



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE UMANE,
FILOSOFICHE E DELLA FORMAZIONE**

**CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA
IN PSICOLOGIA CULTURALE DELL'EDUCAZIONE, PSICOLOGIA
CLINICA, EDUCAZIONE FISICA E SCIENZE DELLO SPORT**

**XXXVII
Prof. Filippo Fimiani
Curriculum E**

**TESI DI DOTTORATO
*REGOLAZIONE PSICOFISIOLOGICA DELLO STRESS:
UN APPROCCIO INTEGRATO MENTE-CORPO BASATO SULLA
VARIABILITA' DELLA FREQUENZA CARDIACA***

**Il Tutor:
Ch.mo Prof.
*Mauro Cozzolino***

**Candidato
Marco Borgese
Matricola: 8861300017**

ANNO ACCADEMICO 2025/2026

INDICE

PARTE I QUADRO TEORICO E RAZIONALE	6
CAPITOLO 1 INTRODUZIONE GENERALE	6
1.1 CONTESTO SCIENTIFICO GENERALE	6
1.2 MOTIVAZIONI DELLA RICERCA	9
1.3 QUADRO CONCETTUALE DI RIFERIMENTO	11
1.4 RILEVANZA TEORICA E APPLICATIVA	13
1.5 RAZIONALE GENERALE	15
1.6 DOMANDE DI RICERCA.....	16
1.7 STRUTTURA DELLA TESI	17
1.8 ARCHITETTURA GENERALE.....	18
1.9 COERENZA E INTEGRAZIONE TRA STUDI	20
CAPITOLO 2 STRESS E REGOLAZIONE PSICOFISIOLOGICA: MODELLI TEORICI E SISTEMI DI RISPOSTA	21
2.1 ORIGINI E SVILUPPO CONCETTUALE DEL COSTRUTTO DI STRESS	21
2.1.1 <i>L'iniziale ricerca di radici fisiologiche alla base del concetto di stress</i>	22
2.1.2 <i>La rivoluzione cognitiva: il modello transazionale di Lazarus e Folkman</i>	27
2.1.3 <i>Verso l'integrazione tra mente e corpo</i>	32
2.1.4 <i>Nascita della psicofisiologia dello stress</i>	33
2.1.5 <i>Tre contributi fondamentali</i>	33
2.2 DALLA REGOLAZIONE OMEOSTATICA ALL'ALLOSTASI E AL CARICO ALLOSTATICO.....	35
2.2.1 <i>Il paradigma omeostatico: che cos'è e perché non basta</i>	35
2.2.2 <i>Allostasi: stabilità attraverso il cambiamento</i>	37
2.2.3 <i>Il carico allostatico: il costo dell'adattamento</i>	39
2.3 RISPOSTA ALLO STRESS: SNA E ASSE HPA	45
2.3.1 <i>Il sistema nervoso autonomo: architettura e funzioni</i>	46
2.3.2 <i>Il ramo simpatico: la risposta immediata</i>	48
2.3.3 <i>Il ramo parasimpatico: regolazione vagale</i>	53
2.3.4 <i>Interazione tra SNA simpatico e parasimpatico</i>	57
2.3.5 <i>HRV come indici di regolazione</i>	60
2.3.6 <i>L'asse ipotalamo-ipofisi surrene HPA</i>	63
2.3.7 <i>Interazione tra SNA e HPA</i>	67
2.3.8 <i>Disregolazione e implicazioni cliniche e sportive</i>	70
2.3.9 <i>Sintesi e transizione verso il monitoraggio neurofisiologico dello stress</i>	73
2.4. PERCHÉ MONITORARE LO STRESS CON INDICI NEUROFISIOLOGICI	74
2.4.1 <i>Dalla teoria alla misurazione: i limiti delle misure self-report ed i vantaggi della fisiologia</i>	75
2.4.2 <i>Panoramica degli indici neurofisiologici</i>	77
2.4.3 <i>L'HRV come indice cardine</i>	93
CAPITOLO 3 LA HEART RATE VARIABILITY (HRV)	97
3.1 ORIGINI STORICHE E BASI CONCETTUALI	97
3.2 FISIOLOGIA DELLA REGOLAZIONE AUTONOMICA DEL CUORE.....	100
3.3 METODOLOGIE DI ANALISI E METRICHE DELL'HEART RATE VARIABILITY.....	104
3.3.1 <i>Analisi nel dominio del tempo</i>	105
3.3.2 <i>Analisi nel dominio della frequenza</i>	109
3.3.3 <i>Analisi non lineari</i>	113
3.4 CONSIDERAZIONI METODOLOGICHE E INTERPRETATIVE DELL'HRV	117
3.5 HRV COME INDICE INTEGRATO DI REGOLAZIONE PSICOFISIOLOGICA	121
3.6 HRV COME PROXY DELLA REGOLAZIONE AUTONOMICA E DELLO STRESS	122
3.6.1 <i>Modelli teorici della regolazione mente–corpo attraverso la HRV</i>	124
3.7 HRV E STRESS	135
3.8 HRV E ANSIA.....	135
3.9 HRV E STRESS	136
3.10 HRV E CARICO COGNITIVO	136
3.11 UN QUADRO INTEGRATO	137

3.12	SCELTE OPERATIVE PER QUESTA TESI.....	137
3.12.1	Indici utilizzati	140
3.12.2	Integrazione con misure soggettive	142
CAPITOLO 4 LE TECNICHE MENTE-CORPO: TEORIA E MECCANISMI DI AZIONE.....		144
4.1	EVOLUZIONE DELLE TECNICHE MENTE-CORPO.....	144
4.2	TECNICHE MENTE-CORPO TOP-DOWN, BOTTOM-UP E IBRIDE.....	147
4.3	PRINCIPALI TIPOLOGIE DI TECNICHE MENTE-CORPO.....	152
4.3.1	Meditazione e Mindfulness	152
4.3.2	Tecniche di respirazione controllata.....	153
4.3.3	Pratiche di movimento consapevole: Yoga, Tai Chi e Qigong	154
4.3.4	Tecniche di rilassamento psicofisiologico.....	154
4.3.5	Biofeedback e HRV Biofeedback.....	155
4.3.6	Brain Wave Modulation Technique (BWM-T)	155
4.4	MECCANISMI PSICOFISIOLOGICI DI AZIONE DELLE TECNICHE MENTE-CORPO	156
4.4.1	Modulazione del sistema nervoso autonomo	157
4.4.2	Il ruolo del nervo vago e dei processi interocettivi	158
4.4.3	Il Central Autonomic Network e i meccanismi di regolazione top-down	161
4.4.4	Asse ipotalamo-ipofisi-surrene, stress e processi di recupero	163
4.4.5	Integrazione multilivello dei meccanismi di azione	165
4.5	TECNICHE MENTE-CORPO E HRV	167
4.5.1	HRV come indice di regolazione e adattamento	168
4.5.2	Effetti delle tecniche mente-corpo sugli indici HRV	168
4.5.3	HRV, reattività e recupero: oltre la misura a riposo.....	169
4.5.4	Effetti acuti vs adattamenti cronici	169
4.6	EVIDENZE EMPIRICHE SULL'EFFICACIA DELLE TECNICHE MENTE-CORPO.....	171
4.6.1	Evidenze in ambito clinico	172
4.6.2	Evidenze in ambito sportivo e della performance	173
4.6.3	Evidenze sperimentali su stress acuto, HRV e compiti cognitivi	175
4.6.4	Sintesi critica	177
PARTE II STUDI EMPIRICI.....		180
CAPITOLO 5 SVILUPPO EPISTEMOLOGICO E METODOLOGICO DEGLI STUDI CONDOTTI		180
5.1	RAZIONALE SCIENTIFICO DEGLI STUDI.....	181
5.2	LA SCELTA DELLA REGOLAZIONE DELLO STRESS COME PROCESSO PSICOFISIOLOGICO.....	182
5.3	SCELTA DELLE MISURE E DEI PARADIGMI SPERIMENTALI	184
5.4	RAZIONALE DEGLI INTERVENTI MENTE-CORPO UTILIZZATI	185
5.5	LA REVISIONE SISTEMATICA COME CORNICE CONCETTUALE DELLA PARTE II	187
CAPITOLO 6 STATO DELL'ARTE SUGLI INTERVENTI MENTE-CORPO, HRV E REGOLAZIONE PSICOFISIOLOGICA DELLO STRESS: UNA REVISIONE SISTEMATICA.....		189
6.1	INTRODUZIONE ALLA REVISIONE SISTEMATICA	189
6.2	METODO.....	190
6.2.1	Disegno della revisione.....	190
6.2.2	STRATEGIA DI RICERCA BIBLIOGRAFICA	190
6.2.3	CRITERI DI INCLUSIONE ED ESCLUSIONE	191
6.2.4	Processo di selezione degli studi	192
6.2.5	Estrazione dei dati.....	192
6.2.6	Valutazione della qualità metodologica.....	192
6.3	RISULTATI.....	192
6.3.1	Tipologie di interventi mente-corpo	193
6.3.2	Misure psicologiche e psicofisiologiche utilizzate	194
6.3.3	Effetti degli interventi sugli indici di HRV	194
6.3.4	Studi a sessione singola.....	195
6.4	DISCUSSIONE.....	195
6.4.1	Interpretazione dei risultati alla luce dei modelli teorici	196

6.4.2 Limiti metodologici della letteratura esistente	196
6.4.3 Implicazioni per la ricerca futura.....	197
CAPITOLO 7 PRIMO STUDIO: VARIAZIONI DELLA REGOLAZIONE PSICOFISIOLOGICA DELLO STRESS DOPO UNA SINGOLA SESSIONE DI BWM-T E PSICOEDUCAZIONE.....	198
7.1 RAZIONALE E IPOTESI	198
7.1.1 Ipotesi di ricerca	199
7.2 MATERIALI E METODI	199
7.2.1 Campione	200
7.2.2 Misure	200
7.2.3 Disegno dello studio	202
7.2.4 Intervento.....	202
7.3 ANALISI STATISTICA.....	203
7.4 RISULTATI.....	204
7.5 DISCUSSIONE.....	208
7.6 LIMITAZIONI E DIREZIONI FUTURE.....	211
7.7 ANALISI CRITICA ALL'INTERNO DEL PROGETTO DI RICERCA	212
CAPITOLO 8 SECONDO STUDIO: LA REGOLAZIONE MENTE-CORPO DELLO STRESS: CONFRONTO TRA BWM- T E MINDFULNESS CON FOLLOW UP DI 4 ORE	214
8.1 RAZIONALE E IPOTESI	214
8.1.1 Ipotesi di ricerca	216
8.2 MATERIALI E METODI	216
8.2.1 Campione	216
8.2.2 Misure	218
8.2.3 Disegno dello studio	220
8.2.4 Intervento.....	221
8.3 ANALISI STATISTICA.....	222
8.4 RISULTATI.....	223
8.5 DISCUSSIONE.....	227
8.6 LIMITAZIONI E DIREZIONI FUTURE.....	229
8.7 ANALISI CRITICA ALL'INTERNO DEL PROGETTO DI RICERCA	230
CAPITOLO 9 TERZO STUDIO: MODULAZIONE DELLA RISPOSTA ALLO STRESS IN CONDIZIONI DI PRESTAZIONE: CONFRONTO TRA BWM-T E PSICOEDUCAZIONE DURANTE COMPITO STRESSANTE.....	232
9.1 RAZIONALE E IPOTESI DELLO STUDIO.....	232
9.1.1 Ipotesi di ricerca	233
9.2. MATERIALI E METODI	234
9.2.1 Campione	234
9.2.2 Misure	234
9.2.3 Disegno dello studio	236
9.2.4 Intervento.....	236
9.3 ANALISI STATISTICA.....	238
9.4 RISULTATI PRELIMINARI	238
9.5 DISCUSSIONE.....	241
9.6 ANALISI CRITICA ALL'INTERNO DEL PROGETTO DI RICERCA	242
PARTE III SINTESI E IMPLICAZIONI FUTURE.....	243
CAPITOLO 10 DISCUSSIONE GENERALE	243
10.1 INTEGRAZIONE TEORICA DEI RISULTATI	243
10.2 CONFERME EMPIRICHE E LIMITI OPERATIVI: LA VISIONE DELLO STRESS COME PROCESSO	243
10.3 CONVERGENZE SUGLI ESITI PSICOLOGICI: EFFICACIA PERCEPITA E RAPIDITÀ DI RISPOSTA.....	244
10.4 DIVERGENZE FISILOGICHE: SELETTIVITÀ DEGLI EFFETTI AUTONOMICI	244
10.5 ANALISI D'INSIEME	245
CAPITOLO 11 PUNTI DI FORZA, LIMITI E IMPLICAZIONI DELLA RICERCA.....	247

11.1 PUNTI DI FORZA DELLA RICERCA.....	247
11.1.1 <i>Integrazione tra revisione sistematica e ricerca empirica</i>	247
11.1.2 <i>Approccio multilivello alla regolazione dello stress</i>	247
11.1.3 <i>Confronto tra interventi con meccanismi differenti</i>	248
11.2 LIMITI METODOLOGICI.....	248
11.2.1 <i>Dimensione campionaria e potenza statistica</i>	248
11.2.2 <i>Durata degli interventi e timing delle misurazioni</i>	248
11.2.3 <i>Complessità interpretativa degli indici HRV</i>	248
11.3 LIMITI TEORICI E CONCETTUALI.....	249
11.3.1 <i>Assenza di un modello causale univoco</i>	249
11.3.2 <i>Generalizzabilità dei risultati</i>	249
11.3.2 <i>Necessità di integrazione di misure multilivello</i>	249
CAPITOLO 12 CONCLUSIONI GENERALI E PROSPETTIVE DI RICERCA.....	251
12.1 VALUTAZIONE DEGLI OBIETTIVI ALL'INTERNO DEL QUADRO DEGLI STUDI.....	251
12.2 STRESS E REGOLAZIONE: DA ESITO A PROCESSO.....	251
12.3 HRV E PSICOFISIOLOGIA: IMPLICAZIONI PER LA RICERCA FUTURA.....	252
12.4 IMPLICAZIONI PER I CONTESTI APPLICATIVI.....	252
12.5 PROSPETTIVE DI RICERCA FUTURE.....	253
12.6 CONCLUSIONE FINALE.....	253
RINGRAZIAMENTI.....	256
ABSTRACT IT.....	257
ABSTRACT ENG.....	258
BIBLIOGRAFIA.....	259
APPENDICE.....	292

PARTE I QUADRO TEORICO E RAZIONALE

Capitolo 1

Introduzione generale

1.1 Contesto scientifico generale

Nel panorama contemporaneo, lo stress rappresenta uno dei costrutti più rilevanti e trasversali nell'ambito delle scienze psicologiche, delle neuroscienze e della psicologia dello sport. La sua centralità deriva dal fatto che lo stress non è soltanto una risposta adattiva a stimoli percepiti come minacciosi, ma costituisce un principio organizzativo fondamentale del funzionamento umano, in quanto coinvolge processi cognitivi, emotivi, neurali, autonomici ed endocrini, configurandosi come un fenomeno multidimensionale in grado di influenzare il benessere psicologico, la salute fisica e la performance.

L'accelerazione dei ritmi di vita, l'aumento della competitività sociale, l'esposizione continua a richieste complesse così come la crescente incertezza percepita nelle condizioni socioeconomiche globali, contribuiscono a creare un contesto in cui la regolazione dello stress assume un'importanza sempre maggiore (Lupien et al., 2009).

Da un punto di vista clinico, lo stress è riconosciuto come un fattore di vulnerabilità transdiagnostico, implicato nell'insorgenza e nel mantenimento di disturbi d'ansia, depressione, disregolazioni emotive e condizioni psicosomatiche. Numerosi studi hanno evidenziato come l'esposizione prolungata a stress elevati comprometta il funzionamento del sistema nervoso autonomo, alteri i ritmi neuroendocrini e impatti negativamente sui circuiti prefronto- limbici deputati al controllo esecutivo e alla regolazione emotiva (McEwen, 2007; Porges, 2011). Queste alterazioni non sono semplicemente reazioni fisiologiche acute, ma possono diventare schemi di risposta persistenti, associati a un aumento significativo del rischio di esiti clinici negativi.

Nel contesto universitario, lo stress costituisce un fattore cruciale della motivazione, dell'apprendimento e della performance cognitiva. Carichi accademici elevati, valutazioni frequenti, un'elevata competizione percepita e precarietà progettuale espongono studenti e

giovani adulti a condizioni di stress cronico che impattano sulla memoria di lavoro, l'attenzione sostenuta e l'autoregolazione, aumentando il rischio di burnout accademico e abbandono degli studi (Deasy et al., 2014). Tale scenario rende evidente la necessità di comprendere in modo più accurato come i processi di regolazione psicofisiologica sostengano o compromettano la capacità di far fronte alle richieste dell'ambiente.

Anche nell'ambito sportivo e delle prestazioni ad alta intensità, la regolazione dello stress assume un ruolo centrale. Atleti di alto livello sono costantemente esposti a pressioni psicologiche rilevanti tra cui aspettative sociali, ambiente competitivo, responsabilità verso la squadra e necessità di prestazioni consistenti in contesti incerti. In questo ambito, lo stress non rappresenta semplicemente una minaccia, ma costituisce piuttosto una componente intrinseca dei contesti competitivi ad alto livello. L'efficienza dei processi psicofisiologici di regolazione determina la capacità degli atleti di mantenere lucidità attentiva, prontezza decisionale e stabilità emotiva, fattori che influenzano direttamente la performance (Birrer et al., 2010).

Sul piano sanitario e sociale, la rilevanza dello stress è anche stata sottolineata da organismi internazionali come la *World Health Organization (WHO)*, ha associato lo stress cronico come uno dei principali fattori implicati "*burden of disease*", ossia il carico di malattia a livello globale, il quale comporta ricadute significative sulla salute cardiovascolare, immunitaria e mentale (*WHO*, 2021). Tale crescente attenzione istituzionale riflette un fenomeno ormai noto, per cui la regolazione dello stress non è più una dimensione psicologica individuale, ma un elemento essenziale di salute pubblica che incide sulla qualità della vita, sulla produttività, sul welfare e sulla partecipazione sociale.

Nonostante la vastità delle ricerche sul tema, permane una difficoltà strutturale, ossia quella di comprendere come i diversi livelli della risposta allo stress (centrale, autonomico, endocrino e comportamentale) si integrino tra loro nel generare l'esperienza soggettiva e gli esiti fisiologici dell'adattamento. La letteratura scientifica ha spesso affrontato questi livelli in modo separato, studiando la dimensione cognitiva indipendentemente da quella neurofisiologica o prendendo in esame la regolazione autonoma senza considerare il contributo dei sistemi centrali o delle dinamiche endocrine. Questa frammentazione ha reso complessa la costruzione di una visione coerente della regolazione dello stress come processo unitario, dinamico e distribuito.

Il presente progetto di ricerca nasce dall'esigenza di sviluppare un modello integrato per la comprensione e lo studio della regolazione dello stress, capace di superare la tradizionale dicotomia mente–corpo. La risposta allo stress viene qui concepita come un *continuum* che coinvolge simultaneamente livelli neurali, fisiologici, cognitivi ed emotivi, in costante interazione con il contesto ambientale e relazionale. Tale impostazione si colloca nel solco delle proposte teoriche ed epistemologiche sviluppate da Cozzolino, il quale rappresenta un tentativo sistematico di superare i limiti storici dei modelli riduzionistici in Psicologia e in generale nelle scienze della salute (Cozzolino & Celia, 2016).

Come evidenziato da Cozzolino (2015), una parte rilevante della ricerca psicologica contemporanea ha sofferto di una marcata frammentazione teorica e metodologica, che ha portato a separare artificialmente i diversi livelli del funzionamento umano. Da un lato, alcuni approcci psicologici hanno progressivamente marginalizzato il ruolo del corpo e dei processi fisiologici, dall'altro le scienze biomediche hanno spesso trascurato la dimensione soggettiva, cognitiva ed emotiva dell'esperienza, producendo modelli di intervento parziali e scarsamente integrati. In questa prospettiva, i fenomeni psicologici non possono essere compresi adeguatamente se isolati dai sistemi di regolazione psicofisiologica che mediano la relazione dinamica tra mente, corpo e ambiente.

All'interno di tale quadro teorico, lo stress assume una funzione paradigmatica, in quanto esso viene concepito come un processo complesso che coinvolge valutazioni cognitive, risposte emotive, attivazioni autonome e meccanismi di adattamento fisiologico, inclusi processi di plasticità biologica e neuronale. Questa visione integrata consente di affrontare anche alcune criticità emerse nella ricerca psicologica contemporanea, come le difficoltà di replicabilità e di trasferimento clinico dei risultati empirici. Cozzolino (2015) sottolinea infatti come una parte della cosiddetta crisi della replicazione non sia attribuibile esclusivamente a limiti statistici o procedurali, ma sia ascrivibile anche dall'adozione di modelli teorici che semplificano eccessivamente la complessità del funzionamento umano. L'adozione di modelli integrati mente–corpo si configura pertanto non solo come una scelta teorica, ma come una necessità metodologica per migliorare la validità ecologica e clinica della ricerca.

L'approccio metodologico adottato in questa tesi è orientato dunque, da un lato, al trasferimento delle più recenti scoperte nel campo delle neuroscienze e degli interventi mente–corpo nella pratica clinica; dall'altro alla verifica empirica della *Mind Body*

Transformations Therapy (MBT-T), la quale rappresenta un paradigma innovativo per il trattamento dei disturbi mente–corpo.

La *MBT-T*, precedentemente nota come esperienza creativa di guarigione genomica psicosociale (Rossi et al. 2011; Cozzolino, 2015), è un paradigma teorico e terapeutico che ha dimostrato di migliorare i risultati terapeutici senza la necessità di lunghe terapie tradizionali. Tale paradigma comprende un metodo clinico chiamato terapia delle trasformazioni mente–corpo, il quale è un approccio terapeutico integrato basato sugli studi della terapia mente–corpo di Erickson e Rossi e applicabile sia a gruppi che a individui. Esso si muove da una prospettiva naturalistica della terapia e si basa sull’uso dei ritmi biologici naturali dell’individuo per creare le migliori condizioni per l’attivazione dei processi di guarigione interiore mente–corpo, al fine di affrontare le diverse sfide dell’organismo dell’individuo, come le disfunzioni legate allo stress di diversi disturbi cronici psicologici e mente–corpo. All’interno di questa prospettiva si inseriscono metodiche come la *Brain Wave Modulation Technique (BWM-T)*, ideata da Cozzolino & Celia (2021a; 2021b), la quale si è dimostrata un metodo valido per promuovere il benessere e ridurre lo stress.

La presente tesi integra pertanto misure psicologiche e indicatori psicofisiologici al fine di analizzare i meccanismi di regolazione coinvolti nella risposta allo stress, contribuendo a un’ulteriore articolazione empirica del modello integrato mente–corpo proposto dalla *MBT-T*.

1.2 Motivazioni della ricerca

Nonostante il volume considerevole di studi dedicati allo stress, la letteratura contemporanea presenta alcune criticità che richiedono un approfondimento sistematico. Una prima criticità riguarda la frammentazione con cui, storicamente, il costrutto di stress è stato indagato. La ricerca si è concentrata inizialmente in modo separato sulla dimensione cognitiva (Lazarus et al., 1984; 1999), su quella emotiva (Gross, 2015), sui correlati autonomici (Thayer et al., 2012) o sulla risposta endocrina (McEwen, 1998), producendo conoscenze robuste ma spesso parziali, come se ogni comportamento agisse in modo indipendente dall’altro. Va sottolineato comunque come per lungo tempo questa parzializzazione del costrutto fosse basata sulla necessità di scomporre in fenomeni meno complessi, il fenomeno dello stress, per riuscire a comprendere il suo funzionamento.

Con l'acquisizione avvenuta nel tempo di conoscenze sul funzionamento dettagliato dei suoi singoli aspetti, ora emerge che l'assenza di una prospettiva multilivello rende complesso comprendere come i sistemi centrale, autonomico ed endocrino cooperino nel generare l'esperienza soggettiva dello stress e nel determinare i suoi effetti fisiologici e comportamentali. Tale frammentazione è stata ripetutamente evidenziata come limite metodologico e teorico dalle revisioni più recenti (Koolhaas et al., 2011; de Kloet et al., 2018).

Un secondo problema riguarda l'eccessivo affidamento agli strumenti self-report, che continuano a essere la modalità prevalente per valutare stress percepito, ansia o arousal. Pur indispensabili per cogliere la dimensione soggettiva, i self-report sono vulnerabili a bias cognitivi, desiderabilità sociale e limitata consapevolezza interocettiva (Mehling et al., 2012). Inoltre, presentano una scarsa sensibilità nel rilevare le fluttuazioni dinamiche dello stress, che si manifestano in tempi molto brevi e sfuggono a misurazioni episodiche (Hellhammer et al., 2009). Questa discrepanza tra esperienza soggettiva e risposta fisiologica è stata documentata da diversi studi che mostrano dissociazioni sistematiche tra autopercezione e attivazione autonoma (Campbell et al., 2012).

Analogamente, gli approcci osservativi tradizionali presentano limiti di oggettività, standardizzazione e sensibilità ai processi impliciti. I comportamenti osservabili, quali segnali di agitazione, espressioni facciali, errori motori o verbali, costituiscono indicatori importanti, ma non sempre affidabili della risposta fisiologica sottostante (Kreibig, 2010). È ormai riconosciuto che lo stress può manifestarsi attraverso vie divergenti, con individui che riferiscono bassi livelli soggettivi ma presentano marcata attivazione autonoma e altri che riportano ansia elevata senza corrispondenti alterazioni fisiologiche (Mauss et al., 2005).

In questo scenario, le misure oggettive, in particolare quelle psicofisiologiche, offrono un contributo decisivo, in quanto indicatori autonomici, neuroendocrini e centrali permettono di superare i limiti dei metodi soggettivi, offrendo una misurazione ecologica della dinamica temporale della risposta allo stress. La psicofisiologia contemporanea mostra come la regolazione dello stress è un processo distribuito e integrato, sostenuto dall'interazione tra sistemi cerebrali, viscerali e muscolari (Thayer et al., 2000; Porges,

2011). Questi meccanismi, spesso non accessibili alla consapevolezza, costituiscono la base reale dell'adattamento psicofisiologico.

La necessità di una prospettiva integrata emerge in modo evidente anche quando si considera il legame tra stress e performance. La capacità di autoregolazione psicofisiologica è un predittore cruciale della performance cognitiva (Qin et al., 2009), del rendimento accademico (Pascoe et al., 2020) e della resilienza sportiva (Birrer et al., 2010). Le evidenze scientifiche mostrano che la prestazione ottimale in compiti ad alta richiesta non dipende solo da abilità tecniche o cognitive, ma dalla capacità di modulare l'arousal, mantenere flessibilità attentiva e regolare l'attività autonoma (Laborde et al., 2017). In questa prospettiva, la tesi dottorale indaga il rapporto tra stress, regolazione e performance, per rispondere a un'esigenza scientifica strategica, quella di offrire una comprensione più precisa dei meccanismi che permettono agli individui di mantenere efficienza e stabilità in condizioni di elevata pressione o in ambienti complessi.

Il presente progetto si propone inoltre di indagare i punti di connessione tra approcci soggettivi e oggettivi e infine integrare in modelli coerenti di intervento i diversi livelli della risposta psicofisiologica, contribuendo alla definizione di una cornice teorica e applicativa utile per la clinica, il contesto educativo e la psicologia dello sport.

1.3 Quadro concettuale di riferimento

Il presente contributo di ricerca si colloca all'interno di una prospettiva che considera la risposta allo stress come un fenomeno emergente dall'interazione dinamica di tre livelli principali: centrale, autonomico ed endocrino. Questa visione multilivello, oggi ampiamente condivisa nelle neuroscienze affettive e nella psicofisiologia contemporanea, permette di superare una lettura frammentata dei processi di adattamento, ponendo l'accento sull'integrazione funzionale tra cervello, corpo e ambiente.

A livello centrale, la regolazione dello stress dipende da un insieme di strutture corticali e sottocorticali che valutano la rilevanza degli stimoli, generano risposte emotive e modulano l'attività viscerale. Tra queste, il sistema limbico attraverso amigdala, ippocampo e cingolato anteriore, elabora la salienza e la memoria emotiva, mentre la corteccia prefrontale esercita funzioni di controllo esecutivo e inibizione dell'arousal

(Arnsten, 2009). L'integrazione tra queste strutture è organizzata nel *Central Autonomic Network (CAN)*, una rete funzionale che coordina attività cognitive, emotive e autonome e rappresenta il fulcro neurale della regolazione dello stress (Benarroch, 1993; Thayer et al., 2000).

A livello autonomico, la risposta allo stress è modulata dall'interazione tra sistema simpatico e parasimpatico. Il ramo simpatico supporta l'attivazione e la mobilitazione, mentre il parasimpatico, in particolare attraverso il nervo vago, sostiene il recupero, l'inibizione dell'arousal e la flessibilità regolativa. Il cosiddetto *vagal brake* (Porges, 2011) rappresenta un meccanismo fondamentale attraverso cui i circuiti prefronto- limbici modulano in tempo reale la frequenza cardiaca, permettendo all'organismo di adattarsi rapidamente ai cambiamenti ambientali. La qualità di questa modulazione costituisce un indice chiave della capacità dell'individuo di mantenere equilibrio e autoregolazione nelle fasi di stress.

