



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA BIOMEDICA

**ANALISI DEL SEGNALE EEG PER QUANTIFICARE GLI EFFETTI
DELLO YOGA E DELLA MEDITAZIONE SULL'ATTIVITÀ
CEREBRALE**

Relatrice: Maria Rubega, PhD

Laureanda: Camilla Zordan

Correlatrice: Dott.ssa Matilde Paramento

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

Data di laurea 29/09/2023

ABSTRACT

Nel corso della storia l'essere umano ha riconosciuto che vi è una forte correlazione tra mente e corpo. Lo stato della mente influenza la salute fisica e al contempo il benessere fisico si riversa sullo stato mentale dell'individuo. La pratica dello yoga è da sempre considerata un ponte fra questi due mondi. Molteplici studi hanno mostrato i vasti benefici mentali e fisici correlati a questa pratica. Lo scopo del seguente elaborato è quello di mettere in evidenza questi effetti benefici sulle onde cerebrali, misurate tramite l'elettroencefalogramma (EEG). I risultati di diverse ricerche mostrano che vi è un aumento dell'ampiezza e della frequenza delle onde alpha e theta, evidenziando una maggiore attività encefalica ed in particolare un miglioramento dell'attenzione e una diminuzione dell'ansia in seguito a pratiche yoga. La tesi riporta anche i risultati EEG relativi a una sessione di pratica di meditazione di circa venti minuti svolta in laboratorio e i risultati presentati sono in linea con quanto trovato in letteratura. Si ritiene che la ricerca debba proseguire nel futuro per poter comprendere come utilizzare le pratiche dello yoga e della meditazione a scopo terapeutico e migliorare quindi la qualità della vita di molte persone.

INDICE

<u>INTRODUZIONE</u> - Storia dello yoga e della meditazione	5
<u>CAPITOLO 1</u> - Segnale elettroencefalografico	
1.1 La scoperta del segnale EEG	7
1.2 Neurofisiologia del segnale EEG	8
1.2.1 Cenni di anatomia corticale	
1.2.2 Origine del segnale EEG	
1.3 Acquisizione del segnale	11
1.4 Caratteristiche del segnale (frequenze, ampiezze, <i>brain waves</i>)	13
1.5 Analisi spettrale	15
<u>CAPITOLO 2</u> - Materiali e metodi	
2.1 Ricerca della letteratura	17
2.1.1 Criteri di inclusione e Ricerca nel database	
2.1.2 Tabella di estrazione dei dati	
2.2 Case-study in laboratorio	20
2.2.1 Partecipanti	
2.2.2 Strumentazione	
2.2.3 Analisi del segnale	
<u>CAPITOLO 3</u> - Risultati	
3.1 Risultati della letteratura	23
3.1.1 Risultati nelle onde cerebrali	
3.2 Risultati del case-study	28
<u>CAPITOLO 4</u> - Conclusioni	31
<u>APPENDICE</u>	33
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	62

INTRODUZIONE - Storia dello yoga e della meditazione

Lo yoga è una disciplina orientale millenaria, è una pratica che si concentra sull'armonia tra mente e corpo ed esercita il vivere sano. La parola "Yoga" deriva dal sanscrito ("Yuj") e significa "unione". Il legame di cui si parla si rifà all'unione tra la coscienza individuale (l'Io) e la coscienza universale, concetto secondo cui tutti gli esseri viventi e tutte le cose del mondo sarebbero collegati a livello profondo.

La nascita di questa disciplina può essere collocata nel subcontinente indiano; nella Valle dell'Indo sono infatti stati rinvenuti i primi sigilli raffiguranti persone o divinità in posizioni yoga, risalenti al 3500 a.C.. L'inizio dello yoga classico per come è conosciuto ora è definito dal filosofo Patanjali nel II secolo d.C. tramite i suoi Yoga Sutraⁱ. Egli sintetizzò il percorso yogico in otto stadi con il fine ultimo di raggiungere Samadhi (l'Illuminazione).

Nel corso dei secoli successivi lo yoga classico ha subito molte variazioni sia nell'esercizio fisico sia nel suo significato più profondo.

Tra la fine dell' '800 e gli inizi del '900 la pratica yoga ha iniziato ad espandersi anche in Occidente grazie ai maestri indiani che, migrando verso ovest, hanno aperto scuole e centri olistici in tutto il mondo. Nel 1893 durante l'inaugurazione del Parlamento delle Religioni Mondiali di Chicago fu memorabile l'intervento del monaco indiano Swami Vivekananda, che estasiò il pubblico con le sue lezioni sullo yoga.

Al giorno d'oggi, per molte persone in occidente la pratica yoga si limita all'Hatha Yoga (tipologia di yoga con pratiche incentrate sul corpo) e alle Asana (posizioni fisiche statiche dello yoga). Tuttavia questa disciplina è molto più profonda. Solo tre degli Yoga Sutra di Patanjali sono focalizzati sulle Asana; lo yoga comunemente conosciuto come 'fisico' è in realtà un processo preparatorio per poi proseguire con l'attenzione al respiro, alla mente per infine riconnettersi con il sé interiore.

Lo yoga viene talvolta visto come una terapia o una serie di esercizi per il fitness. Queste sono solo alcune conseguenze di tale pratica che riguarda l'armonizzazione di sé stessi con l'universo.¹

ⁱ Gli Yoga Sutra sono affermazioni brevi contenute in un antico testo che riassume i principi e le pratiche dello yoga.

Nei confronti di questa disciplina l'Oriente ha sempre provato un intenso rispetto e ha sempre valorizzato il significato più interiore di essa. L'Occidente, d'altra parte, è stato molto più influenzato dal metodo scientifico, fattore che ha portato a voler capire in maniera, forse a tratti riduzionistica, che processi tecnologici e chimici vi siano alla base di tali pratiche che provocano un tale sollievo all'uomo.

I primi studi scientifici sullo Yoga vennero condotti dal maestro Swami Kuvalayananda negli anni '20 nell'ospedale di Baroda (India) e riportati nella prima rivista scientifica sullo yoga denominata "Yoga Mimamsa"². Si apprese presto che lo yoga, durante il suo esercizio, abbassa la pressione sanguigna e riduce il metabolismo. Molti studiosi occidentali si recarono in India per approfondire i propri studi; tra questi la cardiologa francese Therese Brosse, che nel 1935 condusse uno studio sulla frequenza cardiaca di professionisti yogi. Lo studio dimostrò che questi professionisti avevano la capacità di rallentare notevolmente il proprio battito. Negli anni '50 i ricercatori francesi Das e Gastaut scoprirono marcati cambiamenti nei tracciati elettroencefalografici di soggetti meditatori mentre raggiungevano lo stato di concentrazione massima. Un'accelerata in questo campo avvenne a partire dagli anni '60 in quanto si diffuse il pensiero che lo yoga, se ben praticato, potesse portare all'autoregolazione di alcune funzioni fisiologiche, al controllo delle emozioni forti e alla riduzione dello stress³. Ancora oggi questi sono alcuni dei più grandi risultati a cui lo Yoga ambisce, facendo sì che esso venga considerato un importante strumento anche nel campo della medicina.

Il presente studio si propone di analizzare gli effetti di tale pratica sulle onde cerebrali, studiate tramite l'Elettroencefalogramma, attraverso un'approfondita ricerca bibliografica. L'obiettivo finale è quello di valutare eventuali correlazioni tra le onde cerebrali e lo stato meditativo, analizzando nello specifico le variazioni nelle bande *Alpha* e *Theta*. In particolare, si intende studiare come l'esame elettroencefalografico viene svolto, come il segnale EEG viene analizzato e se i risultati sono in qualche modo influenzati da caratteristiche dei soggetti praticanti, quali l'esperienza e l'età, o dallo stile della pratica svolta. Inoltre, si mira a comprendere se i risultati della letteratura sono coerenti con la realtà, confrontandoli con un case-study effettuato in laboratorio.

CAPITOLO 1 - Segnale elettroencefalografico

1.1 La scoperta del segnale EEG

Il segnale elettroencefalografico rappresenta l'attività elettrica cerebrale. La pratica dell'elettroencefalografia, ovvero l'acquisizione di questo segnale, iniziò a svilupparsi a partire dal XIX secolo. L'acquisizione dei fenomeni elettrici neurofisiologici avvenne inizialmente tramite studi effettuati dal medico inglese Richard Caton su soggetti animali nel 1874, tramite l'utilizzo del galvanometro di Thomson⁴. Caton, svolgendo esperimenti sulla scimmia e sul coniglio, trovò distinte oscillazioni di corrente, che si accentuano nella fase di risveglio dell'animale e diminuiscono drasticamente, fino a scomparire, con la morte di questo⁵. La prima registrazione EEG sull'uomo fu effettuata nel 1924 dal medico tedesco Hans Berger. Il paziente era un ragazzo di 17 anni, che stava affrontando un percorso di riabilitazione, dopo essere stato sottoposto ad un intervento cerebrale. Berger, tramite elettrodi in argilla ed un galvanometro a corda di Edelmann, riuscì, dopo diversi tentativi, a dimostrare la presenza di attività elettrica cerebrale. Fu egli stesso a coniare per primo il termine Elettroencefalogramma (EEG) nella sua prima pubblicazione del 1929, nella quale analizzò diverse modifiche del tracciato EEG in corrispondenza a cambiamenti dell'attenzione nel paziente o a lesioni cerebrali. E.D.Adrian e B.Matthew diedero credito alle scoperte di Berger e approfondirono le ricerche negli anni successivi, così da permettere lo sviluppo di sistemi sempre più efficienti. Essi proposero di utilizzare più canali di acquisizione simultaneamente e altrettanti amplificatori con lo scopo di ottenere la registrazione simultanea di più aree del cervello. Nello stesso periodo, nel Nord America, Herbert H. Jasper, confermò i lavori di Berger e proseguì con lo studio del segnale elettroencefalografico, focalizzando la sua attenzione sull'epilessia⁶. Egli elaborò teorie per la strumentazione EEG che sono tuttora alla base dello studio EEG.

1.2 Neurofisiologia del segnale EEG

1.2.1 Cenni di anatomia corticale

L'attività elettrica encefalica (cerebrale) si origina a partire dai neuroni della corteccia cerebrale, ovvero uno strato spesso 2-3 mm che ricopre il telencefalo.

La corteccia cerebrale è la parte più esterna del cervello, sottile ed altamente ripiegata, responsabile di molte funzioni cognitive. Essa è suddivisa in due emisferi cerebrali: l'emisfero destro e l'emisfero sinistro, i quali, collegati fra loro dal corpo calloso, sono coinvolti in varie funzioni cognitive e sensoriali. Ciascun emisfero è a sua volta suddiviso in quattro lobi:

- Lobo frontale: è per estensione il più grande del cervello, è coinvolto nei processi di apprendimento e di memoria e nel controllo motorio controllato; nella parte sinistra è coinvolto nell'attività di formulazione del linguaggio.
- Lobo parietale: costituisce la parte superiore del cervello, è responsabile degli stimoli tattili, dolorifici, termici e pressori; la sua parte destra è specializzata nelle abilità visuo-spaziali, mentre la parte sinistra coordina il linguaggio scritto e parlato, la memoria e le capacità matematiche.
- Lobo temporale: è situato nella parte inferiore degli emisferi, è coinvolto nella memoria e rappresenta la sede dell'elaborazione uditiva; elabora l'affettività e la vita relazionale, i comportamenti istintivi e il riconoscimento visivo.
- Lobo occipitale: forma la parte posteriore dell'encefalo, è associato principalmente alla visione e all'elaborazione visiva.⁷ (fig.1)

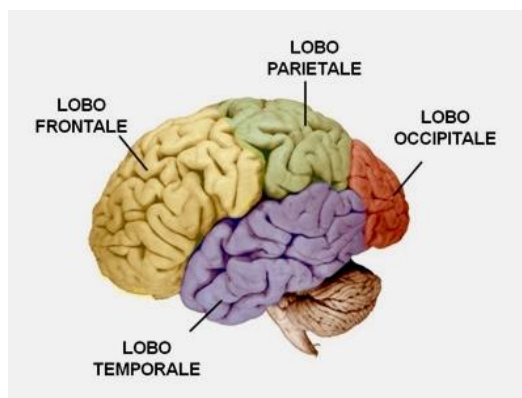


figura 1⁸

Inoltre la corteccia cerebrale può essere suddivisa verticalmente in sei strati: il primo strato o strato molecolare, il secondo strato o strato granulare esterno, il terzo strato o strato delle cellule piramidali esterne, il quarto strato o strato granulare interno, il quinto strato o strato delle cellule piramidali interne e il sesto strato o strato delle cellule polimorfe e fusiformi. Le cellule della corteccia cerebrale più rilevanti dal punto di vista elettrofisiologico nell'acquisizione del segnale EEG, sono dette neuroni piramidali. Queste cellule presentano un'organizzazione formata da moduli verticali che occupano tutto lo spessore della corteccia⁹; presentano il soma nella parte inferiore e l'assone che si estende verso l'alto (fig. 2).

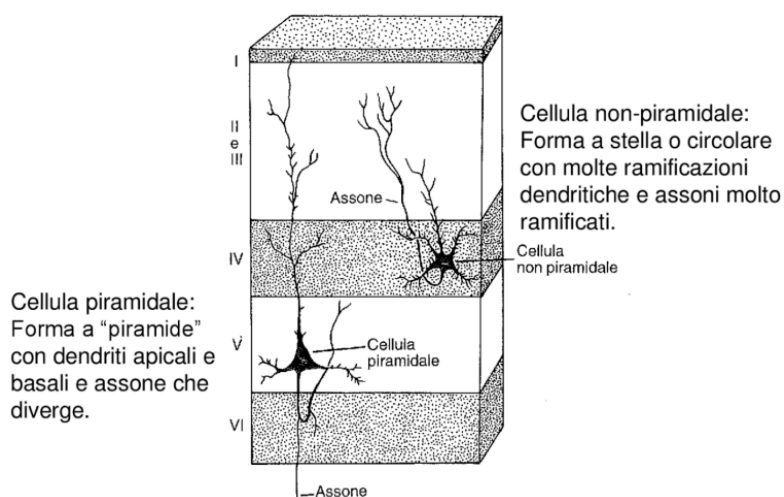


figura 2¹⁰

1.2.2 Origine del segnale EEG

L'arrivo di un potenziale d'azione ai dendriti delle cellule piramidali provoca una variazione della permeabilità della membrana cellulare. Si osserva uno scambio di ioni (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^-) tra il mezzo extracellulare e il mezzo intracellulare, che depolarizza la membrana cellulare, dando così origine a un dipolo elettrico.

Attorno al neurone si crea una corrente extracellulare dal polo positivo al polo negativo e, contemporaneamente, all'interno di esso si origina una corrente intracellulare in direzione opposta.

Il segnale EEG registra il flusso delle correnti ioniche extracellulari secondo la legge di Ohm: $V = iR$ (1.2.1) dove R rappresenta la modesta resistenza del liquido extracellulare, V il potenziale elettrico, i la corrente elettrica.

