubblicato solo nel 1968 (Kales and Rechtschaffen, 1968). Esso è stato, per molto tempo, un importante punto di riferimento per la classificazione degli stadi del sonno [1].

Nel corso degli anni, la Polisonnografia è stata utilizzata sempre più comunemente nella pratica clinica e nella ricerca sui disturbi del sonno. Nel 2007, il manuale R and K è stato sostituito come sistema standardizzato per la valutazione del PSG dal manuale della American Academy on Sleep Medicine (AASM) (Iber et al., 2007), e l'ultima versione di questo manuale risale a febbraio 2023. Questo manuale è considerato lo standard di riferimento per la valutazione dei dati della Polisonnografia e la classificazione dei disturbi del sonno [1].

1b. Segnali analizzati e strumentazione utilizzata

Come specificato in precedenza, la PSG utilizza i dati raccolti da: EEG, EMG, EOG, ECG, pulsossimetria, analisi compiute sul flusso d'aria, sullo sforzo respiratorio e sulla posizione del paziente. Tutti questi parametri forniscono un quadro completo della qualità del sonno del paziente e aiutano a diagnosticare eventuali patologie del sonno. Risulta fondamentale fornire una spiegazione di cosa misurano i segnali utilizzati nella PSG e come contribuiscono a valutare la qualità del sonno.

La strumentazione utilizzata per la valutazione dei segnali citati in precedenza risulta essere complessa. È necessario, infatti, essere in grado di registrare segnali diversi simultaneamente e prestare attenzione ad eventuali interferenze, create dalla vicinanza delle sorgenti di segnali della stessa natura [1]. La strumentazione utilizzata deve, inoltre, non risultare troppo ingombrante. Lo scopo della Polisonnografia è, infatti, studiare il sonno del paziente. Ciò non risulta possibile se il paziente non riesce ad addormentarsi a causa di disagi causati dalla strumentazione stessa.

a) Elettroencefalogramma

L'elettroencefalogramma è definito come la procedura per visualizzare l'attività elettrica registrata dalla superficie dello scalpo, dopo essere stata estratta da elettrodi metallici piccoli e piatti. Il funzionamento di questa misurazione è basato sulla rilevazione delle correnti

perpendicolari allo scalpo prodotte dai neuroni, che verranno successivamente amplificate e visualizzate come un grafico. La procedura non è invasiva, quindi può essere ripetuta senza incorrere in particolari rischi [6].

Nel campo della PSG, studiare l'EEG di un individuo può risultare fondamentale per suddividere il sonno in fasi, individuando forme d'onda caratteristiche e frequenze specifiche nel tracciato.

Nello studio dei potenziali cerebrali durante il sonno, gli elettrodi utilizzati per la loro misurazione, vengono piazzati secondo il Sistema Internazionale 10-20. In particolare, essi vengono collocati presso le posizioni F4, C4, O2 ed M2, in modo da ottenere le derivazioni F4-M1, C4-M1 e O2-M1 [9]. Vengono piazzati degli altri elettrodi nelle posizioni corrispondenti a sinistra, così da poter avere anche informazioni dalle derivazioni F3-M2, C4-M2 e O1-M2, nel caso ci siano degli elettrodi malfunzionanti (Figura 1) [1].

Questo posizionamento di elettrodi presenta delle criticità: può risultare troppo poco specifico e non avere la sensibilità adatta per essere uno strumento diagnostico primario. Per questo, un set completo di elettrodi, piazzati secondo il sistema 10-20, può essere utilizzato nel caso si debbano valutare disturbi che richiedano un'analisi più dettagliata dell'attività cerebrale come convulsioni notturne [2].

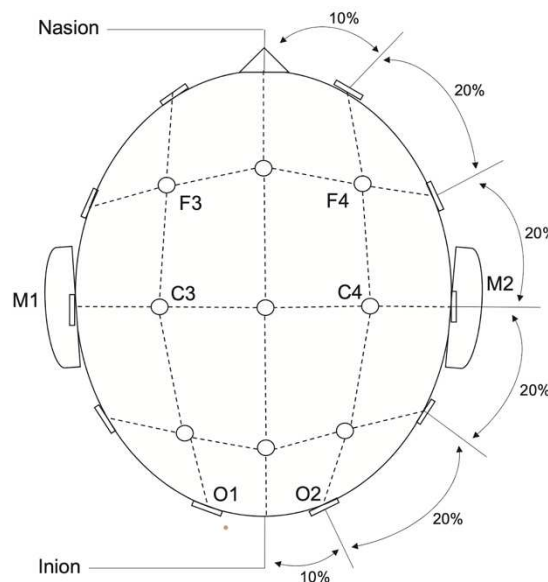


Figura 1: Posizionamento degli elettrodi per l'EEG secondo il Sistema Internazionale 10-20 con elettrodi utilizzati per la PSG in evidenza.

(Da Jessica Vensel Rundo, Ralph Downey, Chapter 25 - Polysomnography, Editor(s): Kerry H. Levin, Patrick Chauvel, *Handbook of Clinical Neurology*, Elsevier, Volume 160, 2019, Pages 381-392.)

b) Elettromiogramma

L'elettromiogramma è una tecnica di registrazione del potenziale dei muscoli scheletrici, durante la loro contrazione volontaria e lo stato di riposo. Si esegue posizionando degli elettrodi sulla superficie della pelle o direttamente all'interno del muscolo e, successivamente, i segnali ottenuti dalla misurazione vengono amplificati e analizzati, con il fine di avere un quadro completo della situazione del soggetto. Ha la funzione di analizzare il movimento e può essere utilizzata per diagnosticare disturbi muscolari e neurologici.

Durante uno studio del sonno, analizzare l'EMG può aiutare sia a suddividere le fasi del sonno che a mostrare eventuali anomalie legate ad esse.

Solitamente, i movimenti muscolari più importanti da registrare risultano essere quelli relativi al mento e agli arti inferiori [1].

Per registrare i movimenti muscolari del mento, viene solitamente utilizzato un elettrodo a tre poli, che viene posizionato a metà del mento, circa 1 cm sopra al bordo della mandibola. Gli altri due elettrodi vengono, invece, posizionati ai lati del mento, a circa 2 cm dall'elettrodo centrale e a 2 cm dal bordo della mandibola. Questa disposizione degli elettrodi permette di registrare l'attività muscolare submentale in modo preciso e affidabile durante il sonno (Figura 2). Piazzare gli elettrodi sul mento aiuta a rilevare, oltre al tono muscolare, fattori e anomalie come il bruxismo, l'apertura della bocca e se il paziente parla o russa durante il sonno [1].

Per registrare i movimenti degli arti inferiori, gli elettrodi sono piazzati su entrambi i muscoli tibiali anteriori (Figura 3). L'aumento dell'attività muscolare del tibiale anteriore viene considerato un movimento degli arti inferiori e viene registrato basandosi su un aumento minimo di ampiezza di $8 \mu\text{V}$ rispetto al voltaggio iniziale dell'EMG, con una durata minima di 0.5-1s [1].

Eventualmente, nel caso si debba studiare la presenza nel paziente di disturbi che hanno come caratteristica un movimento anomalo degli arti, possono essere aggiunte delle derivazioni ulteriori sulle braccia, in corrispondenza dei muscoli flessori delle dita [1].

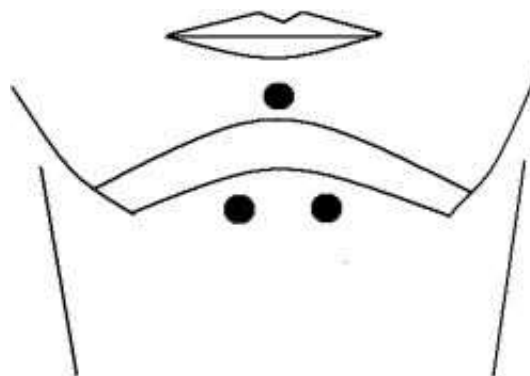


Figura 2: Posizionamento degli elettrodi per la registrazione dell'EMG submentale.

(Da Kelly A. Carden, Recording Sleep: The Electrodes, 10/20 Recording System, and Sleep System Specifications, *Sleep Medicine Clinics*, Volume 4, Issue 3, 2009)

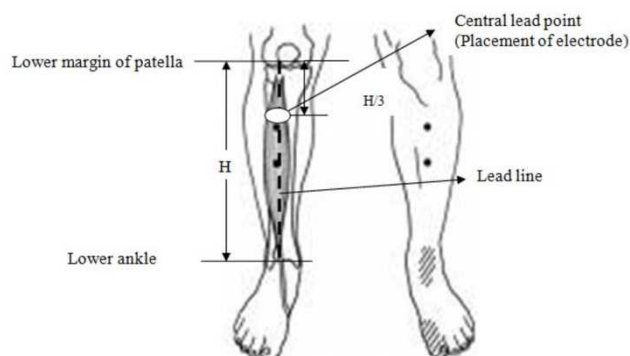


Figura 3: Posizionamento degli elettrodi sulle fibre muscolari tibiali anteriori.

(Da Muthumani, Anburaj & Marley, Robert. (2010). EVALUATION OF PHYSICAL MEASURES OF STEERING AND BRAKING RESPONSE FOR IN-VEHICLE WARNING SYSTEMS.)

c) Elettrooculogramma

L'elettrooculogramma è una tecnica diagnostica che misura il potenziale della retina dell'occhio umano, generato dalla differenza di potenziale fra la cornea e la retina stessa. Gli elettrodi per la valutazione vengono posti esternamente all'occhio, in corrispondenza di dove si incontrano la palpebra superiore e quella inferiore. La tecnica utilizzata non è quindi invasiva. L'EOG ha la funzione di diagnosticare diversi disturbi aventi a che fare con irregolarità del funzionamento dell'occhio [8].

L'EOG viene incluso nella PSG principalmente per lo studio delle fasi del sonno.

Per analisi dell'attività elettrica oculare, gli elettrodi vengono piazzati in corrispondenza delle posizioni E1 ed E2, in modo da ottenere le derivazioni E1-M2 ed E2-M2. Nello specifico, gli elettrodi vengono posizionati 1 cm sotto e 1 cm lateralmente al canto esterno degli occhi, sia a destra che a sinistra (Figura 4) [1].

Bisogna prestare attenzione nell'analisi dei segnali estrapolati da questa misurazione poiché, a causa del posizionamento degli elettrodi, l'attività elettrica oculare potrebbe andarsi a mescolare con l'attività elettrica cerebrale [2].