A livello endocrino, la regolazione prolungata è orchestrata dall'asse ipotalamo-ipofisi-surrene (*HPA*), responsabile della secrezione di cortisolo e della gestione dell'adattamento metabolico allo stress. L'attivazione dell'*HPA* consente all'organismo di sostenere richieste prolungate, ma una sua disfunzione è associata al concetto di *allostatic load*, il costo cumulativo dell'adattamento prolungato proposto da McEwen (1998). Questo livello descrive lo stress che resta, ovvero l'impatto che le richieste ambientali esercitano sul corpo nel medio-lungo periodo.

Considerati nel loro insieme, questi tre livelli delineano una cornice concettuale unitaria, per la quale la risposta allo stress nasce dal coordinamento tra valutazione centrale, modulazione autonoma e adattamento endocrino. L'efficienza con cui questi sistemi interagiscono determina la capacità dell'individuo di mantenere una regolazione adattiva e di preservare la performance cognitiva, emotiva e comportamentale. È all'interno di questo quadro integrato che si colloca la presente tesi dottorale, che utilizza gli indici psicofisiologici come strumenti privilegiati per osservare tali dinamiche e per comprendere le traiettorie della regolazione dello stress nelle diverse condizioni di pressione e richiesta ambientale.

1.4 Rilevanza teorica e applicativa

La prospettiva della presente tesi è di collocarsi su due livelli complementari, uno più epistemologica-teorico e uno più pratico-applicativo. Da un punto di vista teorico, il progetto contribuisce a un campo di ricerca che negli ultimi decenni ha mostrato una crescente esigenza di integrazione tra discipline, modelli e metodi. In particolare, la psicofisiologia dello stress si trova attualmente in una fase di maturazione teorica in cui emergono con chiarezza i limiti dei paradigmi tradizionali e la necessità di sviluppare modelli più complessi e dinamici della regolazione mente–corpo.

Una prima ragione deriva dal fatto che, nonostante l'enorme quantità di studi dedicati allo stress, manca ancora un modello unificato che colleghi in modo sistematico i diversi livelli della risposta (centrale, autonomico ed endocrino), all'esperienza soggettiva e agli esiti comportamentali. La letteratura come detto ha descritto accuratamente i singoli sistemi, ma ha prodotto conoscenze frammentate, gli studi sul sistema limbico e prefrontale spiegano i meccanismi della valutazione della minaccia (Arnsten, 2009), quelli sul sistema nervoso autonomo chiariscono la dinamica dell'arousal e della regolazione cardiaca (Thayer et al., 2012), mentre gli studi sull'*HPA* documentano gli effetti dello stress prolungato sul metabolismo e sulla salute (McEwen, 2007). Ciò che manca è dunque un'analisi coordinata che evidenzi come questi livelli operino insieme nel determinare la risposta allo stress in contesti reali.

La possibilità di un'analisi coordinata può emergere esclusivamente con l'adozione di un modello esplicitamente multilivello del funzionamento umano come quello proposto dalla *Psychosocial and Cultural Genomics* (Rossi et al., 2011; Cozzolino, 2015). Come detto essa offre una lettura del comportamento e della salute come fenomeni emergenti dati dall'interazione dinamica tra diversi livelli di analisi, culturale, sociale, psicologico, corporeo e biologico, sottolineando come ciascun livello non possa essere compreso in modo esaustivo se isolato dagli altri. In questa prospettiva, i processi mentali non vengono concepiti come entità astratte o disincarnate, ma come funzioni profondamente radicate nei sistemi di regolazione fisiologica dell'organismo.

All'interno di questa cornice, lo stress assume un ruolo paradigmatico, in quanto rappresenta un fenomeno in cui la dimensione soggettiva, cognitiva ed emotiva è

inseparabile dalle risposte autonome ed endocrine, per tale motivo la presente tesi, adotta un approccio multilivello, che si pone come obiettivo quello di integrare i contributi provenienti dalla neurofisiologia, dalla psicologia cognitiva, dalla psicologia dello sport e dalle neuroscienze affettive.

In secondo luogo su un piano maggiormente applicativo, la tesi risponde alla crescente esigenza di utilizzare misure oggettive per lo studio dello stress. Le recenti revisioni metodologiche hanno messo in luce i limiti degli strumenti self-report nel rilevare le componenti implicite della risposta allo stress e nel cogliere la sua natura dinamica (Hellhammer et al., 2009; Campbell et al., 2012). L'integrazione di indici psicofisiologici consente invece di osservare i processi regolativi in modo continuo, *fine-grained* e indipendente dalla consapevolezza soggettiva. In particolare, la variabilità della frequenza cardiaca emerge come una misura cardine, poiché essa collega direttamente i circuiti prefronto- limbici ai processi autonomici e rappresenta un indicatore sintetico dell'efficienza regolativa (Laborde et al., 2017; Shaffer et al., 2017). La scelta di porre tale parametro al centro degli studi empirici qui presentati risponde dunque all'esigenza di comprendere la regolazione dello stress attraverso un biomarcatore che tenga insieme i diversi livelli del sistema.

Dal punto di vista applicativo, la tesi assume una rilevanza significativa in due ambiti strategici, la clinica e lo sport. Nella pratica clinica, la disregolazione dello stress è riconosciuta come un fattore transdiagnostico alla base di numerosi disturbi psicologici, dall'ansia alla depressione, dai disturbi somatici alle condizioni post-traumatiche e come una componente fondamentale dei modelli di vulnerabilità e resilienza (Brosschot et al., 2017). Comprendere come i diversi sistemi contribuiscano alla regolazione dello stress permette quindi di informare interventi più efficaci, basati non solo sull'autoregolazione cognitiva ed emotiva, ma anche sulla modulazione fisiologica e sulle pratiche mente-corpo.

Nel contesto sportivo, la capacità di gestire l'arousal e di mantenere efficienza psicofisiologica rappresenta uno dei principali predittori della performance in condizioni di pressione (Birrer et al., 2010). La tesi contribuisce a questo ambito proponendo un modello integrato che consente di monitorare la regolazione dello stress durante situazioni ad alta richiesta cognitiva o competitiva, offrendo strumenti utili per l'ottimizzazione della performance, la prevenzione del burnout e la progettazione di training psicofisiologici

personalizzati. Inoltre, l'attenzione alla variabilità della frequenza cardiaca come indicatore trasversale permette di esplorare la relazione tra adattamento psicofisiologico, resilienza e capacità di mantenere focus attentivo in condizioni di incertezza o pressione.

1.5 Razionale generale

Il primo elemento generale alla base di questa tesi consiste nel tentativo di superamento della frammentazione delle diverse prospettive, per giungere verso una prospettiva maggiormente integrata. Comprendere la regolazione dello stress significa, infatti, analizzare come i diversi sistemi cooperino nel generare risposte adattive, nel modulare l'arousal e nel sostenere la capacità dell'individuo di fronteggiare le richieste dell'ambiente. Una ricerca dottorale, per sua natura, deve indirizzarsi verso problemi ampi e non ancora adeguatamente risolti dalla letteratura e in questo caso, il problema centrale riguarda proprio la necessità di un modello multilivello capace di spiegare come le componenti centrali di valutazione, controllo e di integrazione; quelle autonome di attivazione e di modulazione; e quelle endocrine di adattamento prolungato, si intreccino nella produzione della risposta allo stress.

Un secondo elemento riguarda la distanza, ancora evidente, tra ciò che le persone riportano di percepire e ciò che l'organismo realmente mette in atto sul piano fisiologico. Vi è una necessità crescente di adottare misure oggettive che permettano di osservare la dinamica reale dei processi regolativi, cogliendo le risposte implicite, automatiche e non sempre consapevoli che caratterizzano lo stress.

Un terzo elemento riguarda la rilevanza applicativa del tema, in quanto la capacità di regolazione psicofisiologica rappresenta un predittore cruciale del benessere, dell'adattamento al contesto e della performance dall'università, fino allo sport e alle situazioni ad alta pressione. Comprendere come tali processi si manifestano e come possono essere modulati costituisce un obiettivo strategico per la Psicologia contemporanea, in un momento storico in cui lo stress cronico e le difficoltà di regolazione rappresentano un problema sociale, sanitario ed educativo di primo piano.

Questa tesi dottorale si fonda dunque su una duplice esigenza. Da un lato, comprendere i modelli teorici-empirici che integrano i diversi livelli della risposta allo stress, dall'altro, fornire evidenze che contribuiscano a una comprensione più precisa e applicabile della regolazione psicofisiologica nelle condizioni di richiesta elevata. Tale approccio consente di investigare le traiettorie dell'adattamento, identificare *pattern* regolativi funzionali o disfunzionali e offrire basi scientifiche per interventi clinici, educativi e sportivi più mirati. Il razionale della ricerca si colloca, quindi, nella necessità di costruire un ponte tra teoria e applicazione, tra analisi dei processi psicofisiologici e comprensione della loro rilevanza per il funzionamento umano. La tesi si propone di contribuire a questo obiettivo attraverso una serie di studi che combinano approcci psicofisiologici, valutazioni soggettive e misure comportamentali, con l'intento di descrivere in modo più completo la complessità della regolazione dello stress e della sua modulazione.

1.6 Domande di ricerca

Le domande di ricerca che attraversano l'intero lavoro possono essere sintetizzate in tre nuclei principali. Esiste un corpus teorico di studi e modelli che ha già esplorato come varia la risposta autonoma in relazione a differenti costrutti psicologici e diverse tipologie di intervento mente–corpo? Questa domanda esplora le conoscenze in materia già acquisite dagli studi rispetto alla sensibilità della variabilità della frequenza cardiaca (*Heart Rate Variability, HRV*) come indicatore dinamico dei processi di attivazione e recupero. In particolare, si ipotizza che specifici interventi mente–corpo producano un incremento della *HRV* in alcuni dei suoi indici, elemento indicativo di maggiore tono vagale e di un miglior equilibrio tra sistemi simpatico e parasimpatico.

Gli interventi mente–corpo generano modifiche acute o durature negli indici di regolazione fisiologica e nello stress percepito? Qui si indaga la stabilità temporale degli effetti, distinguendo tra cambiamenti immediati post-intervento e modificazioni mantenute in *follow-up* breve. Si ipotizza che la regolazione vagale migliori già dopo una singola sessione, ma che la persistenza dei benefici richieda un allenamento continuativo della consapevolezza e della respirazione.

Qual è il contributo comparativo di tecniche differenti, per esempio induzioni brevi di Mindfulness o *Brain Wave Modulation Technique (BWM-T)* nel modulare la relazione tra

stress percepito, autoregolazione fisiologica o performance? L'obiettivo è individuare se esistano profili specifici di efficacia e differenti traiettorie di adattamento fisiologico.

Ipotesi generali della tesi

A partire da queste domande, le ipotesi trasversali della tesi si articolano come segue:

- a) Le tecniche mente–corpo aumentano la flessibilità regolativa del sistema autonomico in particolar modo in indici specifici non correlati all'influenza diretta della respirazione.
- b) Tale effetto si manifesta in un incremento della *HRV* e in una maggiore coerenza tra parametri fisiologici e percezione soggettiva di benessere.
- c) Interventi mente-corpo sono in grado anche con una singola sessione di effetti acuti sul sistema autonomico.
- d) Il miglioramento osservato in vari domini psicologici come stress, ansia e percezione di autoefficacia risulta mediato da un miglioramento della regolazione fisiologica. In altri termini, la variazione della *HRV* compatibile con un ruolo da mediatore tra l'intervento e gli esiti psicologici, suggerendo un nesso causale tra i processi di autoregolazione biologica e quelli di autoregolazione esperienziale.
- e) Gli effetti neurofisiologici differiscono in funzione del tipo di intervento. Approcci centrati sull'attenzione e sulla consapevolezza, come una breve induzione di *Mindfulness* possono favorire un miglioramento graduale e *top-down* della regolazione autonoma, mentre approcci maggiormente misti con componenti anche *bottom-up* come la *BWM-T* possono indurre un effetto più immediato e fisiologico, agendo attraverso canali sensoriali e motori impliciti. Entrambi, tuttavia, convergono nell'aumentare la capacità del sistema di modulare in modo adattivo le proprie risposte allo stress.

1.7 Struttura della tesi

La presente tesi di dottorato adotta una struttura cumulativa, articolata in una revisione sistematica e tre studi sperimentali, uniti da un razionale teorico comune, ossia quello comprendere la regolazione psicofisiologica dello stress attraverso l'analisi integrata di parametri soggettivi e neurofisiologici, con particolare attenzione al ruolo della *HRV* come indice di flessibilità autonoma. Questa impostazione risponde all'esigenza di coniugare la profondità teorica con la verifica empirica, mantenendo una coerenza interna tra i diversi contributi e garantendo al contempo autonomia metodologica e specificità di risultati.

L'adozione del formato cumulativo riflette la progressione naturale del percorso di ricerca,

che si è sviluppato nel corso del triennio dottorale in modo coerente ma differenziato, ogni studio approfondisce un aspetto specifico del modello generale di regolazione mente–corpo, contribuendo a costruire un quadro integrato del fenomeno stress e dei suoi correlati fisiologici.

1.8 Architettura generale

La tesi si compone di tre parti principali, corrispondenti a un *continuum* che va dalla teoria alla verifica sperimentale, fino alla sintesi interpretativa finale.

- Parte I: Quadro teorico e razionale (Capitoli 1–4)

La prima parte della tesi definisce la cornice teorica e concettuale necessaria per comprendere la regolazione dello stress da una prospettiva multilivello e per contestualizzare il razionale degli studi empirici successivi. Questa sezione costruisce progressivamente il passaggio dall'inquadramento generale del fenomeno all'approfondimento dei meccanismi neurofisiologici e delle tecniche utilizzate per modularli.

Il Capitolo 1 introduce il contesto scientifico e applicativo del tema, descrivendo la rilevanza dello stress nella psicologia, nelle neuroscienze e nella psicologia dello sport. Vengono delineati i limiti degli approcci tradizionali, la necessità di misure oggettive e l'importanza di una prospettiva integrata che consideri congiuntamente i livelli centrale, autonomo ed endocrino. Il capitolo presenta inoltre il razionale generale della ricerca, le domande trasversali e le ipotesi che guidano l'intero progetto dottorale all'interno del solco tracciato dagli studi del professor Cozzolino.

Il Capitolo 2 offre un'analisi approfondita della regolazione psicofisiologica dello stress, attraverso la revisione dei principali modelli teorici, delle reti neurali coinvolte e dei sistemi biologici che mediano l'attivazione e l'adattamento. In questo capitolo vengono esaminati in dettaglio i contributi del sistema nervoso autonomo, dell'asse *HPA*, del modello allostatico e del *Central Autonomic Network*, fornendo una base teorica robusta per interpretare la dinamica dello stress.

Il Capitolo 3 è interamente dedicato alla *Heart Rate Variability (HRV)*, presentata sia come costruito neurocardiaco sia come indicatore privilegiato della regolazione autonoma e della flessibilità psicofisiologica. Vengono discusse le principali metriche, le

considerazioni metodologiche, le implicazioni interpretative e il ruolo teorico della *HRV* come biomarcatore della resilienza e dell'adattamento allo stress.

Il Capitolo 4 introduce il campo degli interventi mente–corpo e dei protocolli psicofisiologici, analizzandone i possibili meccanismi d'azione e le evidenze empiriche sugli effetti su ansia, stress e *HRV*. Questa sezione colloca gli studi sperimentali della tesi all'interno del dibattito internazionale su come le tecniche di regolazione fisiologica possano favorire l'adattamento psicologico e la performance.

Nel complesso, la Parte I costruisce la struttura teorica di riferimento e articola il razionale generale che guida la fase sperimentale. Essa fornisce le basi concettuali, metodologiche e applicative che permettono di interpretare in modo integrato i risultati degli studi presentati nelle parti successive della tesi.

- Parte II: Evidenze sperimentali e revisione sistematica (Capitoli 5-9)

Costituisce il nucleo empirico della tesi e include una revisione sistematica della letteratura e tre studi sperimentali originali.

Il capitolo 5 prevederà una iniziale collazione della parte II nel quadro complessivo della tesi.

Il capitolo 6 presenterà una revisione sistematica delle evidenze sull'impatto delle tecniche mente–corpo sulla *HRV* con l'obiettivo di individuare i principali trend metodologici e le lacune nella letteratura.

Il capitolo 7 illustrerà uno studio sperimentale volto a valutare gli effetti di una singola sessione di *Brain Wave Modulation Technique (BWM-T)* rispetto a un intervento di psicoeducazione sullo stress in studenti universitari, analizzando gli effetti su *HRV*, ansia e distress.

Il capitolo 8 descriverà un confronto tra *BWM-T* e una breve induzione di *Mindfulness*, con misurazioni pre, post e follow-up a 4 ore, per indagare le differenze nei pattern di recupero autonomico e autoregolazione psicologica rispetto ansia, distress e autoefficacia percepita.

Il capitolo 9 presenterà uno studio condotto su atleti amatoriali, volto a esaminare l'effetto di una sessione di *BWM-T* rispetto una di psicoeducazione, nel recupero psicofisiologico, l'ansia e le strategie di coping in seguito a uno stress cognitivo (*Stroop Test*).

Questa seconda parte fornisce le evidenze empiriche che permettono di verificare le ipotesi delineate nella sezione 1.5.

- Parte III: Sintesi, implicazioni e prospettive (Capitoli 10–12)

Rappresenta la sezione interpretativa e conclusiva del lavoro.

Il capitolo 10 propone una discussione generale dei risultati, integrando le evidenze provenienti dagli studi sperimentali e dalla revisione sistematica in una lettura comparativa e interdisciplinare dei meccanismi di regolazione psicofisiologica dello stress.

Il capitolo 11 discute i punti di forza, limiti e implicazioni della ricerca, soffermandosi su aspetti metodologici, teorici e applicativi.

Il capitolo 12, infine, presenta le conclusioni generali, sintetizzando il contributo scientifico della tesi e tracciando le prospettive per future linee di ricerca nel campo della psicofisiologia applicata allo stress e alla performance.

1.9 Coerenza e integrazione tra studi

Sebbene gli studi che compongono la tesi differiscano per contesto applicativo, metodologia e caratteristiche dei partecipanti, essi condividono una cornice epistemologica comune. Tutto il progetto si fonda sull'assunto che lo stress non rappresenti un evento isolato, ma un processo regolativo dinamico la cui qualità può essere osservata attraverso indicatori psicofisiologici di adattamento e flessibilità. Questa prospettiva unificante permette di collocare ogni studio lungo un medesimo asse concettuale, dall'analisi teorica dei meccanismi di regolazione, alla loro valutazione empirica in condizioni controllate, fino all'interpretazione dei *pattern* psicofisiologici che emergono nei diversi contesti. La revisione sistematica costituisce il punto di partenza dell'intero progetto, poiché identifica le variabili più rilevanti, chiarisce lo stato dell'arte e orienta la progettazione dei protocolli sperimentali. Gli studi successivi, condotti in ambito accademico, sportivo e laboratoriale, pur differendo per *setting* e popolazione, condividono la stessa logica di fondo, quella di osservare come specifici interventi mente–corpo influenzino i processi di regolazione psicofisiologica e valutare in che misura tali cambiamenti si traducano in benefici psicologici, cognitivi o prestazionali.

CAPITOLO 2

STRESS E REGOLAZIONE PSICOFISIOLOGICA: MODELLI TEORICI E SISTEMI DI RISPOSTA

2.1 Origini e sviluppo concettuale del costrutto di stress

L'evoluzione del concetto di stress rappresenta uno dei percorsi più significativi della storia della psicofisiologia, poiché riflette il progressivo tentativo di integrare la dimensione biologica, cognitiva e relazionale dell'esperienza umana di fronte alle minacce e alle richieste ambientali. Sebbene oggi lo stress venga comunemente inteso come una risposta psicofisiologica complessa e dinamica, la sua genesi teorica nasce da un dibattito multidisciplinare che ha attraversato oltre un secolo di studi, a partire dalle prime formulazioni fisiologiche di Claude Bernard fino alle moderne teorie di regolazione allostatica e predittiva (Bernard, 1865; Sterling et al., 1988; McEwen, 2007).

Nel corso del Novecento, il costrutto si è progressivamente spostato da un modello puramente meccanicistico e reattivo centrato sulla risposta corporea automatica a una perturbazione, verso una concezione interattiva e sistemica, che lo considera come un processo di valutazione, modulazione e adattamento continuo tra individuo e ambiente (Lazarus et al., 1984). Questa trasformazione concettuale non è stata soltanto terminologica, ma epistemologica in quanto ha ridefinito la natura stessa della psicologia fisiologica, introducendo una visione della mente e del corpo come elementi di un sistema unico e regolativo, in grado di apprendere e modificarsi attraverso l'esperienza. L'idea di fondo che attraversa tale evoluzione è che la vita si basi su di un equilibrio dinamico che risponde continuamente a richieste ambientali interne ed esterne. Gli organismi non mirano in sostanza semplicemente a mantenere uno stato costante, ma a regolare attivamente la loro variabilità e a tollerare l'instabilità funzionale necessaria alla sopravvivenza.

Come ha osservato tra i primi Cannon (1932), l'omeostasi non è una condizione statica, bensì una funzione attiva di controllo, ipotesi poi avvalorata dagli studi di Sterling (1988), in cui il controllo viene inteso non come un evento puramente retroattivo ma anticipatorio, e che questo comporti un costo metabolico e psicologico che definisce la qualità dell'adattamento. In questa prospettiva, la concezione dello stress è la storia della progressiva presa di coscienza di questo costo e dei meccanismi che lo generano, partendo

dalla mobilitazione fisiologica immediata, passando per un'attivazione ormonale prolungata, successivamente con una mediazione cognitiva del significato e infine con una riorganizzazione a livello cerebrale e autonomico.

Il percorso che porta alla definizione moderna di stress si può articolare in almeno tre grandi fasi. Una prima fase fisiologica e biomedica, dominata dalle figure di Bernard, Cannon e Selye, che delineano il quadro concettuale della risposta corporea e la sua base endocrina. Una seconda fase cognitiva e transazionale, con Lazarus, Folkman e la psicologia dello stress, che spostano il focus sull'interazione tra percezione, significato e risorse. E infine una fase neurofisiologica e regolativa, che integra neuroscienze, psiconeuroendocrinologia e teoria dell'allostasi (McEwen, Porges, Thayer), introducendo la dimensione della flessibilità e della previsione.

2.1.1 L'iniziale ricerca di radici fisiologiche alla base del concetto di stress

Le prime ipotesi scientifiche del concetto di stress affondano nella fisiologia ottocentesca, in un periodo in cui la biologia stava progressivamente scoprendo i meccanismi di autoregolazione dei sistemi viventi.

- *Claude Bernard e il milieu intérieur*

Il punto di partenza imprescindibile è rappresentato dall'opera di Claude Bernard del 1865 dal titolo "*Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*", il quale introdusse il principio di "*milieu intérieur*" ossia di ambiente interno, come condizione fondamentale della vita. Bernard sosteneva che la stabilità dell'ambiente interno fosse la condizione di vita libera e indipendente, sottolineando come l'organismo non possa sopravvivere se non mantenendo una relativa costanza delle proprie condizioni interne. In questa visione, il corpo vivente è un sistema chiuso rispetto all'esterno ma aperto al cambiamento interno, un'unità che regola la propria composizione chimica e i propri processi interni attraverso un funzionamento automatico di compensazione. Bernard anticipa le basi di quella che sarà poi la moderna nozione di regolazione fisiologica, infatti a partire da questo concetto, Walter Cannon (1932) elaborò il termine omeostasi per designare la tendenza dell'organismo a mantenere costanti le proprie variabili vitali nonostante le fluttuazioni dell'ambiente esterno.

- *Walter Cannon e l'omeostasi*

Cannon, studiò in modo sistematico i meccanismi attraverso i quali il sistema nervoso autonomo (*SNA*) media la risposta alle minacce ambientali. Attraverso esperimenti pionieristici condotti su animali, Cannon dimostrò che l'attivazione del sistema simpatico produce una serie di reazioni coordinate, tra cui aumento della frequenza cardiaca, dilatazione bronchiale, rilascio di adrenalina e noradrenalina dalla midollare del surrene, reazioni che preparano l'organismo all'azione immediata. È in questo contesto che egli coniò la celebre espressione "*fight or flight response*", cioè la risposta di attacco o fuga, come archetipo dell'adattamento biologico alle situazioni di pericolo.

Il contributo di Cannon fu duplice, in quanto da un lato egli unificò emozione e fisiologia, sostenendo che gli stati emotivi come paura, rabbia ecc., corrispondono a *pattern* corporei specifici e misurabili. Dall'altro, fornì una visione del corpo come sistema autoregolato, capace di compensare perturbazioni attraverso meccanismi riflessi e ormonali coordinati. L'omeostasi, nella sua formulazione originale, rappresentava dunque un equilibrio dinamico mantenuto attraverso un processo di retroazione negativa (*negative feedback*) in cui ogni deviazione da un valore ottimale genera una risposta di correzione che tende a riportare la variabile al punto di equilibrio.

Tuttavia, nella prospettiva di Cannon, lo stress rimaneva un fenomeno puramente reattivo in cui l'organismo rispondeva a uno squilibrio, ma non ne anticipava l'insorgenza. Restava centrata tale ipotesi sull'idea di un ritorno costante a un punto di riferimento fisso, una sorta di "*set-point*" biologico. Tale impostazione, pur avendo il merito di introdurre una logica di controllo integrato, non spiegava ancora come l'organismo potesse adattarsi a richieste prolungate o variabili nel tempo, né come potesse rimodellare i propri parametri di equilibrio.

Nonostante queste limitazioni Cannon intuì comunque qualcosa che avrebbe avuto grande influenza sulle generazioni successive di studi, ossia la connessione tra sistema nervoso autonomo e comportamento emozionale. Egli dimostrò che l'attivazione simpatica non è un evento isolato, ma una componente essenziale della motivazione e della sopravvivenza. Egli le descrisse inoltre come emozioni intense, fossero accompagnate da modificazioni

fisiologiche che servono a preparare l'organismo all'azione (Cannon, 1932). In questo senso, la reazione di “*fight or flight*” è la prima descrizione empirica della risposta di stress, intesa come mobilitazione di risorse fisiologiche per la difesa e l'adattamento.

Ma la visione di Cannon presenta anche implicazioni epistemologiche importanti, in quanto in primo luogo, essa riunifica mente e corpo dopo secoli di dualismo cartesiano, mostrando che gli stati mentali non sono meri epifenomeni, ma corrispondono a *pattern* di attivazione neurovegetativa. In secondo luogo, introduce la nozione di integrazione sistemica, secondo la quale le risposte fisiologiche non sono il risultato della somma di organi isolati, ma l'effetto coordinato di reti funzionali che comunicano tramite vie nervose e ormonali. Infine, Cannon riconosce che l'emozione e la motivazione non sono deviazioni patologiche dell'equilibrio, ma componenti adattive della regolazione vitale. Con Cannon, dunque, nasce una visione dell'organismo come unità autoregolata che interagisce con l'ambiente mediante un linguaggio fisiologico di attivazione e recupero.

Va notato che comunque il concetto di stress, in questa fase storica, non è ancora integrato assieme al costrutto psicologico, ma solo come una risposta di tipo biologico integrata. Tale approccio di matrice biomedica, infatti pone l'accento sulla necessità di difesa e sopravvivenza, ma lascia in ombra la dimensione della soggettività, del significato e della valutazione cognitiva dello stimolo. La transizione da questa visione omeostatica a una prospettiva più dinamica e adattiva richiederà ancora alcuni decenni e sarà segnata dall'opera di Hans Selye, che nel 1936 introdusse il termine “*stress*” come lo intendiamo oggi nel linguaggio della fisiologia moderna. Tuttavia, il contributo di Cannon rimane fondativo in quanto preludio indispensabile all'elaborazione della sindrome generale di adattamento teorizzata da Selye e, in seguito, ai modelli cognitivi e neurobiologici contemporanei.

- *Hans Selye e la Sindrome Generale di Adattamento (GAS)*

Un'ulteriore tappa decisiva nello sviluppo del concetto di stress è rappresentata dal lavoro di Hans Selye, endocrinologo austro-canadese, considerato il fondatore della moderna “*stress research*”. Fu Selye a trasferire il termine stress dal lessico dell'ingegneria, dove indicava genericamente una tensione applicata a un materiale, al linguaggio della fisiologia, ridefinendolo come la risposta aspecifica dell'organismo a qualunque richiesta

proveniente dall'ambiente (Selye, 1936), definizione ancora a oggi tra le più eleganti e maggiormente accettate in materia. La sua intuizione originaria nacque casualmente, infatti nei suoi esperimenti su ratti, Selye osservò che, indipendentemente dal tipo di agente nocivo somministrato che fosse un'infezione, un trauma, stimoli freddi o sovraccarico fisico, gli animali sviluppavano un insieme costante di alterazioni morfologiche e fisiologiche. Tale costanza portò Selye a ipotizzare l'esistenza di un meccanismo generale di adattamento capace di mediare le risposte dell'organismo a ogni forma di *stressor*. Nel 1936 pubblicò sulla rivista *Nature* l'articolo intitolato "*A syndrome produced by diverse noxious agents*" che segnò l'inizio ufficiale della teoria biomedica dello stress.

Selye definì questo complesso di reazioni come Sindrome Generale di Adattamento (*General Adaptation Syndrome, GAS*), articolata in tre fasi principali, che divennero il paradigma di riferimento per tutta la fisiologia dello stress del XX secolo.