Un elettrodo non è in grado di individuare l'attività elettrica di un solo neurone: il suo potenziale non è sufficiente per poter essere visualizzato singolarmente. La durata relativamente lunga di questi segnali (10-40 ms) permette loro di sommarsi (si stima circa 50.000 unità) in modo da ottenere un potenziale sufficientemente ampio per poter essere registrato a livello dello scalpo.

Il potenziale di dipolo registrato dall'elettrodo è calcolato tramite la seguente formula:

$$V = \frac{qdcos\alpha}{\epsilon_0 r^2} \quad (1.2.2)$$

dove:

q = valore della carica

d = distanza tra le due cariche del dipolo

α = angolo formato tra l'asse del dipolo e la retta che congiunge l'elettrodo con il centro del dipolo

ϵ_0 = costante dielettrica del mezzo

r = distanza tra il centro del dipolo e l'elettrodo

La formula (1.2.2) dimostra che il maggior contributo al segnale EEG misurato è dato dai neuroni posti radialmente, ovvero quelli perpendicolari alla superficie dello scalpo. Inoltre l'intensità del segnale diminuisce con il quadrato della distanza: ciò dimostra che i neuroni più vicini allo scalpo hanno il peso maggiore nell'attività elettrica registrata tramite EEG¹¹.

1.3 Acquisizione del segnale

Il segnale elettrico cerebrale viene acquisito tramite l'elettroencefalografo, uno strumento formato da varie componenti: una testina con amplificatori, elettrodi, un convertitore analogico-digitale e computer con processore e monitor (sistema di output).

L'interfaccia tra lo scalpo e lo strumento di acquisizione è costituita dagli elettrodi, che possono essere d'oro o d'argento e di diverse conformazioni: *a coppetta*, fissati direttamente alla cute, *a ponte*, tenuti fermi tramite una cuffia elastica e *ad ago*, inseriti sottocute ed utilizzati maggiormente in pazienti in stato di coma.¹³

Il potenziale elettrico viene rilevato in posizioni standard dello scalpo, secondo il sistema internazionale 10/20. In tale sistema gli elettrodi sono posti distanti il 10% o il 20% da 4 punti predefiniti: *Nasion*, posto appena sopra la radice del naso, *Inion*, punto più alto della protuberanza dell'osso occipitale, e nei *punti pre-auricolari destro e sinistro*.¹⁴ Ogni elettrodo viene caratterizzato da una lettera maiuscola, che ne indica il lobo (F=frontale, P=parietale, C=centrale, O=occipitale, T=temporale), ovvero la zona del cervello interessata e da un numero, che può essere pari o dispari, numeri pari indicano elettrodi posti sull'emisfero destro, numeri dispari sul sinistro. Le posizioni lungo la linea mediana, tra i due emisferi, vengono indicate con la lettera Z.

L'EEG standard prevede 19 elettrodi, ma per rendere più accurata la risoluzione spaziale, si ricorre a montaggi che prevedono un numero più elevato di elettrodi (32, 64, 128, 256). I montaggi con un numero di elettrodi maggiore o uguale a 64 sono detti ad alta intensità (High-density EEG) e sono utili per investigare le sorgenti corticali che producono il segnale misurato in superficie.

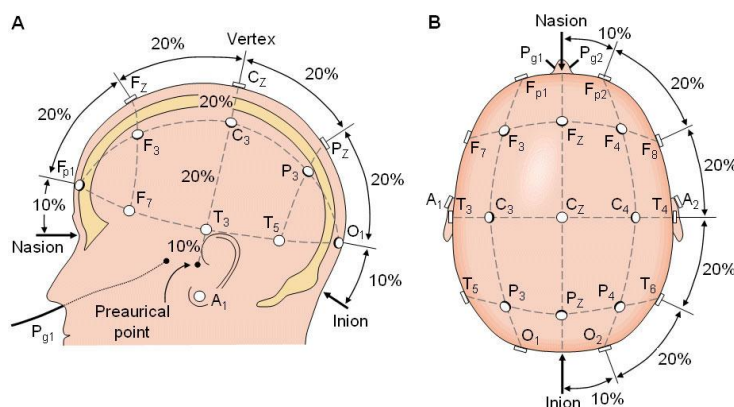


figura 4: sistema internazionale 10-20¹⁵

Il potenziale che viene rilevato è in realtà una differenza di potenziale tra due elettrodi, denominati elettrodo attivo ed elettrodo di riferimento, secondo tre diversi montaggi. Nel primo montaggio, il *montaggio monopolare*, l'elettrodo attivo è posto al di sopra dell'area della quale si vuole registrare l'attività neuronale: il riferimento è posto in una zona considerata il più possibile neutra, solitamente nella zona auricolare. Il secondo montaggio, detto *bipolare*, rileva invece la differenza di potenziale tra due elettrodi attivi. Infine, nel terzo, detto *montaggio a referenza media*, la differenza di potenziale viene calcolata non rispetto ad un singolo elettrodo, bensì rispetto alla media dell'attività registrata da ogni elettrodo.

Poiché questa differenza di potenziale risulta molto piccola (intorno ai $25\mu\text{V}$), è necessario amplificarla: gli elettrodi vengono collegati ad una testina con un amplificatore differenziale all'interno. L'amplificatore differenziale è un dispositivo elettronico che permette di aumentare la differenza di potenziale di un fattore A (detto guadagno), senza apportare alcuna distorsione alla frequenza del segnale.

Dopo essere stato amplificato, il tracciato EEG deve essere sottoposto ad una conversione analogico-digitale, che trasformi il segnale dalla forma d'onda ad una sequenza di numeri che possa essere elaborata in seguito, mediante campionamento. Affinché non vi siano rischi di distorsione del segnale (aliasing) il campionamento deve essere applicato seguendo il teorema di Nyquist-Shannon che afferma che la frequenza di campionamento deve essere maggiore o uguale al doppio della frequenza massima del segnale analogico. Generalmente vengono usate frequenze di campionamento relativamente alte (128 Hz o 256 Hz) e particolari filtri anti-aliasing per eliminare le frequenze troppo alte del segnale in ingresso (che superano i 100 Hz).

1.4 Caratteristiche del segnale (frequenze, ampiezze, brain waves)

Il segnale EEG può essere descritto secondo diversi parametri: la frequenza, l'ampiezza, la simmetria e la sincronia.¹¹

Il tracciato elettroencefalografico non è un segnale perfettamente periodico, ma presenta alcuni ritmi che si ripetono. L'analisi in frequenza del segnale risulta quindi molto importante. In base alla frequenza del segnale considerato si possono identificare diverse bande di attività:

- le onde *delta*, con frequenze comprese tra 0 Hz e 4 Hz, caratterizzate da onde di grandi ampiezze (100 μ V), si osservano nel bambino e in alcune fasi del sonno dell'adulto. La presenza di tali onde in altre situazioni è indice di condizioni di sofferenza cerebrale (ad esempio si rilevano in soggetti in coma).
- le onde *theta*, con frequenze comprese tra 4 Hz e 8 Hz, spesso presenti durante uno stato meditativo e rilassato nell'adulto, sono associate alla concentrazione selettiva.
- le onde *alpha*, comprese tra 8 Hz e 13 Hz, sono le prime onde cerebrali che sono state riconosciute: si registrano principalmente nelle regioni temporo-occipitali, hanno un voltaggio compreso tra i 15 e i 45 μ V, aumentano in ampiezza e sincronia ad occhi chiusi e diminuiscono aprendo gli occhi. In un soggetto normale le onde alpha risultano simmetriche tra i due emisferi cerebrali e sono associate ad uno stato di veglia rilassata. Talvolta la banda alpha può essere suddivisa in Alpha 1 (8-10 Hz) e Alpha 2 (10-13 Hz).
- le onde *beta*, con frequenze tra 13 Hz e 30 Hz e voltaggio basso (30 μ V), sono rappresentative di uno stato di concentrazione e appaiono durante il movimento volontario. Spesso ad un aumento delle onde beta corrisponde una diminuzione delle onde alpha.¹⁴
- le onde *gamma*, 30-50 Hz, sono onde molto veloci e di ampiezza molto ridotta e sono quindi difficili da registrare. Appaiono durante profonda concentrazione, massima performance o durante esperienze mistiche e trascendentali.¹⁶

Fisiologicamente esiste un rapporto inverso tra l'ampiezza e la frequenza di un segnale, quindi maggiore è la frequenza, minore risulta l'ampiezza.

L'ampiezza del segnale EEG è misurata in microvolts ed è generalmente compresa tra 0 e 100 μV .

La simmetria è indice del fatto che i segnali abbiano le stesse caratteristiche di frequenza e ampiezza in entrambi gli emisferi; tracciati EEG particolarmente asimmetrici possono essere indice di patologie.

La sincronia riguarda la contemporanea presenza degli stessi eventi elettroencefalografici su più regioni dello scalpo.

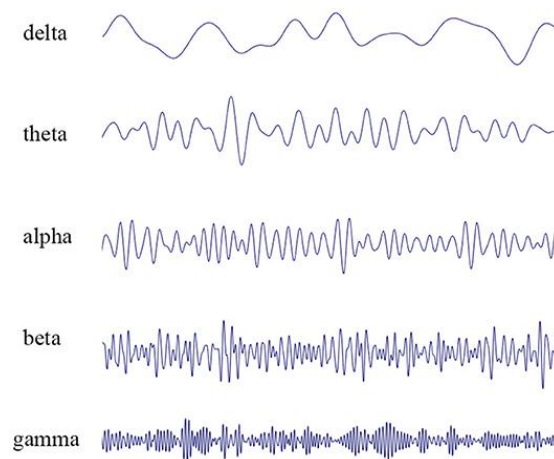


figura 5: onde cerebrali¹⁷

1.5 Analisi spettrale

Un modo per analizzare l'energia del segnale EEG e come questa sia distribuita in funzione della frequenza è l'analisi spettrale: durante questa analisi il segnale viene trasformato dal dominio del tempo al dominio della frequenza. In una rappresentazione grafica nel dominio del tempo viene rappresentato sull'asse x il tempo in secondi, mentre sull'asse y viene rappresentata l'ampiezza del segnale (in μV), in quel determinato istante di tempo. Nel dominio della frequenza, invece, sull'asse x viene visualizzato un intervallo di frequenze (in Hz) e sull'asse y la densità spettrale del segnale (in $\mu V^2/Hz$) a quella frequenza.

La tecnica più utilizzata per passare al dominio della frequenza è l'analisi di Fourier, che prende il nome dal matematico francese Joseph Fourier. Il teorema di Fourier afferma che ogni segnale periodico (il segnale EEG viene considerato periodico a tratti) può essere scomposto in una combinazione lineare di funzioni sinusoidali a frequenza crescente con opportuni coefficienti. Dato $f(x)$ il segnale nel tempo, esso può essere riscritto nel seguente modo:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(\frac{2\pi}{T}nx) + b_n \sin(\frac{2\pi}{T}nx)]$$

con:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(x) dx$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(x) \cos(\frac{2\pi}{T}nx) dx$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(x) \sin(\frac{2\pi}{T}nx) dx$$

Questa scomposizione permette di visualizzare con più facilità l'apporto delle diverse componenti in frequenza al segnale EEG (fig.6).

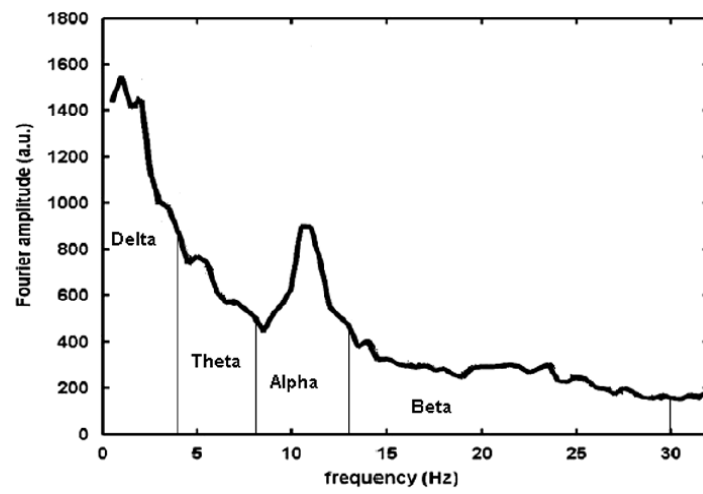


figura 6¹⁸

CAPITOLO 2 - Materiali e metodi

2.1 Ricerca della letteratura

2.1.1 Criteri di inclusione e Ricerca nel database

In questo studio sono stati analizzati articoli scientifici che trattano gli effetti dello yoga e della meditazione sulle onde cerebrali, con lo scopo di evidenziare i benefici di queste pratiche sulla salute fisica e mentale dell'uomo.

La ricerca è stata svolta utilizzando principalmente il database PubMed, ma anche altri databases come Scopus sono stati presi in considerazione per integrare la ricerca. Il campo di ricerca è stato ristretto ad articoli scritti in lingua inglese, pubblicati negli ultimi 10 anni (2013-2023) e presenti nel formato di 'full text'. Sono stati inclusi studi, analisi di singoli casi e revisioni della letteratura. Inoltre sono stati considerati solo studi che trattano di soggetti adulti e sani.

La stringa utilizzata per la ricerca è stata (*EEG AND yoga*) OR (*EEG AND meditation*), che comprende le parole chiave di questa tesi unite tramite operatori booleani. La fig.7 rappresenta il processo di selezione degli articoli: la stringa ha prodotto 323 risultati su PubMed e 2 articoli sono stati aggiunti successivamente da Scopus. Dalla sola lettura del titolo 112 articoli sono stati scelti, mentre 213 articoli non sono stati ritenuti pertinenti e sono stati scartati. Successivamente gli abstract dei 112 articoli precedentemente selezionati sono stati letti e analizzati e 33 articoli sono rimasti per l'analisi completa. 4 articoli sono stati scartati poiché non hanno soddisfatto il requisito di studiare solo soggetti adulti sani. In conclusione, gli articoli considerati per questa revisione della letteratura sono 29.