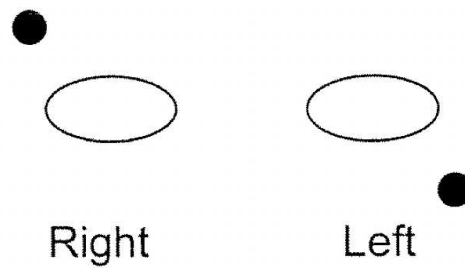


Figura 4: Posizionamento degli elettrodi per la misurazione del potenziale oculare.

(Da Medicine, A. a. O. S. (2023). *The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events*, Version 3.)

d) Elettrocardiogramma

L'elettrocardiogramma è uno strumento utilizzato per rilevare la manifestazione elettrica dell'attività contrattile del cuore, la quale viene generata da cellule specifiche presenti nel nodo seno-atriale (pacemaker).

Il nodo seno-atriale è costituito da un gruppo di cellule specializzate che generano un impulso elettrico regolare che si diffonde attraverso gli atri, causando la contrazione sincronizzata delle due camere superiori del cuore. Questo impulso viene quindi trasmesso ai ventricoli attraverso il fascio di His, e si determinerà in questo modo il pattern di eccitazione- contrazione.

L'attività elettrica del cuore viene quindi rilevata attraverso l'ECG, che mostra le variazioni di tensione tra gli elettrodi posizionati sulla superficie del corpo. Esso è un test non invasivo che fornisce informazioni importanti sull'attività elettrica del cuore, permettendo di identificare eventuali anomalie o aritmie cardiache. Solitamente, si utilizzano 6 derivazioni elettriche toraciche e 6 derivazioni negli arti per esplorare al meglio l'attività elettrica, sia sul piano frontale, che sul piano trasversale.

Nel campo della PSG, lo studio dell'attività cardiaca risulta funzionale per rilevare come il battito varia durante il sonno e, in particolare, per rilevare patologie che si presentano soprattutto in questa fase [1].

Durante una Polisonnografia, per monitorare l'attività elettrica cardiaca vengono solitamente utilizzati solamente due elettrodi, corrispondenti alla seconda derivazione principale di Einthoven [2] (Figura 5). Questi elettrodi registrano l'attività elettrica del cuore e possono essere utilizzati per valutare la frequenza cardiaca e la presenza di eventuali disturbi del ritmo cardiaco.

Tuttavia, questa strumentazione ridotta non permette di definire disturbi come le aritmie complesse, che richiedono una valutazione più approfondita dell'attività elettrica del cuore tramite un ECG completo [1].

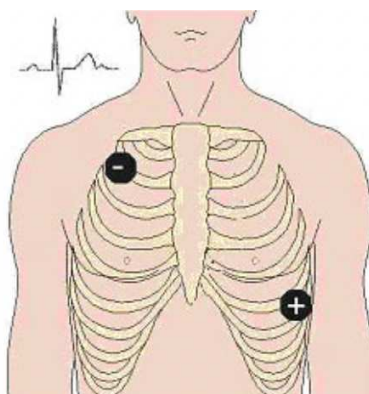


Figura 5: Posizionamento degli elettrodi per la misurazione del potenziale cardiaco. Essi possono essere piazzati nel torso, parallelamente alla spalla destra e al fianco sinistro.

(Da Caples, Sean M. et al. "The scoring of cardiac events during sleep." *Journal of clinical sleep medicine: JCSM : official publication of the American Academy of Sleep Medicine* 3 2 (2007): 147-54 .)

Quando si lavora con segnali bioelettrici, come quelli relativi all'attività elettrica cardiaca, la registrazione avviene attraverso elettrodi posizionati sulla superficie del corpo. Questi segnali sono di bassa ampiezza e vengono facilmente disturbati da rumore. Per questo motivo, per ottenere informazioni di buona qualità, è necessario amplificare il segnale registrato e compiere un filtraggio per ridurre il rumore.

e) Pulsossimetria

La pulsossimetria determina la saturazione dell'ossigeno nel sangue. Al contrario delle procedure citate in precedenza, essa non si basa sulla rilevazione di segnali elettrici, bensì di segnali ottici. Infatti, la misurazione si basa sull'assorbimento della luce rossa e infrarossa da parte del sangue arterioso [12].

Nel campo dei disturbi del sonno, la pulsossimetria può essere utilizzata per individuare disturbi come le ipopnee, caratterizzate da una desaturazione dell'ossigeno del 3-4%, o per valutare se è necessario un supplemento di ossigeno notturno [1].

L'analisi della saturazione di ossigeno nel paziente avviene grazie a un pulsossimetro, un dispositivo portatile che viene solitamente posto sull'estremità del dito del paziente. Esso è dotato di un sensore che emette luce attraverso il tessuto del paziente e rileva la quantità di luce che viene assorbita dal sangue.

f) *Airflow* e sforzo respiratorio

L'analisi del flusso d'aria è indispensabile per individuare delle ricorrenze nel respiro dell'individuo o per identificarne il tipo di respirazione. Solitamente, viene fatta sia l'analisi della temperatura del flusso d'aria, che della sua pressione, al fine di avere un quadro completo della respirazione del paziente [1].

Nel campo della PSG, riduzioni nell'*airflow* possono essere utili per identificare apnee (riduzione >90%) o ipopnee (riduzione >30%).

Analizzare lo sforzo respiratorio è fondamentale per rilevare eventi in cui la respirazione risulta complessa al paziente, ma che non risultano abbastanza debilitanti per essere considerati apnee e ipopnee, quindi non individuati nell'analisi dell'*airflow* [1].

Nella PSG vengono utilizzati due sensori per il flusso respiratorio: il sensore termico oronasale e il trasduttore di pressione nasale [13].

Il sensore termico oronasale è composto da un sensore termico che rileva i cambi di temperatura dell'aria inspirata ed espirata attraverso il naso e la bocca del paziente. Questo sensore è in grado di distinguere tra l'aria inspirata e quella espirata in base ai cambiamenti di temperatura [13].

Il trasduttore di pressione nasale è composto da una cannula che viene inserita nelle narici del paziente e da un trasduttore di pressione che rileva i cambi di pressione dell'aria durante l'inspirazione ed espirazione attraverso il naso [13].

Vengono anche utilizzati due ulteriori sensori o cinture per pletismografia ad induttanza respiratoria (RIP), che hanno il compito di determinare qualitativamente lo sforzo respiratorio relativo al torace e all'addome. Esse utilizzano piezocristalli che rispondono con cambiamenti nel voltaggio a movimenti del torace e dell'addome [1].

Anche se non risulta indispensabile, è possibile utilizzare la manometria esofagea per rilevare la crescita dello sforzo respiratorio dalla resistenza delle vie aeree superiori [1].

g) Posizione corporea

L'analisi della posizione corporea del paziente durante la PSG è un elemento importante per ottenere un quadro clinico completo del sonno e dei disturbi correlati. Durante il sonno, il paziente può assumere diverse posizioni corporee, e alcune di queste posizioni possono influenzare il sonno stesso.

La posizione corporea del paziente durante la Polisonnografia può essere documentata dal tecnico del sonno presente in laboratorio, utilizzando un video e un monitor di posizione indossabile [1].

Grazie all'uso di questi segnali, è possibile avere un quadro clinico completo di ciò che accade ad un individuo mentre dorme.

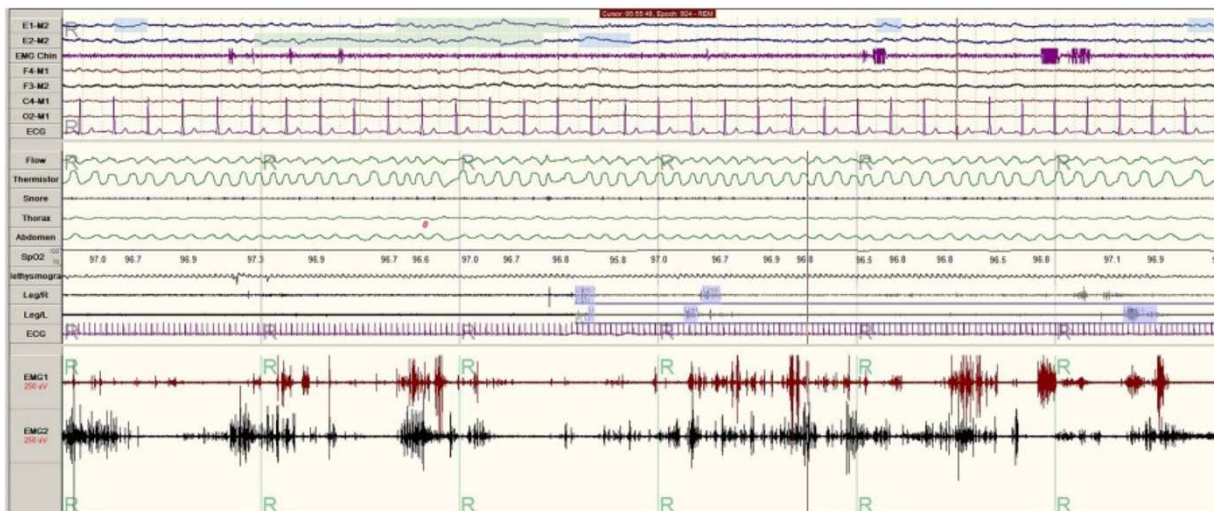


Figura 6: Figura riassuntiva dei segnali citati in precedenza. Partendo dall'alto: le due derivazioni dell'EOG (*E1-M2*, *E2-M2*), l'EMG submentale, le quattro derivazioni dell'EEG (*F4-M1*, *F3-M2*, *C4-M1* e *O2-M1*), l'ECG, le misurazioni dell'airflow (*Flow* e *Thermistor*), la registrazione del russamento del paziente, lo sforzo respiratorio (*Thorax* e *Abdomen*), la saturazione dell'ossigeno, il volume polmonare, l'EMG delle gambe (*LEG/R* e *LEG/L*), l'ECG e ulteriori terminazioni per la rilevazione dell'EMG.

(Da Caples, Sean M. et al. "The scoring of cardiac events during sleep." *Journal of clinical sleep medicine: JCSM : official publication of the American Academy of Sleep Medicine* 3 2 (2007): 147-54 .)

Capitolo 2: Il sonno e lo *Sleep Scoring*

L'attività elettrica, durante il sonno, è molto ricca di informazioni su ciò che sta accadendo all'individuo, nonostante i movimenti del corpo siano significativamente inibiti. Per questo motivo occorre prestare molta attenzione a non limitare l'analisi del sonno di un individuo ai comportamenti da esso adottati.