Una prima fase di allarme (*alarm reaction*) in cui l'organismo riconosce la minaccia e attiva il sistema simpatico e l'asse ipotalamo–ipofisi–surrene (HPA). In questa fase si assiste a un picco di rilascio di adrenalina e cortisolo, con conseguente aumento della frequenza cardiaca e respiratoria, mobilitazione di glucosio, contrazione dei vasi periferici e inibizione di funzioni non essenziali come digestione, riproduzione e immunità. È quello che viene definito il momento dell'emergenza biologica, analogo alla reazione di "*fight or flight*" descritta da Cannon (1932).

Una seconda fase di resistenza (*stage of resistance*) in cui l'organismo entra in uno stato di adattamento sostenuto. I livelli ormonali restano elevati, ma si stabilizza un nuovo equilibrio funzionale che consente di mantenere la performance e la sopravvivenza.

L'energia è reindirizzata verso le funzioni di fronteggiamento, mentre i processi di recupero vengono temporaneamente sospesi.

Una terza fase di esaurimento (*stage of exhaustion*) la quale si verifica nel momento in cui la richiesta di adattamento supera la capacità di compensazione da parte dell'organismo.

Le riserve si esauriscono, il sistema immunitario si indebolisce e compaiono danni organici come ulcere, ipertrofia surrenalica, atrofia timica e in generale vulnerabilità a malattie.

L'organismo entra in una condizione di disorganizzazione funzionale in cui l'adattamento stesso diventa fonte di patologia.

Questa tripartizione costituì un modello euristico straordinariamente influente perché forniva per la prima volta una sequenza temporale e fisiologica dello stress,

dall'attivazione acuta alla compensazione fino al collasso. In essa lo stress non era più una semplice risposta momentanea, ma un processo biologico con dinamiche di accumulo e costo energetico. Selye interpretava la *GAS* come un meccanismo universale, comune a tutti gli organismi, indipendente dal tipo di *stressor* e dalla sua valenza.

Questa sua visione universale sul funzionamento dello stress si fondava su due principi cardine. Il primo è un'aspecificità nella risposta allo stress, per cui qualsiasi stimolo capace di rompere l'equilibrio omeostatico genera la stessa catena di eventi neuroendocrini. Il secondo il carattere adattivo della risposta, per cui lo stress non è intrinsecamente negativo in quanto esso rappresenta una forma di allenamento biologico che consente all'organismo di rafforzare le proprie capacità difensive. È proprio in base a questi principi che Selye introdusse per primo la distinzione fra “*eustress*” (stress benefico, positivo) e “*distress*” (stress dannoso, negativo), una distinzione che, anticipa le successive formulazioni psicologiche basate sulla percezione di controllo e significato (Lazarus et al., 1984) e che da qui in poi sarà centrale nella discussione sullo stress.

Selye individua anche un livello neurofisiologico, in particolare nell'asse *HPA*, il centro di regolazione endocrina della risposta allo stress. L'attivazione dell'ipotalamo porta alla liberazione di ormone di rilascio corticotropina (*CRH*), che stimola poi a sua volta l'ipofisi anteriore a secernere l'ormone adrenocorticotropo (*ACTH*), che a sua volta induce la corteccia surrenale a rilasciare glucocorticoidi (principalmente cortisolo). Questo circuito, oggi confermato e ampiamente descritto dalla neuroendocrinologia moderna (Herman et al., 2003; Kandel et al., 2021), rappresenta per Selye il principale meccanismo attraverso cui l'organismo paga il suo adattamento allo stress.

Con questa ipotesi di funzionamento da un lato Selye spostò l'attenzione dall'evento esterno alla risposta interna, ponendo la fisiologia al centro della spiegazione. Dall'altro introdusse il concetto di costo dell'adattamento, preludio del successivo concetto di “*allostatic load*” di McEwen & Stellar. Egli fu dunque il primo che teorizzò in modo scientifico, inteso in chiave moderna, il concetto che ogni risposta di adattamento comporta un consumo di risorse e che l'accumulo di tale costo nel tempo può tradursi in malattia.

Nonostante la sua importanza storica, il modello di Selye presenta limiti che diventeranno evidenti con l'avvento della psicologia cognitiva e delle neuroscienze affettive. In primo

luogo, l'idea di una risposta aspecifica non rende conto delle differenze individuali nella percezione e nella reattività. A parità di *stressor*, due individui possono mostrare *pattern* fisiologici profondamente diversi (Mason, 1971). Inoltre, la *GAS* non spiega il ruolo della mediazione cognitiva rispetto al significato personale attribuito allo *stressor*, né come il sistema nervoso centrale integri emozione, memoria e previsione del pericolo. In questo senso la componente psichica rimane implicitamente esclusa o ridotta a epifenomeno biologico. In secondo luogo, la sua teoria fortemente biomedica tende a considerare lo stress come un processo lineare, che va dall'attivazione all'esaurimento, trascurando la ciclicità, la modulazione e la plasticità dei sistemi regolativi. Infine, la sua concezione di costanza omeostatica implica che la salute coincide con la stabilità, mentre oggi sappiamo che una certa variabilità, per esempio nella *HRV* o nella secrezione ormonale, rappresenta un segno di flessibilità adattiva e non una disfunzione (Thayer et al., 2000; Shaffer et al., 2017).

Nonostante tali limiti, il contributo di Selye rimane fondamentale in quanto fu il primo a ipotizzare una prospettiva sistemica nella fisiologia, riconoscendo che la risposta allo stress coinvolge simultaneamente componenti nervose, endocrine e immunitarie. Ha poi fornito una base empirica riproducibile per lo studio del rapporto fra stress e malattia, aprendo la strada alla psiconeuroendocrinologia (Ader et al., 1995). Infine ha reso operativo il concetto di stress, trasformandolo da metafora a variabile misurabile e osservabile. Non è possibile inoltre trascurare l'impatto ispirazionale del suo lavoro, la sua idea di *GAS* ha guidato negli anni a venire lo sviluppo di modelli più complessi di regolazione, nei quali il costrutto di omeostasi è stato alla base dei futuri concetti di allostasi di Sterling & Eyer, di carico allostatico di McEwen e dei moderni modelli di integrazione neuroviscerale di Thayer & Lane.

2.1.2 La rivoluzione cognitiva: il modello transazionale di Lazarus e Folkman

Negli anni 60' e 70' del Novecento, il paradigma biomedico di Hans Selye entrò in una fase di profonda revisione teorica. L'idea di una risposta universale e aspecifica allo stress, valida per tutti gli individui e per ogni tipo di stimolo, non riusciva più a rendere conto della complessità dei comportamenti osservati e delle evidenti differenze soggettive nella reattività. A parità di *stressor*, alcune persone mostravano un aumento della performance, altre un crollo funzionale. Alcuni individui vivevano la stessa situazione come stimolante

mentre altri come opprimente. Tali discrepanze portarono progressivamente la psicologia a spostare il centro dell'attenzione non tanto tra lo stimolo e la risposta, ma nella relazione tra individuo e ambiente. In questo quadro si colloca la cosiddetta rivoluzione cognitiva nello studio dello stress, guidata da Richard S. Lazarus e successivamente da Susan Folkman.

- Il modello transazionale di Lazarus & Folkman

Lo psicologo americano Richard S. Lazarus ebbe il merito di rompere con la tradizione comportamentista e fisiologica, proponendo una visione dello stress come di un processo psicologico transazionale, ovvero di un'interazione dinamica e bidirezionale fra la persona e il contesto. Nella sua formulazione originale egli sostiene “*Lo stress non risiede né nell'ambiente né nella persona, ma nel modo in cui la relazione fra i due è valutata come eccedente le risorse e minacciosa per il benessere*” (Lazarus et al., 1984). In tal modo, il costrutto di stress si sposta da un piano oggettivo stimolo-risposta, verso un piano valutativo e soggettivo in cui il significato dell'evento diventa il determinante primario della risposta emotiva e fisiologica.

La svolta introdotta da Lazarus si fonda sul concetto di “*appraisal*”, ossia di valutazione cognitiva, la quale secondo l'autore si basa su due momenti fondamentali. Una prima valutazione primaria (*primary appraisal*) più rapida in cui l'individuo giudica se un evento è irrilevante, positivo o potenzialmente stressante. In quest'ultimo caso, la valutazione distingue ulteriormente tra una minaccia, ossia un pericolo imminente, una perdita ossia un danno già subito o una sfida ossia una possibile opportunità di crescita. Segue una valutazione secondaria (*secondary appraisal*) più lenta in cui la persona valuta le risorse di cui dispone per fronteggiare l'evento, tra cui la percezione di controllo, il supporto sociale, l'autoefficacia e le possibilità di *coping*.

Lo stress emergerebbe nel momento in cui sarebbe percepita una discrepanza tra le richieste dell'ambiente e le risorse disponibili per affrontarle. Secondo la visione di Lazarus non sarebbe dunque la situazione in sé a determinare lo stress, ma la valutazione personale attribuita alla situazione che comporterebbe poi l'intensità della reazione. Questa prospettiva introduce un principio di relatività psicologica per cui uno stesso evento può

essere fonte di *eustress* per un soggetto e di *distress* per un altro, a seconda delle rappresentazioni cognitive, delle aspettative e delle memorie emozionali implicate.

Il modello di Lazarus opera così una trasformazione radicale, lo stress diventa un processo dinamico di valutazione e rinegoziazione in cui la persona non subisce passivamente gli eventi, ma interpreta, prevede e modifica costantemente la propria relazione con essi. In questo senso la teoria transazionale di Lazarus rappresenta un'ulteriore evoluzione epistemologica, per cui lo il concetto di stress si allontana sempre di più da un evento esclusivamente biologico o un semplice riflesso, verso una costruzione cognitiva situazionale.

- Appraisal, coping e percezione di controllo

Successivamente, Lazarus e Folkman (1984) introducono il concetto di “*coping*”, definendolo come l'insieme di strategie cognitive e comportamentali messe in atto per gestire le richieste interne o esterne percepite come gravose o eccedenti le risorse personali. Il *coping* non è una caratteristica di tratto, bensì un processo dinamico che varia nel tempo e nel contesto caratterizzato da due grandi categorie funzionali. La prima definita *coping* focalizzato sul problema (*problem-focused coping*), ossia un *coping* orientato a modificare la situazione stressante o a risolvere la causa dello stress per esempio con pianificazione, ricerca di informazioni o azione diretta. La seconda denominata *coping* focalizzato sull'emozione (*emotion-focused coping*), ossia un *coping* orientato a regolare la risposta emotiva all'evento per esempio con reinterpretazione positiva, accettazione, distanziamento o ricerca di supporto emotivo. L'equilibrio tra queste due modalità dipende dalla natura dell'evento e dal grado di controllabilità percepita. Gli eventi considerati modificabili tendono ad attivare strategie “*problem-focused*” mentre quelli percepiti come inalterabili, strategie “*emotion-focused*”.

Questa distinzione, apparentemente semplice, introduce una variabile chiave nel modello psicofisiologico, ossia la percezione di controllo. Numerose ricerche successive dimostreranno che la percezione di controllo modula direttamente la risposta neuroendocrina e autonoma (Frankenhaeuser, 1986; Dickerson et al., 2004). Quando infatti l'individuo si percepisce impotente o privo di strategie efficaci, il sistema *HPA* rimane attivato più a lungo e la risposta simpatica diventa cronica, favorendo

l'accumulo di carico allostatico (McEwen, 1998). Come già accennato, uno dei limiti emersi nelle teorie precedenti riguardava la visione eccessivamente lineare nell'interazione tra ambiente e persona, limite che viene affrontato e superato nella teoria di Lazarus introducendo il concetto di transazione.

Questo concetto prevede dunque che lo stress non sia né interno né esterno, ma il risultato di una interazione bidirezionale in cui la persona influenza l'ambiente e ne è a sua volta influenzata. Tale approccio circolare supera la precedente logica lineare stimolo–risposta di Selye, introducendo un processo di feedback cognitivo–emotivo continuo tra individuo e contesto. In termini psicofisiologici, ciò significa che le risposte autonome e ormonali non sono semplicemente reazioni automatiche, ma riflettono l'esito temporaneo di un ciclo di valutazione e regolazione.

La componente cognitiva, quindi, non si aggiunge alla fisiologia, ma la modula costantemente, per cui un medesimo *stressor* fisico può generare risposte neurovegetative diverse a seconda della valutazione cognitiva del significato e della controllabilità percepite dal soggetto. In questo senso, la teoria transazionale getta le basi per la futura integrazione tra neuroscienze affettive e psicofisiologia. Studi successivi mostreranno che le regioni cerebrali coinvolte nell'*appraisal*, come la corteccia prefrontale ventromediale, l'amigdala, l'insula e il cingolato anteriore, sono effettivamente coinvolte anche nella modulazione del tono vagale e dell'attività dell'asse *HPA* (Thayer et al., 2000; Gianaros et al., 2015).

- Interazione tra cognizione, emozione e risposta fisiologica

La valutazione cognitiva e la risposta fisiologica costituiscono dunque due facce dello stesso processo regolativo, l'una rappresenta la dimensione soggettiva e simbolica mentre l'altra la dimensione automatica e corporea. Lazarus estese progressivamente la sua teoria dello stress al dominio delle emozioni, sostenendo che ogni emozione deriva da una valutazione cognitiva specifica. La paura, per esempio, nasce dalla percezione di minaccia, la rabbia dalla percezione di ingiustizia, la tristezza dalla valutazione di perdita. In questo modo, egli anticipò l'attuale concezione costruttivista delle emozioni (Barrett, 2017), in cui la mente costruisce l'esperienza emotiva a partire da valutazioni e previsioni apprese. Lo stress, in questa prospettiva, non è una categoria separata, ma una forma di emozione

complessa, in cui la componente motivazionale si intreccia con quella fisiologica e cognitiva.

Questa impostazione segna un punto di svolta anche per la psicologia clinica, se lo stress infatti è una valutazione, allora intervenire sullo stress non significa soltanto ridurre l'attivazione fisiologica, ma modificare i processi di attribuzione di significato e di percezione di controllo. Le tecniche mente-corpo, le quali integrano una componente fisica e una cognitiva, trarranno da questa intuizione la loro giustificazione teorica, mostrando come il cambiamento del significato possa trasformare la risposta fisiologica (Gross, 2015; Garland et al., 2019).

L'approccio di Lazarus & Folkman ha dunque ridefinito in modo duraturo la ricerca sullo stress, introducendo principi che rimangono tuttora centrali. Lo stress va compreso nel contesto specifico della relazione persona-ambiente; non esistono *stressor* universali ma relazioni significative; lo stress è un processo che evolve nel tempo; la persona modifica il contesto tanto quanto ne è influenzata e infine lo stress coinvolge componenti cognitive, emotive, fisiologiche e comportamentali integrate. Dal punto di vista metodologico, il modello transazionale spinge la ricerca a considerare variabili soggettive e dinamiche, come la percezione di controllo, la prevedibilità, la ruminazione e la flessibilità cognitiva come elementi determinanti nell'impatto della risposta fisiologica. Studi successivi hanno dimostrato come gli *stressor* che minacciano il sé sociale, impattando su status, appartenenza o autostima, provocano effettivamente attivazioni *HPA* più marcate rispetto agli *stressor* puramente fisici, sottolineando la centralità del significato attribuito nella risposta di stress (Dickerson et al., 2004; Slavich et al., 2014).

In questo senso dunque lo stress cessa di essere un semplice riflesso biologico o endocrino, ma diventa una funzione regolativa complessa, mediata dal significato, dalla consapevolezza e dalla capacità del sistema nervoso di attribuire senso e valore alle esperienze. È in questo punto di convergenza che la psicologia dello stress incontra la psicofisiologia, preparando il terreno per la successiva integrazione neurobiologica e per il passaggio, che verrà analizzato nei paragrafi successivi, dalla logica omeostatica alla logica allostatica della regolazione adattiva.

2.1.3 Verso l'integrazione tra mente e corpo

La moderna concezione del concetto di stress ha progressivamente condotto la ricerca psicologica a superare la storica separazione tra mente e corpo, ponendo le basi per un modello unitario del funzionamento umano. A partire dagli anni 80', la psicofisiologia integrativa proposta da Cacioppo & Tassinary (1990; 1992) ha rappresentato un ulteriore punto di svolta concettuale, promuovendo un paradigma in cui i processi psicologici e biologici vengono considerati come aspetti complementari di un unico sistema di autoregolazione.

Secondo questa prospettiva, gli eventi mentali non costituiscono entità astratte o indipendenti dalla dimensione organica, ma emergono dal continuo scambio informativo tra il sistema nervoso centrale e i sistemi periferici. La mente, in altri termini, è concepita come un processo incarnato (*embodied*), radicato nelle dinamiche fisiologiche che sostengono la percezione, l'emozione e l'azione. L'attività corporea non è quindi un semplice riflesso della mente, ma una componente attiva e co-costitutiva dell'esperienza psicologica.

La psicofisiologia integrativa introduce dunque l'idea che i processi cognitivi, emotivi e fisiologici siano legati da relazioni di reciproca influenza, piuttosto che da rapporti di causalità lineare. Cacioppo & Tassinary descrivono nel loro lavoro questa interdipendenza attraverso il concetto di *reciprocal determinism*, sottolineando come ogni stato mentale sia accompagnato da una configurazione fisiologica specifica e, viceversa, come le modificazioni corporee possano modulare i vissuti soggettivi e i processi decisionali. Ne deriva una visione circolare del funzionamento umano, in cui la mente e il corpo formano un sistema dinamico orientato all'adattamento.

Questa prospettiva ha implicazioni profonde per lo studio dello stress, in quanto suggerisce che le risposte fisiologiche allo stress come variazioni cardiache, endocrine e motorie, non rappresentino solo meri indici periferici di un disagio psichico, ma componenti centrali del processo stesso di regolazione. Lo stress, pertanto, non è un fenomeno puramente biologico né esclusivamente psicologico, ma un evento sistemico che coinvolge simultaneamente diversi livelli tra cui quello cognitivo, emotivo e corporeo. In tal senso, l'adattamento allo stress può essere inteso come la capacità dell'organismo di mantenere

coerenza funzionale tra i diversi sottosistemi, modulando l'attivazione in relazione al contesto. Il corpo, attraverso la rete neurovegetativa e quella ormonale, agisce come mediatore dell'esperienza soggettiva, fornendo al cervello segnali interni che orientano la percezione, la memoria e il comportamento. La mente, a sua volta, contribuisce a modellare tali risposte mediante l'attenzione, il significato attribuito agli eventi e le strategie di coping.

L'integrazione mente–corpo, in questa prospettiva, non è dunque una metafora, ma un principio operativo dell'autoregolazione umana, un ciclo continuo di negoziazione tra livelli fisiologici e psicologici, volto a garantire la sopravvivenza e l'adattamento. È su questa base che la ricerca psicofisiologica ha iniziato a esplorare in modo sistematico le connessioni tra cervello, cuore e comportamento, dando origine, come verrà approfondito nel paragrafo successivo, alla moderna psicofisiologia dello stress.

2.1.4 Nascita della psicofisiologia dello stress

Lo sviluppo della psicofisiologia dello stress nasce dall'esigenza di superare la tradizionale distinzione tra fattori psicologici e risposte biologiche, integrando in un unico quadro i processi cognitivi, emotivi e corporei che concorrono all'adattamento. Dopo i primi contributi della psicofisiologia integrativa, la ricerca ha progressivamente spostato l'attenzione dalle semplici correlazioni tra mente e corpo verso lo studio dei meccanismi regolativi che permettono all'organismo di mantenere equilibrio e flessibilità di fronte alle sollecitazioni ambientali. In questa prospettiva, come detto lo stress non è più concepito come una reazione unidimensionale a uno stimolo, ma come un processo dinamico di autoregolazione, governato da sistemi neurali complessi che modulano in modo coordinato la risposta cognitiva, fisiologica e comportamentale. Tale passaggio segna la nascita di un approccio esplicitamente neurofisiologico allo studio dello stress, in cui le dimensioni mentali e corporee vengono considerate parti interdipendenti di un medesimo circuito adattivo.

2.1.5 Tre contributi fondamentali

Tra i contributi che hanno maggiormente consolidato questa visione, il modello del *Central*

Autonomic Network (CAN) e la teoria della *Neurovisceral Integration* (Thayer & Lane, 2000) rappresentano due riferimenti fondamentali. Questi modelli descrivono un insieme di strutture corticali e sottocorticali che operano in modo sinergico per regolare l'attività del sistema nervoso autonomo, dell'asse *HPA* e del comportamento adattivo. Esse introducono inoltre il concetto di flessibilità regolativa, secondo cui la capacità di rispondere efficacemente allo stress dipende dall'integrità funzionale dei circuiti che collegano cervello, cuore e visceri. Parallelamente anche la *Polyvagal Theory* di Porges (1995; 2011) ha offerto un'interpretazione evolutiva dei meccanismi autonomici, evidenziando il ruolo del nervo vago come sistema di modulazione gerarchica delle risposte di difesa e di ingaggio sociale. In questa teoria, la regolazione fisiologica non riguarda soltanto la sopravvivenza, ma anche la possibilità di stabilire relazioni sicure e di interagire in modo flessibile con l'ambiente.

Pur non approfondendo qui i dettagli di tali modelli, che verranno ripresi nei paragrafi successivi dedicati ai sistemi autonomici e alle tecniche mente–corpo, è importante sottolineare sin da subito come essi abbiano contribuito a ridefinire il significato stesso di regolazione. La *emotion regulation*, tradizionalmente intesa come controllo cognitivo degli stati emotivi, viene progressivamente sostituita da una concezione più ampia di regolazione fisiologica integrata, nella quale i processi mentali sono parte di un sistema corporeo complesso e interdipendente. Questo spostamento di prospettiva ha aperto la strada a una comprensione più articolata dello stress come fenomeno sistemico, nel quale la salute non coincide con la riduzione dell'attivazione, ma con la capacità di modulare l'attivazione stessa in modo coerente con le richieste del contesto.

È su questa base che la psicofisiologia contemporanea ha potuto collegare in modo empirico gli indici di regolazione autonoma, come l'*HRV*, alle funzioni cognitive e affettive aprendo la via a un paradigma mente–corpo fondato sulla misurazione oggettiva della flessibilità fisiologica. Nei capitoli successivi, questi concetti verranno approfonditi in modo più dettagliato e tali sezioni consentiranno di tradurre il quadro teorico delineato fin qui, in un modello empirico capace di integrare mente, corpo e comportamento all'interno di un'unica cornice regolativa.

2.2 Dalla regolazione omeostatica all'allostasi e al carico allostatico

Comprendere i meccanismi attraverso cui l'organismo mantiene l'equilibrio di fronte alle sfide ambientali rappresenta un passo fondamentale per spiegare il funzionamento dello stress. Dopo aver delineato, nella sezione precedente, l'evoluzione del pensiero psicofisiologico e la progressiva integrazione tra mente e corpo, è necessario ora approfondire le leggi che governano la regolazione biologica e la sua flessibilità adattiva. La fisiologia classica ha interpretato tale regolazione secondo il modello dell'omeostasi, in cui la stabilità interna è preservata attraverso meccanismi di retroazione negativa che correggono ogni deviazione rispetto a un equilibrio prefissato.

Tuttavia, le moderne concezioni basate sulle neuroscienze e sulla psicologia clinica, mostrano che la sopravvivenza e il benessere non dipendono tanto dal mantenimento di uno stato invariabile, quanto dalla capacità del sistema di cambiare in modo efficiente per fronteggiare condizioni mutevoli. È in questa prospettiva che si inserisce il passaggio dal concetto di omeostasi a quello di allostasi, costruito introdotto da Sterling & Eyer (1988) per descrivere la stabilità attraverso il cambiamento, e successivamente ampliato da McEwen (1998; 2007) con la sua nozione di carico allostatico, ovvero il costo fisiologico dell'adattamento cronico. Nei paragrafi che seguono verranno analizzati i principali modelli di regolazione, dall'omeostasi classica alla teoria dell'allostasi e del carico regolativo, con l'obiettivo di delineare una cornice teorica coerente con la concezione contemporanea dello stress come processo dinamico e sistemico.

2.2.1 Il paradigma omeostatico: che cos'è e perché non basta

Il concetto di omeostasi rappresenta uno dei fondamenti della fisiologia moderna e costituisce il punto di partenza per comprendere i successivi sviluppi teorici relativi ai meccanismi di adattamento e regolazione. Come già discusso in precedenza, la nozione di "*milieu intérieur*" introdotta da Claude Bernard (1865) e successivamente formalizzata da Walter Cannon (1929), definisce l'organismo come un sistema autoregolato, capace di mantenere costanti le proprie condizioni interne nonostante le variazioni dell'ambiente esterno. Tale equilibrio è garantito da un insieme di meccanismi di feedback negativo che, attraverso il rilevamento di deviazioni da un valore di riferimento (*set-point*), attivano risposte correttive in grado di ristabilire la stabilità fisiologica. L'omeostasi, in questa

visione classica, implica dunque un modello circolare e reattivo della regolazione, per cui ogni sistema biologico tende a correggere le perturbazioni riportando il proprio stato a un punto di equilibrio prefissato. Questo principio è osservabile in molteplici processi corporei dalla termoregolazione alla glicemia, dal bilancio idrico al tono cardiovascolare e riflette l'idea di una stabilità interna come condizione necessaria alla sopravvivenza. La funzione regolativa è qui concepita come un meccanismo di compensazione, in cui la variazione viene interpretata come un errore da correggere.

Tuttavia, sebbene l'approccio omeostatico abbia fornito una cornice essenziale per comprendere l'equilibrio fisiologico, esso risulta insufficiente a spiegare la complessità delle risposte di stress e delle interazioni mente–corpo. In primo luogo, il modello omeostatico presuppone un sistema chiuso, nel quale il mantenimento della stabilità interna è prioritario rispetto al cambiamento. Oggi sappiamo piuttosto che l'organismo umano è un sistema aperto, costantemente esposto a stimoli, richieste e incertezze provenienti dall'ambiente in cui la sua sopravvivenza dipende più dalla capacità di adattarsi che da quella di preservare rigidamente un equilibrio. In secondo luogo, l'omeostasi si fonda sull'idea di un singolo *set-point* ottimale, ma le evidenze empiriche mostrano che i parametri fisiologici variano in modo flessibile e contestuale in funzione delle richieste situazionali (Shaffer et al., 2017).

L'attività cardiaca, per esempio, non è stabile in senso assoluto, ma oscilla continuamente in risposta alle esigenze cognitive, emotive e comportamentali e una sua buona variabilità rappresenta un segno di salute piuttosto che di instabilità. Infine, il modello omeostatico non spiega adeguatamente i fenomeni di adattamento proattivo e di apprendimento fisiologico, aspetto comune a molti sistemi corporei, i quali non si limitano a reagire a uno squilibrio già avvenuto, ma anticipano le perturbazioni sulla base di esperienze precedenti e segnali predittivi provenienti dall'ambiente. Questo tipo di regolazione, orientato non al ripristino ma alla previsione e alla modulazione flessibile dello stato interno, esula dai principi omeostatici classici.

Per queste ragioni, a partire dagli anni 80', è emersa la necessità di modelli più dinamici, capaci di descrivere la regolazione non come un ritorno all'equilibrio, ma come stabilità attraverso il cambiamento. Tale prospettiva, fu per prima introdotta da Sterling & Eyer (1988) i quali coniarono il termine allostasi.

2.2.2 Allostasi: stabilità attraverso il cambiamento

Il concetto di allostasi ha rappresentato un vero e proprio cambio di paradigma nella comprensione dei processi di adattamento, ponendo le basi per l'attuale visione della regolazione fisiologica come fenomeno predittivo e flessibile. Il termine allostasi (stabilità attraverso il cambiamento) fu introdotto per primi da Sterling & Eyer (1988) per descrivere un nuovo paradigma della regolazione biologica, capace di superare i limiti del modello omeostatico classico. Se quest'ultimo concepiva la sopravvivenza come il mantenimento di un equilibrio costante mediante meccanismi di retroazione negativa, l'allostasi riconosce che i sistemi viventi, e in particolare l'essere umano, mantengono la stabilità non resistendo al cambiamento, ma adattandovisi in modo flessibile e anticipatorio.

Secondo Sterling & Eyer, i sistemi biologici non reagiscono in modo passivo alle perturbazioni ambientali, ma si preparano proattivamente a fronteggiarle sulla base dell'esperienza e della previsione. L'organismo, pertanto, non cerca di preservare un *set-point* statico, bensì di raggiungere stati di equilibrio variabili, coerenti con le esigenze contingenti e le aspettative generate dall'ambiente. In questa prospettiva, la regolazione non consiste più nella correzione di variazioni già avvenuti, ma in un continuo processo di adattamento flessibile, che riduce la probabilità di variazioni anticipando le richieste future.

Il principio dell'allostasi affonda le proprie radici nella teoria dei sistemi complessi, secondo la quale gli organismi viventi si mantengono in vita grazie alla loro capacità di mutare configurazione in risposta alle variazioni contestuali. Ogni risposta fisiologica, dall'attivazione del sistema nervoso autonomo alla secrezione ormonale, rappresenta dunque una forma di aggiustamento adattivo guidato da reti di retroazione multiple e integrate. In questo senso, la stabilità non è una condizione statica, ma un fenomeno dinamico emergente dall'interazione costante tra i sistemi di controllo interni e l'ambiente esterno. Negli anni successivi, il concetto di allostasi è stato ulteriormente sviluppato da McEwen (1998; 2007), il quale ha descritto il cervello come il principale organo dell'allostasi, poiché coordina e integra le risposte neuroendocrine, autonome e comportamentali al fine di garantire l'adattamento dell'intero organismo. L'attività cerebrale, in questa cornice, non è concepita come un meccanismo di risposta, bensì come

un sistema predittivo e regolativo, capace di generare modelli anticipatori delle richieste ambientali e di orchestrare le modificazioni fisiologiche necessarie a mantenerne la coerenza interna.