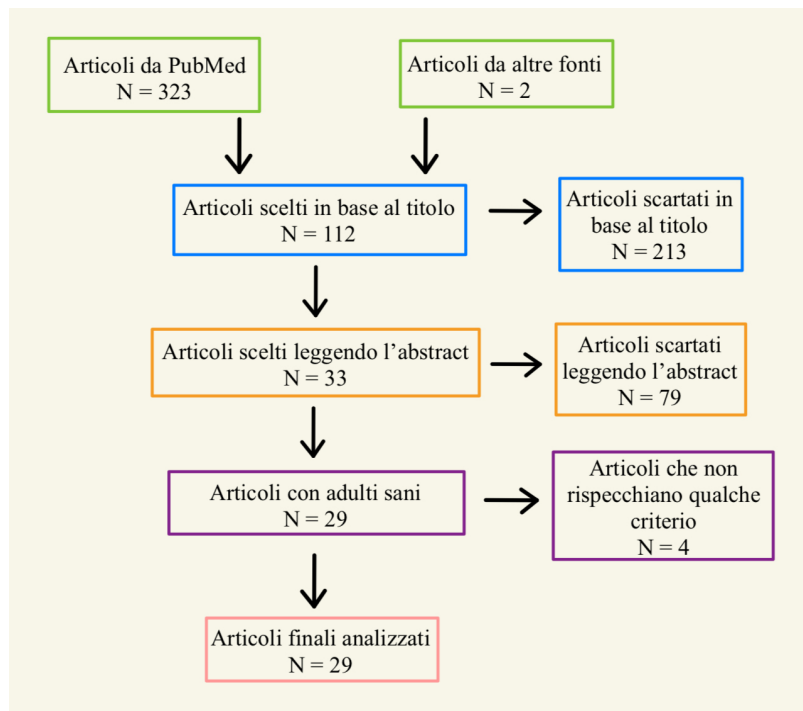


figura 7: processo di selezione degli articolo

2.1.2 Tabella di estrazione dei dati

Per ogni articolo è stata compilata una tabella che ne sintetizzasse il contenuto. La tabella è stata stilata in lingua inglese e contiene 17 campi: titolo dell'articolo, autori, anno di pubblicazione, rivista in cui l'articolo è stato pubblicato, tipologia di pubblicazione (es., studio, revisione della letteratura), partecipanti, strumentazione utilizzata, frequenza di campionamento (FS o sampling frequency), numero di canali EEG, pre-processing (filtraggio, rimozione di artefatti), analisi in frequenza (potenza spettrale, bande di frequenza considerate, picco alpha), entropia, altre analisi svolte, altra strumentazione utilizzata (es., elettrocardiogramma, elettrooculogramma), scopo dello studio e risultati. Un esempio di questa scheda di estrazione dei dati è contenuto nella *tabella 1*.

Data Extraction Form	
Article Title	<i>Title</i>
Authors	<i>List of authors</i>
Year of Publication	<i>Year</i>
Journal	<i>Name of the journal</i>
Publication Type	<i>Study, review</i>
Details	
Participants	<i>Healthy, right-handed, number of male, number of female, age average, meditation experience</i>
EEG Instrumentation	<i>Name of the instrumentation used</i>
FS (Sampling Frequency)	<i>256 Hz, 500 Hz, 1024 Hz</i>
Number of Channels	<i>16, 32, 64, 128</i>
Pre-processing	<i>High-pass, low-pass, Notch filters, Independent component analysis (ICA)</i>
Frequency Analysis	<i>Fast Fourier Transform (FFT), Discrete Wavelet Transform (DWT), Power Spectral Density (PSD)</i>
Alpha Peak	<i>Alpha Peak Analysis</i>
Entropy	<i>Entropy Analysis</i>
Other Analysis	<i>Source analysis, fractal dimensions, synchrony</i>
Other instrumentation	<i>Photoplethysmography (PPG), Electrooculogram (EOG), Electrocardiogram (ECG)</i>
Aim of the Paper	<i>Resume of the purpose of the article</i>
Results	<i>Outcomes of the study</i>

Tabella 1

2.2 Case-study in laboratorio

Con lo scopo di confermare i risultati estratti dalla letteratura è stato condotto uno studio su un singolo soggetto presso il laboratorio di bioingegneria e analisi clinica del movimento dell'ospedale di Padova. Il soggetto ha eseguito una pratica di meditazione guidata rimanendo in posizione seduta con le gambe incrociate (posizione del *mezzo Loto* nel gergo dello yoga) e con gli occhi chiusi, ascoltando un file audio di circa venti minuti nel quale la voce di un'insegnante di yoga lo aiutava a mantenere la concentrazione. L'elettroencefalogramma e l'elettromiografia del paziente sono stati registrati per 1 minuto a riposo prima dell'esercizio, durante i 20 minuti della pratica e, infine, per 1 minuto a riposo terminato l'esercizio, come illustrato nella *tabella 2*.

1 minuto resting-state pre meditazione	20 minuti meditazione	1 minuto resting-state post meditazione
--	-----------------------	---

tabella 2

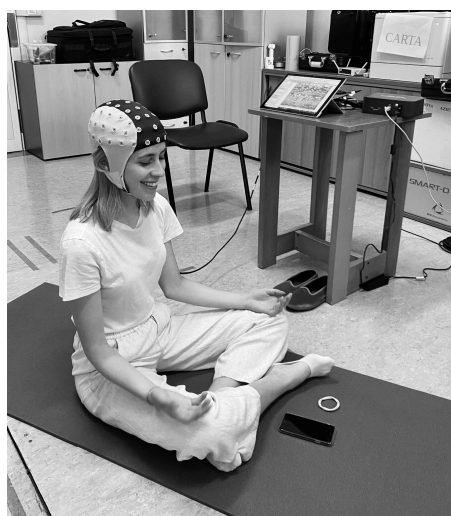


figura 8: registrazione in laboratorio

2.2.1 Partecipanti

La partecipante è una donna di 21 anni, sana, senza precedenti di malattie neurologiche e mentali, senza alcuna cura farmacologica in corso e nessun precedente intervento chirurgico. La paziente è mancina e ha un leggero difetto della vista. Ha praticato yoga e meditazione saltuariamente per 3 anni ma non è una meditatrice esperta.

2.2.2 Strumentazione

Il sistema utilizzato per la registrazione del segnale EEG è eego sport della compagnia olandese Ant Neuro. Questo dispositivo è ottimale per prestazioni che richiedono libertà di movimento, ha un peso di 500 grammi e consiste in una cuffia contenente 64 elettrodi per la misurazione di un segnale EEG ad alta densità. I dati vengono salvati in un tablet che è collegato direttamente all'amplificatore, prevenendo così ogni rischio di perdita di informazione dovuta ad un'eventuale scarsa qualità della connessione Wifi o Bluetooth, possibile, invece, in altri dispositivi in circolazione.

La frequenza di campionamento del dispositivo può arrivare a 2048 Hz ma per questo studio è stata utilizzata una frequenza di acquisizione del segnale di 500 Hz.¹⁹

Contemporaneamente al segnale EEG è stato anche misurato il battito cardiaco del paziente per evidenziare eventuali cambiamenti nella frequenza cardiaca durante la pratica di meditazione. Tale parametro è stato estrapolato dal segnale elettromiografico (EMG) tramite il sensore MiniWave EMG della ditta Cometa, posizionato sullo sterno. Questo dispositivo di piccole dimensioni (misura meno di 5 cm^3) è formato da due clip flessibili collegate ad una 'transmission box', che gli permettono un facile posizionamento in diverse zone del corpo. Le sue dimensioni esigue e la sua leggerezza aiutano a ridurre al massimo gli artefatti durante la misurazione. La frequenza di campionamento utilizzata per l'acquisizione di questo segnale è 1 kHz.²⁰



figura 8: a sinistra, il sensore MiniWave EMG²¹, a destra, applicazione della cuffia durante lo studio in laboratorio.

2.2.3 Analisi del segnale

Il segnale EEG è stato filtrato passa-alto alla frequenza di taglio di 1 Hz e passa-basso alla frequenza di taglio di 30 Hz tramite filtri di Butterworth di ordine 8 ed evitando la distorsione della fase. È stato scelto questo range di frequenze poiché lo scopo dello studio era quello di focalizzarsi maggiormente sull'analisi delle bande alpha e theta, le maggiormente interessate in eventuali cambiamenti di ampiezza, secondo diversi articoli scientifici analizzati. In letteratura, di norma, gli intervalli di frequenza selezionati per queste onde cerebrali sono: 4-8 Hz per le onde theta e 8-13 Hz per le onde alpha. Successivamente è stato selezionato un minuto di segnale a riposo pre- e post- meditazione e un minuto di segnale durante la meditazione. Per ciascun segnale, la densità spettrale di potenza è stata stimata tramite il metodo di Welch suddividendo il segnale in epoche di 2 s, sovrapposte al 50%, con finestre di Hanning. Dopodiché l'area sotto la curva della densità spettrale di potenza è stata stimata negli intervalli di frequenza di interesse, ottenendo i valori di potenza spettrale.

CAPITOLO 3 - Risultati

3.1 Risultati della letteratura

Tra i 29 articoli scelti per l'analisi approfondita, 3 sono revisioni della letteratura, uno è un 'single-case based analysis' e i rimanenti 25 sono "original paper".

Per le registrazioni EEG sono stati utilizzati diversi dispositivi, alcuni di essi sono comuni a diversi studi: il modello EPOC-X della ditta Emotiv è stato scelto per 3 studi diversi, RMS India System è stato utilizzato due volte, così come ActiveTwo di Biosemi, ActiCHamp di BrainVision, waveguard cap di ANT Neuro e Discovery 24E di Brainmaster. Gli elettrodi a disco Ag/Agcl sono stati utilizzati 2 volte.

In numerosi articoli, per permettere di rimuovere alcuni artefatti o per ottenere ulteriori informazioni riguardanti la salute del soggetto, all'esame EEG è stata affiancata la registrazione di altri parametri fisiologici. Tra gli esami più comuni condotti vi è l'elettrooculogramma (EOG), che è stato utilizzato in 4 studi ed è necessario per controllare i movimenti oculari e per poterli poi rimuovere dal segnale EEG in un secondo momento. Il respiro è stato monitorato in due studi utilizzando un sensore respiratorio toracico, mentre il battito cardiaco è stato valutato con l'utilizzo dell'elettrocardiogramma e con la fotopletismografia (PPG). L'elettromiogramma (EMG) è stato eseguito una volta per monitorare le contratture della muscolatura cervicale. In uno studio è stato svolto lo Psychomotor Vigilance Task (PVT)²² per esaminare la capacità di reazione degli individui, mentre in un altro studio, il livello di attenzione e la concentrazione sono stati valutati dai soggetti stessi che si sono attenuti alla Mindfulness Attention and Awareness Scale (MAAS)²³.

Per una completa analisi dei risultati vi sono numerosi fattori da considerare. Innanzitutto bisogna comprendere alcune caratteristiche dei soggetti studiati, come ad esempio l'età, il sesso, lo stato di salute e l'esperienza nei confronti della pratica yoga.

Negli articoli analizzati l'età dei partecipanti agli studi risulta variabile. Alcuni articoli analizzano soggetti giovani, con età media di circa 20 anni, altri invece considerano soggetti nella fascia di età intermedia o anziana. Per studi dove l'esperienza meditativa ha

una grossa rilevanza l'età dei partecipanti è, naturalmente, più elevata.

Alcuni articoli analizzano soggetti che non hanno alcun tipo di conoscenza della meditazione, altri studiano gli effetti della meditazione su soggetti esperti, altri ancora invece propongono un confronto fra un gruppo di controllo (non esperto) e un gruppo di meditatori esperti per comprendere quanto l'esperienza sia rilevante nel mondo dello yoga. In uno studio di Bhavna P.Harne e A.S.Hiwale²⁴, le onde cerebrali di 23 studenti di età compresa tra i 18 e i 22 anni sono state analizzate mentre essi recitavano il canto OMⁱⁱ, con lo scopo di valutare l'efficienza di questa pratica su soggetti neofiti. I risultati hanno dimostrato un aumento dell'ampiezza della banda theta, indicando un aumento del livello di rilassamento.

In un altro studio di Sucharit Katyal and Philippe Goldin²⁶, un gruppo di 13 meditatori esperti (32.2 ± 9.7 anni di esperienza) e un gruppo di neofiti, di età compresa tra i 50 e i 60 anni, sono stati messi a confronto. Oltre ad una autovalutazione della propria concentrazione durante la pratica, anche l'attività encefalica e il polso sono stati misurati rispettivamente tramite l'EEG e il pletismogramma (PPG). Le distrazioni sono risultate essere più presenti nei neofiti, mentre i meditatori esperti hanno dimostrato livelli più profondi dello stato meditativo, sperimentando, in alcuni casi, la non-dualità, sensazione che si manifesta attraverso una ridotta distinzione tra il soggetto (sé stessi) e l'oggetto della pratica (ad esempio il proprio respiro). Le onde theta sono state associate alle distrazioni mentre un aumento delle onde alpha è stato rilevato con l'aumento della profondità nella meditazione. Secondo questo articolo, le onde alpha e le onde theta si sviluppano in maniera complementare.

Un altro fattore importante da considerare è lo stile di yoga praticato. È evidente che diverse pratiche di meditazione possono avere diversi effetti sulla mente dell'uomo. Possono essere identificati due principali stili di meditazione: *open monitoring meditation* (OM) e *focused attention meditation* (FA). Nel primo stile il praticante non si concentra su un oggetto preciso e lascia che la mente sia libera di vagare senza cercare di immobilizzare

ⁱⁱ Il mantra OM è un rito che aiuta il soggetto a focalizzarsi sul momento presente. Questa preghiera è associata all'Assoluto, all'Universo; si pronuncia "aum" e ogni lettera prende un significato diverso: *a* rappresenta lo stato di veglia, *u* rappresenta lo stato di sogno, *m* è rappresentativo del sonno profondo, infine, il *silenzio finale* rappresenta la pura consapevolezza.²⁵

i pensieri che arrivano, mentre nel secondo stile l'attenzione viene rivolta verso un particolare pensiero o oggetto che può essere rappresentato, ad esempio, dal respiro o da una parte del corpo.

Le due tecniche non si escludono a vicenda: durante un'intera pratica, infatti, il soggetto può sperimentare entrambe le situazioni.²³ Ciò dimostra che l'attività cerebrale può venire fortemente modificata dall'esperienza personale di ciascun individuo che pratica l'esercizio di meditazione. Essa può essere rappresentata da un aumento delle onde di più alta frequenza se il soggetto sta provando una forte attenzione verso l'oggetto della meditazione ed è quindi molto concentrato, oppure, al contrario, da un aumento delle onde di frequenza inferiore se il soggetto si sta rilassando.

Altro fattore da valutare per comprendere l'efficacia dei risultati è se l'elettroencefalogramma è stato svolto durante la pratica o successivamente ad essa. Il praticante infatti, durante la meditazione può essere molto concentrato e quindi avere un'attività encefalica molto presente; terminata la pratica, invece, egli può sentirsi più rilassato e sereno.

3.1.1 Risultati nelle onde cerebrali

Dall'analisi della letteratura emerge che non vi è un risultato univoco per quanto concerne i cambiamenti nelle onde cerebrali dei soggetti studiati, ma che vi sono numerose variabili da tenere in considerazione. Nonostante ciò è utile comprendere se si verificano modifiche nelle onde cerebrali più frequenti rispetto ad altre e perché ciò avviene.

Considerando tutti e 29 gli articoli scelti per questa review, in 12 studi emerge una tendenza della banda theta ad aumentare durante la meditazione.

In uno studio di Sushma Pal et al.²⁷, 15 adulti di sesso maschile di età media 25 anni con almeno 5 anni di esperienza nell'ambito della meditazione sono stati valutati durante la ripetizione silenziosa del mantra OM, durante la pronuncia della parola 'one' e durante un periodo di riposo. Nel corso dell'intero esercizio è stato condotto il segnale EEG ed è stato riscontrato un aumento significativo della banda theta in Pz-A2 (nella zona parietale centrale) mentre i partecipanti ripetevano silenziosamente il mantra OM rispetto al prima e al dopo. Negli altri due casi (pronuncia del 'one' e stato di riposo) non sono stati riscontrati cambiamenti significativi nelle onde cerebrali.

Un altro studio²⁴ conferma l'ipotesi sopra citata secondo cui la meditazione OM sarebbe correlata ad un aumento della banda theta in tutta la superficie cerebrale, anche per meditatori neofiti.