Lo studio dell'attività elettrica del soggetto in analisi può permettere di suddividere il ciclo di sonno in fasi, utili per comprendere meglio alcuni dei disturbi legati al sonno. Lo studio del sonno mira, inoltre, a comprendere la natura complessa delle attività oniriche, come i sogni, il cui significato neurobiologico rimane ancora poco noto [3].

2a. Gli stadi del sonno

Il sonno può essere suddiviso, in un individuo sano, in tre momenti fondamentali: fase di veglia (*W* o stadio *wake*) sonno non *REM* (*NREM*, suddiviso, a sua volta, in *N1*, *N2* e *N3*) e *REM*. Questa ripartizione prende il nome di *Sleep Scoring* [5]. In una notte di sonno, un individuo compie dai 4 ai 6 cicli di sonno, i quali hanno una durata di circa 90-110 minuti ciascuno [10].

1. *Wake (W)*

Lo stadio *wake* o di veglia è il primo stadio, che è fortemente dipendente dal fatto che gli occhi siano aperti o chiusi (utile per rilevare il livello di rilassamento dell'individuo). Durante esso, il cervello è attivo e cosciente dell'ambiente circostante. Solitamente, viene preso in considerazione per poterlo confrontare con il sonno *REM* o *NREM* [5].

2. *Sonno non REM*

Durante il sonno *NREM*, la respirazione e il battito cardiaco rallentano, la pressione sanguigna diminuisce e i muscoli diventano meno attivi rispetto alla veglia. L'individuo entra in uno stato inconscio reversibile, per questo si può notare un calo nella sua percezione degli stimoli esterni. È composto da tre stadi: *N1*, *N2* e *N3* [5]:

a) *N1*

Lo stadio *N1* è caratterizzato dal sonno leggero: è il passaggio fra la veglia e il sonno. La sua durata va circa da 1 a 5 minuti e costituisce circa il 5% del tempo di sonno totale [5].

b) *N2*

Questo stadio rappresenta un sonno più profondo. Esso dura circa 25 minuti nel primo ciclo e si allunga sempre di più per ogni ciclo successivo, arrivando poi a coprire circa il 45% del sonno totale. È lo stadio durante il quale si può osservare il bruxismo (digriagnare i denti) [5].

c) *N3*

È lo stadio del sonno non *REM* più profondo ed il più difficile dal quale svegliarsi. Con il passare dell'età, gli individui tendono a passare sempre meno tempo nell'*N3*, a favore di un aumento del tempo passato in *N2*. Se si viene svegliati mentre questo stadio è in corso, si avrà una fase di annebbiamento mentale, conosciuta come inerzia del sonno (le prestazioni mentali dell'individuo sono compromesse per circa 30 minuti-1 ora) [11]. In questa fase, è possibile osservare in alcuni individui comportamenti come il sonnambulismo. Durante questo stadio, il corpo compie processi fisiologici come riparare e far crescere i tessuti, creare tessuto muscolare e osseo e rinforzare il sistema immunitario. Inoltre, il metabolismo cerebrale diminuisce. La sua durata è stimata essere circa il 25% del ciclo di sonno completo [5].

3. **Sonno *REM***

La fase *REM* (*Rapid Eye Movement*) deve il suo nome proprio, al caratteristico movimento veloce degli occhi, sotto le palpebre, che si presenta mentre essa è in corso. Lo stadio *REM* è solitamente caratterizzato da attività cerebrale molto intensa e un alto grado di attività fisiologica. Durante questa fase, i muscoli scheletrici sono atonici e non è presente movimento, eccetto per gli occhi e per i muscoli respiratori. Il ritmo della respirazione diventa irregolare, aumentano il battito cardiaco e la pressione. È anche la fase dove si manifestano la maggior parte dei sogni (circa l'80% [3]). Gli individui, soprattutto la mattina, tendono a svegliarsi spontaneamente durante un episodio di sonno *REM*. Il primo dei cicli *REM* dura circa dieci minuti. I cicli diventano sempre più lunghi e l'ultimo dura circa un'ora. Esso costituisce circa il 25% del ciclo del sonno completo [5].

Non è possibile, per l'individuo addormentato, riuscire a distinguere autonomamente fra le diverse fasi del sonno e a verificare che si stiano svolgendo correttamente. È importante studiare ed analizzare al meglio le fasi del sonno poiché una loro alterazione potrebbe essere indicativa di disturbi come, ad esempio, le apnee notturne, durante le quali si potrebbe osservare anche un tempo ridotto passato nelle fasi *N3* e *REM*, o la narcolessia, solitamente individuabile a causa di un'eliminazione delle fasi non *REM* nel ciclo dell'individuo. Ciò che permette di poter comprendere al meglio ciò che sta succedendo al soggetto in stato di incoscienza temporanea reversibile è lo studio di segnali come l'EEG, l'EMG e l'EOG. L'attività elettrica provveduta dall'analisi di segnali cerebrali, muscolari e oculari può infatti aiutare a dare una durata alle fasi del sonno e a studiarne la progressione nell'individuo.

2b. Segnali da analizzare nello *Sleep Scoring*

I segnali di principale interesse per la suddivisione e l'analisi delle fasi del sonno sono l'EEG, l'EMG e l'EOG.

a) Elettroencefalogramma

L'EEG risulta molto utile per studiare le diverse fasi del sonno, grazie alla rilevazione di specifiche tipologie di onde osservabili in esso [6]. Le forme d'onda vengono suddivise in base alla loro frequenza [7]:

- **Onde *beta*:** sono le onde con frequenza più alta ($>13\text{Hz}$). Esse sono rilevabili nell'individuo sveglio e in stato di concentrazione mentale, predominanti nella fase in cui esso ha gli occhi aperti, e nell'individuo che attraversa la fase *REM*. Le onde *beta* sono spesso registrate dalle derivazioni frontali dell'EEG [7].
- **Onde *alpha*:** hanno una frequenza che va dagli 8 ai 13 Hz. Sono individuabili nel soggetto durante la fase *W*, nello stato di rilassamento (ad esempio, quando si è seduti in una stanza silenziosa con gli occhi chiusi). Quando esse vengono sostituite per più del loro 50% da onde di frequenza più bassa, il soggetto entra nello stadio *NI* [5]. Esse vengono rilevate, solitamente, dalle derivazioni a livello occipitale [7].
- **Onde *theta*:** la loro frequenza va dai 4 ai 7 Hz. Sono generalmente associate a stati di rilassamento, meditazione, immaginazione e sono presenti anche durante il sonno leggero e durante alcune fasi del sonno *REM* [1]. Esse sono misurabili soprattutto dalle derivazioni poste nella zona centrale e temporale [7].
- **Onde *delta*:** hanno la frequenza più bassa ($<4\text{Hz}$) e un'alta ampiezza ($\geq 75\text{mV}$). Esse caratterizzano lo stadio *N3*, il più profondo del sonno *NREM*. Vengono chiamate anche *slow waves*. Esse sono rilevabili dall'EEG posto in prossimità di zone occipitali e centrali [7].

Oltre all'attività rilevabile su diversi spettri, nell'EEG si possono rilevare anche forme d'onda caratteristiche e specifiche, che possono fornire ulteriori informazioni sullo stato del cervello durante il sonno [7]:

- ***Vertex sharp waves*:** sono delle forme d'onda dal contorno molto marcato, negative (cioè rivolte verso l'alto per le convenzioni adottate per l'EEG) e rilevabili dagli elettrodi posti in cima al capo (Figura 7).
- ***K-complex*:** simili ai *vertex sharp waves*, tuttavia essi vengono seguiti da una componente positiva molto lenta. Sono rilevabili soprattutto nelle zone centrali e

frontali dello scalpo. Si possono osservare nella fase del sonno *NREM N2* [5] (Figura 8).

- ***Sleep spindle***: sono delle forme d'onda di frequenza fra i 12 e i 14 Hz e di breve durata (circa 0.5s). Esse vengono generate dal talamo e dalle vie talamocorticali. Sono tipiche dello stadio *NREM N2* e hanno un ruolo importante nella consolidazione della memoria [5] (Figura 8).
- ***Saw-tooth theta wave***: è una variante delle onde *theta*, caratterizzata da un incavo nella sua forma (Figura 9).

Grazie alla capacità dell'EEG di rilevare queste specifiche tipologie di onde, è diventato uno strumento prezioso per la ricerca sul sonno e sulla sua relazione con salute e benessere. Bisogna, tuttavia, prestare attenzione nel momento in cui si vanno ad analizzare i risultati poiché, la loro interpretazione, deve tenere conto di molti fattori per risultare completa (sesso, età, stato emotivo e presenza di patologie già conosciute nell'individuo).

b) Elettromiogramma

Nel campo dello studio delle fasi del sonno, l'EMG viene preso in considerazione per valutare l'attività elettrica dei muscoli durante il sonno. Questo permette di determinare il tono muscolare e di distinguere le diverse fasi del sonno. Nella fase *REM*, infatti, la maggior parte dei muscoli, sono generalmente rilassati e in fase di atonia, cioè di rilassamento e senza attività contrattile; fanno eccezione i muscoli respiratori e quelli degli occhi. Durante le fasi *NREM*, il tono muscolare è generalmente più elevato e i movimenti sono meno frequenti. Il tono muscolare diminuisce man mano che si passa dalle fasi di sonno *NREM* più leggere a quelle più profonde [5].

Il posizionamento degli elettrodi in corrispondenza al mento del paziente e dei suoi arti può aiutare ad individuare anomalie legate alle fasi del sonno. Ad esempio, il disturbo comportamentale del sonno *REM*, caratterizzato dalla perdita di atonia muscolare e da comportamenti violenti durante la fase stessa, può essere diagnosticato con l'aiuto dell'*EMG* degli arti [1].

La valutazione del tono muscolare attraverso l'EMG è, quindi, una componente fondamentale dell'analisi del sonno e della diagnosi di eventuali disturbi. Se viene affiancato ad altri segnali, infatti, si possono rilevare anomalie, che possono essere ricondotte ad irregolarità e a disturbi del sonno.

c) Elettrooculogramma

Negli studi che riguardano il sonno, l'utilizzo dell'EOG è indispensabile per rilevare i disturbi legati alla fase *REM*. Durante il sonno, infatti, l'EOG, registrando l'attività elettrica degli occhi,

permette di fare una distinzione tra le sue diverse fasi, tra cui il sonno *NREM* e il sonno *REM*. Quest'ultimo è caratterizzato da un'attività elettrica molto alta causata da movimenti rapidi degli occhi. L'attività elettrica risulta, invece, molto ridotta o assente nella fase *NREM*. L'EOG può essere quindi utilizzato per rilevare anomalie sulla durata delle diverse fasi del sonno, che possono portare ad eventuali patologie. I pazienti che soffrono di narcolessia, ad esempio, tendono ad entrare nella fase *REM* senza prima attraversare le fasi di sonno *NREM* [5].