A partire da ciò, Sterling (2012) ha ulteriormente raffinato il modello, descrivendo il cervello come un sistema di “*prediction and correction*” basato su cicli di previsione continua. Il cervello infatti in questo modello, è pensato come un organo che elabora segnali sensoriali e interocettivi per stimare lo stato futuro dell’ambiente e dell’organismo stesso, modulando di conseguenza la pressione arteriosa, la frequenza cardiaca, l’attività metabolica e l’equilibrio endocrino. In altre parole, il cervello non reagisce all’ambiente ma lo anticipa, adeguando le risposte corporee prima ancora che l’evento stressante si manifesti pienamente.

Questo concetto si inserisce nel più ampio quadro della neuroscienza predittiva o “*predictive processing framework*”, in base alla quale il cervello funziona come una macchina di inferenza gerarchica che costruisce modelli del mondo per ridurre al minimo la discrepanza tra ciò che si aspetta e ciò che percepisce. Le emozioni, i pensieri e le risposte fisiologiche possono essere interpretati come strategie predittive di regolazione, specifiche modalità con cui il sistema mente–corpo gestisce le risorse energetiche e l’incertezza dell’ambiente.

In linea con questa impostazione, Barrett (2017) ha reinterpretato il concetto di emozione proprio alla luce dell’allostasi, definendola come un atto di regolazione predittiva dello stato corporeo. Le emozioni non sarebbero semplici reazioni a stimoli esterni, ma processi che consentono all’organismo di prepararsi in anticipo alle richieste ambientali, distribuendo energia e attenzione in modo coerente con le previsioni del cervello. In tal senso, la vita mentale e la regolazione fisiologica condividono la stessa finalità ossia garantire la stabilità adattiva attraverso un controllo anticipatorio delle risorse.

Il cuore della teoria allostatica risiede dunque nel concetto di controllo “*feedforward*”, che si affianca e in molti casi sostituisce, il tradizionale controllo a *feedback* dell’omeostasi. Nella concezione classica del concetto di *feedback*, infatti si prevede che una perturbazione debba prima essere percepita affinché il sistema attivi una risposta correttiva. A livello neurofisiologico, il controllo *feedforward* riflette l’azione di circuiti centrali, in particolare

corteccia prefrontale, insula e amigdala, che generano previsioni sui requisiti futuri del compito e modulano di conseguenza l'output autonomico. Come mostrato dal modello neuroviscerale di Thayer & Lane, queste aree esercitano un'influenza discendente sul nodo cardiaco attraverso il nervo vago, predisponendo l'organismo allo stato fisiologico più efficiente prima che la sfida si manifesti.

Questo meccanismo spiega perché indicatori come la frequenza cardiaca o la conduttanza cutanea iniziano a modificarsi già durante la fase anticipatoria di uno stimolo, in assenza di un *trigger* fisico immediato. Per esempio, la frequenza cardiaca aumenta, non solo quando l'individuo inizia a correre, ma anche quando il cervello prevede la necessità di uno sforzo imminente. Questa capacità predittiva consente al sistema biologico di rispondere in modo più efficiente e meno costoso in termini energetici. Tuttavia, proprio perché i meccanismi allostatici sono dinamici e anticipatori, essi richiedono un continuo aggiornamento dei modelli interni e delle soglie di attivazione. Quando l'ambiente cambia troppo rapidamente o le previsioni non vengono corrette in modo adeguato, il sistema può rimanere in uno stato di iperattivazione cronica, generando quello che McEwen (1998) ha definito "*allostatic load*", ossia il costo fisiologico dell'adattamento prolungato.

Un'altra implicazione centrale dell'allostasi riguarda la regolazione energetica, elemento basato sul fatto che ogni processo predittivo richieda energia. In questo senso il cervello, responsabile di circa il 20% del consumo metabolico dell'organismo, ottimizza costantemente la distribuzione delle risorse per ridurre quello che potremmo definire come il costo dell'incertezza. In questa prospettiva, lo stress può essere inteso come una rottura dell'equilibrio energetico predittivo, in cui le risposte allostatiche diventano eccessive, inefficaci o disfunzionali rispetto alle reali esigenze del contesto.

2.2.3 Il carico allostatico: il costo dell'adattamento

Il paradigma allostatico sostituisce dunque l'idea di un equilibrio statico con quella di una regolazione dinamica, predittiva e contestuale in cui la mente e il corpo cooperano per garantire la stabilità dell'organismo attraverso il cambiamento continuo. Tuttavia, la stessa plasticità che consente l'adattamento può trasformarsi in vulnerabilità quando le richieste ambientali superano la capacità del sistema di recuperare, questo fenomeno è stato definito come carico allostatico.

Il concetto di carico allostatico (*allostatic load*) come detto è stato introdotto da McEwen & Stellar (1993) per descrivere il costo fisiologico dell'adattamento che si accumula quando i sistemi di regolazione dello stress vengono attivati in modo eccessivo o prolungato. Una definizione maggiormente specifica data dai due autori lo definisce come la somma cumulativa delle alterazioni fisiologiche associate all'attivazione cronica o inefficiente dei meccanismi di risposta allo stress che coinvolge in modo interdipendente i sistemi neuroendocrino, autonomico, immunitario e metabolico e si manifesta attraverso cambiamenti sia strutturali sia funzionali.

Mentre l'allostasi rappresenta la capacità dell'organismo di mantenere la stabilità attraverso il cambiamento, il carico allostatico esprime il prezzo biologico che tale flessibilità comporta quando la richiesta di adattamento diventa cronica, riducendo progressivamente l'efficienza del sistema regolativo. Secondo McEwen & Stellar, ogni episodio di attivazione allostatica, come per esempio un aumento temporaneo della frequenza cardiaca, del cortisolo o della conduttanza cutanea, è in sé adattivo in quanto prepara l'organismo a fronteggiare la sfida ambientale e a ripristinare un nuovo equilibrio. Tuttavia, quando tali attivazioni si ripetono con frequenza elevata, durano troppo a lungo o non vengono seguite da un adeguato recupero, i sistemi di regolazione perdono flessibilità, generando un accumulo di stress fisiologico che mina la salute fisica e mentale.

Il concetto di carico allostatico traduce quindi in termini biologici l'idea che fino a qualche decennio fa sembrava errata, ossia che il troppo adattamento può diventare disadattivo. McEwen & Stellar distinguono quattro principali situazioni in cui l'attivazione allostatica diventa disfunzionale.

- 1) Attivazione ripetuta: in cui l'organismo è esposto a *stressor* frequenti, anche di bassa intensità, che richiedono continue risposte di adattamento;
- 2) Mancata cessazione nella risposta da parte del *SNA* e *HPA*: che restano attivi anche dopo la scomparsa dello stimolo, impedendo il ritorno al basale;
- 3) Risposta inadeguata allo stress: in cui la risposta è troppo debole o troppo forte rispetto alla richiesta ambientale, generando inefficienza regolativa;
- 4) Mancata inibizione o feedback inefficace: che si verifica quando i meccanismi di retroazione negativa, deputati a spegnere l'attivazione, risultano compromessi.

Questi quattro profili descrivono diverse forme di disallineamento tra domanda ambientale e risposta fisiologica, ma in tutti i casi, l'effetto è quello di una iper o ipo-regolazione cronica, che comporta una perdita della capacità di oscillare in modo flessibile, una condizione che si riflette, per esempio, nella riduzione della *HRV* e in un tono vagale depresso.

Sul piano neurofisiologico, il carico allostatico deriva dall'attivazione prolungata dell'asse *HPA* e del ramo simpatico del *SNA*, a causa del rilascio continuato di cortisolo e catecolamine che alterano la sensibilità dei recettori glucocorticoidi, indebolendo i meccanismi di *feedback* che normalmente limitano la risposta di stress. A lungo termine, ciò conduce a un circolo vizioso di iperattivazione, in cui l'organismo mantiene livelli elevati di *arousal* anche in assenza di minacce reali.

Parallelamente, si osserva un rimodellamento strutturale in aree cerebrali chiave come l'amigdala, l'ippocampo e la corteccia prefrontale. L'ippocampo, deputato all'inibizione del rilascio di cortisolo, subisce fenomeni di atrofia dendritica, mentre l'amigdala può andare incontro a iperplasia sinaptica, aumentando la reattività emotiva e la vigilanza. La corteccia prefrontale, responsabile del controllo cognitivo e della regolazione esecutiva, mostra una riduzione della connettività con le aree limbiche, compromettendo la capacità di modulare l'attivazione. Queste modificazioni neurali riflettono una trasformazione del funzionamento regolativo che passa da un sistema flessibile e adattivo a uno rigido, iperreattivo o in situazioni ancora più prolungate ipo-reattivo arrivando al collasso (Thayer et al., 2019).

Il concetto di carico allostatico fornisce inoltre una cornice esplicativa per comprendere come lo stress cronico possa produrre effetti diffusi sull'organismo (McEwen et al., 2011; Guidi et al., 2021).

- Sistema cardiovascolare: l'iperattività simpatica e la ridotta modulazione parasimpatica favoriscono l'insorgenza di ipertensione, aritmie e alterazioni della funzione endoteliale;
- Sistema metabolico: l'eccesso di cortisolo contribuisce allo sviluppo di una insulino-resistenza, redistribuzione del grasso viscerale e alterazioni del metabolismo lipidico;
- Sistema immunitario: il rilascio continuativo di catecolamine e glucocorticoidi induce una disfunzione bifasica con una iniziale iperattivazione infiammatoria seguita da immunosoppressione e conseguente aumento della vulnerabilità a infezioni e processi

degenerativi;

- Sistema neuropsicologico: le disfunzioni ormonali aumentano il rischio di sviluppare disturbi dell'umore, deficit cognitivi, ansia generalizzata, burnout e sindromi da sovraccarico da performance.

Questi effetti sistemici rivelano come il carico allostatico non riguarda un singolo apparato, ma l'intero ecosistema regolativo dell'organismo, in quanto quella che si verifica è una condizione di disallineamento energetico in cui i costi dell'adattamento superano i benefici, compromettendo la capacità del sistema di autoregolarsi in modo efficiente. In questo senso, la perdita di variabilità, osservabile nella riduzione di *HRV*, rappresenta l'indicatore fisiologico più immediato di tale deterioramento. Nonostante la sua connotazione negativa, il concetto di carico allostatico non implica che ogni attivazione fisiologica sia dannosa, McEwen & Stellar anzi sottolineano che l'allostasi è indispensabile per la sopravvivenza, in quanto solo un sistema in grado di variare può adattarsi. Il problema emerge nel momento in cui la variazione diventa cronica o non proporzionata al contesto ed è in questa ottica, che il carico allostatico può essere interpretato come un fallimento della flessibilità regolativa.

La resilienza, concettualmente opposta al carico, consiste nella capacità del sistema di recuperare rapidamente un nuovo equilibrio dopo la perturbazione, mantenendo intatta la sua variabilità funzionale. Ciò spiega perché gli individui dotati di maggiore flessibilità autonoma (per esempio alta *HRV*) risultano più protetti dagli effetti deleteri dello stress cronico. La fisiologia della resilienza si fonda dunque sulla possibilità di alternare efficacemente attivazione e recupero, evitando l'accumulo del carico allostatico.

Il carico allostatico rappresenta pertanto la dimensione oscura dell'allostasi, il punto in cui la regolazione predittiva, da processo adattivo, si trasforma in fonte di usura sistemica. È l'espressione fisiologica di un paradosso, lo stesso meccanismo che consente l'adattamento diventa, se eccessivamente sollecitato, causa di vulnerabilità. Questo paradigma spiega fenomeni apparentemente diversi, dal *burnout* lavorativo all'*overtraining* sportivo, riconducendoli a un comune denominatore ossia la perdita di capacità regolativa. Comprendere il carico allostatico significa dunque comprendere i limiti dell'adattamento e la necessità di pratiche e interventi capaci di ripristinare la flessibilità del sistema mente-corpo.

Nei paragrafi successivi verranno esaminati i principali indicatori di carico allostatico e di resilienza fisiologica, con particolare attenzione alla *HRV* che rappresenta un marcatore complementare della capacità del sistema di regolare l'attivazione e recuperare equilibrio.

2.2.4 Indicatori di carico allostatico e resilienza fisiologica

La concettualizzazione del carico allostatico come costo biologico dell'adattamento ha portato alla necessità di identificare indicatori fisiologici affidabili in grado di quantificare il livello di usura regolativa del sistema mente–corpo. Tali indicatori forniscono una misura oggettiva della capacità dell'organismo di rispondere in modo flessibile alle richieste ambientali e di recuperare una condizione di equilibrio dopo l'attivazione. Fin dagli anni 2000, diversi autori (Seeman et al., 2001; Juster et al., 2010) hanno proposto di costruire indici compositi di carico allostatico, integrando variabili appartenenti a differenti sistemi fisiologici: neuroendocrino, autonomico, metabolico e infiammatorio. Questa prospettiva multidimensionale riflette l'idea che nessun singolo parametro possa rappresentare da solo la complessità dell'adattamento e che la salute regolativa dipenda dall'interazione coordinata dei diversi sistemi di risposta.

- Indicatori singoli

Uno degli indicatori più studiati è il cortisolo, che è ritenuto essere specchio del funzionamento dell'asse *HPA*, il principale sistema ormonale coinvolto nella risposta di stress. In condizioni normali di regolazione efficiente e flessibile, il cortisolo segue un ritmo circadiano caratterizzato da un picco mattutino e una graduale riduzione nel corso della giornata. Tuttavia, l'esposizione prolungata a *stressor* altera tale ritmo, determinando un profilo piatto o invertito, spesso associato a una iperattivazione iniziale seguita da un esaurimento funzionale. Un'eccessiva e persistente secrezione di cortisolo, come evidenziato da McEwen et al. (2011), comporta effetti catabolici su metabolismo, sul sistema immunitario e sulle strutture cerebrali sensibili agli ormoni dello stress, come l'ippocampo e la corteccia prefrontale.

La misurazione del cortisolo può avvenire attraverso plasma, saliva o capelli, ciascuna con una diversa sensibilità temporale. Plasma e saliva forniscono indici di attivazione acuta,

mentre la concentrazione nel capello riflette l'esposizione cronica nelle settimane precedenti. Nell'ambito della valutazione del carico allostatico, l'analisi del cortisolo rappresenta quindi un biomarcatore dell'efficienza del sistema *HPA*, utile per distinguere tra condizioni di reattività sana e di disregolazione cronica.

Sul versante autonomico, l'*HRV* costituisce uno degli indicatori più sensibili della capacità regolativa del sistema mente–corpo. Essa misura le fluttuazioni degli intervalli tra battiti cardiaci consecutivi e riflette l'equilibrio dinamico tra i rami simpatico e parasimpatico del sistema nervoso autonomo. Una *HRV* elevata indica un sistema vagale flessibile e capace di modulare l'attivazione in modo rapido ed efficiente, mentre una *HRV* ridotta segnala rigidità autonoma e ridotta capacità di recupero dallo stress.

Numerosi studi (Thayer et al., 2012; Shaffer et al., 2017) hanno dimostrato come questo indicatore rappresenti un marcatore affidabile di resilienza fisiologica, poiché correla con la capacità di autoregolazione cognitiva, di controllo emotivo e di adattamento sociale. L'associazione tra *HRV* e funzioni esecutive ha trovato inoltre una solida base teorica nel modello della *Neurovisceral Integration* (Thayer & Lane, 2000; 2009), secondo cui l'efficienza delle connessioni tra corteccia prefrontale, amigdala e tronco encefalico permette di regolare simultaneamente l'attività autonoma e i processi cognitivi di controllo. In questo senso, l'*HRV* può essere considerata un indice periferico della flessibilità neurocognitiva, una sorta di ponte misurabile tra mente e corpo che riflette il grado di coerenza del sistema regolativo.

Anche analisi ematiche che riflettono la funzionalità del sistema immunitario possono svolgere un ruolo nel determinare il livello di carico allostatico. Periodi prolungati di stress alterano i livelli di catecolamine e glucocorticoidi, elemento questo che altera l'equilibrio citochinico, promuovendo una risposta infiammatoria di basso grado (*low-grade inflammation*) caratterizzata da un incremento di *marker* come la proteina C-reattiva (*CRP*), l'interleuchina-6 (*IL-6*) e il fattore di necrosi tumorale alfa (*TNF- α*). Questa condizione, se protratta nel tempo, favorisce lo sviluppo di patologie cardiovascolari, disturbi metabolici e decadimento cognitivo (Juster et al., 2010; Slavich et al., 2014). Analogamente, anche marcatori metabolici tra cui glucosio, colesterolo, trigliceridi e indice di massa corporea, sono spesso inclusi negli indici compositi di carico allostatico. Essi riflettono la capacità del sistema di gestire l'energia e di mantenere l'equilibrio tra

richieste di consumo e disponibilità di risorse, funzione centrale per l'allostasi.

L'alterazione di questi parametri è una delle prime evidenze di uno sbilanciamento cronico nei meccanismi di regolazione energetica.

- *Indicatori multidimensionali*

Alcuni autori sostengono però che sia necessario affidarsi a indici multidimensionali di carico allostatico, costruiti combinando più parametri fisiologici. Il modello di Seeman et al. (2001) include dieci biomarcatori appartenenti a quattro sistemi diversi (neuroendocrino, autonomico, metabolico e infiammatorio), la cui deviazione dai valori normativi contribuisce al punteggio complessivo di carico. In modo analogo, Juster et al. (2010) hanno proposto una versione aggiornata che integra variabili di diversa latenza temporale, distinguendo tra indicatori di stress acuto (es. *HRV*, pressione arteriosa, cortisolo salivare) e di stress cronico (es. *BMI*, *CRP*, cortisolo nei capelli).

L'obiettivo di tali approcci è fornire una misura sintetica della usura fisiologica cumulativa, utile sia in ambito clinico sia di ricerca per correlare lo stato regolativo con *outcome* psicologici, cognitivi e di salute generale. Questi indici compositi, tuttavia, presentano anche limiti metodologici, legati alla selezione dei biomarcatori, alla mancanza di standardizzazione dei *cut-off* e alla variabilità interindividuale. Nonostante tali criticità, il concetto di carico allostatico multidimensionale rimane un riferimento fondamentale per la psicofisiologia contemporanea, poiché integra in un'unica cornice i diversi livelli di funzionamento del sistema mente–corpo.

2.3 *Risposta allo stress: SNA e asse HPA*

L'elaborazione teorica dello stress come processo di regolazione allostatica trova la sua espressione concreta nei sistemi fisiologici effettori che traducono le valutazioni cognitive e le percezioni emotive in modificazioni corporee coordinate. Tra questi, due assi regolativi rappresentano i pilastri fondamentali della risposta di stress: il sistema nervoso autonomo (*SNA*) e l'asse ipotalamo–ipofisi–surrene (*HPA*). Come già accennato nel corso di questo lavoro, il primo media le risposte rapide, automatiche e reversibili dell'organismo ossia quelle che consentono di fronteggiare nell'immediato una minaccia attraverso variazioni cardiovascolari, respiratorie e motorie. Il secondo invece governa i processi più lenti e duraturi di adattamento endocrino e metabolico, modulando l'attività del cortisolo e

l'equilibrio energetico. Questi due sistemi non operano in modo indipendente, ma in stretta integrazione funzionale, da una parte il *SNA* fornisce una risposta di attacco o fuga immediata, mentre l'*HPA* regola il mantenimento e la cessazione dell'attivazione. Insieme, essi formano la base fisiologica del passaggio dall'*appraisal* psicologico alla reazione corporea e rappresentano il punto d'incontro tra mente, cervello e corpo nel processo di adattamento allo stress.

2.3.1 Il sistema nervoso autonomo: architettura e funzioni

Il sistema nervoso autonomo (*SNA*) costituisce la principale infrastruttura di regolazione interna dell'organismo. È il sistema deputato al controllo automatico delle funzioni viscerali e vegetative che assicurano la sopravvivenza e l'adattamento dell'individuo. Il termine autonomo riflette la capacità di queste funzioni di operare indipendentemente dalla volontà cosciente, pur restando integrate con le attività cognitive ed emotive superiori. Da un punto di vista evolutivo, il *SNA* rappresenta una delle strutture più antiche e conservative del sistema nervoso, nato per garantire la coordinazione immediata tra ambiente e organismo. All'interno della prospettiva allostatica, esso agisce come effettore primario della regolazione fisiologica, traducendo le esigenze predittive del cervello in aggiustamenti corporei coerenti con il contesto. La sua efficienza dunque non consiste in una stabilità rigida, ma nella capacità di modulare in modo continuo l'attività viscerale, garantendo l'equilibrio dinamico necessario all'adattamento.

Il *SNA* si divide in tre componenti funzionali, che assolvono funzioni diverse: il sistema simpatico associato ai processi di mobilitazione delle risorse fisiologiche; il sistema parasimpatico implicato nel recupero e conservazione dell'energia; e infine il sistema enterico rete neuronale semi-indipendente che regola la motilità e le secrezioni gastrointestinali. Ciascuna di queste componenti contribuisce al mantenimento della stabilità interna modulando, in modo coordinato e reciproco, l'attività degli organi bersaglio. Il risultato non è una semplice alternanza, ma una interazione dinamica che consente al sistema di adattare rapidamente i parametri corporei alle esigenze dell'ambiente. La regolazione autonoma si fonda dunque su un principio di integrazione funzionale, più che di opposizione tra i suoi diversi rami. A livello periferico, il *SNA* comprende vie afferenti, che trasportano al sistema nervoso centrale informazioni sullo stato dei visceri, e vie efferenti che trasmettono i comandi motori ai tessuti e agli organi.

Le fibre efferenti pregangliari e postgangliari formano reti di gangli autonomici interconnessi, che rappresentano nodi di trasmissione e modulazione del segnale tra il sistema centrale e quello periferico. Attraverso questo circuito, il *SNA* regola con precisione la frequenza cardiaca, il tono vascolare, la pressione arteriosa, la respirazione e le funzioni metaboliche, mantenendo una continua interazione bidirezionale tra cervello e corpo. Da quanto sinora descritto emerge appieno la complessità del *SNA*, il quale opera mediante un funzionamento multilivello, che coinvolge strutture corticali, sottocorticali e troncoencefaliche.

Tale complessità è rappresentata al meglio nel modello del *Central Autonomic Network (CAN)* (Benarroch, 1993), dove il *CAN* rappresenta una rete funzionale che integra processi cognitivi, emotivi e interocettivi con la regolazione viscerale. Il modello *CAN* prevede il coinvolgimento in particolar modo delle seguenti strutture:

- 1) Aree corticali: corteccia prefrontale ventromediale, la corteccia cingolata anteriore e l'insula anteriore, le quali forniscono rappresentazioni cognitive e affettive dello stato corporeo e partecipano alla regolazione volontaria e consapevole delle emozioni.
- 2) Livello sottocorticale: ipotalamo, amigdala e grigio periacqueduttale, che costituiscono i centri di integrazione tra i sistemi motivazionali, endocrini e autonomici.
- 3) Tronco encefalico, con suoi diversi nuclei coinvolti come il nucleo del tratto solitario (*NTS*), il nucleo ambiguo, la formazione reticolare e il *locus coeruleus*, che rappresenta il principale snodo effettore del controllo autonomico.

Queste diverse regioni sono interconnesse da fibre discendenti e ascendenti che garantiscono un controllo distribuito, non esiste infatti un singolo centro che governi il *SNA*, ma una rete coordinata in grado di modulare le risposte in modo flessibile e contestuale. Le informazioni interocettive provenienti dai visceri raggiungono il *NTS*, da qui le informazioni vengono integrate nell'insula e nel cingolato e, a loro volta, modulano l'attività delle aree limbiche e prefrontali. Questo circuito chiuso consente una regolazione continua e circolare, in cui il corpo informa la mente e la mente modula il corpo. Il funzionamento sino qui descritto del *SNA* illustra in modo paradigmatico l'unità funzionale tra processi mentali e regolazione fisiologica.

Un ulteriore livello di interpretazione del funzionamento del *SNA* è dato dal modello *Neurovisceral Integration* (Thayer et al., 2000; 2009), il quale interpreta il tono autonomico come un riflesso della connettività funzionale tra la corteccia prefrontale e le strutture sottocorticali che controllano il cuore e i visceri. In questa visione, la flessibilità autonoma non è soltanto una proprietà periferica, ma il risultato della capacità del cervello di inibire o facilitare le risposte emotive e fisiologiche in modo contestuale, per cui l'efficienza regolativa dipende dall'integrità dei circuiti che collegano cognizione, emozione e fisiologia. Tale modello è confermato da studi basati sulle neuroscienze (Critchley et al., 2017; Gianaros et al., 2015), i quali dimostrano che l'attività autonoma non è indipendente dalla coscienza, ma partecipi effettivamente alla costruzione dell'esperienza soggettiva. Le afferenze viscerali contribuiscono infatti alla percezione degli stati corporei, influenzando l'elaborazione emotiva e decisionale.

Questo intreccio tra mente e corpo sottolinea come il *SNA* non sia solo un sistema di risposta automatica, ma un dispositivo cognitivo-incarnato che permette all'organismo di percepire e regolare sé stesso. Il principio operativo alla base del funzionamento del *SNA* è rappresentato dunque dalla flessibilità, intesa come capacità di variare i *pattern* di attivazione in funzione delle esigenze ambientali e interne. A differenza dei sistemi lineari, l'attività autonoma si caratterizza per oscillazioni costanti e modulazioni continue, che riflettono la sua natura adattiva. In un sistema sano, le fasi di attivazione e recupero si alternano in modo fluido, mantenendo un equilibrio dinamico che consente di rispondere rapidamente e di ritornare con altrettanta rapidità allo stato di quiete. La perdita di questa variabilità, che può manifestarsi come iperattivazione cronica o rigidità di risposta, è il segno fisiologico di una riduzione della capacità allostatica e, nel lungo termine, del carico regolativo.

Nelle sezioni successive verranno analizzati i due principali rami effettori, il sistema simpatico e quello parasimpatico, che pur operando in sinergia, svolgono funzioni specifiche nella modulazione dell'attivazione e del recupero fisiologico.

2.3.2 Il ramo simpatico: la risposta immediata

Il sistema nervoso autonomo nel ramo simpatico (*SNS*) costituisce il principale meccanismo di risposta rapida dell'organismo agli stimoli ambientali che minacciano

l'omeostasi o richiedono un aumento immediato delle risorse fisiologiche. All'interno del modello allostatico, esso rappresenta il primo anello della catena effettoria dello stress, traducendo in tempi estremamente brevi gli stati cognitivi ed emotivi in modificazioni somatiche coordinate. La sua funzione primaria non è quella di generare una risposta patologica o di emergenza, ma di ottimizzare l'adattamento acuto, consentendo all'organismo di affrontare situazioni di sfida, pericolo o elevata richiesta prestativa.

Il concetto di "*fight or flight response*", introdotto da Walter Cannon (1915), costituisce il punto di partenza storico per la comprensione del funzionamento del ramo simpatico. Cannon descrisse come, in presenza di un pericolo, l'attivazione simultanea del sistema simpatico e della midollare del surrene determinasse una cascata di risposte fisiologiche volte a preparare l'organismo all'azione. Successivamente, modelli più recenti hanno reinterpretato questa visione meccanicistica alla luce della teoria dell'allostasi (Sterling et al., 1988; McEwen, 1998), secondo cui l'attivazione simpatica rappresenta una modalità flessibile e anticipatoria di regolazione, finalizzata a garantire la sopravvivenza attraverso il cambiamento e non semplicemente il mantenimento di un equilibrio statico.

Dal punto di vista anatomico, le fibre efferenti del sistema simpatico originano dai segmenti toracolombari del midollo spinale (T1-L2), dove i neuroni pregangliari risiedono nelle corna laterali. Le fibre pregangliari, di tipo colinergico, si dirigono verso la catena dei gangli paravertebrali (catena simpatica) o verso gangli prevertebrali localizzati in prossimità degli organi bersaglio (ganglio celiaco, mesenterico superiore e inferiore, ipogastrico).

Da questi gangli partono i neuroni postgangliari, prevalentemente adrenergici, che rilasciano noradrenalina sui recettori α e β situati nei tessuti periferici. Il midollo surrenale, spesso definito un ganglio simpatico modificato, rappresenta un'estensione endocrina del SNS, in quanto le sue cellule cromaffini, innervate da fibre pregangliari colinergiche, rilasciano adrenalina e noradrenalina direttamente nel circolo sanguigno, amplificando la risposta sistemica e prolungandone gli effetti. Questo duplice canale, neuronale e ormonale, permette una risposta simultaneamente rapida e sostenuta, garantendo un'azione coordinata su apparato cardiovascolare, respiratorio, muscolare e metabolico.

Le fibre afferenti viscerali, che trasmettono al sistema centrale informazioni sullo stato degli organi, giocano anch'esse un ruolo cruciale nel modulare l'attività simpatica. Esse terminano principalmente nel nucleo del tratto solitario (*NTS*), che integra i segnali viscerali e li ritrasmette all'ipotalamo, all'amigdala e alla corteccia insulare, generando un *loop* di feedback continuo tra percezione interna e regolazione effettoria (Saper, 2002; Critchley et al., 2013). Questo circuito spiega perché l'attivazione simpatica non sia un processo meramente riflesso, ma risulti influenzata da fattori cognitivi, emozionali e interocettivi.