Un'altra tipologia di yoga studiata viene chiamata Heartfulness meditationⁱⁱⁱ. In un recente studio di Dwivedi Krishna et al. pubblicato nel gennaio 2023²⁹ è stato dimostrato come questa pratica possa ridurre notevolmente i livelli di ansia e provocare un aumento della banda theta e della banda alpha in coloro che la praticano, rispetto a persone completamente estranee a tale esercizio.

Sucharit Katyal and Philippe Goldin in uno studio condotto per la rivista *Neuroscience of Consciousness*²⁶ hanno affermato che la banda theta è correlata alle distrazioni e al libero vagare della mente, mentre la banda alpha risulta essere collegata all'aumento della profondità dello stato meditativo.

In un altro studio condotto su un singolo soggetto³⁰ si è valutata l'attività cerebrale in diversi livelli di profondità della meditazione. È stato notato un aumento della banda theta durante la prima fase della pratica, mentre il soggetto svolgeva un'attività di respirazione consapevole. Con il raggiungimento di uno stato meditativo più profondo, invece, si è assistito contemporaneamente ad un aumento sia della banda alpha sia della banda theta.

Le due onde cerebrali alpha (8-13 Hz) e theta (4-8 Hz) in molti degli studi analizzati sembrano avere un comportamento simile, con la stessa tendenza ad aumentare in corrispondenza dello stato meditativo. In uno studio di Kanishka Sharma et al. le onde cerebrali a bassa frequenza di 21 soggetti con almeno 10 anni di esperienza nella meditazione Raja Yoga^{iv} sono state analizzate durante una pratica di meditazione. I soggetti hanno mostrato un evidente aumento di potenza in banda alpha e in banda theta rispetto ad un gruppo composto da 21 persone estranee alla meditazione.

ⁱⁱⁱ È una pratica di meditazione che si concentra sulla connessione tra cuore e mente. Essa si focalizza sullo sviluppo di alcune qualità del cuore quali l'amorevolezza, la compassione, la gioia. Mira a praticare l'amore verso sé stessi per combattere l'odio e l'invidia.²⁸

^{iv} Il *Raja Yoga* è una tipologia di yoga che si focalizza sulla mente, a differenza di altre pratiche come l'*Hatha Yoga* che si focalizzano maggiormente sul corpo. Questa pratica si concentra sull'energia mentale, sulla consapevolezza e mira all'unione di corpo, mente e spirito.³¹

Per quanto concerne invece altre bande di frequenza può essere citato lo studio di Ronnie V. Daniel et al.³², pubblicato nel 2022 dalla rivista *International Journal of Yoga*. In questo studio i partecipanti sono stati divisi in due gruppi: il primo gruppo ha ascoltato musica rilassante mentre il secondo gruppo ha praticato per un mese una tipologia di yoga chiamata Sudarshan Kriya Yoga.

I soggetti sono stati sottoposti ad un test di reazione sia prima sia dopo il mese di pratica yoga o l'ascolto di musica, al fine di valutare se e in che modo l'attenzione e il livello di stress indotti dal test potessero subire variazioni. I risultati hanno dimostrato che coloro che hanno praticato yoga hanno avuto punteggi più elevati nel test di reazione svolto dopo la pratica rispetto ai partecipanti che hanno ascoltato musica. Inoltre in coloro che hanno praticato yoga si è verificato un aumento delle onde cerebrali beta nella zona fronto-centrale del cranio. Questo può suggerire che l'efficacia della meditazione si riflette sull'elaborazione delle informazioni da parte del cervello, rendendo la mente più reattiva e concentrata.

3.2 Risultati del case-study

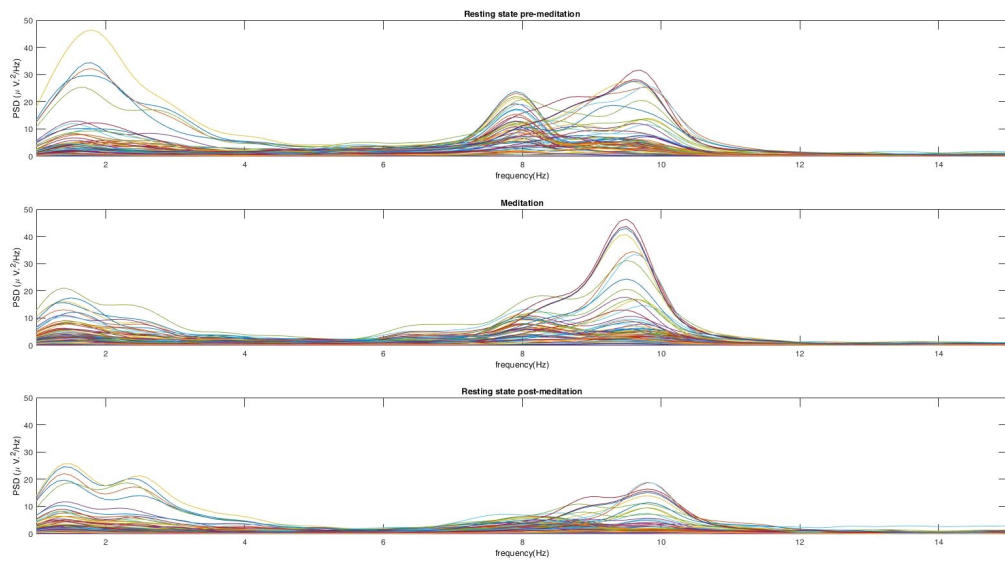
Per valutare le misurazioni ottenute nel case-study condotto presso l'ospedale di Padova, sono stati considerati i segnali EEG durante diversi intervalli di tempo: 1 minuto durante il resting-state pre-pratica, 1 minuto durante la pratica di meditazione e 1 minuto durante il resting-state post-pratica.

Nello spettro del segnale registrato nello stato pre-meditativo sono facilmente distinguibili due picchi distinti. In base al valore di questi due picchi, sono state definite ad-hoc per questa tesi due bande di frequenza di interesse: *theta₂* (6.5-8.9 Hz) e *alpha* (9-11 Hz), fig 9.b. Il primo picco (8 Hz) si trova all'interno della banda *theta₂*, il secondo (9.5 Hz) all'interno della banda *alpha*. Durante la meditazione il soggetto entra in uno stato meditativo più profondo, visibile tramite un aumento della sincronia in quanto le onde si allineano attorno ad un unico picco in *alpha* (9.5 Hz). In questo stato la potenza della banda *alpha* aumenta, a discapito della banda *theta₂*.

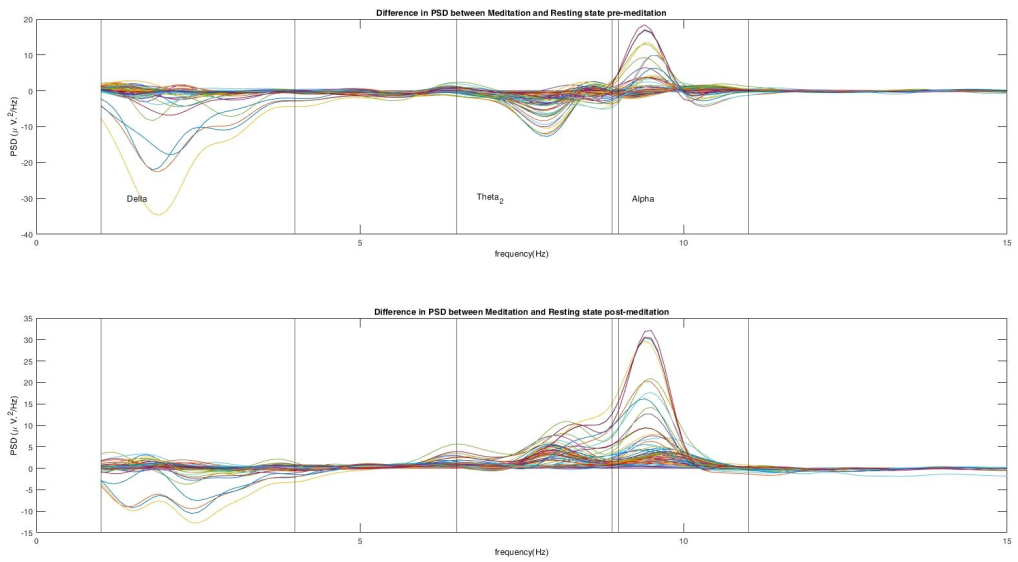
Considerando lo stato post-meditativo, si evince una diminuzione di entrambe le onde *theta₂* e *alpha* rispetto allo stato meditativo (fig 9.a, 9.b, 9.c).

Dal segnale elettromiografico è stato estratto il battito cardiaco. Si è riscontrata una diminuzione del battito cardiaco da 81 bpm nello stato pre-meditativo a 77 bpm nello stato meditativo e post-meditativo (picchi blu in fig.9.c). Tale risultato sembra rafforzare l'ipotesi che l'esercizio della meditazione aiuta a rilassare l'individuo e a rallentare alcune funzioni fisiologiche.

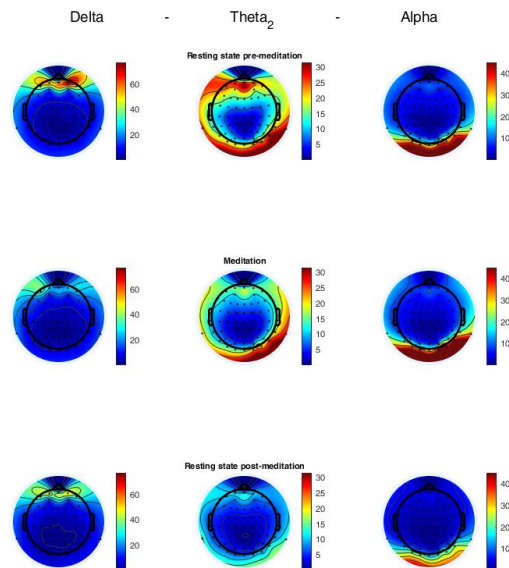
Dal segnale elettromiografico è stato estratto anche l'involuppo dell'ampiezza del segnale registrato (in arancione in fig. 9.c). Tale segnale sembra una buona approssimazione del movimento dello sterno dovuto al respiro. Si nota come il respiro sia più profondo (più lento) durante la meditazione rispetto all'intervallo precedente alla meditazione.



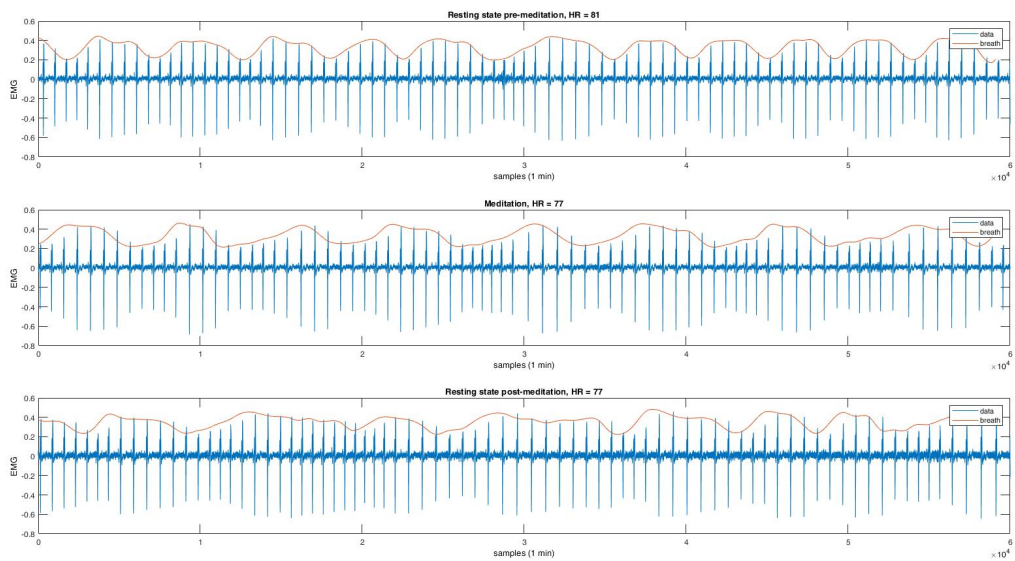
9.a



9.b



9.c



9.d

figura 9: a) densità spettrale di potenza nell'intervallo di frequenze 0-15 Hz, rappresentativa dello stato pre-meditativo (in alto), meditativo (al centro) e post-meditativo (in basso). b) densità spettrale di potenza durante la meditazione a cui è stato sottratto lo stato pre-meditativo (sopra), densità spettrale di potenza durante la meditazione a cui è stato sottratto lo stato post-meditativo (sotto). c) rappresentazione topografica della potenza assoluta delle bande delta (sinistra), theta2 (centro) e alpha (destra). d) rappresentazione del battito cardiaco e del respiro, prima (in alto), durante (al centro) e dopo (in basso) la meditazione.

CAPITOLO 4 - Conclusioni

L'elettroencefalogramma è un esame non invasivo molto importante per comprendere ciò che avviene all'interno del nostro cervello. È una pratica relativamente recente, che è stata sviluppata nel corso dell'ultimo secolo, e costituisce un potente strumento nella prevenzione e nella scoperta di stati patologici che interessano l'encefalo. Oltre al suo utilizzo come mezzo di prevenzione e identificazione di malattie, esso può essere impiegato nell'indagine di nuovi campi della ricerca, come le pratiche olistiche dello yoga e della meditazione con l'obiettivo di identificare eventuali evidenze scientifiche che potrebbero renderle opzioni terapeutiche nel futuro.

I diversi studi analizzati hanno portato a risultati tra loro diversi, che talvolta possono sembrare contraddittori. La vera motivazione è che non vi può essere una risposta univoca al quesito: 'quali sono gli effetti dello yoga sulle onde cerebrali?'. La principale giustificazione va cercata nelle molteplici variabili in gioco. L'esperienza dei soggetti partecipanti agli studi, la loro età, lo stile di meditazione o yoga praticato, il momento in cui l'esame EEG è stato svolto, se prima, durante o dopo la pratica, sono tutti fattori che possono influenzare la risposta del cervello.

Sono state riscontrate, però, alcune modifiche ricorrenti nei tracciati elettroencefalografici che è bene citare. Sulla base della letteratura e dello studio svolto in laboratorio è possibile affermare che lo stato meditativo provoca l'aumento della densità di potenza delle onde alpha, suggerendo una notevole concentrazione e messa a fuoco dei pensieri. Inoltre, numerosi cambiamenti anche nella banda theta sono stati rinvenuti soprattutto durante la meditazione OM sia in soggetti neofiti sia in soggetti esperti. La banda theta, a differenza della banda alpha, in diversi studi viene associata ad un stato meditativo meno intenso, dove sono presenti distrazioni e dove la mente è libera di vagare senza che i pensieri vengano suddivisi in compartimenti stagni, suggerendo maggior rilassamento. La banda alpha risulta, invece, aumentare con l'incremento della profondità della meditazione, e quindi anche con l'esperienza dei praticanti.

È importante sottolineare che nei soggetti che praticano meditazione la capacità di concentrazione tende ad aumentare anche in momenti della vita quotidiana, riducendo lo stress e migliorando l'attenzione.