In conclusione, lo studio dell'elettrooculogramma può essere utilizzato come supporto nel campo dei disturbi del sonno. In particolare, esso risulta molto utile per verificare il benessere fisiologico dell'individuo e, per compiere eventuali diagnosi di disturbi legati alle fasi del sonno. Tuttavia, come in qualsiasi tecnica diagnostica, risulta fondamentale prestare attenzione a fattori che possono influenzarne i risultati.

Per avere un quadro clinico completo del ciclo di sonno di un individuo, è indispensabile che i dati raccolti dalle misurazioni di EEG, EMG ed EOG vengano analizzati in modo integrato. Infatti, l'EEG permette di distinguere le diverse fasi del sonno, mentre l'EMG valuta l'attività muscolare e l'EOG registra i movimenti oculari, fornendo informazioni sulle fasi *REM* e *NREM* del sonno. Con l'aiuto dei tre segnali, si può valutare al meglio il benessere dell'individuo.

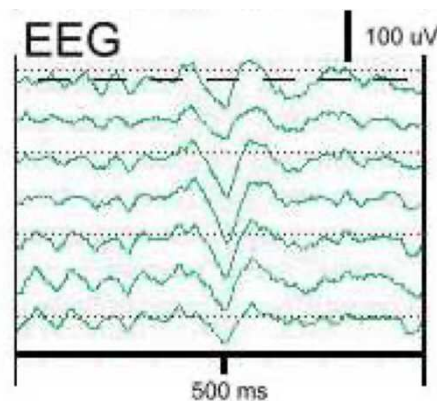


Figura 7: Vista delle *vertex sharp waves* sul tracciato EEG.

(Da Drake, Chris L., et al. "Vertex sharp waves during sleep localized by 2DII." *cortex* 1 (2002): 8.)

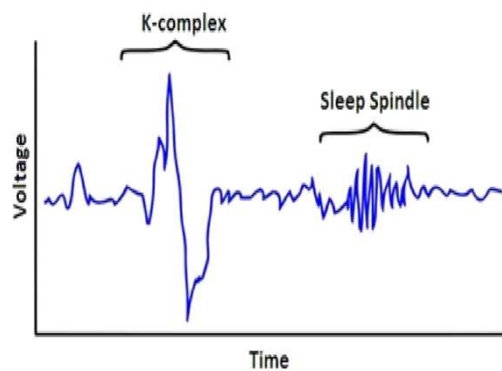


Figura 8: Vista delle forme d'onda *K-complex* e *sleep spindle* sul tracciato EEG.

(Da Ranjan, Rakesh, et al. "A fuzzy neural network approach for automatic K-complex detection in sleep EEG signal." *Pattern Recognition Letters* 115 (2018): 74-83.)

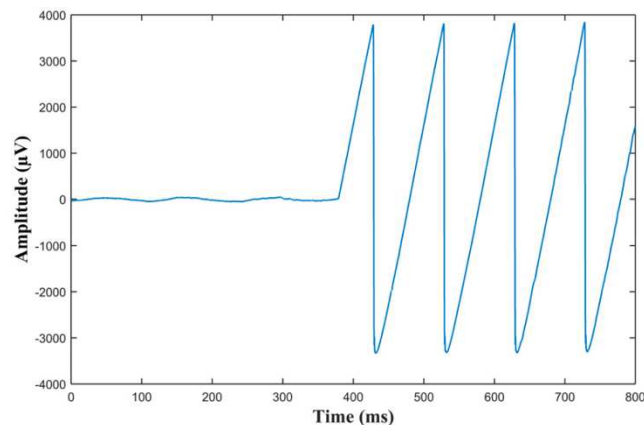


Figura 9: Esempio di *saw-tooth waves* sul tracciato EEG.

(Da Dowsett, James, and Christoph S. Herrmann. "Transcranial alternating current stimulation with sawtooth waves: simultaneous stimulation and EEG recording." *Frontiers in human neuroscience* 10 (2016): 135.)

2c. Forme d'onda rilevate

Adattamento delle immagini di [7].

Durante le fasi del sonno, osservando tracciati EEG, EMG ed EOG, si possono individuare degli eventi caratteristici per ogni fase del sonno. Descriverli e rilevarli risulta estremamente utile per identificare problematiche legate al sonno e fornire una valutazione accurata della qualità del sonno di un individuo.

Per comprendere meglio le informazioni che verranno successivamente fornite, è fondamentale fare riferimento ai grafici delle forme d'onda rilevate durante le diverse fasi del sonno.

Nei grafici seguenti si possono osservare segnali relativi alle misurazioni fatte da EEG, EMG ed EOG. Contrassegnate con C4/M1 e O2/M1 le derivazioni relative all'EEG, "Chin EMG" rappresenta la misurazione dell'EMG submentale, indicate con E2/M2 e E1/M2 le derivazioni relative all'EOG.

Lo stadio *W* è caratterizzato dalla prevalenza di attività alpha in più del 50% dell'epoca. È possibile osservarlo sia nell'EEG che nell'EOG. È presente il tono muscolare [7] (Figura 10).

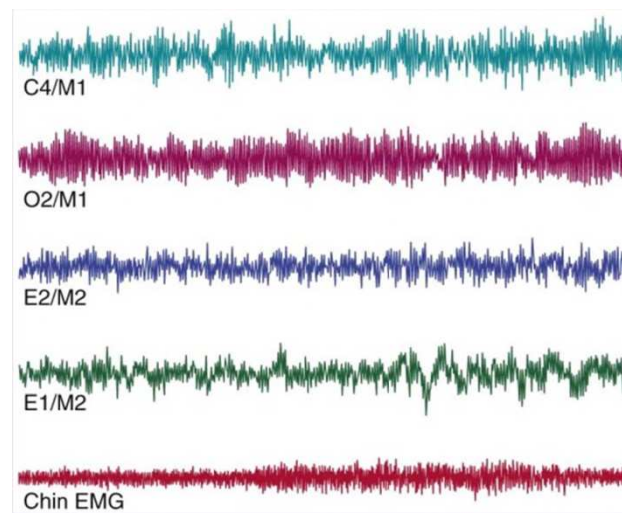


Figura 10: Epoca della fase *wake* ad occhi chiusi. Si può osservare dall'EMG submentale, un tono muscolare associato alla veglia rilassata. L'attività cerebrale è prevalente nella zona occipitale (O2/M1) ed è possibile osservare attività alpha dall'EEG e dall'EOG. (Da Butkov N. *Atlas of clinical polysomnography*, 2nd ed. Medford, Ore: Synapse Media; 2010)

Quando l'attività theta inizia a prevalere sull'attività alpha, l'individuo entra nello stadio N1, i muscoli del mento rimangono tonici, anche se la loro attività risulta attenuata rispetto a quella rilevata nella fase *W* [7] (Figura 11).

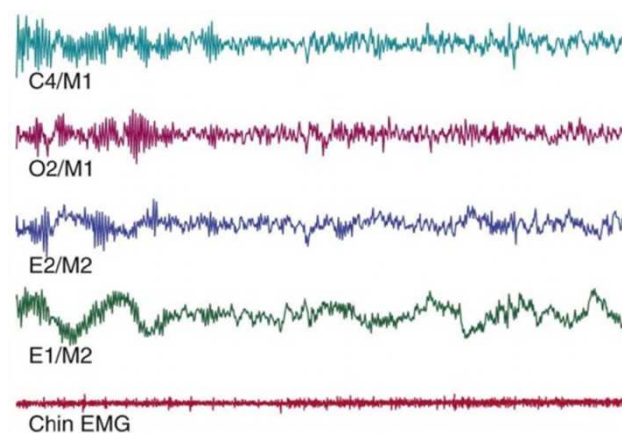


Figura 11: Epoca dello stadio *N1*. Essa è caratterizzata dal ritmo *alpha* che viene sostituito da delle forme d'onda di frequenza più bassa con prevalente attività *theta*.

(Da Butkov N. *Atlas of clinical polysomnography*, 2nd ed. Medford, Ore: Synapse Media; 2010).

L'individuo, successivamente, con l'aumentare dell'attività *theta*, entra nella fase *N2*. Durante essa, è possibile osservare un'EEG caratterizzato da *K-complexes* e/o *sleep spindles*. La frequenza delle forme d'onda è mista. Il tono muscolare rilevato dall'EMG è simile a quello delle due fasi precedenti [7] (Figura 12).

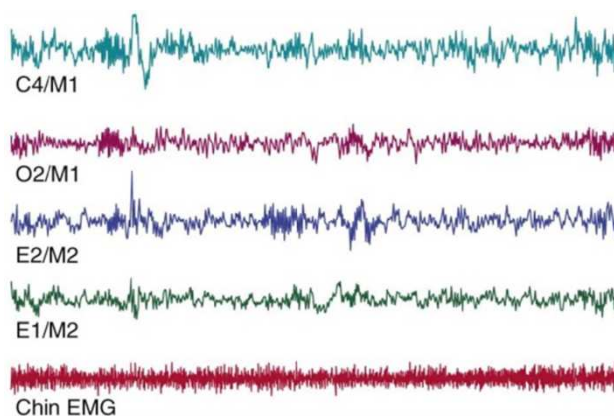


Figura 12: Epoca dello stadio *N2*, nella quale si possono osservare *sleep spindles*, *K-complexes* ed attività con frequenze miste.

(Da Butkov N. *Atlas of clinical polysomnography*, 2nd ed. Medford, Ore: Synapse Media; 2010).

Con la progressiva scomparsa di forme d'onda a frequenza più alta, si passa poi allo stadio *N3*. Durante esso, chiamato anche fase *slow wave*, si possono osservare delle onde con una frequenza più bassa rispetto agli stadi precedenti, tuttavia la loro ampiezza risulta maggiore. Si può osservare anche un'ulteriore diminuzione del tono muscolare [7] (Figura 13).