Il controllo superiore del *SNS* è esercitato invece da un complesso network di strutture centrali interconnesse, che sono parte integrante del *CAN*. In questo *network*, tre nodi svolgono un ruolo primario: il *locus coeruleus* (*LC*), l'ipotalamo e l'amigdala. Il *locus coeruleus*, situato nel ponte, costituisce la principale fonte di noradrenalina cerebrale e agisce come modulatore globale dello stato di vigilanza e dell'*arousal* corticale (Aston-Jones et al., 2005). L'attività dell'*LC* segue un *pattern* tonico-fasico, parte da un'attivazione fasica di tipo breve e coordinato, supportando l'attenzione e la risposta adattiva. Segue poi un'attivazione tonica prolungata associata a *iperarousal*, riduzione della concentrazione e vulnerabilità allo stress cronico. Le sue proiezioni diffuse verso la corteccia prefrontale, il cingolato anteriore e l'amigdala consentono un'integrazione bidirezionale tra processi cognitivi e regolazione autonoma.

L'amigdala, in particolare il suo nucleo centrale, rappresenta la principale interfaccia emotiva del *SNS*. Attraverso connessioni dirette con l'ipotalamo laterale e con nuclei del tronco encefalico, essa traduce la valutazione di minaccia in segnali autonomici effettori (LeDoux, 2000). L'amigdala riceve input multimodali di tipo sensoriale, viscerale e mnemonico, i quali vengono elaborati in collaborazione con l'ippocampo e la corteccia prefrontale ventromediale, attribuendo significato affettivo agli stimoli e modulando così l'intensità della risposta simpatica.

Studi di *neuroimaging* mostrano che la connettività funzionale amigdala-insula-cingolato correla positivamente con l'aumento della frequenza cardiaca e la riduzione della *HRV* in condizioni di stress acuto (Gianaros et al., 2015; Thayer et al., 2021). L'ipotalamo svolge un ruolo di coordinamento tra *SNS* e sistema endocrino, i nuclei paraventricolari e dorsomediali integrano segnali provenienti dal sistema limbico e inviano proiezioni

discendenti al midollo spinale toracolombare, regolando l'attività dei neuroni pregangliari. Contemporaneamente, l'ipotalamo attiva l'asse *HPA*, dando origine a una risposta ormonale più lenta ma sinergica.

La cooperazione tra *SNS* e *HPA* assicura un adattamento multilivello, uno immediato che passa per la via simpatica e uno prolungato che passa per la via corticoidea. L'attivazione del *SNS* produce un *pattern* coordinato di cambiamenti viscerali, cardiovascolari e metabolici, progettato per ottimizzare la disponibilità energetica e l'efficienza motoria. Le principali modificazioni comprendono un aumento della frequenza e forza contrattile del miocardio (β_1 -adrenergica), una vasocostrizione periferica (α_1 -adrenergica) e redistribuzione del flusso sanguigno verso muscoli e cuore, una dilatazione bronchiale (β_2 -adrenergica) per aumentare la ventilazione, un'inibizione delle funzioni digestive e sessuali per concentrare le risorse sull'attività motoria, un incremento della glicogenolisi e lipolisi per fornire substrati energetici immediati e infine una dilatazione pupillare e potenziamento dell'attenzione visiva. A livello cerebrale, l'aumentata noradrenergia potenzia la *saliency network*, migliorando il rilevamento degli stimoli rilevanti, ma riducendo la flessibilità cognitiva (Hermans et al., 2014).

Questo *trade-off* tra efficienza e controllo rappresenta un adattamento utile in contesti di breve durata ma potenzialmente disfunzionale se protratto, in quanto nel meccanismo dell'allostasi, il *SNS* non è un semplice meccanismo di emergenza, ma un sistema di regolazione predittiva. Questa regolazione come detto è gestita in gran parte dal cervello, attraverso circuiti sensoriali e mnestici, il quale anticipa le richieste ambientali e modula l'attività simpatica prima ancora che si verifichi uno squilibrio effettivo (Sterling, 2012). Questa capacità di risposta *feedforward* riduce il costo energetico della regolazione e consente di mantenere la performance fisiologica entro limiti ottimali. L'attivazione simpatica rappresenta quindi un meccanismo di investimento energetico, funzionale alla preparazione dell'organismo all'azione.

Nello sport o nelle situazioni di alta performance cognitiva, un moderato incremento del tono simpatico è associato a uno stato di *eustress*, che potenzia la concentrazione e la reattività. Mentre quando l'attivazione simpatica persiste oltre la durata funzionale della minaccia, si sviluppa una condizione di *iperarousal* cronico che comporta costi fisiologici e psicologici significativi con la trasformazione in *distress*. McEwen (1998; 2007) come

detto ha descritto questo fenomeno come carico allostatico. Un'iperattivazione simpatica cronica è associata ad aumento della pressione arteriosa, rigidità vascolare, alterazioni del metabolismo glucidico e lipidico, riduzione della *HRV*, indicatore di perdita di flessibilità vagale, incremento della reattività dell'amigdala e ridotta inibizione prefrontale, disturbi del sonno, irritabilità e difficoltà di concentrazione. A livello neurochimico, l'eccessiva stimolazione del *locus coeruleus* comporta una sovrapproduzione di noradrenalina, che a lungo termine compromette la plasticità sinaptica nella corteccia prefrontale e favorisce una modalità cognitiva rigida e minacciosa (Arnsten, 2009). Questo meccanismo è implicato nella genesi di disturbi d'ansia, *burnout* e sindrome da *overtraining*.

Dal punto di vista della psicofisiologia applicata, una condizione di dominanza simpatica cronica si manifesta con valori elevati di frequenza cardiaca basale, ridotta *HRV*, aumento dei livelli di cortisolo e difficoltà di recupero post-stress. Tali *pattern* sono stati osservati tanto in popolazioni cliniche (Hugdahl et al., 2019) quanto in atleti sottoposti a carichi intensi di allenamento (Stanley et al., 2013). Il monitoraggio della *HRV* rappresenta oggi una delle principali strategie per identificare precocemente questi stati di disregolazione autonoma. In condizioni di stress cronico infatti la desensibilizzazione dei recettori glucocorticoidi può compromettere questo *feedback*, favorendo una dominanza simpatica persistente che si manifesta in una *HRV* ridotta (Ulrich-Lai et al., 2009).

Sul piano clinico, una iperattività simpatica sostenuta è correlata a ipertensione essenziale, disturbi d'ansia, insonnia e disfunzioni somatiche correlate allo stress, mentre in un contesto sportivo, la stessa condizione può manifestarsi come *overtraining* autonomico, con ridotta capacità di recupero e compromissione della performance. Al contrario, un'adeguata regolazione simpatica, caratterizzata da un'attivazione acuta seguita da un rapido ritorno all'equilibrio, è indice di resilienza fisiologica. Alcuni interventi mente-corpo hanno dimostrato di modulare la bilancia autonoma, riducendo il tono simpatico e incrementando la variabilità cardiaca (Lehrer et al., 2020).

Tali tecniche, trattate nei capitoli successivi, si configurano come strumenti di riadattamento allostatico, in grado di ristabilire l'equilibrio tra attivazione e recupero. Spiegato il funzionamento del ramo simpatico, il prossimo paragrafo approfondirà la funzione del ramo parasimpatico, con particolare attenzione al ruolo del nervo vago e della

flessibilità vagale, come componenti fondamentali dei processi di autoregolazione e resilienza psicofisiologica.

2.3.3 *Il ramo parasimpatico: regolazione vagale*

Il sistema nervoso autonomo nel suo ramo parasimpatico (*SNP*) rappresenta il pilastro della regolazione fisiologica orientata al recupero, alla conservazione dell'energia e alla riconnessione sociale. In contrapposizione funzionale, ma non antagonistica, rispetto al sistema simpatico, il *SNP* agisce come sistema di riequilibrio e integrazione, garantendo la transizione dallo stato di attivazione allo stato di calma. Il suo ruolo va tuttavia ben oltre il semplice rilassamento, esso costituisce la base neurofisiologica della sicurezza, dell'autoregolazione e della coerenza mente–corpo.

Nel quadro dell'allostasi, il *SNP* opera come meccanismo di chiusura predittiva dei cicli di stress, assicurando che l'attivazione simpatica non si prolunghi oltre il necessario. La capacità dell'organismo di disattivare efficacemente la risposta di stress, più che la rapidità della sua attivazione di risposta, rappresenta il vero indice di salute regolativa e di resilienza. Il suo principale mediatore, il nervo vago, traduce in termini neurofisiologici la possibilità di ritornare alla sicurezza dopo l'allarme. Il sistema parasimpatico origina da due regioni principali del sistema nervoso centrale, i nuclei craniali del tronco encefalico, localizzati nel nucleo ambiguo, nel nucleo del tratto solitario (*NTS*) e nel nucleo motore dorsale del vago e i segmenti sacrali del midollo spinale (S2–S4), che controllano le funzioni pelviche, vescicali e sessuali. Le fibre pregangliari sono colinergiche e rilasciano acetilcolina (*ACh*), la quale agisce su recettori muscarinici e nicotinici, consentendo una trasmissione rapida, localizzata e facilmente modulabile.

A differenza del sistema simpatico, che attiva risposte diffuse e sostenute attraverso la secrezione di catecolamine, il sistema parasimpatico opera in modo preciso e puntuale, favorendo un controllo raffinato delle funzioni viscerali. Il nervo vago (dal latino *vagus*, vagante) costituisce l'asse portante del *SNP*, contiene infatti circa il 75% di tutte le fibre parasimpatiche e connette cervello, cuore, polmoni, fegato, stomaco e intestino. È composto per l'80% da fibre afferenti, che trasportano informazioni viscerali al sistema centrale, e per il restante 20% da fibre efferenti, che modulano le risposte organiche. Questo dato ribadisce la natura eminentemente sensoriale e regolativa del *SNP*, il vago non

comanda soltanto, ma ascolta continuamente lo stato interno del corpo, aggiornando i centri superiori sul livello di equilibrio o di stress.

La funzione parasimpatica è particolarmente evidente a livello cardiorespiratorio, dove esercita un controllo fine e dinamico. Le fibre vagali efferenti modulano il nodo senoatriale, riducendo la frequenza cardiaca attraverso il rilascio di acetilcolina, che iperpolarizza le cellule *pacemaker* e rallenta la depolarizzazione spontanea. Questo meccanismo, definito tono vagale, rappresenta un indice diretto della capacità del sistema di regolare rapidamente l'*arousal* autonomico. Durante la respirazione, il tono vagale oscilla in modo sincrono con il ciclo respiratorio, la frequenza cardiaca aumenta durante l'inspirazione e diminuisce durante l'espirazione, fenomeno noto come *respiratory sinus arrhythmia (RSA)*. La *RSA* costituisce il principale contributo del *SNP* alla *HRV*, parametro riconosciuto come indicatore della flessibilità regolativa del sistema autonomo (Shaffer et al., 2017). Maggiore è l'ampiezza della *RSA*, maggiore è la capacità dell'organismo di alternare fluidamente attivazione e calma, segnalando una buona integrazione tra sistema nervoso centrale, autonomico e respiratorio (Lehrer et al., 2014).

La regolazione vagale non è confinata al solo tronco encefalico, ma è modulata da un *network* gerarchico che connette strutture corticali, limbiche e sottocorticali. Il modello della *Neurovisceral Integration* (Thayer et al., 2000; 2012) propone che la flessibilità del tono vagale rifletta il grado di coordinamento funzionale tra la corteccia prefrontale ventromediale, il cingolato anteriore, l'insula anteriore, l'amigdala e i nuclei vagali del tronco encefalico. Questo circuito integra informazioni cognitive, emotive e interocettive, consentendo al cervello di regolare l'*arousal* in modo adattivo. Quando la corteccia prefrontale esercita un controllo inibitorio efficiente sui centri limbici, il sistema autonomo mantiene una variabilità elevata e una risposta proporzionata agli stimoli. Viceversa, una riduzione nella connettività prefrontale- limbica, osservata in condizioni di stress cronico, ansia o depressione, si associa a un tono vagale ridotto e a una *HRV* più bassa (Gianaros et al., 2015). In questa prospettiva, il tono vagale diventa una misura periferica del funzionamento prefrontale e, più in generale, della capacità del cervello di mantenere un controllo contestuale delle emozioni.

Ma il contributo più influente nel ridefinire la funzione del sistema parasimpatico è dato dalla *Polyvagal Theory* di Porges (1995; 2001; 2011). Questa teoria, basata su dati

filogenetici e neurofisiologici, propone una visione gerarchica del sistema autonomo, in cui coesistono tre circuiti regolativi evolutivamente stratificati:

- 1) Il complesso vagale dorsale: il più antico, non mielinizzato, associato a risposte di immobilità o *freezing* in condizioni di pericolo estremo;
- 2) Il sistema simpatico: responsabile della mobilitazione e dell'azione "*fight or flight*".
- 3) Il complesso vagale ventrale: più recente, mielinizzato e tipico dei mammiferi, associato a sicurezza, calma e connessione sociale.

Questa gerarchia riflette l'evoluzione da forme di sopravvivenza primitive basate su reazioni di immobilità e difesa, fino a modalità più sofisticate di regolazione sociale dell'*arousal*. Il vago ventrale dunque la parte più recente, originato dal nucleo ambiguo, costituisce il substrato neurofisiologico di ciò che Porges definisce il *Social Engagement System (SES)*, un insieme di funzioni che coordinano la regolazione del cuore, della voce, della mimica facciale e del respiro per favorire la comunicazione e la co-regolazione interpersonale. Il *SES* integra quindi funzioni autonome e sociali, il tono vocale, la prosodia, l'espressione del volto e il contatto visivo diventano segnali fisiologici di sicurezza che facilitano la reciprocità emotiva e la connessione con l'altro. Quando il cervello percepisce l'ambiente come sicuro, processo denominato neurocezione di sicurezza, il vago ventrale si attiva, riducendo l'*arousal* simpatico e promuovendo stati di calma e apertura sociale. Al contrario, in condizioni di minaccia o imprevedibilità, la neurocezione si sposta verso l'attivazione simpatica o, nei casi estremi, verso la risposta di immobilità mediata dal vago dorsale.

La *Polyvagal Theory* fornisce in questo senso un quadro esplicativo unificante per comprendere la relazione tra regolazione fisiologica, sicurezza percepita e salute mentale. In individui con un vago ventrale efficiente, il sistema autonomo è in grado di modulare rapidamente l'*arousal* e di tornare a uno stato di calma dopo l'attivazione. Questo corrisponde, a livello psicologico, alla capacità di tollerare emozioni intense senza disorganizzazione comportamentale o cognitiva. Viceversa, una ridotta efficienza del vago ventrale si traduce in un sistema autonomo iper-reattivo, che fatica a disattivarsi dopo lo stress. Ciò si osserva in condizioni di trauma psicologico, disturbi d'ansia e attaccamento disorganizzato, dove l'individuo tende a percepire il mondo come costantemente minaccioso (Dana, 2018). In questi casi, il vago dorsale può attivarsi in modo maladattivo,

generando risposte di collasso o disconnessione emotiva, tipiche delle esperienze traumatiche non integrate.

Dal punto di vista clinico, la neurocezione di sicurezza è oggi considerata uno degli obiettivi terapeutici primari in psicoterapia. Diversi sono gli interventi che ristabiliscono la fiducia nel corpo e nell'ambiente mediante respirazione consapevole, *grounding*, co-regolazione vocale o posturale, i quali agiscono proprio attraverso la riattivazione del circuito vagale ventrale. Inoltre, la *Polyvagal Theory* ha ampliato il concetto di salute da semplice assenza di *arousal* patologico a presenza di stati fisiologici di sicurezza e connessione, sottolineando che il benessere è fondato sulla capacità del sistema autonomo di passare agevolmente da uno stato all'altro in base al contesto.

Dal punto di vista adattivo, la regolazione vagale rappresenta un filtro di modulazione tra il cervello e il corpo, in quanto permette di inibire risposte difensive inappropriate, preservando le risorse energetiche e mantenendo un comportamento orientato alla relazione piuttosto che alla sopravvivenza immediata. Un tono vagale elevato è associato a una maggiore resilienza allostatica, intesa come capacità del sistema di riassorbire le perturbazioni mantenendo la propria coerenza funzionale (Thayer et al., 2012; McEwen, 2019).

Sul piano operativo, un buon livello di regolazione vagale consente un rapido passaggio dall'attivazione alla calma, riducendo il rischio di accumulo di stress cronico. La flessibilità vagale, ossia la capacità del sistema di aumentare e diminuire il tono in modo dinamico, è oggi considerata un indicatore chiave della salute psicofisiologica. Studi longitudinali dimostrano che individui con *HRV* elevata mostrano minori livelli di cortisolo, maggiore regolazione emotiva e migliore risposta immunitaria (Kemp et al., 2013; Shaffer et al., 2017). Una disfunzione del sistema parasimpatico si manifesta tipicamente con una riduzione del tono vagale e della *HRV*. Ciò comporta una rigidità regolativa e un'incapacità di ritornare allo stato di quiete dopo uno stimolo stressante. Tali condizioni sono osservabili in disturbi d'ansia, depressione maggiore, *burnout*, *PTSD* e disturbi psicosomatici (Beauchaine, 2015).

Oltre agli effetti psicologici, l'ipoattività vagale ha importanti conseguenze somatiche, in quanto la riduzione della via colinergica anti-infiammatoria favorisce uno stato di

infiammazione cronica di basso grado, che costituisce un fattore di rischio per malattie cardiovascolari e metaboliche (Tracey, 2002). In senso opposto, l'iperattività vagale patologica, meno comune ma clinicamente rilevante, può determinare bradicardia, ipotensione e sincope vasovagale. In ambito sportivo e prestativo, la regolazione vagale è strettamente connessa alla capacità di recupero e alla stabilità attentiva. Atleti con *HRV* elevata mostrano maggiore efficienza nel passaggio tra stati di attivazione e rilassamento, con benefici in termini di *focus*, coordinazione e gestione della pressione (Laborde et al., 2017; Bertollo et al., 2021). Durante la competizione, la soppressione temporanea del tono vagale consente la mobilitazione energetica, mentre un rapido ripristino vagale dopo lo sforzo garantisce il recupero ottimale.

In conclusione il sistema parasimpatico, e in particolare la sua capacità di regolazione vagale, rappresenta il fondamento fisiologico dell'autoregolazione e della connessione sociale. Attraverso un complesso intreccio di circuiti centrali e periferici, il vago media l'integrazione tra emozione, cognizione e comportamento, rendendo possibile il ritorno alla calma dopo lo stress. La *Polyvagal Theory* ha ridefinito questa funzione come nucleo stesso della sicurezza relazionale e della salute mentale, sottolineando che l'adattamento non consiste nell'assenza di attivazione, ma nella capacità di oscillare tra stati di mobilitazione e tranquillità. Il tono vagale, misurabile attraverso la *HRV*, si configura dunque come un indicatore sintetico della salute mente-corpo.

2.3.4 Interazione tra SNA simpatico e parasimpatico

La distinzione appena fatta tra il ramo simpatico e quello parasimpatico, benché utile dal punto di vista teorica, rischia di rappresentare un'ipersemplificazione del funzionamento complessivo di questi due sistemi. Oggi è ampiamente riconosciuto che il ramo simpatico e quello parasimpatico non agiscono come forze opposte, ma come componenti interdipendenti di un sistema unitario, capace di modulare in modo dinamico l'equilibrio interno dell'organismo in risposta alle esigenze ambientali. Le evidenze neurofisiologiche mostrano che la maggior parte dei comportamenti adattivi implica una coordinazione flessibile tra le due componenti, piuttosto che l'attivazione esclusiva di una sola. Durante una situazione di stress acuto, per esempio, la risposta iniziale è dominata dal sistema simpatico, che mobilita le risorse metaboliche e cardiovascolari; tuttavia,

un'attività parasimpatica residua continua a operare in parallelo, impedendo che l'arousal superi i limiti di sicurezza. Allo stesso modo, negli stati di rilassamento profondo, il tono vagale predomina, ma un livello minimo di attivazione simpatica resta necessario per mantenere la vigilanza e la prontezza adattiva.

Questa co-attivazione parziale conferisce stabilità al sistema e consente una regolazione più fine delle funzioni fisiologiche. La capacità dell'organismo di aumentare l'attivazione simpatica senza perdere il controllo vagale, o di incrementare l'attività parasimpatica senza cadere in *ipoarousal*, rappresenta un indicatore di flessibilità regolativa, considerato oggi un parametro centrale della salute psicofisiologica (Thayer et al., 2000; Porges, 2011). Berntson et al. (1991) rispetto tale tematica hanno proposto una classificazione dei possibili *pattern* di interazione tra simpatico e parasimpatico, evidenziando la natura multidimensionale della regolazione autonoma. Essi distinguono quattro principali configurazioni:

- 1) Reciproca: l'attivazione di un sistema coincide con la disattivazione dell'altro (es. aumento del tono simpatico e riduzione del tono vagale durante uno stress acuto);
- 2) Co-attiva: entrambi i sistemi aumentano contemporaneamente la loro attività (es. stati di impegno controllato o concentrazione intensa);
- 3) Co-inibitoria: entrambi i sistemi riducono la propria attività (es. stati di apatia o disimpegno emotivo);
- 4) Indipendente: le due branche variano separatamente, ciascuna in relazione a funzioni specifiche.

Questi *pattern* illustrano che la regolazione autonoma è contestuale e non lineare, l'organismo adatta di volta in volta la combinazione simpatica-parasimpatica in funzione della natura, dell'intensità e della durata dello stimolo. Ciò spiega perché una risposta fisiologicamente attiva non corrisponda sempre a una condizione di stress patologico, ma possa rappresentare un adattamento ottimale.

Vale la pena inoltre ricordare che il coordinamento tra i due rami autonomi è gestito da un insieme di strutture centrali interconnesse, note come *CAN*. Questo *network* comprende regioni corticali, strutture limbiche, nuclei ipotalamici e troncoencefalici. Esso opera dunque come una piattaforma di integrazione *top-down* e *bottom-up*, nella quale gli *input* sensoriali e interocettivi provenienti dai visceri vengono continuamente confrontati con le

rappresentazioni cognitive ed emotive dei centri corticali. La corteccia prefrontale modula inibitoriamente l'attività limbica, in particolare dell'amigdala e dell'ipotalamo, prevenendo l'iperattivazione simpatica e favorendo il recupero parasimpatico. Quando tale controllo *top-down* si riduce, come avviene in condizioni di stress cronico, ansia o affaticamento, la bilancia autonoma si sbilancia verso la dominanza simpatica, con conseguente riduzione della *HRV* e difficoltà di recupero. L'integrazione centrale tra simpatico e parasimpatico riflette dunque il grado di coordinamento funzionale tra corteccia, sistema limbico e tronco encefalico, che rappresenta il fondamento neurobiologico della flessibilità psicofisiologica.

Oltre alla dimensione spaziale dell'interazione, un elemento cruciale è quello temporale, sappiamo infatti che il ramo simpatico reagisce con una latenza più lunga ma con effetti prolungati, dovuti al rilascio di catecolamine, mentre quello parasimpatico esercita un controllo istantaneo sul cuore attraverso il nervo vago. Questa asimmetria temporale consente una regolazione rapida dell'*arousal* e della frequenza cardiaca, garantendo che la risposta fisiologica rimanga proporzionata al contesto. Il concetto di *vagal brake* (Porges, 2011) si riferisce alla capacità del nervo vago di esercitare un freno immediato sull'attività cardiaca. In condizioni di sicurezza, il freno vagale rimane inserito e mantiene la frequenza cardiaca bassa e stabile. Quando invece il sistema rileva una potenziale minaccia, il freno viene rapidamente rilasciato: la rimozione dell'inibizione vagale consente un'immediata accelerazione del battito, preparando l'organismo all'azione. La successiva riattivazione del freno vagale segna il ritorno alla calma e rappresenta un indice di resilienza autonoma. Studi recenti hanno confermato che la velocità con cui il tono vagale si ripristina dopo un episodio di stress predice la capacità di recupero psicologico e fisiologico (Park et al., 2014; Lehrer et al., 2020).

Nel quadro dell'allostasi, l'interazione tra simpatico e parasimpatico esprime la capacità dell'organismo di mantenere la stabilità attraverso il cambiamento. L'attivazione simpatica è necessaria per fronteggiare le sfide ambientali, ma deve essere seguita da un adeguato recupero parasimpatico. Quando questo ciclo attivazione-disattivazione si altera, per esempio per iperattivazione simpatica cronica o per deficit vagale, si produce un accumulo di carico allostatico, ovvero un consumo progressivo delle risorse regolative (McEwen, 1998; Sterling, 2020). La salute fisiologica non dipende dunque dal livello assoluto di attivazione, ma dalla capacità del sistema autonomo di passare fluidamente tra stati opposti in funzione del contesto. Un equilibrio dinamico tra le due branche permette di modulare

l'energia, la concentrazione e il tono emotivo, mantenendo l'efficienza cognitiva e la stabilità interna. In ambito sportivo e prestativo, tale equilibrio si traduce in *readiness* psicofisiologica, cioè nella capacità di attivarsi rapidamente e recuperare altrettanto velocemente dopo la prestazione.

Dal punto di vista empirico, l'interazione tra simpatico e parasimpatico può essere quantificata attraverso indici combinati. Per esempio l'*HRV* riflette prevalentemente l'influenza parasimpatica, ma fornisce anche un'indicazione indiretta della reciprocità simpatica. La conduttanza cutanea (*EDA*) e la frequenza cardiaca media sono invece più sensibili alla componente simpatica. L'analisi congiunta di questi parametri consente di distinguere diversi profili regolativi. Il paragrafo successivo approfondirà proprio il significato funzionale della *HRV* come espressione diretta dell'equilibrio simpatico-vagale e della flessibilità regolativa dell'organismo.

2.3.5 HRV come indici di regolazione

Nel contesto della psicofisiologia dello stress, la variabilità della frequenza cardiaca (*Heart Rate Variability, HRV*) è riconosciuta come uno degli indicatori più sensibili e non invasivi della regolazione autonoma e della flessibilità adattiva dell'organismo. Definita come la variazione nel tempo degli intervalli *R-R* tra battiti cardiaci consecutivi, la *HRV* riflette la capacità del sistema nervoso di modulare dinamicamente la frequenza cardiaca in funzione delle richieste ambientali, cognitive ed emotive (Shaffer et al., 2017). Essa costituisce, in altre parole, un indice sintetico della qualità della comunicazione bidirezionale tra cervello e cuore, e quindi della capacità dell'individuo di regolare efficacemente il proprio stato interno. Il cuore non è un semplice motore periferico, ma un oscillatore complesso costantemente modulato da afferenze e efferenze del sistema nervoso centrale. Le fluttuazioni della frequenza cardiaca non rappresentano rumore fisiologico, ma la manifestazione dinamica di un equilibrio in continuo aggiustamento.

Come già accennato in precedenza in questo lavoro, una *HRV* elevata riflette un sistema nervoso capace di oscillare con agilità tra attivazione e calma, segnalando flessibilità regolativa e capacità adattiva, viceversa una *HRV* ridotta è espressione di rigidità o disregolazione, spesso associata a stress cronico, fatica mentale o all'attivazione simpatica persistente (Thayer et al., 2012). Numerose evidenze empiriche supportano questa

interpretazione, per esempio una meta-analisi di Kim et al. (2018), comprendente oltre 60 studi, ha dimostrato che una *HRV* più elevata è sistematicamente associata a una maggiore regolazione emotiva, minor ruminazione e ridotta reattività fisiologica a stimoli minacciosi. Analogamente, Chalmers et al. (2014) hanno evidenziato, in una revisione di 37 studi su soggetti ansiosi, che i livelli di *HRV* risultano significativamente ridotti rispetto ai controlli sani, suggerendo un deficit nella modulazione parasimpatica come base fisiologica della vulnerabilità all'ansia. Questi dati indicano che la *HRV* riflette non solo la regolazione cardiovascolare, ma la capacità integrativa del sistema mente-corpo.

Entrando maggiormente nel dettaglio l'*HRV* può essere considerata un *marker* periferico del controllo cortico-vagale, secondo il modello di *Neurovisceral Integration* (Thayer et al., 2000; 2009). Questo modello propone che essa rifletta il grado di coordinamento tra i circuiti prefrontali, cingolati e limbici, in particolare tra la corteccia prefrontale ventromediale, il cingolato anteriore, l'insula e l'amigdala e i nuclei autonomici del tronco encefalico. Un'elevata *HRV* corrisponde a un'efficiente comunicazione *top-down*, in cui la corteccia prefrontale regola i centri subcorticali prevenendo reazioni eccessive di *arousal*, una *HRV* bassa invece segnala una perdita di controllo inibitorio, con iperattività limbica e difficoltà di recupero post-stress.

Ulteriori studi di neuroimaging hanno confermato questa relazione come quello di Thayer et al. (2012), in cui tramite l'utilizzo della risonanza magnetica funzionale (*fMRI*), si è verificato che l'attività della corteccia prefrontale mediale è positivamente correlata con la *HRV* a riposo, per cui soggetti con *HRV* più elevata mostrano una maggiore connettività tra regioni prefrontali e aree autonome del tronco encefalico. Allo stesso modo, Gianaros et al. (2015) hanno dimostrato che la *HRV* predice la forza della connettività tra insula anteriore e amigdala, due strutture chiave nella regolazione emozionale. Questi risultati forniscono una base neurale al concetto di *HRV* come misura di integrazione funzionale tra cervello e corpo, e non come mero indice periferico.