Ciò è stato dimostrato dall'aumento della banda beta durante alcuni test di reazione svolti in uno studio di Ronnie V. Daniel et al.³²

In conclusione lo yoga e la meditazione sono pratiche benefiche all'uomo, che giovano alla sua salute mentale e fisica. Queste attività favoriscono la chiarezza mentale, il controllo dello stress e delle emozioni negative, nonché il rallentamento della frequenza cardiaca e l'aumento dell'attenzione e della concentrazione. Esse possono quindi essere utilizzate come strumenti terapeutici e pertanto è essenziale promuovere la ricerca scientifica in questo campo.

Appendice

Data Extraction Form	
Article Title	<i>Changes in brain waves during silent repetition of OM: a crossover study from India</i>
Authors	<i>Sushma Pal, Shirley Telles, Acharya Balkrishna</i>
Year of Publication	<i>2022</i>
Journal	<i>Journal of Religion and Health</i>
Publication Type	<i>crossover study</i>
Details	
Participants	<i>15 adults, male, 25+-4.9 years old, 5 years of experience of meditation but no experience in the practice of aloud OM or silent OM.</i>
EEG Instrumentation	<i>monopolar scalp, Neurotravel LIGHT: ATES Medica Device, Italy</i>
FS (Sampling Frequency)	<i>250Hz</i>
Number of Channels	<i>4 active electrodes (Fz,Cz,Pz,Oz) referenced to the right earlobe (A2). 2 electrodes (Fp1 and Fp2) were used to detect eye movements.</i>
Pre-processing	<i>Low-cut filter set at 0.5Hz, high-cut filter set at 70Hz, 50Hz Notch filter. Data were visually examined for artifacts related to ocular movements or muscle activity.</i>
Frequency Analysis	<i>Spectral analysis was performed using FFT to determine energy and amplitude of 4 (beta (13–30 Hz), alpha (8–12 Hz), theta (4–7.5 Hz) and delta (0.5–3.5 Hz)) band frequencies of the EEG</i>
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	
Other instrumentation	
Aim of the Paper	<i>In this article the brain activity of 15 volunteers was assessed with EEG recordings before, during and after silent repetition of OM, silent repetition of the word 'one' and quiet rest. The aim of the paper is to understand if repeating a word with a significance would influence the EEG recording.</i>
Results	<i>The energy and relative energy of the theta band of the EEG increased during silent OM, while during silent 'one' repetition or quiet rest there were no changes.</i>

Data Extraction Form	
Article Title	<i>EEG spectral analysis on OM mantra meditation: a pilot study</i>
Authors	<i>Bhavna P.Harne, A.S.Hiwale</i>
Year of Publication	<i>2018</i>
Journal	<i>Applied Psychophysiology and Biofeedback</i>
Publication Type	<i>pilot study</i>
Details	
Participants	<i>23 naive meditators, engineering students, 18-22 years, (m=20.99, std=0.99), right-handed, no neurological illness. non-smokers, no habitual drinker, medication-free.</i>
EEG Instrumentation	<i>RMS India system, monopolar montages</i>
FS (Sampling Frequency)	<i>256 Hz</i>
Number of Channels	<i>16</i>
Pre-processing	<i>EEG filtered between 0.1 and 60 Hz</i>
Frequency Analysis	<i>FFT was performed for every 1s segment, power spectral density was obtained for each band using Welch technique, Hanning windowing function. The resulting values were normalized into a relative power. Mean relative power was computed for every electrode.</i>
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	
Other instrumentation	
Aim of the Paper	<i>The aim of the article was to analyze changes in the standard frequency bands (alpha, beta, theta, delta) after OM meditation on naive meditators. They had to perform loud OM chanting for 30 minutes and the EEG was recorded with close eyes before and after it.</i>
Results	<i>It was found that theta power increased after meditation. The theta power showed higher theta amplitude at all regions.</i>

Data Extraction Form	
Article Title	<i>Electroencephalography when meditation advances: a case-based time-series analysis</i>
Authors	<i>Jui-Feng Tsai, Shaw-Hwa Jou, WenChun Cho, Chien-Min Lin</i>
Year of Publication	<i>2013</i>
Journal	<i>Cogn Process</i>
Publication Type	<i>single case-based analysis</i>
Details	
Participants	<i>44 years old male, right handed, breath meditation for 2 years. No history of psychosis, epilepsy, alcoholism, narcolepsy or any current medication.</i>
EEG Instrumentation	<i>EEG 2000TX</i>
FS (Sampling Frequency)	<i>256 Hz</i>
Number of Channels	<i>2 positive electrodes over the frontal area (Fp1, Fp2) and one negative electrode (Oz). Right earlobe A2 as the ground.</i>
Pre-processing	<i>The artifact from eye-movement was removed by the built-in software.</i>
Frequency Analysis	<i>FFT was used with spectral resolution of 1 Hz. Frequency bands Theta (4-7Hz) and Alpha (8-13 Hz) were generated. The absolute powers of the two bands were calculated in μV^2.</i>
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	
Other instrumentation	<i>In order to monitor if an objective breath suspension state was reached it was used the thorax module of Embletta X10 system as a measure of chest circumstanes.</i>
Aim of the Paper	<i>The aim of this article is to evaluate the alpha and theta EEG powers in a single meditator at different stages of meditation (at rest, during breath meditation and reaching an advanced stage of meditation).</i>
Results	<i>During breath meditation higher values were found only in theta but not in alpha while during advanced meditation both alpha and theta revealed significantly increased activities.</i>

Data Extraction Form	
Article Title	<i>Increased Gamma brainwave amplitude compared to control in three different meditation traditions</i>
Authors	<i>Claire Braboszcz, B.Rael Cahn, Jonathan Levy, Manuel Fernandez, Arnaud Delorme</i>
Year of Publication	<i>2017</i>
Journal	<i>PLOS one</i>
Publication Type	<i>study</i>
Details	
Participants	<i>20 meditators from Vipassana tradition, 27 meditators from Himalayan Yoga tradition, 20 meditators from Isha Shoonya Yoga tradition and 32 controls. They were divided in 4 groups of 16 participants.</i>
EEG Instrumentation	<i>Biosemi active-two amplifier system and a 10-20 headcap standard</i>
FS (Sampling Frequency)	<i>down-sampled from 1024 Hz to 256 Hz</i>
Number of Channels	<i>64+8 channels in one system and 64-channel cap</i>
Pre-processing	<i>high pass filter at 1Hz using an infinite impulse response (IIR) filter with a transition bandwidth of 0.3 Hz and an order of 6. Artifacts were automatically removed with pop-rejcont function of EEGLAB software. They manually removed bad electrodes. Informax Independent component analysis was performed to reject eye movement and muscle artifacts.</i>
Frequency Analysis	<i>Spectral decomposition was applied, they segmented data into 1-second long epochs with no overlap and then performed Fourier transformation on these epochs after tapering the signal with a Hanning window. Spectral power was visualized in log scale.</i>
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	
Other instrumentation	<i>Vertical and horizontal electrooculogram was recorded</i>
Aim of the Paper	<i>This article aims to compare the effect of 3 different types of meditation traditions (Vipassana, Himalayan Yoga and Shoonya) on brain activity during meditative state and during instructed mind-wandering. Both meditation practitioners and meditation-naive participants were taken in consideration.</i>
Results	<i>All meditators showed higher 60-100 Hz gamma amplitude. The Vipassana group had higher 7-11 Hz alpha activity in both activities. Himalayan Yoga group had lower 10-11 Hz activity during meditation.</i>

Data Extraction Form	
Article Title	<i>Alpha and theta oscillation are inversely related to progressive levels of meditation depth</i>
Authors	<i>Sucharit Katyal and Philippe Goldin</i>
Year of Publication	<i>2021</i>
Journal	<i>Neuroscience of consciousness</i>
Publication Type	<i>study</i>
Details	
Participants	<i>13 long-term meditators (4 females and 9 men), years of training: 32.2+-9.7. 15 naive-meditators (6 females, 9 men). Age of the two groups: LTM: 56.8+-12.3, CTL: 53.5+-14.2. No psychiatric or neurological diagnoses.</i>
EEG Instrumentation	<i>Brain Vision ActiChamp system to measure continuous EEG activity</i>
FS (Sampling Frequency)	<i>1000Hz downsampled to 250 Hz</i>
Number of Channels	<i>32 channels</i>
Pre-processing	<i>Data were band-pass filtered between 0.1-80 Hz, then a notch filter was used at 60 Hz. ICA was used to remove muscular and ocular artifacts. Six channels were excluded for the final analysis.</i>
Frequency Analysis	<i>Data were divided into 60 sec epochs with 40 sec overlap. The average amplitude was calculated in the following frequency bands: theta (4.7 Hz), alpha (7-13 Hz), beta (15-25 Hz), gamma (30-50 Hz), by using MATLAB's FFT function. These measurements were averaged across all epochs and all channels per block.</i>
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	
Other instrumentation	<i>They also measured continuous respiration and pulse with sampling frequency of 128 Hz using a respiration belt and a photoplethysmogram.</i>
Aim of the Paper	<i>There are five levels of 'depth' in meditation: hindrances, relaxation, concentration, transpersonal qualities and nonduality. In this study the neural oscillatory and physiological correlates of the self-reported meditation depth are analyzed in long-term meditators (LTMs) and in meditation-naive controls(CTLs).</i>
Results	<i>CTLs experienced more 'hindrances', while LTMs experienced more 'transpersonal qualities' and 'nonduality'. In both groups theta amplitude increases negatively with the increase of meditation depth while alpha amplitude increases positively with the increase of meditation depth levels.</i>

Data Extraction Form	
Article Title	<i>Intermediate effects of mindfulness practice on the brain activity of college students: an EEG study</i>
Authors	<i>Hiep Do, Huy Hoang, Nghia Nguyen, Anh An, Hut Chau, Quang Khuu, Luan Tran, Thao Le, Anh Le, Kien Nguyen, Toi Vo, Huong Ha</i>
Year of Publication	2023
Journal	<i>IBRO Neuroscience reports</i>
Publication Type	<i>study</i>
Details	
Participants	<i>22 students: 15 females, 20.93+- 0.68 years old, 7 males, 20.43+-0.5 years old. Non-smokers, right-handed, paired vision, not high-dose of caffeine, no mental disorders.</i>
EEG Instrumentation	<i>realtime portable device (Emotiv EPOC+)</i>
FS (Sampling Frequency)	<i>128Hz</i>
Number of Channels	<i>14 channels+2 references</i>
Pre-processing	<i>5th-order Sinc filter, 50Hz and 60Hz digital Notch filter. The EEG was preprocessed by using Empirical Mode Decomposition with Masking signal (MEMD) to remove high frequency noises and low frequency oscillations. First, the signal was decomposed into 12 IMFs with a masking signal frequency of 50Hz, then the Hilbert transform was applied to each IMFs, finally the first IMF with the highest frequency and the last 3 IMFs with low-frequency were removed. The clean signal was finally obtained by summing up the remaining IMFs. After this, the signal underwent Independent Component Analysis to reduce eye-blink and eye movement artifacts.</i>
Frequency Analysis	<i>Power Spectral Density(PSD) was also performed and it was partitioned by 3 frequency ranges to obtain the spectral power of the bands theta (4-7Hz), alpha (8-13 Hz), and beta(15-30Hz). All spectral powers were normalized.</i>
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	<i>They also calculated Fractal dimensions (FD) by using Huguchi's techniques and coherence method to calculate the coherence of electrodes in pairs using the python MNE toolbox.</i>
Other instrumentation	
Aim of the Paper	<i>In this study the subject experienced 2 different states: attention (listening to a podcast) and mindfulness (meditation). 22 students participated in a eight weeks Mindfulness-based stress reduction course and their brain activities were recorded at week 4 and week 6. Brain dynamics were analyzed with Fractal Dimension and Coherence. The aim is to demonstrate how mindfulness state progress for novice practitioners.</i>

Results *The alpha Power Spectral Density increased in all brain areas during mindfulness in both weeks. Fractal Dimension increased in week 6 during meditation. The coherence of interhemispheric frontal and temporal regions increased in both weeks. An enhancement in brain complexity was found.*

Data Extraction Form

Article Title	<i>Heartfulness meditation alters electroencephalogram oscillations: an electroencephalogram study</i>
Authors	<i>Dwivedi Krishna, Krishna Prasanna, Basavaraj Angadi, Bikesh Kumar Singh, Shrivastava Anurag, Singh Deepeshwar</i>
Year of Publication	<i>2023</i>
Journal	<i>International Journal of Yoga</i>
Publication Type	<i>study</i>

Details

Participants	<i>61 participants: 28 heartfulness meditators with average age male of 31.54+-4.2 years old and female 30.04+-7.1 years old and 33 non meditators with average age male of 25+-8.5 and female 23.45+-6.5. People with auditory and visual problems, neuropsychiatry problems, history of drug and alcohol abuse were excluded from the study.</i>
EEG Instrumentation	<i>EGI system of Net Amps 300 amplifiers</i>
FS (Sampling Frequency)	<i>250kHz</i>
Number of Channels	<i>128 channels, the reference channel was placed on the vertex sensor (Cz)</i>
Pre-processing	<i>Notch filter was applied at 50 Hz. Low and high pass filters were applied at 30Hz and 0.3Hz.</i>
Frequency Analysis	<i>Discrete Wavelet Transform (DWT) was used to decompose the signal into different frequency components in order to derive EEG band information(Theta, Delta, Alpha and Beta). PSD was calculated with MATLAB by using Welch method (a modified approach of FFT) at four different frequency bands: delta (0.3-4 Hz), theta (4-8Hz), alpha (8-12Hz), beta (12-30Hz).</i>
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	
Other instrumentation	
Aim of the Paper	<i>The aim of this study is to better understand the impact of Heartfulness Meditation (HM) on the frontal activity of the brain and on self-reported anxiety levels. The study was conducted in both HM meditators and non meditators.</i>

Results *The results showed a higher state of mindfulness and lower state of anxiety. In particular PSD outcomes showed higher theta and alpha power and lower beta and delta in HM meditators compared to non meditators. Also coherence was found to be higher in theta, alpha, and beta bands in HM meditators.*

Data Extraction Form

Article Title *Effective stress management through meditation: an electroencephalograph-based study*

Authors *Ronnie V. Daniel, Greeshma Sharma, Sushil Chandra*

Year of Publication *2022*

Journal *International Journal of Yoga*

Publication Type *study*

Details

Participants *18 male subjects, 20-25 years old, healthy, without brain disorders*

EEG Instrumentation *low-cost EEG device Emotiv EPOC*

FS (Sampling Frequency) *128Hz*

Number of Channels *14 channels*

Pre-processing *The EEG signal was processed using EEGLAB software in MATLAB, a low pass filter of 40 Hz was used, and also a high-pass filter of 0.5Hz. The power noise interference was removed with a notch filter of 50Hz. ICA was applied to remove artifacts like eye blinks and eye movements.*

Frequency Analysis *The signal was decomposed with Haar wavelet transform. It was decomposed to the beta band corresponding to A2 using Daubechies 4.*

Alpha Peak

Entropy *Entropy was calculated by using the ApEn index that quantifies the irregularity or complexity of the system. They selected the length pattern $m=3$ and the filtering level of $r=20\%$ as the two parameters. During postcondition ApEn values decreased.*