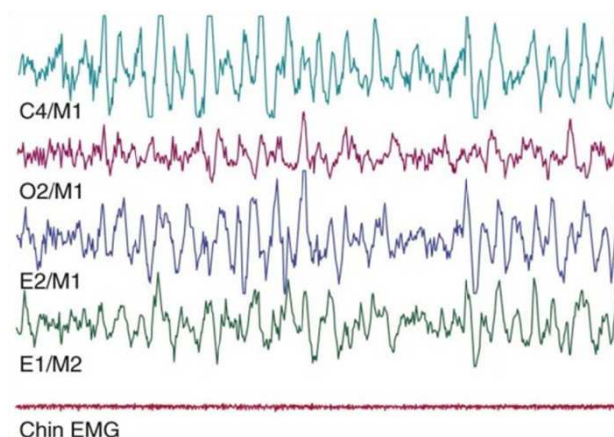


Figura 13: Epoca dello stadio *N3*. In questo caso, le onde lente, compaiono in più del 50% della figura. Nell'EMG si può notare che il muscolo del mento sta iniziando a perdere tonicità.
(Da Butkov N. *Atlas of clinical polysomnography*, 2nd ed. Medford, Ore: Synapse Media; 2010).

L'individuo entra poi nella fase *REM*. Durante essa, l'EMG submentale rileva un'attività molto più bassa rispetto alle altre fasi: è presente atonia muscolare. I movimenti degli occhi sono rapidi e l'EEG rilevato è caratterizzato da una bassa ampiezza e da frequenze miste [7] (Figura 14).

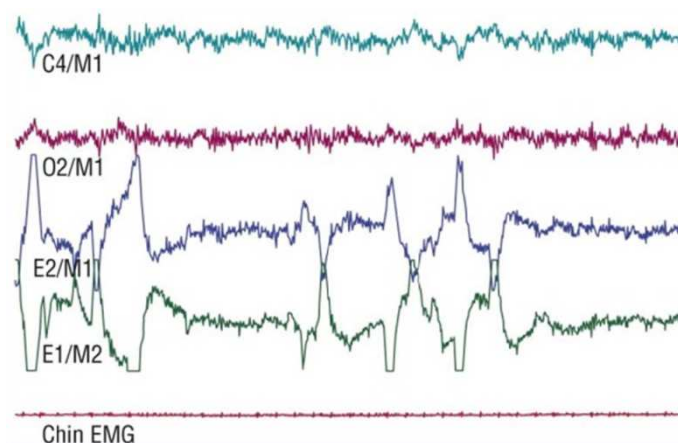


Figura 14: Durante la fase *REM*, l'EMG submentale rileva atonia muscolare. Osservando terminazioni E2/M2 e E1/M2, si può notare attività oculare intensa. Nell'EEG l'attività è caratterizzata da alta frequenza e bassa ampiezza.

(Da Butkov N. *Atlas of clinical polysomnography*, 2nd ed. Medford, Ore: Synapse Media; 2010).

Capitolo 3: Metodi ed applicazioni per la Polisonnografia

3a. Tipi di Polisonnografie e differenze fra Polisonnografia domiciliare o in laboratorio

Come già specificato in precedenza, la Polisonnografia è uno strumento diagnostico molto utile per valutare la qualità del sonno e identificare eventuali problemi che possono influire sulla salute. Esistono diversi tipi di PSG, ognuno dei quali è adatto per soddisfare specifiche esigenze analizzando determinati parametri.

1) Polisonnografia di Tipo I

La Polisonnografia di base viene chiamata Polisonnografia di Tipo I. Per compierla, è necessario avere una registrazione dei seguenti segnali: EEG, EOG, EMG degli arti e submentale, ECG, *airflow*, segnali che riguardano lo sforzo respiratorio, saturazione dell'ossigeno, ECG e la posizione del paziente. Durante la misurazione, è presente un tecnico [1] [17].

Essa viene utilizzata soprattutto per individuare disturbi respiratori legati al sonno o ad altri disturbi che riducono la qualità della vita, rilevabili durante esso [1].

2) Polisonnografia di Tipo II

La Polisonnografia di Tipo II utilizza gli stessi segnali della Polisonnografia di Tipo I. Non è, tuttavia, presente un tecnico durante lo studio e l'ECG può essere sostituito da un cardiofrequenzimetro [1] [17].

3) Polisonnografia di Tipo III

La Polisonnografia di Tipo III è uno studio in cui, solitamente, vengono misurati parametri come la ventilazione, l'ECG o la frequenza cardiaca e la saturazione di ossigeno. La ventilazione viene misurata con almeno due canali di movimento respiratorio o di flusso dell'aria. È richiesto personale per prepararlo ma non è necessaria assistenza durante la durata dello studio [17].

4) Polisonnografia di Tipo IV

La Polisonnografia di tipo IV ha solamente uno o due sensori e risulta simile al test notturno della pulsossimetria [1].

5) Titolazione PAP

Uno studio di titolazione della pressione positiva delle vie aeree (PAP) può essere compiuto per valutare se le terapie PAP in corso stanno avendo effetto nel trattare disturbi come le apnee notturne o per controllare la pressione delle vie aeree nel caso il paziente abbia un disturbo respiratorio legato al sonno. I segnali necessari per compiere questo studio risultano molto

simili a quelli per la Polisonnografia di Tipo I, con l'eccezione che l'airflow verrà misurato da una derivazione PAP anziché dal trasduttore di pressione nasale e del termistore [1] [20].

6) Studio misto

Questo studio combina la Polisonnografia di Tipo I e lo studio di titolazione PAP. Esso può risultare utile per compiere una diagnosi e valutare un eventuale trattamento per disturbi respiratori relativi al sonno. Viene raccomandato dall'AASM quando, durante le prime ore dello studio, si ha una diagnosi di una seria apnea notturna ostruttiva con un indice di apnea-ipopnea (AHI) maggiore di 40. Questo tipo di studio viene raccomandato anche nel caso si abbia una desaturazione significativa di ossigeno (<85%), accompagnata da un AHI>5 [1].

Per rispondere ad esigenze specifiche, come la rilevazione di apnee notturne, la PSG può essere compiuta anche direttamente a casa del paziente, anziché in laboratorio.

7) Polisonnografia a domicilio

La Polisonnografia a domicilio o *Home Sleep Apnea Testing* (HSAT) è un'alternativa alla PSG ordinaria. La sua principale funzione è la diagnosi dell'apnea ostruttiva del sonno (OSA), tuttavia può essere utilizzata anche per il trattamento della stessa, se vengono seguite le linee guida appropriate. L'HSAT utilizza la stessa strumentazione della Polisonnografia di Tipo III, ma talvolta può essere estesa grazie ad uno SCOPER (sleep, cardiovascular, oximetry, position, effort and respiratory) alternativo. L'HSAT viene utilizzata come metodo di analisi solo per pazienti che non soffrono di altre condizioni mediche e in cui non si presentano altri disturbi del sonno. I vantaggi dell'HSAT includono la riduzione dei costi e una maggiore accessibilità al trattamento, ma ci sono alcune limitazioni importanti da considerare, prima di compiere questo tipo di studio [1].

Una delle limitazioni dell'HSAT è che l'OSA potrebbe non essere rilevata o la sua gravità potrebbe essere sottostimata, poiché la strumentazione non misura la durata del sonno o gli stimoli EEG. Il tempo totale della registrazione sarà uguale al tempo passato dall'individuo a dormire, il che comporterà una sottostima dell'indice di apnea-ipopnea (AHI). Questo problema può essere risolto sostituendo l'AHI con il *respiratory event index* (REI), definito come il numero di eventi respiratori ogni ora [1].

Inoltre, poiché l'EEG non viene misurato, non è possibile individuare il sonno REM. Ciò può essere problematico nel caso si abbia a che fare con pazienti nei quali gli eventi OSA risultano predominanti durante il sonno REM. Oltre a ciò, non è possibile compiere una titolazione PAP durante l'HSAT [1].

Nel caso non si abbiano abbastanza dati per dare un'interpretazione all'HSAT, lo studio dovrà essere ripetuto in laboratorio [1].

Nonostante l'alta probabilità di ottenere un falso negativo, l'HSAT è una valida alternativa alla Polisonnografia di Tipo III e può essere utilizzata con successo per la diagnosi e il trattamento dell'apnea ostruttiva del sonno, se si seguono le linee guida appropriate [1].

3b. Lettura ed interpretazione di un tracciato polisonnografico

Leggere ed interpretare un tracciato polisonnografico correttamente risulta indispensabile per rendere la Polisonnografia uno strumento importante nella diagnosi e nel trattamento dei disturbi del sonno.

Prima di iniziare la lettura, è fondamentale ricordare che la Polisonnografia è il metodo accessibile migliore per studiare il sonno. Ciò non significa che essa abbia una sensibilità e una specificità massime. Per questo, solitamente, al paziente viene somministrato un questionario prima di dare inizio alla PSG, con il fine di evitare di compiere diagnosi errate. È indispensabile prendere in considerazione anche la routine di sonno del paziente nello studio del tracciato polisonnografico [17]. Ci si potrebbe, inoltre, aspettare di registrare un qualche tipo di insonnia, dovuta al fatto che il soggetto passa la prima notte in un ambiente a lui non familiare [19]. Lo studio deve avere una durata minima di 6 ore di registrazione, secondo la AASM [in precedenza, American Sleep Disorders Association (ASDA)] [18].

I dati ottenuti dalle registrazioni compiute durante lo studio possono, quindi, essere analizzati con due modalità diverse:

a) Signal analysis

L'analisi del segnale è una tecnica che permette di estrarre informazioni significative da un segnale acquisito (Figura 15). Questa tecnica si basa sulla comprensione del processo che genera il segnale e sulla capacità di differenziare il segnale di interesse dagli artefatti che possono essere presenti.

Il segnale può essere distorto o modificato dal sensore attraverso campionamento digitale o filtraggio, il che può influire sulla visualizzazione del segnale. Pertanto, è importante eseguire una corretta calibrazione degli strumenti di acquisizione e una valutazione attenta delle possibili fonti di errore nella registrazione e analisi dei segnali [2].

b) Trend analysis

La *trend analysis* è un approccio utilizzato per comprendere i cambiamenti nel tempo di una variabile di interesse. Questo approccio viene spesso utilizzato per l'analisi dei dati registrati e degli eventi ad essi associati [2].

Nella *trend analysis*, l'asse delle x del grafico rappresenta il tempo, mentre l'asse delle y rappresenta la variabile di interesse. Ad esempio, se si prende in considerazione l'analisi dell'attività cardiaca, l'asse delle x rappresenterebbe il tempo e l'asse delle y rappresenterebbe

la frequenza cardiaca. In questo caso, sarebbe possibile eseguire dei calcoli per mostrare cambiamenti nel tempo, come la variazione della distanza temporale tra due battiti cardiaci [2].