Anche la *Polyvagal Theory* di Stephen Porges (1995; 2001; 2011) prevede il parametro della *HRV* come indicatore del funzionamento neurofisiologico, inquadrandolo in una prospettiva evolutiva e relazionale. Secondo Porges, il nervo vago non si limita a controllare le funzioni viscerali, ma rappresenta la base neurofisiologica della sicurezza percepita e della connessione sociale. Il suo ramo più recente, il vago ventrale mielinizzato,

consente un controllo rapido e fine del ritmo cardiaco e della muscolatura facciale e laringea, permettendo la comunicazione sociale, la prosodia della voce e la regolazione reciproca tra individui. Empiricamente dunque la *HRV*, soprattutto nelle sue componenti ad alta frequenza (*HF*), aspetto che verrà approfondito nel capitolo 2, è considerata un indice del tono vagale ventrale.

Studi di laboratorio hanno mostrato che un'elevata *HRV* si associa a comportamenti prosociali, maggiore espressività facciale e miglior riconoscimento delle emozioni (Butler et al., 2006; Quintana et al., 2016). Sempre in questa direzione una ricerca di Kok et al. (2010) su oltre 60 soggetti seguiti per 9 settimane ha evidenziato che incrementi spontanei di *HRV* predicevano un aumento successivo dei sentimenti di connessione sociale e viceversa, suggerendo un ciclo bidirezionale tra regolazione vagale e benessere relazionale. In modo complementare, Geisler et al. (2013) hanno dimostrato che persone con *HRV* più elevata mostrano tempi di recupero fisiologico più rapidi dopo stress interpersonale, a conferma del ruolo della *HRV* nella resilienza sociale.

Inoltre in popolazioni cliniche, la disfunzione vagale è stata associata a *pattern* difensivi e iperattivazione cronica. Porges et al. (2011) hanno documentato una riduzione significativa della *HRV* in soggetti con disturbo post-traumatico da stress (*PTSD*), interpretabile come incapacità del sistema di passare dallo stato di minaccia a quello di sicurezza. Rimanendo sulla stessa linea di ricerca, Kemp et al. (2010) hanno mostrato che pazienti depressi presentano una *HRV* ridotta e una minore risposta vagale agli stimoli positivi, con correlazioni dirette tra tono vagale basso e anedonia. Questi dati empirici confermano l'assunto teorico della *Polyvagal Theory*, la *HRV* non misura soltanto la regolazione fisiologica, ma anche la capacità del sistema nervoso di riconoscere la sicurezza e di consentire la connessione sociale.

Anche all'interno del paradigma dell'allostasi, la *HRV* rappresenta un indice operativo del carico regolativo (McEwen et al., 2011). Una *HRV* elevata segnala una regolazione efficiente e flessibile, capace di anticipare e correggere le deviazioni dall'equilibrio interno. Al contrario, la riduzione della *HRV* riflette una perdita di flessibilità allostatica e un maggiore costo fisiologico della regolazione. Studi longitudinali di Juster et al. (2010) e Seeman et al. (2014) hanno dimostrato che soggetti con *HRV* più bassa mostrano punteggi più elevati di *allostatic load index*, maggiore infiammazione sistemica e peggiori esiti

cognitivi nel *follow-up*. Allo stesso modo, Kemp et al. (2013), in una revisione di oltre 90 studi, hanno identificato la *HRV* come predittore trasversale di salute mentale, fisica e longevità, definendola un *gold standard* della resilienza psicofisiologica. Un filone crescente di ricerche sperimentali dimostra inoltre che la *HRV* è modificabile attraverso interventi di regolazione mente–corpo. Rispetto questo una meta-analisi di Lehrer et al. (2020) sull'utilizzo di protocolli di *HRV biofeedback* ha evidenziato aumenti significativi della *HRV* e riduzioni dell'ansia e dei livelli di cortisolo dopo *training* di respirazione lenta e coerenza cardiorespiratoria. Similmente, Pascoe et al. (2021) hanno osservato incrementi di *HRV* in soggetti sottoposti a programmi di *Mindfulness* e *Yoga*, con effetti concomitanti su ansia e benessere percepito

Alla luce di tali evidenze, l'*HRV* emerge come un biomarcatore integrativo che collega le dimensioni neurofisiologiche, emotive e relazionali della regolazione umana. Essa non descrive semplicemente l'attività del cuore, ma la coordinazione dinamica tra i livelli del sistema nervoso che consentono all'organismo di adattarsi alle sfide, mantenendo coerenza interna e apertura verso l'ambiente. Nel capitolo successivo, questa prospettiva funzionale troverà un approfondimento operativo, con la descrizione delle basi teoriche, degli indici e delle metodologie di misurazione dell'*HRV*, che rappresentano il fondamento empirico del monitoraggio dello stress e della resilienza allostatica.

2.3.6. L'asse ipotalamo-ipofisi surrene HPA

Oltre al sistema nervoso autonomo, il secondo grande effettore della risposta allo stress è rappresentato dall'asse ipotalamo–ipofisi–surrene (*HPA*), un complesso *network* neuroendocrino deputato alla regolazione dell'*arousal*, del metabolismo energetico e della risposta immunitaria. L'asse *HPA* costituisce la via ormonale lenta della risposta di stress, se il sistema simpatico produce effetti immediati e transitori, l'*HPA* media una risposta più prolungata e diffusa, finalizzata al mantenimento dell'equilibrio interno in presenza di minacce sostenute o imprevedibili (Ulrich-Lai et al., 2009; McEwen, 2007).

La cascata dell'asse *HPA* inizia a livello dell'ipotalamo paraventricolare (*PVN*) dove, in risposta a segnali provenienti dall'amigdala e dal tronco encefalico, viene secreta la *corticotropin-releasing hormone (CRH)*. Il *CRH* agisce sull'adenoipofisi, stimolando la produzione e il rilascio nel circolo sistemico dell'adrenocorticotropin hormone (*ACTH*), il

quale, a sua volta, induce la corteccia surrenalica a sintetizzare e rilasciare cortisolo, il principale glucocorticoide umano (Herman et al., 2016).

Questo asse a tre stadi rappresenta un meccanismo gerarchico e coordinato. L'ipotalamo funge da sensore e regolatore centrale, l'ipofisi traduce il segnale nervoso in linguaggio endocrino e i surreni rappresentano l'effettore periferico che distribuisce il messaggio ormonale all'intero organismo. L'effetto del cortisolo è ampio e sistemico infatti a livello metabolico, stimola la gluconeogenesi e mobilita le riserve energetiche, a livello cardiovascolare potenzia l'efficacia delle catecolamine e a livello cognitivo modula attenzione e memoria favorendo la focalizzazione sugli stimoli salienti. Tuttavia, quando la secrezione di cortisolo è prolungata, questi stessi meccanismi si trasformano in fattori di rischio per la salute, poiché è un fattore in grado di generare fenomeni di iperglicemia, immunosoppressione, neurotossicità ippocampale e peggioramento del tono dell'umore (McEwen, 2019).

Uno degli studi più classici in questo campo è quello di Sapolsky et al. (2000), i quali hanno descritto l'asse *HPA* come un sistema di rimedio di emergenza, progettato per attivarsi brevemente e poi spegnersi. La sua funzione primaria non è mantenere l'allarme, ma garantire il ritorno all'omeostasi dopo l'attivazione simpatica iniziale. Quando la minaccia diventa cronica o incontrollabile, tuttavia, l'asse perde la capacità di autoregolarsi, con un rilascio persistente di glucocorticoidi che si traduce in un maladattamento allostatico.

Per consentire un suo corretto funzionamento infatti l'asse *HPA* è dotato di un articolato sistema di *feedback* negativo, che ne limita l'attività e impedisce un'eccessiva esposizione ai glucocorticoidi. Come detto il cortisolo agisce su diversi livelli della catena di regolazione a partire dal livello ipotalamico, inibisce la produzione di *CRH*, passando al livello ipofisario, riducendo la secrezione di *ACTH* e finendo al livello centrale, dove modula l'attività dell'amigdala e dell'ippocampo, due strutture chiave nella percezione e nella memoria dello stress (Herman et al., 2016). Tra tutte le strutture coinvolte, l'ippocampo gioca un ruolo cruciale nel processo di *feedback* negativo. Esso contiene un'elevata densità di recettori glucocorticoidi (*GR*) e mineralcorticoidi (*MR*), che permettono di monitorare in tempo reale i livelli di cortisolo circolante. Quando il cortisolo

aumenta, l'ippocampo invia segnali inibitori all'ipotalamo, contribuendo alla chiusura del ciclo di risposta.

Questo meccanismo è fondamentale per evitare che la risposta di stress diventi autodistruttiva. Tuttavia, in condizioni di stress cronico, l'eccessiva esposizione ai glucocorticoidi danneggia i neuroni ippocampali, riducendo la loro capacità inibitoria, un fenomeno noto come *downregulation* recettoriale (Sapolsky, 2004). Il risultato è un circolo vizioso in cui più cortisolo viene rilasciato, più l'ippocampo perde la capacità di contenerlo, determinando una iperattivazione persistente dell'asse *HPA*. In parallelo, la corteccia prefrontale, anch'essa sensibile ai glucocorticoidi, mostra una riduzione della connettività con l'amigdala, compromettendo la regolazione *top-down* delle emozioni (Arnsten, 2009). Ciò spiega perché l'esposizione prolungata a stress intensi possa determinare alterazioni cognitive e affettive, fino a quadri clinici di ansia generalizzata, depressione o *burnout*.

Uno studio longitudinale di Lupien et al. (2009) ha documentato che individui con livelli cronicamente elevati di cortisolo mostrano un assottigliamento della corteccia prefrontale e una riduzione volumetrica dell'ippocampo nel corso di cinque anni. Questi cambiamenti strutturali erano accompagnati da peggioramenti nelle funzioni di memoria e attenzione, a conferma della vulnerabilità del cervello agli effetti cumulativi dei glucocorticoidi. Parallelamente, Gianaros et al. (2015) hanno mostrato che un'eccessiva reattività dell'*HPA* si associa a ridotta *HRV* e iperattività dell'amigdala, indicando una disregolazione coordinata dei due assi *SNA-HPA*.

Come detto in precedenza la secrezione di cortisolo segue un ritmo circadiano ben definito, regolato dal nucleo soprachiasmatico (*SCN*) dell'ipotalamo, che funge da orologio biologico centrale. In condizioni fisiologiche, i livelli di cortisolo raggiungono il picco circa 30–45 minuti dopo il risveglio (*Cortisol Awakening Response, CAR*), e diminuiscono progressivamente durante il giorno, raggiungendo il minimo nelle ore notturne (Fries et al., 2009). Questo *pattern* di fluttuazione non è casuale, ma rappresenta un meccanismo di sincronizzazione tra processi metabolici, cognitivi e comportamentali, il picco mattutino prepara l'organismo all'attività, mentre il declino serale favorisce il recupero e la rigenerazione. La perdita di questo ritmo, fenomeno noto come *flattening* circadiano, è uno dei segni più precoci di disregolazione dell'*HPA*.

Numerosi studi hanno dimostrato che individui con profili di cortisolo appiattiti presentano maggiore stanchezza, peggiori funzioni cognitive e aumentato rischio di patologie cardiovascolari e depressive (Adam et al., 2017). In particolare, Kudielka et al. (2005) hanno osservato che un *CAR* ridotto è associato a una percezione di controllo minore e a livelli più elevati di ansia mentre al contrario, un *CAR* eccessivo riflette un'iperattivazione anticipatoria tipica degli individui con elevato nevroticismo. Queste evidenze suggeriscono che la dinamica temporale del cortisolo è tanto importante quanto il suo livello assoluto nel determinare l'impatto dello stress sulla salute.

La variabilità circadiana del cortisolo interagisce strettamente con gli altri sistemi regolativi. Durante le prime ore del mattino, l'aumento del cortisolo facilita il rilascio di glucosio e potenzia l'efficacia del tono simpatico, garantendo un risveglio energetico coordinato. Nel corso della giornata, il progressivo predominio vagale e la riduzione dei glucocorticoidi favoriscono il recupero e la digestione. Questa danza ritmica tra cortisolo, attivazione simpatica e tono vagale rappresenta una forma di omeostasi dinamica che permette al corpo di bilanciare vigilanza e riposo, azione e riparazione. La perdita di questa armonia a causa per esempio di uno stress cronico, turni di lavoro notturni o disturbi del sonno, compromette l'efficienza del sistema autonomo e predispone al carico allostatico (Karatsoreos et al., 2011).

In un contesto evolutivo, la funzione del cortisolo è chiaramente adattiva in quanto potenzia la sopravvivenza preparando l'organismo a rispondere rapidamente alle sfide ambientali. Tuttavia, nell'ambiente moderno, caratterizzato da stimoli cronici, cognitivi e sociali più che fisici, il sistema *HPA* può essere iperattivato in assenza di minacce reali, producendo un effetto tossico cumulativo. La ricerca contemporanea ha evidenziato che la disregolazione del cortisolo è implicata in un ampio spettro di disturbi, dall'ansia e la depressione (Pariante et al., 2008) al *burnout* (Penz et al., 2018), fino all'*overtraining* negli atleti (Meeusen et al., 2013). In tutti questi casi, il denominatore comune è la perdita di flessibilità regolativa, sia in termini di ampiezza che di ritmicità della risposta *HPA*. Rispetto questo, interventi mente-corpo hanno dimostrato di ridurre i livelli di cortisolo e di ripristinare il suo profilo circadiano fisiologico (Pascoe et al., 2021). Questi risultati sostengono l'ipotesi che la resilienza psicofisiologica derivi dalla capacità integrata dei

sistemi *SNA* e *HPA* di modulare reciprocamente le proprie dinamiche in modo flessibile, evitando l'eccessiva attivazione o l'inerzia prolungata.

In sintesi, l'asse *HPA* costituisce la regolazione ormonale lenta della risposta di stress, complementare a quella autonoma. Attraverso la cascata *CRH - ACTH - cortisolo* e i meccanismi di feedback cortico-limbici, l'*HPA* garantisce la modulazione temporale della risposta di adattamento, integrando le componenti metaboliche, cognitive ed emotive. Il ritmo circadiano del cortisolo, a sua volta, rappresenta una metrica fondamentale per valutare l'integrità di questo sistema. Quando l'asse funziona in modo coerente, il cortisolo sostiene la prontezza e favorisce il recupero; quando si deregolamenta, diventa il principale vettore del carico allostatico e del deterioramento psicofisiologico. Nel prossimo paragrafo, dedicato alla disregolazione e alle implicazioni cliniche e prestative verranno analizzati gli effetti dell'attivazione cronica dei sistemi *SNA* e *HPA* sulla salute mentale, sulla performance e sulla *readiness* psicofisiologica.

2.3.7 Interazione tra *SNA* e *HPA*

La risposta fisiologica allo stress comunque non è il prodotto di due sistemi paralleli, ma il risultato emergente dell'interazione dinamica tra il *SNA* e l'asse *HPA* orchestrati da un insieme di strutture centrali interconnesse note come *Central Autonomic Network (CAN)*. Questa prospettiva consolidata nel *Neurovisceral Integration Model* (Thayer et al., 2000; 2009) prevede come già detto che la regolazione fisiologica sia il riflesso di una gerarchia funzionale tra regioni corticali, limbiche e troncoencefaliche. La funzione complessiva del *CAN* è duplice, da una parte regola in tempo reale la risposta autonoma e neuroendocrina, coordinando le efferenze simpatiche, parasimpatiche e surrenaliche. Dall'altra integra la percezione intero-cettiva con i processi cognitivi superiori, generando stati affettivi coerenti con il contesto. Da questa visione emerge che la regolazione dello stress non è mai solo fisiologica o psicologica, ma sempre neuroviscerale, un processo emergente dal dialogo continuo tra cervello e corpo.

Il *Neurovisceral Integration Model* (Thayer et al, 2000; 2009; 2012) rappresenta una cornice teorica unificante che spiega come il grado di flessibilità autonoma rifletta l'efficienza del controllo cortico-subcorticale. Secondo questo modello la *HRV* rappresenta una misura indiretta ma potente della capacità del cervello di regolare i sistemi di risposta.

In particolare, la corteccia prefrontale ventromediale (*vmPFC*) modula l'attività dell'amigdala e dell'ipotalamo, esercitando un'inibizione tonica sull'asse *HPA* e sui nuclei autonomici del tronco. Quando tale controllo è integro, l'individuo mostra una *HRV* elevata, un rilascio di cortisolo proporzionato e un rapido ritorno all'equilibrio dopo lo stress. Quando invece il controllo prefrontale si indebolisce, a causa di stress cronico, fatica o emozioni incontrollate, l'amigdala assume il dominio, l'*HPA* resta iperattivo e la *HRV* si riduce.

Evidenze empiriche sostengono fortemente questo modello. Thayer et al. (2012), attraverso studi di *fMRI*, hanno dimostrato che la *HRV* a riposo predice la forza della connettività funzionale tra la *vmPFC* e l'amigdala, per cui maggiore è la *HRV*, più forte è l'inibizione corticale sul circuito dello stress. Gianaros et al. (2015) hanno esteso questi risultati, mostrando che la *HRV* è anche associata alla coerenza dinamica tra *PFC*, insula e cingolato, regioni che orchestrano la percezione e la regolazione interocettiva. In sostanza, la *HRV* diventa un indice di integrazione neuroviscerale in più il sistema è integrato, più è capace di risposte adattive.

Il dialogo tra *SNA* e *HPA* è non solo anatomico ma anche temporale. In una situazione di stress acuto, il *SNA* risponde per primo, il ramo simpatico rilascia noradrenalina e adrenalina in pochi secondi, generando la classica reazione *fight-or-flight*. Dopo circa 5–10 minuti, l'*HPA* entra in azione, rilasciando cortisolo che prolunga e modula la risposta iniziale, potenziando l'effetto catecolaminergico e mantenendo la vigilanza (Ulrich-Lai et al., 2009). Una volta cessata la minaccia, l'attività vagale e il *feedback* negativo del cortisolo ristabiliscono l'equilibrio. Questa sequenza adattiva di attivazione rapida, mantenimento e recupero rappresenta il modello fisiologico ottimale della risposta allo stress.

Tuttavia, quando il sistema rimane cronicamente attivo, la coordinazione temporale si rompe, il cortisolo continua a circolare anche in assenza di stimoli, e la risposta simpatica resta tonicamente elevata. Ne deriva una disincronizzazione *SNA-HPA*, che può essere osservata sperimentalmente come bassa *HRV* associata a cortisolo elevato. Studi combinati che hanno monitorato *HRV* e cortisolo (Chida et al., 2008; Panaite et al., 2015) hanno confermato che individui con questa combinazione mostrano maggiore ansia, peggiori

funzioni esecutive e un recupero più lento dopo stress acuto. In altre parole, la resilienza psicofisiologica dipende dalla coerenza temporale e funzionale tra i due assi.

L'esposizione prolungata allo stress compromette la coerenza del *network* neuroviscerale.

A livello cerebrale, il cortisolo cronico riduce la densità sinaptica nella corteccia prefrontale e altera la plasticità ippocampale, indebolendo il controllo inibitorio sul sistema limbico (Lupien et al., 2009). Parallelamente, l'amigdala aumenta la propria reattività e la connettività con l'ipotalamo, facilitando un circuito di *overdrive* simpatico e *HPA* (McEwen et al., 2011). Ciò produce un passaggio funzionale dal controllo *top-down* al dominio *bottom-up*, il cervello passa da una modalità predittiva e regolata a una modalità difensiva e reattiva. A livello periferico, la riduzione della *HRV* e l'alterazione del ritmo circadiano del cortisolo diventano i *marker* più evidenti di tale disintegrazione (Karatsoreos et al., 2011).

Questa condizione, definita da McEwen (2019) carico allostatico di tipo II, rappresenta il fallimento della regolazione integrata. Il corpo rimane in uno stato di vigilanza tonica, incapace di tornare alla baseline, una condizione che, nel lungo termine, contribuisce a disturbi cardiometabolici, immunitari e psicologici. Un ampio studio longitudinale di Juster et al. (2010) su 400 adulti ha mostrato che la combinazione di *HRV* bassa e cortisolo elevato prediceva il deterioramento cognitivo e un rischio doppio di sindrome metabolica a 4 anni.

Comunque la funzione del *network* neuroviscerale non è solo quella di difendere l'organismo, ma anche di ottimizzarne la preparazione adattiva (*readiness*). In un sistema integrato, l'attività del *CAN* consente una rapida transizione tra stati fisiologici dall'attivazione all'attenzione, dall'azione al recupero. Questa capacità di transizione, resa visibile dalla fluttuazione coordinata di *HRV* e cortisolo, è il fondamento della performance ottimale, tanto nel contesto sportivo quanto in quello clinico. Stanley et al. (2013) in un campione di atleti *élite*, hanno mostrato che la combinazione di *HRV* elevata e risposta di cortisolo ben modulata prediceva tempi di recupero più brevi e migliori prestazioni cognitive pre-gara. Questi risultati supportano la visione secondo cui la *readiness* psicofisiologica non dipende da un singolo indicatore, ma dalla sinergia dinamica tra controllo corticale, regolazione autonoma e *feedback* endocrino. In questo senso, il modello neuroviscerale rappresenta la base teorica del monitoraggio multimodale dello

stress, che unisce parametri autonomici come l'*HRV*, ormonali come il cortisolo e cognitivi in un'unica cornice interpretativa.

2.3.8 Disregolazione e implicazioni cliniche e sportive

Il mantenimento di una regolazione efficace dei sistemi autonomico e neuroendocrino è essenziale per la salute e la performance. Quando la coordinazione tra *SNA*, *HPA* e *CAN* si altera, l'organismo perde la capacità di passare in modo flessibile dagli stati di attivazione a quelli di recupero. Tale condizione definita disregolazione psicofisiologica, rappresenta la base comune di numerose sindromi da stress, disturbi psicosomatici e condizioni di decadimento della performance e costituisce l'espressione clinica del carico allostatico (McEwen et al., 2011; Sterling, 2020). Studi longitudinali hanno dimostrato che la bassa *HRV* cronica è un predittore robusto di morbilità cardiovascolare (Thayer et al., 2010), depressione (Kemp et al., 2010) e mortalità per tutte le cause (Jarczok et al., 2015). In parallelo, un profilo di cortisolo disritmico o appiattito è associato a peggior funzionamento cognitivo, ridotta motivazione e maggiore vulnerabilità a disturbi affettivi (Adam et al., 2017).

La disregolazione neuroviscerale è implicata in un ampio spettro di disturbi psichici e psicosomatici. Nel disturbo d'ansia generalizzata e nel disturbo di panico, per esempio, si osserva una iperattivazione simpatica con riduzione del tono vagale e aumentata sensibilità interocettiva (Chalmers et al., 2014). Il risultato è una percezione amplificata dei segnali corporei, che rinforza la spirale di allarme e vigilanza. Nel disturbo depressivo maggiore, invece, prevale un *pattern* opposto, una ipoattivazione simpatica e ridotta responsività dell'*HPA*, segno di una regolazione esaurita più che iperattiva (Pariante et al., 2008). Entrambe le condizioni condividono la stessa base fisiologica, una perdita di coordinazione tra controllo corticale, limbico e autonomico. Una meta-analisi di Kemp et al. (2010) su oltre 800 pazienti depressi ha evidenziato una riduzione consistente della *HRV* rispetto ai controlli sani, con correlazioni negative tra *HRV* e gravità dei sintomi.

Analogamente, Carney et al. (2001) hanno osservato che la bassa *HRV* post-infarto è uno dei predittori più forti di depressione clinica nei mesi successivi all'evento cardiaco, a conferma del legame bidirezionale tra regolazione fisiologica e affettiva.

In disturbi legati al trauma, come il *PTSD*, la disregolazione assume una forma iperreattiva con una elevata risposta simpatica, *HRV* ridotta e *pattern* di cortisolo spesso attenuato o instabile (Yehuda et al., 2015). Il sistema resta intrappolato in una modalità difensiva, incapace di discriminare tra minaccia reale e immaginata. Sul piano corporeo, la disregolazione cronica si traduce in somatizzazione e disturbi funzionali con dolori muscolari, dispepsia, cefalee tensionali e sindrome dell'intestino irritabile. Queste condizioni condividono alterazioni nei circuiti *CAN* e nella percezione intero-cettiva (Critchley et al., 2017). Il corpo, in assenza di una minaccia oggettiva, diventa il canale espressivo di una regolazione inefficiente, una forma di iperconsapevolezza viscerale senza controllo vagale.

La disregolazione cronica si manifesta anche come sindrome da fatica da stress, caratterizzata da sensazione di stanchezza persistente, difficoltà cognitive e disturbi del sonno. In questi individui, la *HRV* è costantemente bassa, i livelli di cortisolo tendono a essere piatti e la risposta fisiologica a stimoli stressanti è attenuata (Clow et al., 2010). Si tratta di un *pattern* di *blunted reactivity*, il sistema non è più in grado né di attivarsi né di recuperare, una forma estrema di inefficienza allostatica. Studi condotti su operatori sanitari e insegnanti in *burnout* mostrano lo stesso schema (Penz et al., 2018), perdita di ritmo circadiano, riduzione del *coupling HRV*–cortisolo e peggioramento della qualità del sonno.

Nel contesto sportivo, i medesimi meccanismi assumono una forma funzionale o disfunzionale a seconda del grado di integrazione neurofisiologica. La performance ottimale riflette un equilibrio dinamico tra attivazione e controllo in cui se l'atleta presenta una *HRV* elevata a riposo, indice di un tono vagale robusto e di un sistema autonomo flessibile, è capace di modulare rapidamente l'arousal in base alle richieste del compito. Durante lo sforzo questo si traduce poi in una riduzione rapida, ma proporzionata, della *HRV*, che segnala un adeguato disimpegno del freno vagale e una risposta simpatico–adrenergica efficiente. In altre parole, il sistema passa velocemente dallo stato di calma regolata all'attivazione necessaria alla prestazione, senza sovra- o sotto-attivarsi.

Al contrario, la disregolazione autonoma produce due *pattern* opposti ma ugualmente dannosi. Da una parte si presenta un'iperattivazione simpatica con rigidità attentiva, ansia pre-gara, co-contrazioni muscolari e precoce esaurimento, dall'altra un'ipoattivazione

vagale con apatia, calo motivazionale e lentezza nei tempi di reazione. Uno studio di Stanley et al. (2013) su atleti *élite* ha mostrato che una *HRV* cronicamente ridotta nei giorni precedenti alla competizione prediceva peggiori prestazioni e tempi di recupero più lunghi. Allo stesso modo, Plews et al. (2013) hanno evidenziato che il monitoraggio quotidiano della *HRV* permette di identificare precocemente fasi di *overreaching* e *overtraining*, caratterizzate da disallineamento tra sforzo percepito e risposta fisiologica.

Nei casi di stress acuto o sovrallenamento cronico, si osserva una dissociazione tra i due assi in quanto l'*HRV* diminuisce, mentre il cortisolo resta elevato, segnale questo di un sistema che continua a spingere anche quando le risorse sono esaurite (Meeusen et al., 2013). L'iperattivazione cronica dell'*HPA* negli atleti può inoltre interferire con la regolazione del sonno, la sintesi proteica e la funzione immunitaria, aumentando la suscettibilità a infortuni e infezioni. Parallelamente, la riduzione della *HRV* post-allenamento è risultata correlata a peggior concentrazione e minore accuratezza attentiva (Buchheit, 2014). Tali risultati suggeriscono che la disregolazione del *network SNA-HPA* si traduce in un deficit di *readiness* neurofisiologica, l'atleta è allenato ma non regolato.

L'analisi della disregolazione fornisce non solo un modello eziologico ma anche una direzione d'intervento. Poiché i sistemi *SNA* e *HPA* sono plastici, è possibile ripristinarne la coerenza attraverso interventi mirati alla regolazione del ritmo autonomo e alla modulazione vagale. Studi su protocolli d'intervento basati su *Mindfulness*, respirazione lenta, *HRV biofeedback* e *Brain Wave Modulation Technique (BWM-T)* hanno mostrato miglioramenti significativi della *HRV* o normalizzazione dei livelli di cortisolo (Lehrer et al., 2020; Pascoe et al., 2021; Borgese et al., 2025). Nei contesti sportivi, l'integrazione di *training* respiratorio e *biofeedback* ha dimostrato di ridurre i tempi di recupero, migliorare la concentrazione e aumentare la resilienza emotiva (Paul et al., 2012; Fortes et al., 2021). Questi interventi non agiscono solo a livello fisiologico, ma ripristinano il controllo *top-down* prefrontale, ristabilendo l'equilibrio del *CAN*.

Sul piano clinico, la valutazione congiunta della *HRV* offre una finestra unica sulla regolazione mente-corpo, in quanto permette di distinguere tra iperattivazione e esaurimento, tra stress funzionale e patologico. La monitorizzazione della *HRV* in tempo reale e in prove sotto stress, consente di mappare il profilo individuale di risposta e di personalizzare l'intervento (Laborde et al., 2017). In questo senso, la comprensione della

disregolazione non è fine a sé stessa, ma diventa la base di un approccio preventivo e predittivo alla salute e alla performance.