Other Analysis

Other instrumentation

Aim of the Paper *The present study wants to investigate the effect of meditation on the brain waves when participants face stressful events. The data were collected while participants underwent a Determination Test (DT) before and after meditation. One control group listened to relaxation music while the experimental group practiced yoga.*

Results *The experimental group performed less errors and improved the performance of the DT. Increased complexity of beta band was observed for ApEn signifying efficient utilization of cognitive resources while performing the task.*

Data Extraction Form	
Article Title	<i>Exploration of lower frequency EEG dynamics and cortical alpha asymmetry in long-term Rajyoga Meditators</i>
Authors	<i>Kanishka Sharma, Sushil Chandra, Ashok Kumar Dubey</i>
Year of Publication	<i>2017</i>
Journal	<i>International Journal of Yoga</i>
Publication Type	<i>study</i>
Details	
Participants	<i>21 healthy right handed male, 43.9+-3.96 years old, who practiced yoga for 10 years (mean of total amount of hours spent in meditation = 18457h) and 21 non meditators , 41.23+-3.95 years old. Both groups were free from cardiac, pulmonary, and other nervous system diseases. No artificial pacemaker implanted. No cigarettes, alcohol or any therapeutics was assumed within the last 6 months.</i>
EEG Instrumentation	<i>eego Software and 64 wave guard cap (ANT Corp, The Netherlands)</i>
FS (Sampling Frequency)	<i>1024 Hz</i>
Number of Channels	<i>64 channel cap, 61 channel active</i>
Pre-processing	<i>Signals were filtered at 0.5-75 Hz and amplified by eego sports ultramobile EEG and EMG recording amplifiers.</i>
Frequency Analysis	<i>Spectral power was obtained for theta, alpha and alpha subbands: alpha 1 (8-10 Hz) and alpha 2 (10-13 Hz). The log power transformations were calculated, the spectral percentage power of theta, alpha 1 and 2 bands was computed using Welch's method. Mean power was calculated across each region.</i>
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	
Other instrumentation	
Aim of the Paper	<i>The purpose of this study is to analyze the effect of regular meditation practice on low-frequency bands of EEG of long-term Rajyoga meditators. Lower frequency EEG bands were analyzed in resting state for a control group of people and during meditation for the long-term meditator participants.</i>
Results	<i>Results revealed high-band power in alpha and theta spectra in meditators. Cortical asymmetry was found to be high in frontal and in parietal channels. This indicates the contribution of smaller frequency bands in maintaining meditative experience.</i>

Data Extraction Form	
Article Title	<i>Mental stress: Neurophysiology and its regulation by Sudarshan Kriya Yoga</i>
Authors	<i>Sushil CHandra, Amit Kumar Jaiswal, Ram Singh, Devendra Jha, Alok Prakash Mittal</i>
Year of Publication	<i>2016</i>
Journal	<i>International Journal of Yoga</i>
Publication Type	<i>study</i>
Details	
Participants	<i>20 healthy humans (10 men, 10 female), 21-30 yrs old, right-handed, non-smokers, free from health problems and having normal temperature, blood pressure and vision.</i>
EEG Instrumentation	<i>low-cost portable and wireless 14 channels Emotiv Epoc instrument</i>
FS (Sampling Frequency)	<i>128Hz</i>
Number of Channels	<i>14 channels but considered just 6 channels (AF3, AF4, F7, F8, F3, F4)</i>
Pre-processing	<i>The signal was filtered with a second order butterworth band-pass filter, the filtered signals were held at a threshold between -100μV and 100μV.</i>
Frequency Analysis	<i>The signals were decomposed by using wavelet packet decomposition using db4 for separation of alpha band to study the variations. Alpha power of the 6 channels were calculated in pre and post condition by Welch method.</i>
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	
Other instrumentation	<i>Also ECG was performed in this study in order to evaluate HRV parameters before and after the performance.</i>
Aim of the Paper	<i>During this study, DT was computed on two different groups of subjects: people that performed yoga and a control group. Also ECG signals for stress regulation were analyzed. The aim of the article is to evaluate how EEG signals, ECG and DT change between yoga practitioners and non-practitioners.</i>
Results	<i>EEG, ECG and DT showed a significant decrement in mental stress, also with a reduction in alpha band, and improvement in cognitive performance after Sudarshan Kriya yoga (SKY).</i>

Data Extraction Form	
Article Title	<i>The effect of Juingong meditation on the Theta to alpha ratio in the temporoparietal and anterior frontal EEG recordings</i>
Authors	<i>Joohyun Kim, Miji Kim, Miran Jangn Junyeop Lee</i>
Year of Publication	<i>2022</i>
Journal	<i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>
Publication Type	<i>study</i>
Details	
Participants	<i>23 participants (5 male, 18 female), aged from 26 to 77 years old with mean = 55.3+-14.01</i>
EEG Instrumentation	<i>Device: Muse from InteraXon, model MU-02, powered by battery.</i>
FS (Sampling Frequency)	<i>256 Hz</i>
Number of Channels	<i>4 active channels (TP9, AF7, AF8, TP10) + reference(FPz)</i>
Pre-processing	<i>The data was preprocessed with EEGLAB of MATLAB. FIR BandPass filter was used (keeping frequency between 1Hz and 70Hz), then 60Hz line noise was removed.</i>
Frequency Analysis	<i>Short time FFT was applied. A Hanning window was applied for tapering; the frequency definition was set at 0-4.0Hz for delta wave, 4-8Hz for theta, 8-13 for alpha, 13-30 for beta, over 30 for gamma. FFT was used to calculate the power of each channel, then also the average value was performed.</i>
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	
Other instrumentation	
Aim of the Paper	<i>The aim of the study is to study the changes in brain waves caused by Juingong meditation. The EEG measurements were conducted when the subjects were meditating and when they were practicing instructed mind wandering.</i>
Results	<i>In the Juingong meditation the power of alpha was higher than the power of theta in the temporal parietal lobe channel. So more alpha waves were present in that part of the brain during Juingong practices, meaning a decrease in theta to alpha ratio. The effect of this technique on the brain is immediate.</i>

Data Extraction Form	
Article Title	<i>Changes in the Electrical Activity of the Brain in the Alpha and Theta bands during Prayer and Meditation</i>
Authors	<i>Paweł Dobrakowski, Michał Błaszczewicz, Sebastian Skalski</i>
Year of Publication	<i>2020</i>
Journal	<i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>
Publication Type	<i>study</i>
Details	
Participants	<i>17 women and 19 men aged between 27-64 years old with at least 5 years of experience in meditation/prayer. By analyzing the meditation/prayer technique, two groups were composed: 14 people were Buddhist meditators and 15 people were Christian prayers.</i>
EEG Instrumentation	<i>24-channel Deymed TruScan apparatus</i>
FS (Sampling Frequency)	<i>1024 Hz</i>
Number of Channels	<i>19 electrodes</i>
Pre-processing	<i>50 Hz line filter, high-pass and low-pass analog filters (1-40 Hz)</i>
Frequency Analysis	<i>Once artifacts were removed, the mean result was subjected to FFT using TruScan Explorer. They focused on the occipital electrodes where alpha was more present. The band between Lower Transition Frequency and Higher Transition Frequency was identified as alpha. Lower Transition Frequency and Higher Transition Frequency were provided by the crossings between opened and closed eyes spectra. The range below 4 Hz was determined as theta.</i>
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	
Other instrumentation	
Aim of the Paper	<i>The purpose of this study was to understand if various forms of spirituality have a different impact on the electrophysiological activity of the brain. The effects of Focused attention meditation (FAM, it's a practice that helps the wandering mind to focus on a particular object) and prayer were analyzed in two groups of people. The first group was composed by Buddhist meditators while the second group by Christians. EEG signal was recorded in both groups during meditation/prayer and at relaxation.</i>
Results	<i>In Buddhist meditators a higher theta activity was exhibited at Cz compared to relaxation. Spiritual Openness in them favored a higher theta amplitude at Pz during relaxation. The study did not indicate significant differences in frontal areas which were often indicated in previous studies.</i>

Data Extraction Form	
Article Title	<i>A critical analysis on characterizing the meditation experience through the electroencephalogram</i>
Authors	<i>Camila Sardeto Deolindo, Mauricio Watanabe Ribeiro, Maria Adelia Aratanha, Rui Ferreira Afonso, Mona Irmischer, Elisa Harumi Kozasa</i>
Year of Publication	<i>2020</i>
Journal	<i>Frontiers in Systems Neuroscience</i>
Publication Type	<i>review</i>
Details	
Participants	
EEG Instrumentation	
FS (Sampling Frequency)	
Number of Channels	
Pre-processing	
Frequency Analysis	
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	<i>In this review also synchrony, evoked potential, source analysis are taken in consideration.</i>
Other instrumentation	
Aim of the Paper	<i>In this article the authors want to focus on the usage of EEG as a tool to study meditation practices in healthy people. They also discussed the signal processing techniques and their limitations or advantages.</i>
Results	<i>By analyzing the literature there are a lot of different outcomes. The most common is that the spectral results point to modulations mostly in the alpha and theta bandwidths. Alpha and theta are strong correlates of meditative activity.</i>

Data Extraction Form	
Article Title	<i>Reorganization of the brain and heart rhythm during autogenic meditation</i>
Authors	<i>Dae-Keun Kim, Jyoo-Hi Rhee, Seung Wan Kang</i>
Year of Publication	<i>2014</i>
Journal	<i>Frontiers in Integrative Neuroscience</i>
Publication Type	<i>study</i>
Details	
Participants	<i>14 autogenic meditators (8 females and 6 males), aged between 29-59 years old, age mean =43.5+-7.9. They completed a 8 weeks autogenic standard training course and they have been meditating everyday for 1 month after the course. No cardiovascular or neurological conditions.</i>
EEG Instrumentation	<i>Brainmaster Discovery 24E Digital EEG system</i>
FS (Sampling Frequency)	<i>256 Hz</i>
Number of Channels	<i>19 channels, referenced to the earlobes, with the ground at AFz.</i>
Pre-processing	<i>band-pass filter 0.43-80Hz</i>
Frequency Analysis	<i>EEG power spectra was computed with FFT, dividing the signal in 4s epochs, with a resolution of 0.25Hz. The following frequency bands were found: delta 2-4Hz, theta 4-8Hz, alpha 8-12Hz, beta 12-25Hz, high beta 25-30Hz, gamma 30-40Hz, high gamma 40-50Hz. The absolute power and then the relative power was performed for every frequency band for both conditions (baseline and meditation) for each electrode.</i>
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	<i>The analysis of coherence was also computed in the study.</i>
Other instrumentation	<i>A photoplethysmographic sensor was attached over the index finger of the left hand in order to monitor real-time autonomic nervous system activity. This was needed in order to study HRV.</i>
Aim of the Paper	<i>This study aims to underline the changes in heart coherence that are associated with EEG changes during meditation. EEG and HRV have been measured before and during autogenic meditation in 14 subjects.</i>
Results	<i>Results showed significant decrease in delta bands and in high beta bands for absolute power, significant decrease in delta bands and increase in alpha bands for relative power and significant increases in coherence for alpha, beta, high beta, gamma and high gamma bands were observed during 3 min epochs of heart coherent meditation compared to 3 min epochs of heart non coherence at baseline.</i>

Data Extraction Form	
Article Title	<i>Increasing in Theta Oscillatory Activity During Episodic Memory Retrieval following Mindfulness Meditation Training</i>
Authors	<i>Erika Nyhus, William Andrew Engel, Tomas Donatelli Pitfield, Isabella Marie Wang Vakkur</i>
Year of Publication	2019
Journal	<i>Frontiers in Human Neuroscience</i>
Publication Type	<i>study</i>
Details	
Participants	<i>51 people participated in the experiment, 11 were discarded. 40 subjects were analyzed. The mindfulness experimental group was composed by 10 males and 10 females aged between 18 and 22 years old. The control group was composed of 7 males and 13 females also aged between 18 and 22. Right-handed and English speakers.</i>
EEG Instrumentation	<i>64-channel actiCHamp system</i>
FS (Sampling Frequency)	<i>500Hz</i>
Number of Channels	<i>64 channels</i>
Pre-processing	<i>Signal was preprocessed using EEGLab, downsampled to 250 Hz and high pass filter at 1Hz and low pass filtered at 100 Hz. The EEG was baseline corrected, ICA was run to remove artifacts</i>
Frequency Analysis	<i>Morlet wavelet transformation was performed. Average spectral power changes relative to baseline in frontal and parietal channels were compared across conditions.</i>
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	
Other instrumentation	
Aim of the Paper	<i>This study evaluated the effect of meditation on episodic memory retrieval and on theta bands of EEG. One experimental group underwent 4 weeks of mindfulness meditation training and it was compared to a control group. Before and after the training the experimental group completed a Five Facet Mindfulness Questionnaire. They also were presented with some adjectives and they had to imagine a scene correlated to the adjective (Place Task) or to judge its pleasantness (Pleasant Task). Then they performed a recognition test where they had to decide which task was performed with each word (Old Place task/Old pleasant Task) or 'New' if they never encountered that adjective. During the recognition test, the EEG was recorded.</i>

Results	<i>The scores were greater in the post-training than before-training in the meditators group. EEG revealed that for the experimental group, theta power was greater post-training in right frontal and left parietal channels. This suggested that mindfulness meditation increases memory retrieval and theta oscillations in a fronto-parietal network.</i>
----------------	---

Data Extraction Form

Article Title	<i>Positive Effects of mindfulness-Based Training on Energy Maintenance and the EEG correlates of sustained attention in a cohort of nurses</i>
Authors	<i>Kian F.Wong, James Teng, Michael W.L. Chee, Kinjal Doshi and Julian Lim</i>
Year of Publication	<i>2018</i>
Journal	<i>Frontiers in Human Neuroscience</i>
Publication Type	<i>study</i>

Details

Participants	<i>46 nurses, 10 were excluded. The remaining 36 nurses had a mean age of 30.3+-8.52.</i>
EEG Instrumentation	<i>BrainProducts MR+amplifier with an actiCAP</i>
FS (Sampling Frequency)	<i>250Hz</i>
Number of Channels	<i>64 channels referenced at FCz and ground at Fpz</i>
Pre-processing	<i>EEG was processed with EEGLAB, band-pass filter 1-30Hz. ICA was used to remove eye movements.</i>
Frequency Analysis	<i>The power spectrum was calculated withEEGLAB 'spectopo' function across 6 scalp regions.</i>
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	
Other instrumentation	<i>20 min PVT was performed to test the attention of the participants.</i>
Aim of the Paper	<i>In this study the aim is to investigate if Mindfulness based training (MBT) can improve sustained attention in a group of nurses. They all participated in an 8-week MBT course and changes in attention were measured with Psychomotor Vigilance task (PVT). EEG was collected during PVT and during a brief period of meditation.</i>

Results	<i>Among the 8 weeks PVT revealed that attention decreased but this was mitigated thanks to MBT. Two markers of attention were selected in EEG: P3 event related potential is associated with directed attention and alpha band activity reflects also attention. Alpha and theta power increased during meditation increase thanks to training.</i>
----------------	--