Inoltre, per aiutare a comprendere l'evoluzione degli eventi nel tempo, può essere utile rappresentare più segnali monitorati in un unico grafico. Ciò consente di individuare eventuali correlazioni o tendenze comuni tra i segnali [2] (Figura 16).

In base al tipo di studio che si sta compiendo, risulterà più utile utilizzare o la *signal* o la *trend analysis* per la rappresentazione e l'analisi dei dati.

Tutte le informazioni ottenute dalla registrazione devono essere interpretate incorporando ai dati ottenuti le informazioni cliniche fornite dal medico che ha prescritto la PSG. Tuttavia, è necessario prestare attenzione per non introdurre biasing legato ai sospetti clinici, onde evitare falsi positivi [17].

Nel caso si stia compiendo uno studio del sonno, sarà necessario svolgere un'interpretazione che includa la revisione di EEG, EOG e EMG per stabilire epoche di 30 s nella durata totale dello studio. Esso viene poi revisionato utilizzando epoche di due minuti, con il fine di rilevare gli eventi respiratori e i movimenti degli arti. Successivamente, vengono studiate la posizione corporea e l'ECG, con il fine di individuare eventuali anomalie. Per rappresentare questo tipo di studio viene utilizzato un ipnogramma, che si basa su un approccio di *trend analysis* [1].

L'ipnogramma è una rappresentazione grafica della progressione del sonno dell'individuo esaminato. Esso fornisce una rappresentazione visiva del normale ciclo del sonno. Nell'asse delle ascisse del grafico viene rappresentato il tempo del sonno totale, mentre, nell'asse delle ordinate, si può osservare in che fase del sonno l'individuo si trova in quello specifico momento. L'ipnogramma è uno strumento prezioso per gli specialisti del sonno poiché fornisce una rappresentazione visiva chiara dei diversi stadi del sonno e delle loro transizioni nel corso della notte, consentendo una valutazione accurata della salute e della qualità del sonno di un individuo. (Figura 17) [24].

Il report della Polisonnografia può essere eseguito dando più importanza a determinate misurazioni, ponendole in evidenza. È fondamentale che, tuttavia, esso includa i parametri raccomandati dalla AASM e una rappresentazione grafica accurata dei segnali analizzati. Ciò permetterà di poter analizzare ed utilizzare i risultati ottenuti dallo studio facilmente e correttamente.

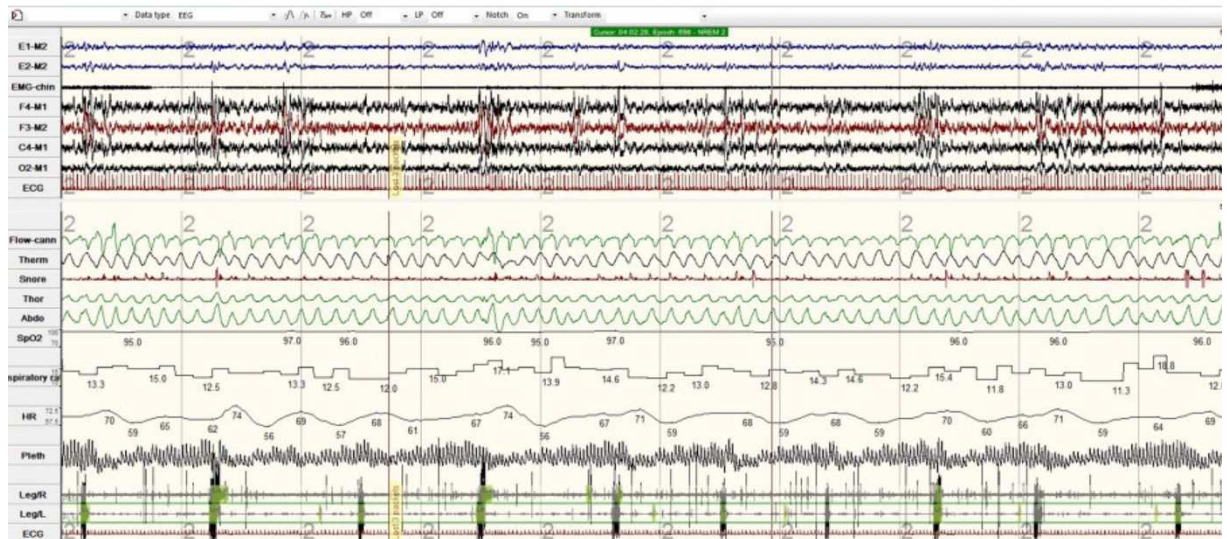


Figura 15: Esempio di grafico utilizzato per l'analisi dei segnali nella PSG.

(Da Simons, Pieter Jan, and Sebastiaan Overeem. "Polysomnography: recording, analysis and interpretation." *Sleep Disorders in Neurology: A Practical Approach* (2018): 13-29.)

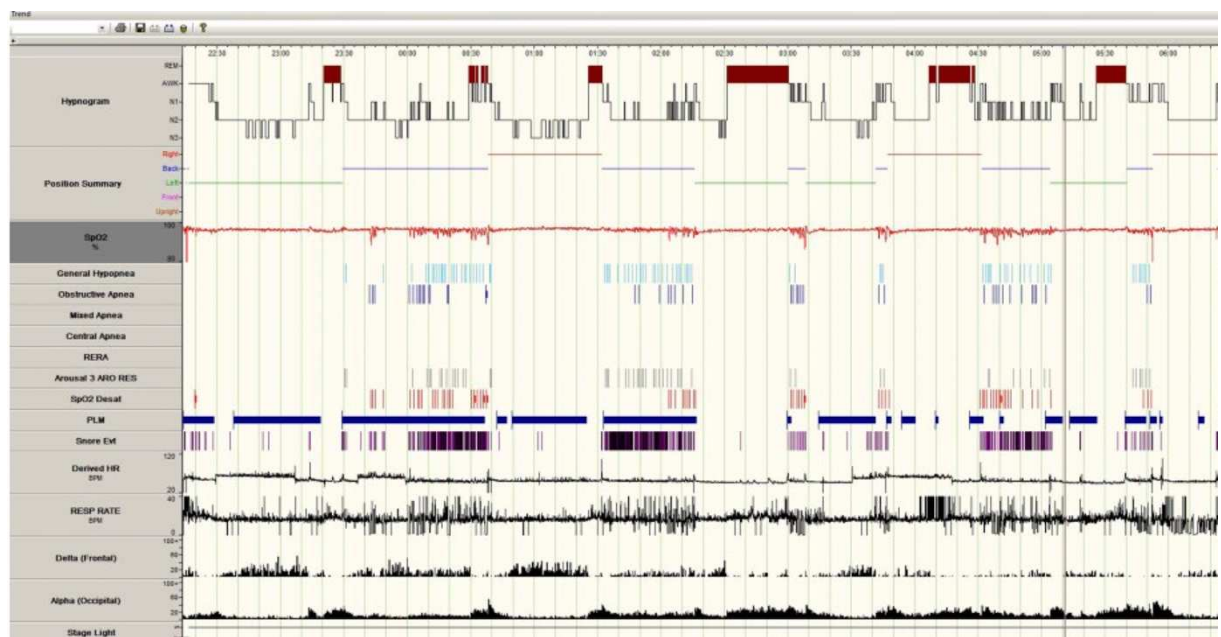


Figura 16: Esempio di grafico utilizzato per la trend analysis nella PSG.

(Da Simons, Pieter Jan, and Sebastiaan Overeem. "Polysomnography: recording, analysis and interpretation." *Sleep Disorders in Neurology: A Practical Approach* (2018): 13-29.)

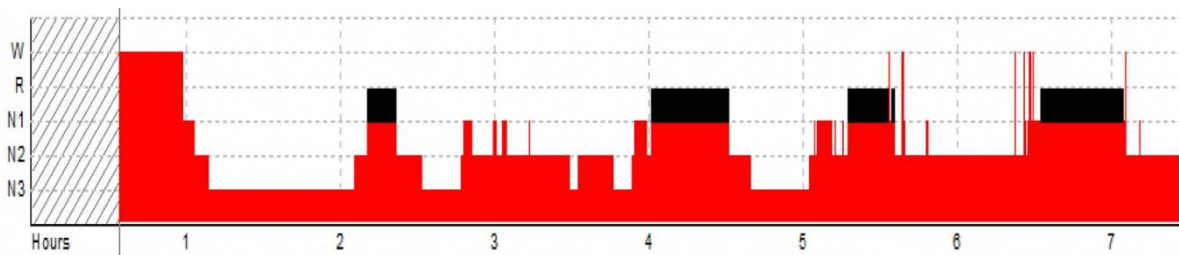


Figura 17: Esempio di un ipnogramma in cui si può osservare la progressione di una normale notte di sonno, completa di stadi *W*, *REM* e *NREM*.

(Rundo, Jessica Vensel, and Ralph Downey III. "Polysomnography." *Handbook of clinical neurology* 160 (2019): 381-392.).

3c. Applicazioni nel campo dei disturbi del sonno

Lo studio del tracciato polisonnografico può essere utile all'individuazione di eventuali disturbi del sonno, che possono incidere negativamente sulla qualità della vita del paziente. L'analisi successiva si concentrerà sul descrivere problematiche frequenti o rilevabili grazie a strumenti descritti nei capitoli precedenti.

1) Insonnia

L'insonnia è un disturbo del sonno molto comune, che si verifica quando il paziente ha difficoltà ad addormentarsi o a mantenere il sonno durante la notte. Ciò può portare ad una sensazione di stanchezza e sonnolenza durante il giorno, che possono causare problemi nella vita quotidiana. Per essere diagnosticata come insonnia, questa condizione deve persistere per almeno un mese. Solitamente, questa condizione viene accompagnata da condizioni come altri disturbi medici, neurologici o psichiatrici o da abuso di sostanze. In alcuni casi, non si trova una causa per questa condizione e viene etichettata come idiopatica, insonnia primaria o psicopatologica [3].