2.3.9 Sintesi e transizione verso il monitoraggio neurofisiologico dello stress

Se come emerso da quanto detto sinora la flessibilità regolativa è la chiave dell'adattamento, diventa necessario disporre di strumenti empirici in grado di osservarla. Nel processo di costruzione di strumenti volti alla valutazione dello stress, si è storicamente sofferto di una dipendenza quasi esclusiva da misure soggettive, come questionari, autovalutazioni, scale di ansia o *distress*, che pur utili sul piano clinico risultano limitate per cogliere la dinamica fisiologica sottostante. Lo stress non è solo percepito, è vissuto a livello neurofisiologico. I processi di attivazione simpatica, la modulazione vagale, le variazioni del cortisolo e le oscillazioni cardiache si verificano indipendentemente dalla consapevolezza soggettiva, e spesso la precedono. Da questa constatazione nasce l'esigenza di un approccio neurofisiologico oggettivo al monitoraggio dello stress. Tale approccio non mira a sostituire le misure psicologiche, ma a integrarle, fornendo un quadro multilivello della regolazione.

In questo senso gli indici fisiologici permettono di quantificare la firma biologica della risposta allo stress, offrendo un ponte tra modelli teorici e dati osservabili. Come sottolineato da Thayer et al. (2012) e McEwen (2019), la vera sfida è collegare i parametri misurabili, come *HRV*, cortisolo, conduttanza cutanea e respirazione alle funzioni regolative che rappresentano. In altre parole, non basta misurare la frequenza cardiaca, occorre capire cosa significa in termini di integrazione neuroviscerale.

Il *SNA* e l'*HPA* operano su tempi e scale diverse, passando da millisecondi per l'attività vagale, minuti per le catecolamine, ore per il cortisolo. Misurarne l'interazione richiede indicatori che riescano a catturare questa complessità senza ridurla a un singolo valore statico. Se da un punto di vista teorico la migliore scelta in senso assoluto sarebbe quella di monitorare costantemente diversi indicatori biologici, quando ci si sposta in contesti reali diventa necessario individuare indicatori che consentano una misura ecologica, poco invasiva e che rispecchi al meglio il funzionamento congiunto del *SNA*, dell'asse *HPA* e del *CAN*. In tal senso, tra tutti i possibili indicatori la *HRV* è emersa come il marcatore più sensibile e integrativo dei sistemi, in quanto essa condensa, in un segnale semplice, la

qualità del dialogo tra cervello e cuore, tra attivazione e calma, tra previsione e adattamento (Shafferet al., 2017; Lehrer et al., 2020). L'*HRV* fornisce una finestra sulla capacità del sistema di passare da uno stato simpatico a uno parasimpatico in modo fluido, ma anche dall'influenza dei centri centrali del *CAN*. In tal modo, la psicofisiologia si sposta dal modello sperimentale chiuso, verso un modello ecologico e predittivo, coerente con l'idea di omeostasi come regolazione anticipatoria.

Il percorso fin qui delineato, dalla definizione dello stress alla descrizione dei suoi sistemi effettori, conduce a una conclusione metodologica: per comprendere lo stress, è necessario misurarlo su più livelli simultaneamente. L'approccio integrato, già suggerito da McEwen et al. (1993) con il concetto di carico omeostatico, richiede la combinazione di indicatori cognitivi, emotivi e fisiologici. L'assenza di coerenza tra questi livelli, per esempio un individuo che si percepisce calmo ma mostra bassa *HRV*, indica una dissonanza regolativa, segnale di stress latente. Da qui deriva il valore aggiunto delle misure neurofisiologiche, che rendono visibile ciò che la coscienza non sempre percepisce. In ambito clinico, questa integrazione consente di distinguere lo stress funzionale da quello disfunzionale; in ambito sportivo, permette di individuare precocemente i segnali di sovraccarico, di compromissione della performance e di ottimizzare i programmi di recupero.

Nel contesto della presente tesi, questa prospettiva integrata è cruciale dal momento che l'obiettivo è tradurre i modelli teorici in strumenti operativi di monitoraggio, capaci di quantificare le variazioni neurofisiologiche in risposta a interventi mente-corpo. Il paragrafo successivo (2.4) approfondirà proprio questa transizione, dalla teoria della regolazione mente-corpo alla valutazione neurofisiologica dello stress, esaminando i vantaggi, i limiti e le potenzialità dell'uso di indicatori oggettivi nella ricerca e nella pratica clinica e sportiva.

2.4. Perché monitorare lo stress con indici neurofisiologici

Come osserva McEwen (2017), “*la fisiologia racconta ciò che la mente dimentica*”, le tracce dello stress, anche quando non più percepite, rimangono inscritte nei ritmi del corpo e nelle sue modulazioni autonome. In questo senso i limiti epistemologici e metodologici delle misure self-report rendono necessario un passaggio paradigmatico nello studio dello stress, passando dalla percezione alla regolazione, dall'esperienza soggettiva alla

misurazione oggettiva. Gli indici neurofisiologici, in particolare quelli derivati dall'attività autonoma, offrono una lettura più diretta, sensibile e predittiva dei processi di adattamento, restituendo una rappresentazione fedele del modo in cui mente e corpo cooperano per mantenere la stabilità attraverso il cambiamento. Nei paragrafi successivi verranno descritti i principali indicatori oggi impiegati in questa prospettiva integrata, e il razionale che sostiene la loro adozione nella ricerca sulla regolazione dello stress.

2.4.1 Dalla teoria alla misurazione: i limiti delle misure self-report ed i vantaggi della fisiologia

Fin dalla metà del XX secolo, la misurazione dello stress è stata dominata da strumenti psicologici basati sull'autovalutazione, come questionari, interviste o scale di *rating*. Questi strumenti, eredità della tradizione cognitivista hanno permesso di indagare il modo in cui gli individui percepiscono e valutano gli eventi di vita, introducendo costrutti fondamentali come l'*appraisal*, il *coping* e la percezione di controllo. Tuttavia, con l'evoluzione delle neuroscienze e della psicofisiologia, è emersa una crescente consapevolezza dei limiti epistemologici di un approccio esclusivamente soggettivo. Lo stress, inteso come processo integrato mente–corpo, non può essere compreso pienamente se indagato solo attraverso la lente dell'esperienza cosciente.

Gli strumenti *self-report* si fondano sull'assunto che l'individuo sia in grado di riconoscere, interpretare e comunicare accuratamente i propri stati interni. Tuttavia, la letteratura neuropsicologica dimostra che la percezione soggettiva degli stati fisiologici è filtrata da molteplici variabili cognitive, emotive e culturali. La metacognizione interocettiva, ossia la capacità di leggere e rappresentare i segnali provenienti dal corpo, varia notevolmente tra gli individui (Critchley et al., 2017) e può risultare distorta in condizioni di stress cronico, ansia o ipercontrollo cognitivo. Ciò comporta che le misure di stress percepito non riflettano necessariamente l'attività neurofisiologica sottostante. La discrepanza tra esperienza soggettiva e risposta biologica è uno dei problemi centrali della ricerca contemporanea sullo stress.

Diversi studi hanno mostrato che i punteggi alle scale di stress o ansia non sempre correlano con gli indici fisiologici di attivazione, come la frequenza cardiaca, l'*HRV* o il

livello di cortisolo (Campbell et al., 2012; Hjortskov et al., 2004). Per esempio, durante compiti cognitivamente impegnativi o situazioni di pressione sociale, i soggetti possono riportare livelli di stress moderati pur mostrando una marcata riduzione della *HRV* o un incremento della conduttanza cutanea, segni oggettivi di attivazione simpatica. Viceversa, in soggetti con elevata ansia di tratto o scarsa consapevolezza interocettiva, si può osservare la percezione di un forte stress in assenza di variazioni fisiologiche significative. Queste divergenze mettono in discussione la validità convergente delle sole misure soggettive. Oltre ai limiti intrinseci della percezione, le misure autovalutative sono soggette a numerosi *bias* cognitivi e motivazionali. Tra questi, il più noto è il *bias* di desiderabilità sociale, ossia la tendenza a rispondere in modo da apparire competenti, resilienti o controllati, soprattutto in contesti competitivi o professionali.

In ambito sportivo, per esempio, gli atleti possono minimizzare il proprio livello di stress per non apparire vulnerabili o per mantenere l'immagine di *mental toughness* (Raglin et al., 2000). In ambito clinico invece è presente la tendenza opposta, ossia quella di enfatizzare la sofferenza che può emergere come forma di richiesta implicita di aiuto o riconoscimento (Kudielka et al., 2009). In entrambi i casi, i dati raccolti non rappresentano fedelmente il funzionamento regolativo dell'organismo. Ulteriori distorsioni derivano dal contesto situazionale e dal *recall bias*. Molti questionari richiedono di ricordare episodi di stress vissuti nelle settimane o nei mesi precedenti, costringendo il soggetto a una ricostruzione retrospettiva basata sulla memoria emotiva più che sull'esperienza diretta. Poiché la memoria è selettiva e influenzata dallo stato affettivo attuale, le valutazioni retrospettive risultano poco affidabili e scarsamente sensibili alle variazioni momentanee. Lo stress, invece, è un fenomeno dinamico e oscillante, può modificarsi nel giro di minuti o secondi, e solo una misurazione continua consente di coglierne le fluttuazioni reali.

Gli indicatori fisiologici superano alcune di queste limitazioni, offrendo una rappresentazione più oggettiva e temporale del funzionamento regolativo. Essi non dipendono da processi di introspezione o di memoria, ma riflettono direttamente l'attività del sistema nervoso autonomo e dei suoi meccanismi di modulazione. A differenza delle misure *self-report*, che forniscono una valutazione cognitiva a posteriori, le misure neurofisiologiche descrivono la risposta implicita, spesso precedente alla consapevolezza. In questo senso, esse costituiscono una finestra privilegiata sull'attività dei sistemi di

adattamento.

Tra i principali vantaggi delle misure fisiologiche vi è la loro sensibilità temporale. Parametri come l'*HRV* possono variare in pochi secondi in risposta a uno stimolo stressante, consentendo di analizzare le fasi di attivazione, mantenimento e recupero. Questo permette di distinguere, per esempio, una risposta fisiologica transitoria e adattiva da una condizione di iperattivazione cronica. Inoltre, la possibilità di registrare tali parametri con dispositivi non invasivi consente di effettuare misurazioni ripetute o continuative, anche in contesti ecologici, ampliando la validità esterna delle osservazioni.

Un secondo vantaggio cruciale è la maggiore oggettività, in quanto gli indici fisiologici si basano su grandezze fisiche (millisecondi, *microSiemens*, microvolt) e sono meno influenzati da variabili cognitive o sociali. Ciò li rende particolarmente utili in ambiti applicativi come la clinica e lo sport, dove la soggettività dell'autovalutazione può compromettere l'accuratezza del monitoraggio. Inoltre, la natura quantitativa dei dati fisiologici permette di applicare modelli statistici e dinamici sofisticati, come l'analisi di coerenza, entropia, *coupling* respiro–cuore, i quali forniscono informazioni sulla qualità, e non solo sull'intensità, della regolazione autonoma (Friedman, 2007).

Oltre a essere più affidabili, le misure fisiologiche possiedono una valenza teorica unica, in quanto rappresentano la firma regolativa dell'individuo, un'impronta dinamica che riflette il grado di integrazione tra cervello, corpo e ambiente. Per esempio l'*HRV* non è un semplice segnale biologico, ma una traccia misurabile dell'attività del sistema mente–corpo. Come sottolineano Thayer et al. (2009), l'efficienza della regolazione autonoma dipende dal livello di coordinamento tra le reti corticali prefrontali e i nuclei del tronco encefalico che controllano le funzioni viscerali. Monitorare questi *pattern* significa quindi accedere a un livello di conoscenza che la sola introspezione non può fornire.

2.4.2 Panoramica degli indici neurofisiologici

L'analisi neurofisiologica dello stress si basa sull'assunto che i processi di regolazione mente–corpo si esprimano attraverso *pattern* misurabili nel sistema autonomo, endocrino e centrale. Questi tre sistemi cooperano nel modulare la risposta adattiva, traducendo le valutazioni cognitive e le esperienze emotive in variazioni del battito cardiaco, della

conduttanza cutanea, dell'attività cerebrale o della secrezione ormonale. Il monitoraggio di tali parametri consente di osservare lo stress non come una condizione statica, ma come un processo dinamico, caratterizzato da cicli di attivazione e recupero. La psicofisiologia moderna adotta quindi una prospettiva multilivello, in cui ogni indice fornisce una finestra complementare sulla regolazione, dagli eventi elettrici corticali, alle oscillazioni del sistema autonomico, fino alle modificazioni endocrine a più lungo termine (Berntson et al., 2007).

Il *SNA* costituisce la prima linea effettoria della risposta allo stress. Attraverso l'interazione dinamica tra i rami simpatico e parasimpatico, il *SNA* regola funzioni fondamentali, cardiovascolari, respiratorie, gastrointestinali e immunitarie, garantendo un adattamento flessibile alle richieste ambientali. Gli indici autonomici sono pertanto i più utilizzati nello studio dello stress, poiché riflettono modificazioni rapide e reversibili dell'attività fisiologica. L'*HRV* verrà trattata in modo approfondito nel Capitolo 2, mentre in questa sezione l'attenzione è rivolta alla descrizione degli altri indici complementari neurofisiologici che verranno discussi anche rispetto il ruolo di misure di integrazione alla *HRV*.

- *Electrodermal Activity*

L'*Electrodermal Activity (EDA)*, nota anche come conduttanza cutanea o *Galvanic Skin Response*, costituisce uno dei più affidabili indicatori periferici dell'attivazione simpatica. Essa misura le variazioni della conduttività elettrica della pelle associate alla sudorazione eccrina, che è controllata esclusivamente da fibre colinergiche del sistema nervoso simpatico. Un aumento dell'attività simpatica determina una maggiore secrezione di sudore a livello palmare e plantare, con conseguente incremento della conduttanza elettrica. Da un punto di vista neurobiologico, l'*EDA* rappresenta il correlato periferico dell'attività di circuiti centrali coinvolti nella regolazione dell'*arousal*, della valutazione della salienza e dell'elaborazione emotiva. Tra le strutture maggiormente implicate si trovano l'amigdala, l'insula, il cingolato anteriore e il *locus coeruleus*, nodi fondamentali del sistema di allerta neurofisiologica (Critchley, 2002). L'attività elettrodermica riflette dunque l'output integrato di questi sistemi, mostrando variazioni rapide in risposta a stimoli inattesi, minacciosi o particolarmente rilevanti.

L'EDA comprende due componenti principali, che riflettono aspetti differenti dell'attivazione simpatica. La componente tonica, o *Skin Conductance Level (SCL)*, rappresenta il livello di attivazione di base del sistema simpatico e varia lentamente nel tempo, risultando sensibile a fattori quali stato di vigilanza, stress sostenuto o fatica. La componente fasica, o *Skin Conductance Response (SCR)*, consiste invece in risposte rapide e transitorie che emergono in seguito a stimoli interni o esterni rilevanti. Gli SCR costituiscono l'indice elettrodermico più informativo nei paradigmi sperimentali, poiché riflettono direttamente l'*orienting response*, la valutazione della salienza e la mobilitazione attentiva. In presenza di uno stimolo minaccioso, inatteso o emotivamente significativo, gli SCR aumentano entro 1–3 secondi, marcando un incremento acuto dell'attività simpatica. In condizioni dunque di stress acuto o minaccia, l'attivazione simpatica produce un incremento immediato degli SCR, spesso parallelo all'aumento della frequenza cardiaca e della pressione arteriosa. L'EDA risulta quindi particolarmente utile per monitorare la componente reattiva e preparatoria della risposta allo stress.

L'EDA è ampiamente impiegata negli studi sull'ansia, sul carico cognitivo, sul *decision-making* e sulle emozioni poiché cattura le oscillazioni dell'*arousal* autonomico anche in assenza di consapevolezza soggettiva. Presenta tuttavia limiti interpretativi in quanto non distingue fra *arousal* positivo e negativo, ed è sensibile a variabili ambientali come temperatura, umidità e attività motorie. Nonostante ciò, integrata con altre misure, come l'HRV permette una lettura più completa delle dinamiche autonome e dei processi cognitivi sottostanti la risposta allo stress.

Proprio l'integrazione tra HRV ed EDA è ampiamente supportata dalla letteratura perché consente di cogliere in modo complementare le due componenti principali della regolazione autonoma. L'HRV, nelle sue metriche vagalmente mediate (per esempio *rMSSD*, *HF*), rappresenta l'attività parasimpatica e la capacità regolativa del *vagal brake* (Porges, 2011; Laborde et al., 2017; Thayer et al., 2009). L'EDA, al contrario, è un indice diretto dell'attivazione simpatica sudomotoria e riflette in modo sensibile le risposte rapide dell'*arousal*, della salienza e dell'*orienting attention* (Critchley, 2002; Dawson et al., 2007; Boucsein, 2012). Combinare le due misure permette quindi di ottenere una lettura multilivello della risposta allo stress, distinguendo tra processi di attivazione periferica rapida (EDA) e processi di modulazione centrale del controllo autonomico (HRV).

Dal punto di vista funzionale, la combinazione *HRV-EDA* consente di identificare *pattern* fisiologici che non sarebbero distinguibili con una singola misura. Un aumento degli *SCR* accompagnato da una marcata riduzione della *HRV*, per esempio, è tipico di una risposta simpatico-dominante ad alto *arousal*, mentre una riduzione della *HRV* senza variazioni dell'*EDA* può indicare un incremento del carico cognitivo o del controllo esecutivo, più che una risposta emotiva (Benedek et al.; 2010). Analogamente, un'*EDA* elevata insieme a una *HRV* ancora relativamente alta suggerisce uno stato di vigilanza adattiva caratterizzato da una regolazione vagale efficiente, fenomeno osservato in compiti di anticipazione o in condizioni di alta concentrazione attentiva.

In ambito sperimentale e sportivo, l'uso congiunto di *HRV* ed *EDA* risulta metodologicamente vantaggioso perché permette di distinguere tra attivazione simpatica rapida guidata da meccanismi di salienza e alterazioni del controllo vagale e del bilanciamento autonomico (Thayer et al., 2012). Tale distinzione è cruciale per interpretare variazioni di performance, ansia o carico mentale. È tuttavia la domanda di ricerca a determinare la necessità dell'integrazione in quanto in studi focalizzati esclusivamente sul tono vagale, l'*EDA* può non aggiungere informazioni rilevanti, mentre negli studi sulla salienza emotiva o sulle reazioni rapide allo stimolo, l'*EDA* risulta invece più sensibile dell'*HRV*. Quando però l'obiettivo è comprendere la dinamica completa della risposta allo stress, come nella psicologia dello sport, nella psicofisiologia della performance o nella ricerca clinica, la convergenza *HRV-EDA* fornisce il quadro più robusto ed ecologicamente valido.

- *L'elettromiografia di superficie*

L'elettromiografia di superficie (*EMG*) registra l'attività elettrica generata dalle fibre muscolari durante la contrazione ed è uno strumento sensibile per valutare il grado di tensione muscolare associato agli stati psicofisiologici. Nel contesto dello stress, l'*EMG* rappresenta un indice indiretto dell'attivazione simpatica e dell'aumento del tono neuromuscolare. Attraverso le vie discendenti reticolospinali, l'*arousal* centrale incrementa la sensibilità dei fusi neuromuscolari e facilita la contrazione delle unità motorie, determinando un aumento del segnale *EMG* anche in assenza di movimento volontario (Lundberg, 2002). Tale incremento tonico è particolarmente evidente in distretti corporei coinvolti nel mantenimento della postura e nella risposta di vigilanza, come il muscolo

frontale, i masseteri e il trapezio superiore, regioni che mostrano una forte reattività allo stress cognitivo, all'ansia e alla fatica mentale.

L'*EMG* comprende una componente tonica, che riflette il livello di tensione muscolare di base, e una componente fasica che segnala la comparsa di contrazioni rapide o co-contrazioni associate all'aumento dell'arousal o alla preparazione dell'azione. In condizioni di stress acuto, entrambe tendono ad aumentare, esprimendo la traduzione somatica della risposta di attacco o fuga in cui il sistema non attiva soltanto processi viscerali (aumento della *FC*, incremento dell'*EDA*), ma anche un generale irrigidimento muscolare finalizzato alla mobilitazione. Al contrario, durante stati di rilassamento, sicurezza percepita o regolazione vagale efficace, si osserva una riduzione significativa dell'attività *EMG*, spesso accompagnata da un incremento della *HRV* vagalmente mediata e da una diminuzione della conduttanza cutanea (Critchley, 2002). Questo *pattern* indica un ritorno a un equilibrio autonomico parasimpatico, in cui sia l'attività cardiaca che quella muscolare si armonizzano verso un profilo di basso *arousal*.

Dal punto di vista applicativo, l'*EMG* consente di valutare la componente muscolare del carico allostatico, rilevando *pattern* di iperattivazione cronica, co-contrazione inefficiente o rigidità regolativa, fenomeni associati a riduzione della performance, maggiore suscettibilità alla fatica e incremento del rischio di infortuni. In ambito clinico, è uno strumento utile per l'analisi delle manifestazioni somatiche dell'ansia, del bruxismo, delle cefalee di origine tensiva e dei disturbi posturali. In ambito sportivo, l'*EMG* permette di monitorare l'efficienza neuromuscolare, individuare forme di compensazione non adattive e valutare la qualità del controllo motorio in relazione allo stato psicofisiologico.

L'integrazione tra *EMG* e *HRV* è supportata da una base teorica consolidata, poiché le due misure catturano dimensioni complementari della risposta allo stress. L'*HRV* rappresenta infatti un indice della regolazione autonoma centrale, in particolare dell'attività parasimpatica vagale e del funzionamento del *vagal brake* descritto dalla *Polyvagal Theory* (Porges, 2011). Valori più elevati di *HRV* a riposo riflettono una maggiore capacità di modulazione del sistema parasimpatico sul cuore, una maggiore flessibilità regolativa e un migliore controllo *top-down* da parte delle strutture prefrontali, come evidenziato dal modello della *Neurovisceral Integration* (Thayer et al., 2009; Laborde et al., 2017).

L'*EMG*, al contrario, fornisce informazioni sulla componente somatica e periferica della risposta allo stress. L'attività elettrica dei muscoli scheletrici aumenta infatti in condizioni di arousal elevato, facilitata dall'attivazione simpatica e dalle vie reticolospinali discendenti che incrementano la sensibilità dei fusi neuromuscolari e la probabilità di attivazione delle unità motorie (Lundberg, 2002). L'*EMG* registra dunque la traduzione muscolare delle modificazioni psicofisiologiche indotte dallo stress, permettendo di cogliere in modo diretto la tensione periferica che accompagna stati di vigilanza, ansia o carico cognitivo sostenuto.

Proprio per queste differenze funzionali, misurare simultaneamente *HRV* ed *EMG* consente di distinguere *pattern* fisiologici che rimarrebbero nascosti utilizzando una sola misura. Per esempio, una combinazione caratterizzata da una riduzione dell'*HRV* insieme a un aumento dell'attività *EMG* indica una risposta di stress ad alto *arousal* con un forte coinvolgimento muscolare, tipica dell'ansia anticipatoria o dello stress cognitivo acuto. Una riduzione dell'*HRV* accompagnata da livelli *EMG* stabili può invece riflettere un incremento del carico cognitivo o del controllo esecutivo, senza un concomitante irrigidimento muscolare. Al contrario, un profilo caratterizzato da *HRV* elevata e attività *EMG* ridotta è indicativo di uno stato di rilassamento profondo o di una regolazione vagale efficiente. Infine, un aumento dell'*EMG* in presenza di una *HRV* ancora relativamente alta può esprimere uno stato di vigilanza adattiva, in cui l'attivazione muscolare è funzionale alla preparazione dell'azione, come spesso osservato in sport *open-skill* nella fase pre-azione.

Questa integrazione è particolarmente rilevante in ambito sportivo e nei contesti di performance, poiché la capacità di autoregolazione dipende dall'equilibrio dinamico tra controllo vagale, attivazione simpatica e tensione muscolare. I modelli dell'allostasi (McEwen, 1998) e della *Neurovisceral Integration* (Thayer et al., 2012) suggeriscono infatti che la risposta allo stress derivi dall'interazione coordinata tra sistema autonomico e sistema muscolare, e che la qualità di questa integrazione rappresenti una vera e propria firma fisiologica della performance esperta.

- *La temperatura cutanea*

La temperatura cutanea rappresenta un indicatore sensibile dello stato del sistema nervoso autonomo, in particolare della componente simpatica vasocostrittiva. In condizioni di stress, minaccia o aumentata vigilanza, l'attivazione simpatica induce una vasocostrizione delle arteriole periferiche, riducendo l'afflusso sanguigno alle estremità, in particolare dita, mani e volto, determinando un calo misurabile della temperatura cutanea (Vinkers et al., 2013). Questo processo riflette un meccanismo adattivo evolutivo volto a deviare il flusso sanguigno verso distretti centrali più rilevanti per l'azione, come cuore e muscoli prossimali.

Al contrario, negli stati di rilassamento, sicurezza percepita o attivazione parasimpatica prevalente, la vasodilatazione periferica comporta un aumento graduale della temperatura cutanea. Tale riscaldamento riflette una riduzione del tono simpatico e una maggiore disponibilità di risorse fisiologiche, risultando in un *marker* utile per monitorare il ritorno alla calma, i processi di recupero e l'efficacia degli interventi autoregolativi. La temperatura cutanea, facilmente rilevabile attraverso sensori termici indossabili, fornisce un indice ecologico e poco invasivo della dinamica vasomotoria periferica.

Diversi studi hanno evidenziato che la diminuzione della temperatura periferica si associa a una riduzione della *HRV* vagalmente mediata e a un incremento del tono simpatico, suggerendo una convergenza tra attivazione autonoma centrale e risposta vascolare periferica. Al contrario, un progressivo aumento della temperatura cutanea accompagna stati di calma emotiva, rilassamento e recupero fisiologico (Vinkers et al., 2013), rendendo questo indicatore particolarmente utile sia in ambito clinico che sperimentale.

L'integrazione tra temperatura cutanea e *HRV* si rivela particolarmente utile per comprendere in modo più completo il funzionamento del sistema nervoso autonomo durante le diverse fasi della risposta allo stress.

Sebbene la temperatura cutanea e la *HRV* riflettano processi fisiologici distinti, il loro andamento è profondamente interconnesso. La temperatura cutanea descrive con grande sensibilità la componente periferica dell'attivazione simpatica attraverso la vasocostrizione distale, un meccanismo che riduce rapidamente il flusso sanguigno alle estremità in condizioni di minaccia o *arousal* elevato, come evidenziato da Vinkers et al. (2013).

Questa riduzione della temperatura rappresenta un segnale immediato della mobilitazione fisiologica, che facilita la concentrazione delle risorse nei distretti centrali necessari all'azione. Parallelamente, l'*HRV* fornisce un indice della regolazione autonoma di ordine centrale, in particolare dell'attività parasimpatica vagale e della capacità dell'organismo di modulare l'*arousal* attraverso il sistema prefronto-vagale, come descritto dai modelli di Porges (2011) e Thayer et al. (2012). In presenza di stress, la diminuzione dell'*HRV* segnala una riduzione del controllo vagale e un incremento dell'*output* simpatico centrale, configurando un profilo di attivazione coerente con la componente vasocostrittiva registrata dalla temperatura cutanea.

Misurare congiuntamente questi due parametri consente di distinguere configurazioni autonome che sfuggirebbero a un'analisi unidimensionale. Quando la riduzione dell'*HRV* si accompagna a un abbassamento della temperatura cutanea, emerge un quadro tipico dello stress acuto, caratterizzato da un attivamento simultaneo dei meccanismi centrali e periferici della risposta simpatico-adrenergica. In altri casi, invece, la riduzione della temperatura può verificarsi mentre l'*HRV* rimane relativamente preservata, una condizione che indica uno stato di vigilanza o di carico cognitivo che attiva selettivamente i circuiti vasomotori periferici senza coinvolgere in modo sostanziale la regolazione vagale. All'opposto, un incremento della temperatura cutanea accompagnato da un aumento dell'*HRV* segnala un ritorno alla calma e alla sicurezza percepita, coerente con un ripristino dell'equilibrio parasimpatico e con la vasodilatazione periferica che caratterizza gli stati di rilassamento.

Queste dinamiche permettono di leggere la temperatura cutanea e l'*HRV* come due indicatori che, pur descrivendo processi differenti, convergono nel delineare l'assetto complessivo del sistema autonomo. La temperatura cutanea rende visibile in modo diretto la redistribuzione del flusso sanguigno e l'attivazione periferica legata alla minaccia, mentre l'*HRV* documenta la capacità centrale di autoregolazione e di modulazione dell'*arousal*. L'utilità della loro integrazione risiede nell'ampiezza interpretativa che ne deriva, infatti insieme, queste misure offrono una rappresentazione più completa dei meccanismi sottostanti l'allostasi, consentendo di distinguere condizioni di stress acuto, stati di vigilanza elevata, fasi di recupero parasimpatico e configurazioni

più complesse legate al carico allostatico cronico (McEwen, 1998).

Per questa ragione, la combinazione di temperatura cutanea e *HRV* è ampiamente utilizzata negli studi di psicofisiologia dello stress, nella psicologia dello sport e nei protocolli di *biofeedback*, poiché consente di collegare in modo coerente la componente vasomotoria periferica e il controllo autonomico centrale, offrendo una lettura integrata e multidimensionale dei processi di regolazione dell'organismo.