Data Extraction Form	
Article Title	<i>Dynamic correlation between heart and brain rhythm during Autogenic meditation</i>
Authors	<i>Dae-Keun Kim, Kyung-Mi Lee, Jongwha Kim, Min-Cheol Whang, Seung Wan Kang</i>
Year of Publication	2013
Journal	<i>Frontiers in Human Neuroscience</i>
Publication Type	<i>study</i>
Details	
Participants	<i>13 autogenic meditators, (F=7, M=6) aged 43.5+-7.9 years. All participants had been meditating daily at least for 1 month after they have finished the course.</i>
EEG Instrumentation	<i>Brainmaster Discovery 24E Digital EEG system</i>
FS (Sampling Frequency)	256 Hz
Number of Channels	<i>19 channel ECI electrode cap with references at ear lobes, and ground at AFz.</i>
Pre-processing	<i>The signal was recorded with a band pass of 0.43-80Hz, muscle and movement related artifacts were removed with ICA.</i>
Frequency Analysis	<i>Power spectra was computed with FFT, based on 4s epocs (0.25 Hz resolution). Frequency bands were defined as follows: delta 1-4Hz, theta 4-8Hz, alpha 8-12Hz, beta 12-32Hz. Relative alpha power was averaged for all 19 channels.</i>
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	<i>Coherence measure was computed for all 171 intrahemispheric and interhemispheric pairwise combinations of electrodes.</i>
Other instrumentation	<i>Photoplethysmography (PPG) was used to measure heart activities and in particular HRV time series. Power spectral density was obtained and Heart Coherence was calculated.</i>
Aim of the Paper	<i>The aim of this study is to assess whether or not there is some correlation between physiological parameters of the brain and the heart under meditative state. In particular the article focuses on alpha band activity and heart coherence: some connectivity between them could be useful to find mechanisms how interactions between brain and heart facilitate self-organization processes in the human body. The participants underwent a 8 weeks training course of Autogenic Meditation, then the measurements were done during baseline and during meditative state.</i>
Results	<i>Heart coherence increased significantly during meditative states, whole brain alpha activities, average relative alpha, alpha coherence also increased, parietal peak alpha frequencies were significantly decreased. No certain evidence was found about how eeg alpha activity and heart coherence are coupled in the meditation compared to the baseline.</i>

Data Extraction Form	
Article Title	<i>The effects of concentrative meditation on the electroencephalogram in novice meditators</i>
Authors	<i>Alexander T.Duda, Adam R.Clarke, Frances M. De Biasio, Thomas W.Rout, Robert J.Barry</i>
Year of Publication	2021
Journal	<i>Clinical EEG and Neuroscience</i>
Publication Type	study
Details	
Participants	<i>49 individuals began the study but just 33 were taken in consideration at the end. 17 were females, 16 males, aged between 19 and 33 years (M=23.5+-4.5). No drugs, alcohol, caffeine or tobacco for at least 4 h before each meditation session.</i>
EEG Instrumentation	
FS (Sampling Frequency)	500Hz
Number of Channels	19 channels referenced to the left earlobe (A1).
Pre-processing	<i>The signal was recorded with a band pass of 0.15-70Hz, a notch filter at 50 Hz was used. EEG was corrected with EOG datas, visual inspection was completed and bad channels were manually interpolated, other processing was done by using EEGLAB in MATLAB.</i>
Frequency Analysis	<i>90 sequential epochs of 2s were extracted at resting condition and during meditation. For each artifact free epoch, 10% Hamming window was applied and the signal underwent Discrete Fourier Transformation with a resolution of 0.5Hz. Mean spectra were computed for resting and meditative states.</i>
Alpha Peak	<i>A prominent alpha peak is evident at 9.5 Hz in eye-closed resting and at 10.0Hz in meditation state, both maximal occipitally.</i>
Entropy	
Other Analysis	
Other instrumentation	<i>Electrooculogram (EOG) was used to record horizontal and vertical eyes movements. EOG was necessary to remove artifacts from EEG.</i>
Aim of the Paper	<i>The purpose of this study is to investigate alpha and theta frequency components in a group of people during eyes-closed resting and concentrative meditation states before and after one month of meditation practice and examine their differences.</i>
Results	<i>The results showed an increase (in the frequency) in Delta-Theta-Alpha, Low Alpha, High Alpha, Alpha-Beta in the second session during the meditation state. Only Low Alpha showed an increase while resting. Spectra amplitude of the alpha band appeared reduced in the meditation compared to eye-closed condition, contrary to the traditional EEG studies on meditation that show an increase in alpha activity.</i>

Data Extraction Form	
Article Title	<i>Changes in trait brainwave power and coherence, state and trait anxiety after three-month transcendental meditation (TM) practice</i>
Authors	<i>Helena Tomljenović, Dražen Begić, Zora Maštrović</i>
Year of Publication	2015
Journal	<i>Psychiatria Danubina</i>
Publication Type	<i>study</i>
Details	
Participants	<i>12 volunteers participants (7 men, 5 women) with average age M=26.5+-5. All of them were right handed, free from serious diseases. 9 participants were naive-meditators, 3 had already some experience.</i>
EEG Instrumentation	<i>Nicolet's BEAM device</i>
FS (Sampling Frequency)	256 Hz
Number of Channels	
Pre-processing	<i>Signals were digitalized with high-pass filter of 0.5Hz and low-pass filter of 30 Hz, artifacts were removed thanks to electrooculogram and then also by visual analysis.</i>
Frequency Analysis	<i>Signals were transformed by using FFT. The results were presented as absolute power spectral values for individual segments of EEG spectrum. delta 0.5-4 Hz, theta 4-8 Hz, alpha 8-13 Hz, beta 13-30 Hz.</i>
Alpha Peak	.
Entropy	
Other Analysis	
Other instrumentation	<i>Electrooculogram (EOG) was used to record horizontal and vertical eyes movements. EOG was necessary to remove artifacts from EEG</i>
Aim of the Paper	<i>This article aimed to study the effects of transcendental meditation (TM) on baseline (not during practice) and to analyze the effects of TM on anxiety. EEG was conducted on a group of people before and after a three months meditation training. Endlers Multidimensional Anxiety Scales were used to assess the level of anxiety.</i>
Results	<i>Changes in EEG were observed in theta band: theta power decreased on the left hemisphere, not on the right. Increased theta coherence was found. Alpha power decreased on channel T3. A trend for power decreasing was found on the left, a trend for power increasing was found on the right hemisphere. beta band decreased on channel O2. Decrease in state anxiety was found. It seemed that the left hemisphere is more sensitive to meditation than the right and that most of the changes were found in the occipital and temporal areas, less in central and frontal. It was visible that for the 3 non-naive meditators, alpha power increased.</i>

Data Extraction Form	
Article Title	<i>Electrophysiological Correlates of long-term Soto Zen Meditation</i>
Authors	<i>Henrique Adam Pasquini, Guaraci Ken Tanaka, Luis Fernando Hindi Basile, Bruna Velasques, Mirna Delposo Lozano, Pedro Ribeiro</i>
Year of Publication	<i>2014</i>
Journal	<i>BioMed Research International</i>
Publication Type	<i>study</i>
Details	
Participants	<i>31 subjects (9 women and 22 men), with ages ranging between 19 and 66 years (M=40+-11.99). No visual or auditory problems, no neuropsychiatric disorders, no history of drugs and alcohol abuse. 14 were non meditators, 17 were habitual meditators with at least 2 years of practice 3 times a week.</i>
EEG Instrumentation	<i>Quik-Cell, Quick-Neuromedical Supplies</i>
FS (Sampling Frequency)	
Number of Channels	<i>128 channels</i>
Pre-processing	<i>Data processing was done with the help of Scan 4.3 software plan. Visual inspection was used for removal of artifacts.</i>
Frequency Analysis	<i>Fourier transform was performed. A band power analysis in the frequencies of interest was done: for theta (centered at 5 Hz), for alpha (centered at 10 Hz), for beta (centered at 18 Hz, 20 Hz and 25 Hz), for both evoked and induced components. The intervals where the peaks were analyzed were: 3-8 Hz for theta, 8-12 Hz for alpha, 13-30 Hz for beta dividing it also in beta 1 (14-17 Hz), beta 2 (17-23 Hz) and beta 3 (23-30 Hz).</i>
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	
Other instrumentation	
Aim of the Paper	<i>The article aimed to investigate the electrophysiological changes in long-term meditators. The purpose was to see if induced beta power would present an increase in meditators and in theta/beta ratio decreased. All the participants performed an attention task and a passive observation task (just keep their eyes fixed on the monitor of the computer) called "adapted meditation".</i>
Results	<i>The opposite was found: no significant changes were found in beta frequency, there was an increase in theta induced power and increase of induced power ratio (theta/beta). This suggested that state of mindfulness is much more related to the permissivity of distractions by the meditators.</i>

Data Extraction Form	
Article Title	<i>Hemisphere specific EEG related to alternate nostril yoga breathing</i>
Authors	<i>Shirley Telles, Ram Kumar Gupta, Arti Yadav, Shivangi Pathak and Acharya Balkrishna.</i>
Year of Publication	<i>2017</i>
Journal	<i>BMC Research Notes</i>
Publication Type	<i>study</i>
Details	
Participants	<i>13 healthy men, aged between 18 and 45 years (M=24.2+-4.7), with experience of yoga breathing. They were right handed, no medications or presence of any illness.</i>
EEG Instrumentation	<i>Ag/AgCl disc electrodes.</i>
FS (Sampling Frequency)	<i>250 Hz</i>
Number of Channels	<i>6 electrodes (FP1, FP2, C3, C4, O1, O2)+ 2 references (A1, A2).</i>
Pre-processing	<i>Low cut filter was set at 2Hz, high cut filter set at 30 Hz (not including gamma frequencies). Data were visually inspected for artifacts due to eye or body movements.</i>
Frequency Analysis	<i>FFT was performed, the relative power of each frequency band was calculated over the total power. The results were: delta (0.5-3.5 Hz), theta (4-7.5 Hz), alpha (8-12 Hz) and beta (13-30 Hz). The average amplitude were obtained for each band.</i>
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	<i>The coherence was calculated to assess the hemispheric symmetry.</i>
Other instrumentation	
Aim of the Paper	<i>This study wanted to investigate the effects of alternate nostril yoga breathing (ANYB) on cerebral hemisphere asymmetry and changes in EEG standard bands. Every participant had to perform 3 different exercises: ANYB, breath awareness and quiet sitting (QS) on separate days.</i>
Results	<i>There were no changes in the cerebral hemisphere symmetry, relative power of theta decreased significantly during ANYB at C4 and O2 and beta amplitude was lower after ANYB. During quiet sitting beta power increased while the amplitude of alpha reduced. This means that ANYB is good for calmness and relaxation while quiet sitting is associated with arousal.</i>

Data Extraction Form	
Article Title	<i>Shifting Baselines: Longitudinal reductions in EEG beta band power characterize resting brain activity with intensive meditation</i>
Authors	<i>Alea C.Skwara, Brandon G.King, Anthony P.Zanesco, Clifford D.Saron</i>
Year of Publication	<i>2022</i>
Journal	<i>Mindfulness</i>
Publication Type	<i>study</i>
Details	
Participants	<i>60 participants (32 females, 28 males), average age M= 48 years, range from 22 to 69. They were randomly divided into two 30 people groups: one training group and one control group. Participants were screened for medical conditions and at the end the training group was composed of 29 people.</i>
EEG Instrumentation	<i>BioSemi ActiveTwo system</i>
FS (Sampling Frequency)	<i>2048 Hz</i>
Number of Channels	<i>88 channel equidistant montage</i>
Pre-processing	<i>The EEG recordings were done using a pass-band filter from 0.1 to 200 Hz and then referenced to the average of all remaining channels. Datas were processed by using BESA 5.2. Extreme artifacts were removed manually.</i>
Frequency Analysis	<i>Power spectra were computed in MATLAB FieldTrip package using multi-tapered power spectral density estimation and a Hanning Window. Frequency bands were defined relative to each individual's peak alpha frequency (IAF). The results were: delta 1.0-3.93 Hz, theta 3.93-5.90 Hz, , alpha 5.90-11.80 Hz, alpha1 5.90-7.86 Hz, alpha 2 7.87-9.83 Hz, alpha 3 9.83-11.80 Hz, beta 11.80-30 Hz, gamma 30-50 Hz. The results were similar to the standard intervals. Power was defined within each band.</i>
Alpha Peak	<i>IAF were calculated for each channel separately and then averaged across all channels to obtain one value.</i>
Entropy	
Other Analysis	<i>SOBI method was used to separate neural and non-neural signal sources. Non-neural sources were removed. Matlab CSD Toolbox was used to calculate scalp current density (CSD).</i>
Other instrumentation	
Aim of the Paper	<i>This article wanted to demonstrate that meditation training has an influence on the brain activity at resting state. It was hypothesized that 3 months of residential training would alter brain oscillatory activity during quiet rest. It was expected that these changes would appear in the reduction of beta band and in alpha frequency.</i>
Results	<i>Longitudinal reductions in EEG power in beta waves were observed . Also some less evident reduction in alpha were seen.</i>

Data Extraction Form	
Article Title	<i>The EEG spectral properties of meditation and mind wandering differ between experienced meditators and novices</i>
Authors	<i>Julio Rodriguez-Larios, Eduardo A.Bracho Montes de Oca, Kaat Alaerts</i>
Year of Publication	<i>2021</i>
Journal	<i>Neuroimage</i>
Publication Type	<i>study</i>
Details	
Participants	<i>58 participants were divided in two groups, 29 meditators and 29 non-meditators. Meditators were composed of 12 males and 17 females, with average age 47.31+-11.21 years old, with at least 3 years of meditation practice. Non-meditators were composed of 14 males and 15 females, with average age 47.13+-13.93.</i>
EEG Instrumentation	<i>Nexus-32 system and BioTracesoftware</i>
FS (Sampling Frequency)	<i>512 Hz</i>
Number of Channels	<i>19 electrode cap + 2 references and one ground</i>
Pre-processing	<i>Pre-processing was done with EEGLAB in MATLAB. EEG data were filtered between 1 and 40 Hz. ICA was performed and an automatic component rejection was applied to remove artifacts.</i>
Frequency Analysis	<i>The spectrum between 2 and 30 Hz was obtained by Morlet wavelet transform with a wave number of 6 cycles. \$ parameters of interest were assessed: power at each frequency, 1/f trend slope, individual alpha power(IAP) and individual alpha frequency (IAF). The average spectrum was calculated in the meditation with sampling condition</i>
Alpha Peak	<i>In order to estimate individual alpha, a find local maxima algorithm was employed to find a peak between 7 and 14 Hz above the 1/f trend. The amplitude of thiis peak and its frequency were calculated relatively to the 1/f trend.</i>
Entropy	
Other Analysis	
Other instrumentation	
Aim of the Paper	<i>This article wanted to assess how the experience of meditation affects the EEG spectral modulation. Two groups of people (one group of meditators and one group of control) underwent an EEG recording during rest, during uninterrupted breath focus meditation, and during an interrupted breath focus meditation.</i>
Results	<i>Meditators showed greater levels of focus and reduced mind wandering. Meditators showed a decrease in frequency/amplitude and steeper 1/f slope during meditation. Controls reported an increase in alpha amplitude during mind wandering relative to breath focus periods.</i>