2) Apnee notturne ostruttive (OSAS)

Le OSAS sono legate ad eventi respiratori di natura patologica. Questo disturbo viene diagnosticato se si presentano almeno cinque eventi di apnea o ipopnea per ora di sonno, accompagnati da EDS (*excessive daytime sleepiness*). La malattia colpisce soprattutto gli uomini (85% dei pazienti totali) e le persone che soffrono di obesità (70% dei pazienti totali). I sintomi di questa patologia si possono presentare sia mentre il paziente dorme che mentre è sveglio. I segnali notturni principali includono il russare molto forte, la difficoltà a respirare, attività motorie anomale e bruciori di stomaco legati al reflusso gastroesofageo. I segnali diurni includono invece EDS e un peggioramento delle prestazioni dell'individuo in generale. Gli attacchi di sonno diurni possono essere distinti da quelli caratterizzanti della narcolessia poiché hanno una durata più lunga. Se non trattato, questo disturbo può portare, oltre che ad un peggioramento nella qualità della vita, a problematiche come infarti, ictus, ipertensione [3]. Il

trattamento più efficace per questo disturbo del sonno risulta essere la titolazione CPAP (continuous positive airway pressure), una terapia che richiede che la pressione dell'aria inspirata ed espirata rimanga costante [1] [20]. (Figura 18)

3) REM behavior sleep disorder (RBD)

Questo disturbo è tipico della fase di sonno REM ed è comunemente osservabile soprattutto in individui anziani. La sua caratteristica principale è la perdita intermittente dell'atonia o dell'ipotonìa muscolare, tipiche del sonno REM, o ad altre attività motorie atipiche osservabili nel paziente [3]. Nei pazienti che soffrono di questo disturbo si può osservare un'attività muscolare eccessiva nell'EMG submentale e degli arti. Durante il sonno REM, il soggetto può avere dei comportamenti violenti e legati ai suoi sogni, osservabili grazie alla strumentazione utilizzata per monitorarne i movimenti [2]. Il disturbo, talvolta, può essere legato a malattie neurodegenerative come il morbo di Parkinson o all'abuso di sostanze [3]. Uno dei più importanti disturbi del sonno REM è il sonno REM senza atonia muscolare. La strumentazione, in questo caso, rileva nel paziente un'attività muscolare eccessiva durante il sonno REM, caratterizzata da un aumento di circa $8 \mu\text{V}$ dell'ampiezza dell'EMG per almeno 5 delle mini-epoche, ognuna della durata di 3 s [1]. (Figura 19)

4) Sindrome di narcolessia-cataplessia

La narcolessia è una patologia che si manifesta, solitamente, in individui dai 15 ai 30 anni. Un attacco narcolettico è caratterizzato dal desiderio irresistibile di addormentarsi in circostanze inappropriate e in luoghi inappropriati. Spesso, la narcolessia può essere accompagnata da cataplessia, ovvero la perdita del tono muscolare, eccetto negli occhi e nei muscoli respiratori. Altri sintomi di questa patologia sono la paralisi del sonno, le allucinazioni, notti di sonno disturbato, comportamento automatico e altre condizioni meno frequenti come il RBD. La narcolessia, solitamente, porta a una diminuzione delle prestazioni scolastiche e lavorative di un paziente, accompagnate da difficoltà sociali legate agli attacchi di sonno e all'EDS [3].

5) Movimento eccessivo degli arti (PLM)

Questo disturbo è caratterizzato da un indice dei movimenti periodici degli arti (PLMI) superiore a 15. Un movimento degli arti, per essere considerato anomalo, deve avere una durata di 0.5-10 s con un aumento di almeno $8 \mu\text{V}$ nell'EMG [2]. Si può osservare in pazienti che soffrono di disturbi come neuropatie, dolori cronici, malattie ai reni, sindrome delle gambe senza riposo, OSAS oppure in individui di età avanzata. Il PLM può essere associato anche a stimolazioni degli arti durante il sonno. Se si presenta un movimento eccessivo degli arti durante il sonno REM, il paziente preso in esame potrebbe soffrire di RBD [1]. (Figura 20)

6) Bruxismo

Il bruxismo è una patologia che si presenta negli individui fra i 10 e i 20 anni, ma che si può protrarre per tutta la vita [3]. Esso è caratterizzato dal digrignare dei denti e può portare un peggioramento a patologie già presenti nel paziente come ansia, stress e problemi ai denti. In un individuo che digrigna i denti durante la notte si può osservare un aumento dell'attività dell'EMG submentale [2]. Spesso può causare problemi secondari, come la disfunzione dell'articolazione temporomandibolare. Si può osservare il disturbo soprattutto durante primi due stadi del sonno NREM e durante il sonno REM. Nel caso si stia facendo uno studio del sonno su un individuo che soffre di bruxismo, bisogna prestare particolare attenzione, poiché gli artefatti legati a questa patologia possono presentarsi nel tracciato EEG, alterandone così i risultati [3].

Comprendere meglio le patologie legate al sonno attraverso la PSG consente ai medici di indirizzare in modo più preciso il trattamento e di adattarlo alle esigenze specifiche di ogni individuo. Un trattamento adeguato dei disturbi del sonno può portare a un miglioramento della qualità della vita, riducendo la sonnolenza diurna, migliorando l'energia e la concentrazione durante il giorno e riducendo il rischio di complicanze a lungo termine associate ai disturbi del sonno non trattati.

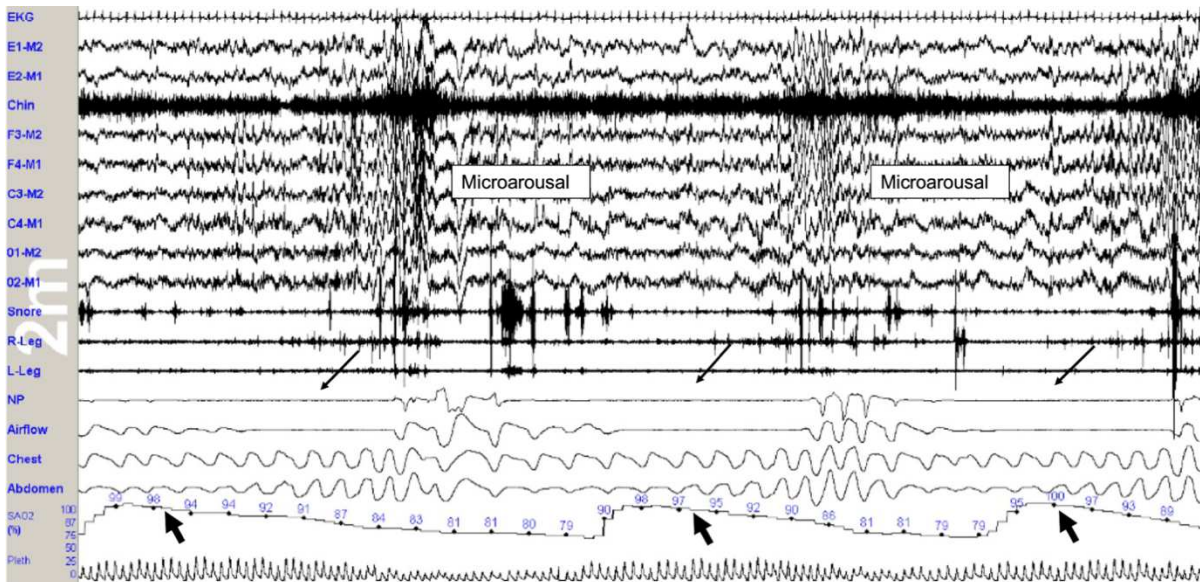


Figura 18: Tracciato di un'epoca di 2 minuti del secondo stadio di sonno NREM. Le frecce sottili mostrano delle apnee ostruttive. Associate ad esse, sono indicati gli eventi di desaturazione dell'ossigeno (frecce più spesse) e gli arousals nell'EEG (etichetta "Microarousals").

(Da Rundo, Jessica Vensel, and Ralph Downey III. "Polysomnography." Handbook of clinical neurology 160 (2019): 381-392.).

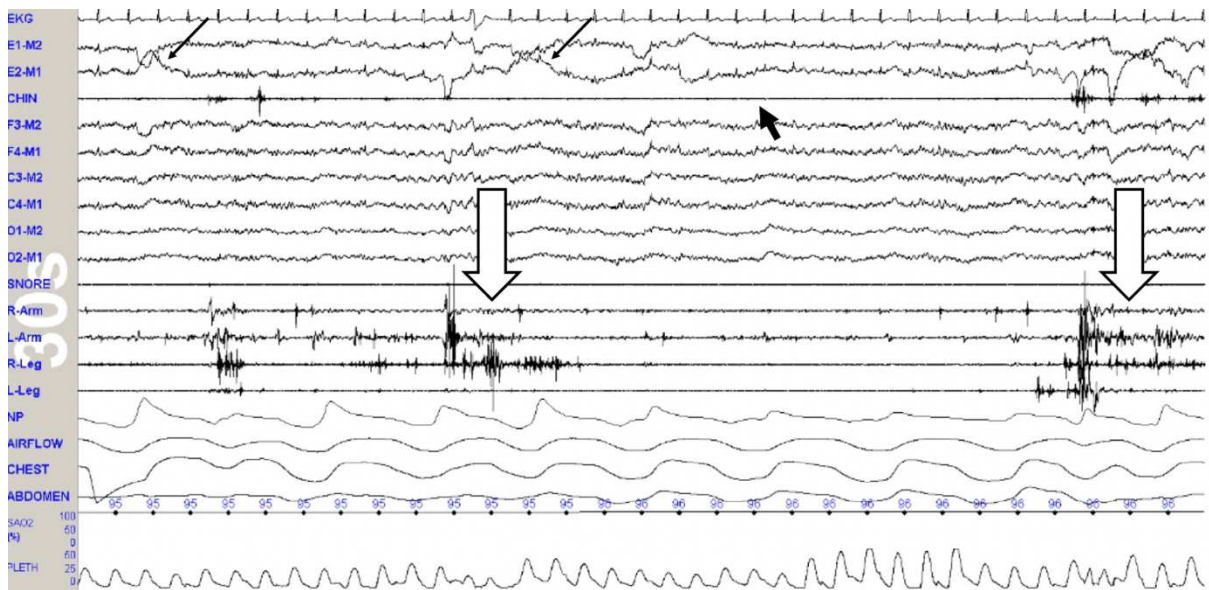


Figura 19: Tracciato di un'epoca di 2 minuti dello stadio REM, dove si possono osservare i classici movimenti rapidi degli occhi (freccie sottili) e il ridotto tono muscolare submentale (freccia spessa). Le freccie chiare mostrano un alto tono muscolare in corrispondenza degli arti, rilevabile solitamente in pazienti che soffrono di RBD.