Data Extraction Form

Article Title	<i>Effects of yoga on brain waves and structural activation: a review</i>
Authors	<i>Radhika Desai, Anisha Tailor, Tanvi Bhatt</i>
Year of Publication	<i>2015</i>
Journal	<i>Complementary Therapies in Clinical Practice</i>
Publication Type	<i>review</i>

Details

Participants	
EEG Instrumentation	
FS (Sampling Frequency)	
Number of Channels	
Pre-processing	
Frequency Analysis	
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	
Other instrumentation	

Aim of the Paper *This review aimed to analyze the existing literature on the effects of yoga on brain waves and structural changes and activation.*

Results *It was concluded that breathing, meditation and posture-based yoga increase overall brain activity. It seems from various studies that alpha waves tend to increase with yoga training, but more investigations are needed to understand whether yoga asanas or pranayama has a more profound effect. During alternate nostril breathing beta power seemed to increase. Also theta seemed to increase during certain practices.*

Data Extraction Form	
Article Title	<i>What does it mean to be Zen: marked modulations of local and interareal synchronization during open monitoring meditation</i>
Authors	<i>Anne Hauswald, Teresa Übelacker, Sabine Leske, Nathan Weisz</i>
Year of Publication	<i>2015</i>
Journal	<i>Neuroimage</i>
Publication Type	<i>study</i>
Details	
Participants	<i>11 Zen meditators with different levels of experience, 6 female and 5 male, with mean age 50 years old. The average of meditation experience was 3418h or 12 years, ranging from 4 weeks to 25 years. With the exception of one person, all were free from neurological and psychiatric diseases, and all were free of drug and medication use.</i>
EEG Instrumentation	<i>ANT (Advanced Neuro Technology, Enschede, Netherlands) system</i>
FS (Sampling Frequency)	<i>2048 Hz</i>
Number of Channels	<i>128 channels + ground electrode attached to the cheekbone</i>
Pre-processing	<i>Data were analyzed in Matlab with the FieldTrip toolbox. They were epoched in 2s segments and filtered with 1 Hz high-pass Butterworth filter. All data with large non-physiological artifacts were removed. Data were downsampled to 500 Hz. ICA was performed to identify eye movements and heart muscle activity that were removed.</i>
Frequency Analysis	<i>FFT was applied. The frequency band was divided into low-frequencies (<30 Hz) and high frequencies (30-245 Hz), with steps of 1 Hz for low frequencies and 5 Hz for high frequencies. Power spectra was calculated, meditation data were normalized.</i>
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	<i>Source analysis was done by projecting electrode level Fourier coefficients into source space using spatial filters. Common spatial filters were calculated for both resting and meditation states. Source level power spectra was derived and meditation data were normalized.</i>
Other instrumentation	<i>mindfulness in daily life situations was measured using MAAS. Electromyography (EMG) recordings were used to control neck muscle activity.</i>
Aim of the Paper	<i>In this study the brain activity related to the modulation of the state of consciousness and attention due to meditation is investigated. EEG was recorded from participants with different degrees of experience during Zen meditation (20min) and at rest (5min). Mindfulness Attention and Awareness Scale (MAAS) was used.</i>
Results	<i>It was found that MAAS is strictly correlated with gamma power and in particular with high frequency gamma (100-245Hz) during meditation. High levels of mindfulness increased high-frequency gamma.</i>

Data Extraction Form	
Article Title	<i>Large effects of brief meditation intervention on EEG spectra in meditation novices</i>
Authors	<i>P.Stapleton, J.Dispenza, S. McGill, D.Sabot, M.Peach, D.Raynor</i>
Year of Publication	2020
Journal	<i>IBRO reports</i>
Publication Type	<i>study</i>
Details	
Participants	<i>The initial sample consisted of 468 participants (312 female, 125 male) aged 19-83 years (M=50.56+-14.52). At the end the participants were 223 because of some missing requirements during the experiment.</i>
EEG Instrumentation	
FS (Sampling Frequency)	
Number of Channels	<i>19 electrodes</i>
Pre-processing	<i>PREP pipeline was used to detect channels corrupted by noise and all non-working electrodes were interpolated via the Spherical splines. Data were band pass filtered to 1-50Hz with FIR filter. ICA was used to isolate and remove EOG artifacts.</i>
Frequency Analysis	<i>Data were epoched to 2-s fragments and their power spectral density (PSD) were estimated using multitaper method. Band power were derived: 1-4 Hz for delta, 4-8 Hz for theta, 8-13 Hz for alpha, 15-25 Hz for beta, 35-45 Hz for gamma. The mean was recorded for each participant, at each electrode, for both pre and post-meditation conditions.</i>
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	
Other instrumentation	<i>EOG was performed.</i>
Aim of the Paper	<i>The impact of a brief meditation workshop was analyzed in this study. The participants were 223 novice meditators that attended a three-day workshop with daily meditation practices. The hypothesis was that altered states of consciousness would be experienced and everything was assessed with EEG recordings.</i>
Results	<i>Results showed a main 5% decrease in delta power, a global increase in theta power of 29%, a global increase of 16% in alpha power, beta increased by 17% and 11% increase in gamma power from pre-meditation to post-meditation.</i>

Data Extraction Form	
Article Title	<i>EEG based interpretation of human brain activity during yoga and meditation using machine learning: a systematic review</i>
Authors	<i>Padmavathi Kora, K.Meenakshi, K. Swaraja, A.Rajani, Mantena Satyanarayana Raju</i>
Year of Publication	<i>2021</i>
Journal	<i>Complementary Therapies in Clinical Practice</i>
Publication Type	<i>systematic review</i>

Details

Participants	
EEG Instrumentation	
FS (Sampling Frequency)	
Number of Channels	
Pre-processing	
Frequency Analysis	
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	
Other instrumentation	

Aim of the Paper *The article wants to study the impact of yoga and meditation on brain waves concerning physical and mental health. This work provides a review of the interpretation methods of EEG during yoga and meditation (preprocessing, feature extraction and classification). It analyzes the machine learning strategies applied for the interpretation of brain waves*

Results *It revealed a broad spectrum of neural mechanics under a variety of meditation styles. A detailed analysis of various mental states using different meditation styles has been done.*

Data Extraction Form	
Article Title	<i>Brainwave activity and cognitive performance investigated by meditation yoga</i>
Authors	<i>Pattiyaporn Supoo, Phakkarawat Sittiprapaporn</i>
Year of Publication	2019
Journal	<i>16th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)</i>
Publication Type	<i>study</i>
Details	
Participants	<i>5 participants, between 25-40 years old. healthy, no illness, no brain surgery, not taking medicines or any drug that affect nervous system.</i>
EEG Instrumentation	<i>lightweight EEG device NeuroSky's Mindwave Mobile</i>
FS (Sampling Frequency)	1Hz
Number of Channels	<i>one single electrode and signal-processing unit in a headband arrangement</i>
Pre-processing	
Frequency Analysis	
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	
Other instrumentation	
Aim of the Paper	<i>This study wants to investigate the brainwave activity and cognitive performance by meditation yoga. Brainwaves of 10 healthy people that underwent a 21 postures exercise were compared before and after the practice.</i>
Results	<i>Meditation and attention score were higher than before training with a significant difference at 95% confidence level. It was found that theta and alpha waves increased after the yoga meditation practice with statistically significant at the 0.05 level compared to before the exercise.</i>

Data Extraction Form	
Article Title	<i>Topographical Sub-bands Analysis of EEG during Short Kriya Yoga Meditation</i>
Authors	<i>Laxmi Shaw, Aurobinda Routray</i>
Year of Publication	<i>2017</i>
Journal	<i>2017 14th IEEE India Council International Conference (INDICON)</i>
Publication Type	<i>study</i>
Details	
Participants	<i>23 meditators with average age of 32.43+-1.66 years and 10 non-meditators with average age of 34.25+-1.15 years. The meditators have an experience of 15-20 years in Kriya Yoga, 16 were male and 7 were female.</i>
EEG Instrumentation	<i>RMS VICTA EEG machine with 16-bit resolution</i>
FS (Sampling Frequency)	<i>256 Hz</i>
Number of Channels	<i>64 channels</i>
Pre-processing	<i>Band pass filtering from 0.4 to 64Hz and Notch filtering at 50Hz. Normalization by removing mean. Artifacts removal by wavelet thresholding.</i>
Frequency Analysis	<i>EEG was decomposed by discrete wavelet transform (DWT, that preserves both time and frequency information) by using mother wavelet Daubechies 4 (db4). The band considered was 0.4-64Hz for the inclusion of all the major brain waves. The signal is decomposed into 7 frequency bands (delta-1, delta-2, theta-1, theta-2, alpha, beta, gamma) that are used for generating the topograph.</i>
Alpha Peak	
Entropy	
Other Analysis	<i>In this study a topographical approach is used.</i>
Other instrumentation	<i>EOG was performed to know eye movements</i>
Aim of the Paper	<i>This article performed a sub-band analysis of brainwaves using a topographical method to characterize EEG during Kriya Yoga meditation. EEG was recorded in a group of meditators while practicing Kriya Yoga meditation and in a group of non-meditators at rest.</i>
Results	<i>The usefulness of topographic plot in the sub-bands analysis was demonstrated. One finding of the topographical analysis has high-frequency temporal resolution during meditation.</i>

Bibliografia

1. Marsiglia, S. La Storia dello Yoga, dall'antichità ad oggi. *Meditazione Zen* <https://www.meditazionezen.it/la-storia-dello-yoga/> (2022).
2. Mannarelli, S. V. Swami Kuvalayananda e le basi scientifiche dello Yoga. *Yoga Magazine* <https://www.yoga-magazine.it/2019/04/swami-kuvalayananda-e-le-basi-scientifiche-dello-yoga/> (2019).
3. Institute, K. R. La storia antica e il suo significato. *The Kundalini Research Institute* <https://kundaliniresearchinstitute.org/it/la-storia-antica-e-il-suo-significato/> (2015).
4. Haas, L. F. Hans Berger (1873-1941), Richard Caton (1842-1926), and electroencephalography. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* **74**, 9–9 (2003).
5. Berger, H. *Sull'elettroencefalogramma dell'uomo*. (1929).
6. Avoli, M. Herbert H. Jasper and the Basic Mechanisms of the Epilepsies. in *Jasper's Basic Mechanisms of the Epilepsies* (eds. Noebels, J. L., Avoli, M., Rogawski, M. A., Olsen, R. W. & Delgado-Escueta, A. V.) (National Center for Biotechnology Information (US), 2012).
7. Viaggio alla scoperta del Cervello. *Brainer* <https://www.brainer.it/approfondimenti/viaggio-alla-scoperta-del-cervello/>.
8. fisiologicamente. Fisiologia | La funzione dei lobi cerebrali. *Fisiologicamente* <https://fisiologicamente.altervista.org/la-funzione-dei-lobi-cerebrali/> (2018).
9. LA CORTECCIA CEREBRALE. <http://www.brainmindlife.org/cortecciaorigini02.htm>.
10. Marta Vitulli. Identificazione di pattern epilettogeni e della loro propagazione in aree corticali attraverso l'analisi di tracciati EEG. (Università di Bologna-Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Biomedica, 2020).
11. Mario Ermani. Origine del segnale: il potenziale bioelettrico cerebrale.
12. Tesi, T. D. ANALISI SPETTRALE DEL SEGNALE ELETTROENCEFALOGRAFICO E DELLA VARIABILITÀ DELLA FREQUENZA CARDIACA IN UN COMPITO DI "WORKING MEMORY" CON E SENZA DISTRATTORI VISIVI.
13. Mecarelli, O. *et al.* Elettroencefalografia Standard e Prove di Attivazione.

14. Formaggio, E. & Rubega, M. Analisi dei segnali elettrici cerebrali: Applicazione alla riabilitazione clinica.
15. EEG e Sonno. <https://www.clinicalcourse.it/polisonnografia>.
16. admin. Onde cerebrali: cosa sono e come funzionano. *Emianopsia* <https://www.emianopsia.com/onde-cerebrali/> (2022).
17. Sun, Y., Wei, C., Cui, V., Xiu, M. & Wu, A. Electroencephalography: Clinical Applications During the Perioperative Period. *Front. Med.* **7**, (2020).
18. Namazi, H. & Kulish, V. V. Mathematical Modeling of Human Brain Neuronal Activity in the Absence of External Stimuli. *J. Med. Imaging Health Inform.* **2**, 400–407 (2012).
19. eego™sports | ANT Neuro. https://www.ant-neuro.com/products/eego_sports.
20. MiniWave. *Cometa Systems* <https://www.cometasystems.com/miniwave/>.
21. Mini Wave Waterproof - EMG 16 canali by Cometa | MedicalExpo. <https://www.medicalexpo.it/prod/cometa/product-123699-875692.html>.
22. Wong, K. F., Teng, J., Chee, M. W. L., Doshi, K. & Lim, J. Positive Effects of Mindfulness-Based Training on Energy Maintenance and the EEG Correlates of Sustained Attention in a Cohort of Nurses. *Front. Hum. Neurosci.* **12**, 80 (2018).
23. Hauswald, A., Übelacker, T., Leske, S. & Weisz, N. What it means to be Zen: Marked modulations of local and interareal synchronization during open monitoring meditation. *NeuroImage* **108**, 265–273 (2015).
24. Harné, B. P. & Hiwale, A. S. EEG Spectral Analysis on OM Mantra Meditation: A Pilot Study. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback* **43**, 123–129 (2018).
25. Vasko, V. OM | Cosa significa'OM? Perché cantiamo il mantra? Come vocalizzare? <https://superyogi.it> <https://superyogi.it/articoli/om-cosa-significa-l-om-perche-cantiamo-il-mantra-come-vocalizzare>.
26. Katyal, S. & Goldin, P. Alpha and theta oscillations are inversely related to progressive levels of meditation depth. *Neurosci. Conscious.* **2021**, niab042 (2021).
27. Pal, S., Telles, S. & Balkrishna, A. Changes in Brain Waves During Silent Repetition of OM: A Crossover Study from India. *J. Relig. Health* (2022) doi:10.1007/s10943-022-01687-2.

28. - Cos'è la Heartfulness? A cosa serve? Come funziona? Geraldina Neri Mindfulness Counselor. *liberamente.life* <https://www.liberamente.life/heartfulness>.
29. Krishna, D. *et al.* Heartfulness meditation alters electroencephalogram oscillations: An electroencephalogram study. *Int. J. Yoga* **15**, 205 (2022).
30. Tsai, J.-F., Jou, S.-H., Cho, W. & Lin, C.-M. Electroencephalography when meditation advances: a case-based time-series analysis. *Cogn. Process.* **14**, 371–376 (2013).
31. Conosciamo il Raja yoga, la pratica per raggiungere l'unione di corpo, mente e spirito. *Ohga!* <https://www.ohga.it/conosciamo-il-raja-yoga-la-pratica-per-raggiungere-lunione-di-corpo-mente-e-spirito/>.
32. Daniel, R., Sharma, G. & Chandra, S. Effective stress management through meditation: An electroencephalograph-based study. *Int. J. Yoga* **15**, 45 (2022).