(Da Rundo, Jessica Vensel, and Ralph Downey III. "Polysomnography." Handbook of clinical neurology 160 (2019): 381-392.).

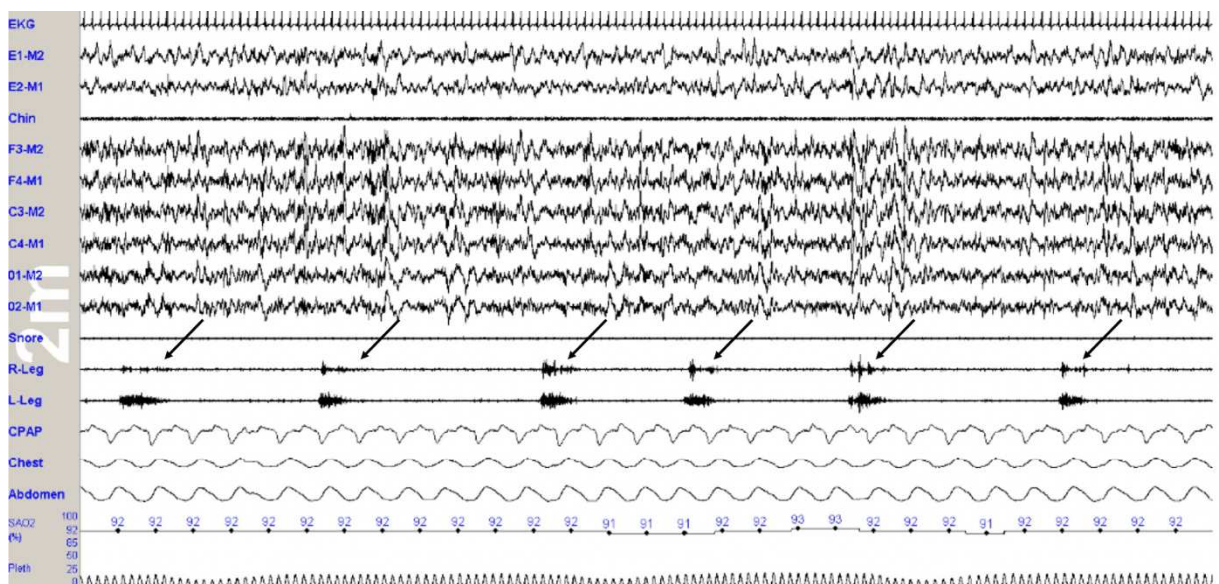


Figura 20: Tracciato di un'epoca di 2 minuti del secondo stadio di sonno NREM. Le freccie sottili mostrano i movimenti degli arti rilevati dai sensori posti sulle gambe.

(Da Rundo, Jessica Vensel, and Ralph Downey III. "Polysomnography." Handbook of clinical neurology 160 (2019): 381-392.).

Capitolo 4: Conclusione

La Polisonnografia (PSG) è uno strumento fondamentale per l'analisi e la diagnosi dei disturbi del sonno. Essa, infatti, coinvolge la registrazione di diverse variabili fisiologiche per ottenere una valutazione completa del sonno di un individuo.

L'EEG (elettroencefalogramma) è utilizzato per monitorare l'attività cerebrale durante il sonno, consentendo di identificare i diversi stadi del sonno, come il sonno leggero, il sonno profondo e il sonno REM. L'EOG (elettrooculogramma) registra i movimenti oculari, mentre l'EMG (elettromiografia) misura l'attività muscolare degli arti e del mento.

Altri segnali registrati durante la PSG includono l'ECG (elettrocardiogramma) per monitorare l'attività cardiaca, i segnali relativi allo sforzo respiratorio per rilevare eventuali ostruzioni o alterazioni nella respirazione, la saturazione dell'ossigeno per valutare l'apporto di ossigeno al corpo durante il sonno e la posizione del paziente per determinare se ci sono posizioni che possono influenzare il sonno.

Analizzando tutti i dati registrati in parallelo è possibile non solo rilevare anomalie legate al singolo tracciato, ma anche estrapolare informazioni su possibili cause o momenti specifici in cui esse avvengono.

La PSG fornisce informazioni preziose sulla qualità del sonno di un individuo, rilevando eventuali disturbi come l'apnea ostruttiva del sonno, l'ipopnea, la narcolessia, il disturbo delle gambe senza riposo e altri disturbi correlati al sonno. Queste informazioni sono fondamentali per una diagnosi accurata e per sviluppare un piano di trattamento personalizzato per ciascun paziente.

È vero che la PSG presenta alcune limitazioni, come la sensibilità e la specificità ridotte in alcuni casi. Tuttavia, quando viene utilizzata correttamente da personale medico specializzato, la PSG rimane uno strumento diagnostico affidabile per identificare i disturbi del sonno e guidare il trattamento. L'interpretazione dei risultati della PSG richiede competenza ed esperienza, e un medico specialista sarà in grado di valutare nel complesso le informazioni raccolte durante lo studio del sonno per ottenere una diagnosi accurata e personalizzare il trattamento del paziente.

È fondamentale che il personale medico, analizzando i dati ottenuti dalla PSG, mantenga un approccio obiettivo e senza pregiudizi durante l'interpretazione dei risultati. L'introduzione di un bias può influenzare l'analisi e portare a interpretazioni errate o falsi positivi. L'utilizzo di strumenti e software di analisi avanzati può contribuire a ridurre il rischio di bias dato dalla difficile comprensione di ciò che è stato rilevato durante lo studio. Questi strumenti forniscono metodi oggettivi per analizzare i dati e identificare i parametri chiave rilevanti per la diagnosi e il trattamento dei disturbi del sonno.

Con un corretto filtraggio e una corretta rappresentazione dei segnali utilizzati durante lo studio è possibile essere di supporto al personale medico, mettendo in risalto i fattori più importanti del tracciato polisonnografico. Infatti, il filtraggio dei segnali durante l'acquisizione e il preprocessing dei dati, può contribuire a ridurre l'interferenza e il rumore indesiderato, migliorando la qualità complessiva dei segnali registrati. Questo permette una rappresentazione più chiara e accurata dei parametri fisiologici, facilitando l'analisi e l'identificazione di eventuali anomalie o pattern significativi.

In conclusione, la PSG svolge un ruolo cruciale nella medicina personalizzata per l'analisi dei disturbi del sonno. Fornisce una valutazione dettagliata del sonno di un individuo, identifica i disturbi specifici e guida l'intervento terapeutico personalizzato. Grazie alla PSG, è possibile migliorare la qualità della vita dei pazienti affetti da disturbi del sonno, fornendo loro un trattamento mirato e adattato alle loro esigenze specifiche.

Bibliografia

- [1] Rundo, Jessica Vensel, and Ralph Downey III. "Polysomnography." *Handbook of clinical neurology* 160 (2019): 381-392.
- [2] Simons, Pieter Jan, and Sebastiaan Overeem. "Polysomnography: recording, analysis and interpretation." *Sleep Disorders in Neurology: A Practical Approach* (2018): 13-29.
- [3] Chokroverty, Sudhansu. "Overview of sleep & sleep disorders." *Indian Journal of Medical Research* 131.2 (2010): 126-140.
- [4] Sejnowski, Terrence J., and Alain Destexhe. "Why do we sleep?." *Brain research* 886.1-2 (2000): 208-223.
- [5] Patel, Aakash K., Vamsi Reddy, and John F. Araujo. "Physiology, sleep stages." *StatPearls [Internet]*. StatPearls Publishing, 2022.
- [6] Teplan, Michal. "Fundamentals of EEG measurement." *Measurement science review* 2.2 (2002): 1-11.
- [7] Keenan, Sharon, and Max Hirshkowitz. "Monitoring and staging human sleep." *Principles and practice of sleep medicine* 5 (2011): 1602-1609.
- [8] Creel, Donnell J. "The electrooculogram." *Handbook of clinical neurology* 160 (2019): 495-499.
- [9] Medicine, A. a. O. S. (2023). *The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events, Version 3*.
- [10] Memar P, Faradji F. A Novel Multi-Class EEG-Based Sleep Stage Classification System. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2018 Jan;26(1)
- [11] Hilditch CJ, McHill AW. Sleep inertia: current insights. *Nat Sci Sleep*. 2019 Aug 22;11:155-165.
- [12] Jubran, Amal. "Pulse oximetry." *Intensive care medicine* 30 (2004): 2017-2020.
- [13] Teichtahl, Harry, et al. "Scoring polysomnography respiratory events: the utility of nasal pressure and oro-nasal thermal sensor recordings." *Sleep medicine* 4.5 (2003): 419-425.
- [14] Carden, Kelly A. "Recording sleep: The electrodes, 10/20 recording system, and sleep system specifications." *Sleep Medicine Clinics* 4.3 (2009): 333-341.
- [15] Caples, Sean M., et al. "The scoring of cardiac events during sleep." *Journal of Clinical Sleep Medicine* 3.02 (2007): 147-154.
- [16] Muthumani, Anburaj, and Robert J. Marley. "EVALUATION OF PHYSICAL MEASURES OF STEERING AND BRAKING RESPONSE FOR IN-VEHICLE WARNING SYSTEMS." (2010).
- [17] Kakkar, Rahul K., and Gilbert K. Hill. "Interpretation of the adult polysomnogram." *Otolaryngologic Clinics of North America* 40.4 (2007): 713-743.

- [18] ASDA Standards of Practice. "Portable recording in the assessment of sleep." *Sleep* 1994;17: 378–392.
- [19] Agnew Jr, H. W., Wilse B. Webb, and Robert L. Williams. "The first night effect: An Eeg study of sleep." *Psychophysiology* 2.3 (1966): 263-266.
- [20] Antonescu-Turcu, Andreea, and Sairam Parthasarathy. "CPAP and bi-level PAP therapy: new and established roles." *Respiratory care* 55.9 (2010): 1216-1229.
- [21] Drake, Chris L., et al. "Vertex sharp waves during sleep localized by 2DII." *cortex* 1 (2002): 8.
- [22] Ranjan, Rakesh, et al. "A fuzzy neural network approach for automatic K-complex detection in sleep EEG signal." *Pattern Recognition Letters* 115 (2018): 74-83.
- [23] Dowsett, James, and Christoph S. Herrmann. "Transcranial alternating current stimulation with sawtooth waves: simultaneous stimulation and EEG recording." *Frontiers in human neuroscience* 10 (2016): 135.
- [24] Swihart, Bruce J., et al. "Characterizing sleep structure using the hypnogram." *Journal of Clinical Sleep Medicine* 4.4 (2008): 349-355.