- *Indici endocrini*

Accanto agli indici autonomici, gli indicatori endocrini costituiscono una componente essenziale per comprendere la fisiologia dello stress, poiché descrivono una regolazione più lenta, persistente e cumulativa rispetto alla dinamica immediata del sistema nervoso autonomo. Il principale marcatore endocrino utilizzato in ambito psicofisiologico è il cortisolo, prodotto finale dell'asse ipotalamo–ipofisi–surrene (*HPA*). In risposta allo stress, l'ipotalamo rilascia *corticotropin-releasing hormone (CRH)*, che stimola la secrezione di *adrenocorticotropic hormone (ACTH)* da parte dell'ipofisi anteriore; l'*ACTH*, a sua volta, induce la produzione di cortisolo nella corteccia surrenalica (McEwen, 2007). Questo ormone aumenta la disponibilità energetica, modula l'infiammazione e contribuisce al mantenimento dell'attenzione e della risposta adattiva, configurandosi come un indicatore della componente lenta dell'allostasi.

Il cortisolo può essere misurato attraverso diverse matrici biologiche, ognuna delle quali fornisce informazioni specifiche sul funzionamento dell'*HPA*. La misurazione salivare è la più diffusa negli studi psicofisiologici in quanto non invasiva, sensibile al cortisolo libero e in grado di rilevare con precisione il ritmo circadiano e la *Cortisol Awakening Response (CAR)*, rappresentando quindi un indicatore particolarmente utile per valutare la regolazione quotidiana dello stress (Fries et al., 2005). Il cortisolo plasmatico offre una misura più diretta dei livelli sistemici, ma è influenzato dalla risposta allo stimolo venipuntorio e richiede procedure più invasive. Il cortisolo urinario permette di stimare la produzione cumulativa nell'arco delle 24 ore e risulta utile per valutare l'esposizione prolungata allo stress. Infine, il cortisolo capillare (*Hair Cortisol Concentration*) fornisce una stima dell'attività dell'*HPA* nelle settimane o mesi precedenti, risultando un marcatore

particolarmente rilevante per lo studio del carico allostatico cronico.

Alterazioni del ritmo diurno, appiattimento del picco mattutino o livelli cronicamente elevati di cortisolo sono stati associati a stress persistente, *burnout* e vulnerabilità depressiva (Pruessner et al., 1999; Fries et al., 2005). Per queste ragioni, benché la valutazione endocrina richieda protocolli più complessi rispetto agli indici autonomici, essa rimane fondamentale per comprendere la traiettoria temporale dell'adattamento allo stress.

L'integrazione tra indici endocrini e *HRV* è particolarmente rilevante perché consente di combinare due scale temporali e due livelli della regolazione allo stress. L'*HRV* riflette la regolazione autonoma istantanea, sensibile ai cambiamenti nell'arousal e nel controllo vagale nell'arco di secondi mentre il cortisolo descrive la componente lenta dell'allostasi, catturando l'attivazione dell'*HPA* su tempi più lunghi e l'accumulo dello stress nel corso delle ore o dei giorni. I due sistemi, pur operando su livelli temporali differenti, sono strettamente interconnessi in quanto riduzioni prolungate dell'*HRV* sono state associate a una maggiore reattività dell'*HPA*, mentre *pattern* di cortisolo disorganizzati si correlano a una minore flessibilità vagale e a una compromissione della regolazione autonoma (Thayer et al., 2012). In questo senso, la combinazione nella misura di *HRV* e cortisolo permette di distinguere condizioni in cui l'organismo mostra una reattività acuta, immediata e funzionale, da situazioni in cui lo stress diventa prolungato, accumulativo o non adeguatamente regolato.

- *Elettroencefalogramma*

L'attività elettroencefalografica (*EEG*) rappresenta un indicatore centrale della dinamica corticale coinvolta nella risposta allo stress e nella regolazione attentiva. L'*EEG* consente di registrare con elevata risoluzione temporale le oscillazioni elettriche generate da popolazioni neuronali sincronizzate, fornendo una misura sensibile dello stato funzionale della corteccia cerebrale. In condizioni di stress acuto o forte carico cognitivo, si osserva tipicamente un incremento della potenza delle bande *beta* (13–30 Hz), associate a vigilanza, iperattivazione e incremento dell'arousal cognitivo, insieme a una riduzione dell'attività *alfa* (8–12 Hz), frequentemente correlata a stati di rilassamento, integrazione

attentiva e controllo inibitorio (Putman, 2011).

Tali variazioni non riguardano soltanto la potenza spettrale assoluta, ma anche le relazioni funzionali tra regioni corticali. Per esempio, alterazioni nel rapporto *alfa/beta* sono considerate marcatori affidabili di stress mentale, fatica cognitiva e decrementi di efficienza esecutiva, mentre riduzioni della coerenza corticale, in particolare nelle regioni frontali, riflettono una minore integrazione dei circuiti legati al controllo attentivo e alla regolazione emotiva. Al contrario, pattern *EEG* caratterizzati da una maggiore sincronizzazione nelle bande *alfa* e *theta* frontali sono stati associati a un funzionamento regolativo più efficiente, una migliorata elaborazione interocettiva e un maggiore controllo vagale, suggerendo un'integrazione funzionale tra la corteccia prefrontale e le reti autonome sottostanti (Aftanas et al, 2001).

Dal punto di vista neurofisiologico, l'*EEG* fornisce una finestra diretta sull'attività del *Central Autonomic Network (CAN)*, la rete centrale che integra informazione emotiva, cognitiva e viscerale e che regola i processi autonomici efferenti. Proprio per questa ragione, l'integrazione tra *EEG* e *HRV* risulta particolarmente significativa. L'*HRV*, soprattutto nelle sue componenti vagalmente mediate, rappresenta infatti un indice periferico del controllo parasimpatico e della regolazione autonoma (Laborde et al., 2017; Shaffer et al., 2017). L'*EEG*, invece, descrive il contributo centrale a tale regolazione, evidenziando lo stato dei circuiti prefrontali implicati nella modulazione del *vagal brake*, nella gestione dell'*arousal* e nell'inibizione delle risposte emotive (Thayer et al., 2009).

La combinazione nella misura simultanea di *EEG* e *HRV* consente quindi di distinguere condizioni neurofisiologiche che rimarrebbero invisibili utilizzando una sola delle due misure. Per esempio, uno stato caratterizzato da elevata attivazione *beta* e ridotta *HRV* indica una risposta di stress con forte coinvolgimento sia corticale sia autonomico, tipica dei compiti ad alta pressione o dei momenti di ipercontrollo cognitivo. Al contrario, un *pattern* con aumento dell'*alfa* frontale accompagnato da un incremento della *HRV* suggerisce un miglioramento della regolazione esecutiva e vagale, come osservato durante pratiche di respirazione lenta o in compiti che richiedono stabilità attentiva. In altre situazioni, si può osservare un incremento della *beta* corticale con *HRV* relativamente stabile, un quadro compatibile con un impegno cognitivo intenso ma non necessariamente con una risposta stressogena marcata.

Studi che integrano segnali *EEG*, *HRV* ed *EDA* hanno mostrato inoltre come i cambiamenti corticali precedano spesso la variazione autonoma, soprattutto nelle prime fasi dell'elaborazione dello stress, confermando la natura *feedforward* della modulazione cortico-autonoma, concetto centrale nei modelli allostatici contemporanei. Anche in ambito sportivo tali integrazioni si stanno rivelando particolarmente utili, in quanto osservazioni raccolte in protocolli multimodali mostrano che schemi *EEG* di iperattivazione frontale nella fase pre-performance possono anticipare riduzioni dell'*HRV* e aumenti della conduttanza cutanea durante il compito, configurando un profilo di inefficienza neurofisiologica legata al sovraccarico mentale.

- Spettroscopia funzionale nel vicino infrarosso

La spettroscopia funziona nel vicino infrarosso (*Functional Near-Infrared Spectroscopy*, *fNIRS*) rappresenta una tecnica di *neuroimaging* non invasiva utilizzata nello studio della regolazione dello stress e dei processi di controllo cognitivo ed emotivo. La *fNIRS* consente di misurare le variazioni della concentrazione di ossiemoglobina (*HbO*) e deossiemoglobina (*HbR*) a livello corticale, fornendo un indice indiretto dell'attività neuronale attraverso il meccanismo dell'accoppiamento neurovascolare. In risposta all'attivazione di specifiche popolazioni neuronali, l'aumento del metabolismo locale determina infatti una maggiore richiesta di ossigeno e un conseguente incremento del flusso sanguigno regionale, rilevabile tramite l'assorbimento differenziale della luce nel vicino infrarosso.

Dal punto di vista funzionale, la *fNIRS* è particolarmente indicata per lo studio delle regioni corticali superficiali, in particolare la corteccia prefrontale dorsolaterale e mediale, aree chiave nella regolazione *top-down* dell'*arousal*, nel controllo esecutivo e nella modulazione della risposta allo stress. Numerosi studi hanno evidenziato come situazioni di stress acuto, carico cognitivo elevato o pressione prestazionale siano associate a *pattern* di iperattivazione prefrontale, interpretabili come un incremento dello sforzo di controllo cognitivo o, in alcuni casi, come una forma di inefficienza regolativa legata all'*over-engagement* corticale.

A differenza dell'*EEG*, che offre un'elevata risoluzione temporale ma una limitata specificità emodinamica, la *fNIRS* fornisce informazioni dirette sulle dinamiche di

ossigenazione cerebrale, permettendo di cogliere l'intensità e la distribuzione spaziale dell'attivazione corticale durante compiti ecologicamente validi. Inoltre, rispetto a tecniche come la *fMRI*, la *fNIRS* presenta vantaggi rilevanti in termini di portabilità, tollerabilità e possibilità di utilizzo in contesti applicativi reali, inclusi l'ambito sportivo, educativo e clinico.

Nel contesto della psicofisiologia dello stress, la *fNIRS* si colloca dunque come un indicatore centrale della regolazione corticale lenta, complementare agli indici autonomici e neuroelettrici. *Pattern* di aumentata ossigenazione prefrontale, soprattutto se accompagnati da riduzioni dell'*HRV*, sono stati interpretati come segnali di uno stato di ipercontrollo cognitivo, in cui il sistema tenta di compensare l'elevato *arousal* attraverso un incremento dello sforzo esecutivo. Al contrario, una modulazione più efficiente dell'attività prefrontale, caratterizzata da attivazioni contestuali e non persistenti, tende ad associarsi a una *HRV* più elevata e a una migliore flessibilità regolativa.

L'integrazione tra *fNIRS* e *HRV* risulta particolarmente informativa perché consente di mettere in relazione l'attività corticale di controllo con l'espressione periferica della regolazione autonoma. Studi multimodali hanno mostrato che una maggiore ossigenazione della corteccia prefrontale mediale si associa a una migliore modulazione vagale e a una maggiore capacità di recupero dopo stress, coerentemente con quanto previsto dalla *Neurovisceral Integration*. In questo senso, la *fNIRS* permette di osservare direttamente il contributo corticale al funzionamento del *CAN*, fornendo una misura complementare a quella elettrocardiografica dell'*HRV*.

In ambito applicativo, l'uso combinato di *fNIRS*, *HRV* ed *EEG* consente di distinguere profili neurofisiologici differenti, condizioni di stress caratterizzate da iperattivazione prefrontale, ridotta *HRV* e incremento dell'*arousal* autonomico; stati di impegno cognitivo funzionale con attivazione corticale selettiva e regolazione vagale preservata; e infine fasi di recupero in cui la riduzione dell'attività prefrontale si accompagna a un incremento della *HRV* e a segnali periferici di rilassamento. Tale approccio multimodale permette una lettura più fine dei meccanismi di regolazione, superando una concezione unidimensionale dello stress e restituendo la complessità dei processi allostatici. Nel quadro complessivo degli indici centrali, la *fNIRS* aggiunge quindi una dimensione emodinamica che arricchisce l'interpretazione dei dati *EEG* e autonomici, offrendo una finestra privilegiata sull'equilibrio tra controllo corticale, costo cognitivo e adattamento fisiologico. La sua

integrazione con *HRV* ed *EEG* rafforza ulteriormente l'idea che la regolazione dello stress non sia il prodotto di un singolo sistema, ma emerga dall'interazione dinamica tra reti corticali, sistemi autonomici e meccanismi endocrini.

- *Eye-tracking*

Un ulteriore indicatore della dinamica centrale dell'*arousal* è rappresentato dalla pupilometria (*Eye-tracking*), ovvero la misurazione delle variazioni del diametro pupillare. La dilatazione pupillare costituisce un marcatore sensibile dell'attività simpatica e dell'attivazione cognitiva ed emotiva, ed è strettamente collegata al funzionamento del *locus coeruleus*, la principale struttura noradrenergica del tronco encefalico. Il *locus coeruleus* svolge un ruolo cruciale nel modulare l'attenzione, la vigilanza e la risposta allo stress, e la sua attivazione determina un rapido incremento del diametro pupillare, rendendo la pupilla un indice periferico affidabile dell'*arousal* centrale (Aston-Jones et al., 2005).

Le variazioni pupillari registrabili tramite sistemi di *eye-tracking* ad alta precisione offrono una misura non invasiva dei processi cognitivi sottostanti l'elaborazione dello sforzo mentale. Numerosi studi hanno evidenziato come il diametro pupillare aumenti in presenza di carico cognitivo crescente, compiti attentivi sostenuti, prese di decisione complesse e situazioni di stress psicologico, configurandosi come un indicatore sensibile non solo dell'attivazione simpatica ma anche dell'allocazione delle risorse attentive (van der Wel et al., 2018). La pupilometria permette inoltre di rilevare fenomeni di affaticamento mentale, attraverso il progressivo declino della dinamica pupillare e l'appiattimento delle oscillazioni spontanee, segnali di un sistema di allerta centrale meno reattivo.

Dal punto di vista teorico, la pupilometria si colloca all'interfaccia tra neuroscienze cognitive e psicofisiologia dello stress, poiché consente di monitorare in tempo reale il funzionamento del sistema noradrenergico e del *network* fronto-parietale del controllo attentivo. Sebbene sia meno diffusa e standardizzata rispetto a misure come l'*HRV*, essa offre un contributo unico per la valutazione dello stress cognitivo e delle fluttuazioni dell'*arousal* centrale, soprattutto in compiti che richiedono elaborazione prolungata o in condizioni di forte pressione prestazionale.

Considerata insieme ad altri indici psicofisiologici, la pupilometria contribuisce a una lettura multilivello della risposta allo stress. Mentre l'*HRV* descrive la regolazione autonoma periferica, e l'*EEG* documenta l'attività corticale coinvolta nel controllo attentivo ed emotivo, la dinamica pupillare fornisce un accesso privilegiato allo stato del sistema di allerta noradrenergico. L'integrazione di questi indicatori permette quindi di delineare in modo più completo la relazione tra *arousal* centrale, carico cognitivo e attivazione autonoma, offrendo una prospettiva complessa e coerente dei processi che sottendono la risposta di stress.

In sintesi, i diversi indici psicofisiologici descrivono livelli distinti, ma complementari, della risposta allo stress. I parametri autonomici, come *HRV*, *EDA*, temperatura cutanea ed *EMG*, rappresentano la componente più rapida e immediata, quella che registra l'attivazione istantanea del sistema simpatico e la modulazione vagale necessaria per l'adattamento momento per momento. Si tratta della risposta che si dispiega nell'arco di millisecondi o pochi secondi, sensibile alla minaccia, al carico cognitivo e alle richieste dell'ambiente. I marcatori endocrini, come il cortisolo e gli altri indicatori dell'asse *HPA*, tracciano invece la componente temporale più lenta dell'allostasi, descrivono come l'organismo gestisce e accumula lo stress nel corso di minuti, ore o giorni, rivelando pattern di adattamento prolungato o disfunzioni legate al carico allostatico cronico. Gli indici centrali, ricavati da *EEG* ed *Eye-Tracking*, aggiungono il livello superiore del sistema, quello che riflette l'attività dei circuiti corticali e limbici coinvolti nell'attenzione, nella valutazione della minaccia e nella regolazione *top-down* dell'*arousal*.

Considerati insieme, questi tre sistemi delineano la traiettoria regolativa completa dell'organismo, dalla percezione iniziale della minaccia, alla generazione dell'*arousal*, fino alla modulazione della risposta fisiologica attraverso meccanismi autonomici, endocrini e corticali. Tale prospettiva integrata è perfettamente coerente con il modello del *CAN* proposto da Benarroch, secondo cui la regolazione autonoma non è un processo periferico isolato, ma il risultato dell'interazione coordinata tra strutture centrali come corteccia prefrontale, insula, amigdala, ipotalamo, *periaqueductal gray* e nuclei del tronco encefalico. Queste regioni formano una rete funzionale che integra informazioni cognitive, emotive e viscerali e che, attraverso le sue proiezioni discendenti, modula in tempo reale la risposta cardiovascolare, respiratoria e neuroendocrina.

In questa cornice teorica, gli indici autonomici descrivono l'esito periferico dell'elaborazione del *CAN*, quelli endocrini ne catturano la componente temporale lenta e cumulativa, mentre gli indici centrali rivelano il funzionamento dei circuiti corticali che orchestrano il bilanciamento tra vigilanza, controllo esecutivo e regolazione emotiva. L'analisi congiunta di queste misure permette quindi di cogliere la complessità del comportamento regolativo umano, evidenziando sia l'efficienza adattiva sia eventuali pattern di rigidità o sovraccarico che caratterizzano le condizioni di stress acuto, prolungato o mal gestito. Alla luce del quadro integrato delineato finora, emerge come ciascun indicatore psicofisiologico contribuisca a illuminare un livello specifico della risposta allo stress, gli indici centrali descrivono il funzionamento dei circuiti corticali e limbici coinvolti nella valutazione e nel controllo *top-down*; quelli autonomici permettono di cogliere l'attivazione rapida e la regolazione momento per momento; mentre gli indici endocrini tracciano l'adattamento prolungato e il carico allostatico cumulativo.

Sebbene tali misure offrano una prospettiva ricca e multilivello, tra tutti gli indicatori presentati l'*HRV* occupa una posizione peculiare perché rappresenta il punto di convergenza funzionale tra questi tre livelli. Essa infatti riflette l'influenza diretta del *CAN* sulla modulazione vagale del cuore, rendendo visibile l'efficienza con cui le strutture prefrontali, limbiche e del tronco encefalico coordinano l'equilibrio autonomico (Thayer et al., 2009). Allo stesso tempo, l'*HRV* cattura l'attivazione simpatica e parasimpatica che governa la risposta immediata allo stress, integrando così la dimensione centrale e quella periferica della regolazione. Inoltre, poiché la sua dinamica è sensibile sia all'*arousal* acuto sia agli effetti cumulativi dello stress cronico, l'*HRV* si colloca in continuità con gli indicatori endocrini, risultando un indice trasversale che riflette la traiettoria regolativa dell'organismo nell'arco di secondi, minuti o settimane.

Per questa capacità di mettere in relazione il livello centrale, quello autonomico e quello comportamentale, l'*HRV* viene oggi considerata uno dei biomarcatori più affidabili della resilienza psicofisiologica e della flessibilità regolativa (Kemp et al., 2013; Shaffer et al., 2017). La sua natura dinamica, sensibile e teoricamente fondata la rende uno strumento privilegiato per comprendere la qualità della regolazione dello stress e la capacità dell'individuo di adattarsi alle richieste ambientali.

Sulla base di queste premesse, il prossimo paragrafo approfondirà il razionale teorico che giustifica la centralità della *HRV* nello studio della regolazione psicofisiologica, ponendo le basi concettuali per l'analisi tecnica e metodologica che sarà sviluppata nel Capitolo 3.

2.4.3 *L'HRV come indice cardine*

Tra i diversi indici neurofisiologici della risposta di stress, l'*HRV* ha assunto negli ultimi decenni un ruolo centrale nella ricerca psicofisiologica. Oltre a essere una misura non invasiva e facilmente ottenibile, l'*HRV* possiede una proprietà unica in quanto costituisce un ponte fisiologico tra processi centrali e periferici, tra la regolazione corticale e l'espressione somatica dell'adattamento. Per questo motivo, l'*HRV* è oggi considerata il biomarcatore più sensibile della flessibilità regolativa, intesa come capacità del sistema di mantenere la stabilità attraverso il cambiamento (Thayer et al., 2012; Shaffer et al., 2017).

Dal punto di vista fisiologico, il cuore non batte a intervalli perfettamente regolari, ma la sua frequenza oscilla in risposta alle continue modulazioni del sistema nervoso autonomo. Queste variazioni non rappresentano un'anomalia, bensì un segno di adattamento efficiente. Un sistema autonomo flessibile risponde rapidamente alle richieste ambientali e recupera altrettanto velocemente una volta cessato lo stimolo. L'*HRV* quantifica proprio questa capacità di oscillazione regolativa, fornendo una misura della elasticità del sistema mente–corpo. Una *HRV* elevata indica un buon bilanciamento tra attivazione simpatica e controllo vagale, ed è associata a resilienza fisiologica e benessere psicologico. Viceversa, una *HRV* ridotta riflette una condizione di rigidità, iperattivazione cronica o scarsa capacità di recupero, condizioni che caratterizzano gli stati di stress prolungato, ansia, depressione o esaurimento psicofisico (Kemp et al., 2013; Lehrer et al., 2020). In altre parole, l'*HRV* non misura la quantità di stress, ma la qualità della regolazione, non quanto il sistema si attiva, bensì come si attiva e quanto efficacemente riesce a disattivarsi.

In termini dinamici, l'*HRV* può essere vista come un resoconto in tempo reale del bilancio tra sistemi di mobilitazione e sistemi di calma, rappresentando una sorta di firma neurofisiologica della flessibilità. È questo carattere processuale che la rende un indicatore privilegiato della regolazione allostatica, come detto infatti il cuore, sotto controllo vagale, non è solo un organo effettore, ma un sensore dell'adattamento. La centralità teorica della *HRV* deriva soprattutto dal suo legame con il modello della *Neurovisceral Integration*

proposto da Thayer & Lane (2000, 2009). Secondo tale modello, l'*HRV* riflette l'integrità funzionale del *CAN*, concetto già accennato in precedenza in questo elaborato. Proprio basandosi sul *CAN*, l'*HRV* diventa non solo un indice cardiovascolare, ma un biomarcatore neurale, una misura il grado di integrazione tra cervello e corpo, traducendo la coerenza funzionale del *CAN* in un parametro fisiologico accessibile. Tale visione trova conferma in numerosi studi di *neuroimaging* che hanno evidenziato correlazioni positive tra *HRV* e attività della corteccia prefrontale mediale, dell'insula e del cingolato anteriore (Lane et al., 2009; Gianaros et al., 2015). Ciò suggerisce che l'*HRV* sia una finestra privilegiata sullo stato del *network* regolativo che sostiene la resilienza psicologica e fisiologica.

Un ulteriore contributo teorico che ha ampliato la comprensione del significato funzionale della *HRV* è fornito dalla *Polyvagal Theory* di Porges (1995; 2011). Secondo questa prospettiva evuzionistica, il nervo vago, principale via del sistema parasimpatico, si è differenziato filogeneticamente in due componenti. Una dorsale, più antica e associata a risposte di immobilizzazione e conservazione; e una ventrale più recente che sostiene comportamenti di connessione sociale, calma e regolazione emotiva. L'*HRV*, e in particolare la sua componente ad alta frequenza (*HF*), è considerata un indice della funzionalità del vago ventrale, responsabile della regolazione rapida del cuore in risposta a segnali di sicurezza o minaccia. Quando l'ambiente è percepito come sicuro, l'attività vagale aumenta, promuovendo stati di calma e apertura relazionale, mentre quando è percepito come minaccioso, il tono vagale si riduce, permettendo l'attivazione difensiva simpatica.

In tal senso, l'*HRV* fornisce una misura indiretta della neurocezione di sicurezza, il processo implicito attraverso cui il sistema nervoso valuta il contesto come sicuro o pericoloso (Porges, 2011). Questa teoria offre una cornice interpretativa particolarmente utile per comprendere la relazione tra *HRV*, regolazione emotiva e salute mentale. Una *HRV* elevata non segnala solo un buon equilibrio fisiologico, ma anche una maggiore capacità di *engagement* sociale, empatia e connessione affettiva. Al contrario, una *HRV* ridotta è stata associata a ipervigilanza, isolamento e disregolazione affettiva, caratteristiche comuni a disturbi d'ansia e da stress post-traumatico (Mather et al, 2018). L'*HRV*, dunque, rappresenta un indice non solo biologico, ma anche relazionale e psicologico, poiché riflette la capacità del sistema di passare da stati difensivi a stati cooperativi e autoregolati.

Numerose ricerche empiriche hanno confermato la validità della *HRV* come indicatore di salute psicofisiologica. Studi trasversali e longitudinali hanno mostrato che una *HRV* elevata è associata a migliori abilità di regolazione emotiva, maggiore stabilità dell'umore e migliori prestazioni cognitive in condizioni di stress (Appelhans et al., 2006; Park et al., 2014). Al contrario, livelli ridotti di *HRV* sono stati osservati in individui con disturbi d'ansia generalizzata, depressione maggiore, sindrome da *burnout* e disturbi psicosomatici (Kemp et al., 2013; Beauchaine, 2015).

In ambito sperimentale, l'*HRV* mostra una chiara sensibilità ai cambiamenti indotti da compiti cognitivi o emozionali, tende a diminuire durante stress acuto, carico mentale o esposizione a stimoli negativi, e ad aumentare invece durante esercizi di rilassamento, respirazione lenta o meditazione (Lehrer et al., 2020). Questa reattività bidirezionale la rende uno strumento ideale per valutare gli effetti di interventi mente-corpo o di tecniche di autoregolazione fisiologica. A livello applicativo infine, l'*HRV* è stata inoltre utilizzata come indice di *readiness* psicofisiologica nello sport (Bertollo et al., 2020), per monitorare il recupero dallo sforzo e la capacità di mantenere un equilibrio ottimale tra attivazione e rilassamento.

Un aspetto cruciale è che l'*HRV* possiede anche un valore predittivo, in quanto una *HRV* bassa non è solo una conseguenza dello stress, ma un possibile precursore di vulnerabilità. Individui con tono vagale ridotto mostrano maggiore probabilità di sviluppare reazioni disfunzionali di fronte a eventi stressanti, minore efficacia nel *coping* e tempi più lunghi di recupero (Smith et al., 2020). In tal senso, l'*HRV* rappresenta anche un indicatore di capacità regolativa potenziale, utile non solo per valutare lo stato presente, ma anche per prevedere la risposta futura allo stress.

Nel quadro complessivo della psicofisiologia dello stress, l'*HRV* emerge dunque come il punto di convergenza tra livelli cognitivi, emotivi e fisiologici. Essa rappresenta una misura quantitativa di un processo qualitativo, l'armonia dinamica tra controllo corticale e risposta viscerale. Quando il sistema mente-corpo è coerente, l'*HRV* è elevata e oscillante, quando la coerenza si perde l'*HRV* si riduce, segnalando rigidità o disconnessione. La sua forza risiede proprio nella capacità di integrare dimensioni che, in passato, erano considerate separate come la dimensione neurofisiologica attraverso il controllo

autonomico, la dimensione psicologica attraverso la regolazione emotiva e infine la dimensione della performance attraverso la *readiness* e l'adattamento.

In questo senso, l'*HRV* incarna la traduzione operativa del concetto di omeostasi, la stabilità non è un equilibrio statico, ma la capacità di cambiare in modo coerente. Essa fornisce dunque un indice unico per quantificare la qualità dell'adattamento del sistema, rappresentando la manifestazione fisiologica del concetto stesso di flessibilità omeostatica, collegando i modelli teorici della *Neurovisceral Integration* e della *Polyvagal Theory* con l'evidenza empirica sui processi di resilienza, benessere e performance. La sua natura dinamica, non invasiva e sensibile la rende un indicatore privilegiato per studiare il modo in cui il sistema mente–corpo mantiene l'equilibrio tra attivazione e recupero.

Il prossimo capitolo sarà dedicato alla trattazione sistematica della *HRV* nei suoi aspetti storici, teorici e metodologici.

CAPITOLO 3

LA HEART RATE VARIABILITY (HRV)

3.1 Origini storiche e basi concettuali

La storia della variabilità della frequenza cardiaca (*Heart Rate Variability, HRV*) ha inizio nel campo della cardiologia clinica. Negli anni 60', Hon et al. (1965) furono i primi a osservare che piccole fluttuazioni nell'intervallo tra battiti cardiaci successivi, definiti intervalli *R-R*, precedevano episodi di sofferenza fetale. Questa scoperta, nata da misurazioni effettuate in ambito ostetrico, mostrò che il cuore non segue un ritmo perfettamente regolare e che tale irregolarità possiede un valore fisiologico e predittivo rispetto la possibilità di sviluppare patologie. In quel contesto, le variazioni della frequenza cardiaca erano considerate un indice della vitalità del sistema nervoso autonomo fetale, capace di rispondere dinamicamente alle condizioni metaboliche e ambientali.

Pochi anni più tardi, Sayers (1973) introdusse una lettura più sistematica del fenomeno, descrivendo l'*HRV* come il risultato delle interazioni tra i meccanismi omeostatici che regolano la pressione arteriosa e l'attività cardiaca. Sayers individuò per la prima volta oscillazioni periodiche nella frequenza cardiaca che riflettevano l'azione del baroriflesso, evidenziando che il sistema cardiovascolare non è governato da un controllo rigido, ma da un equilibrio dinamico di retroazioni negative e positive. Questa intuizione, apparentemente tecnica, costituì il primo passo verso l'interpretazione moderna della *HRV* come indice della capacità di regolazione autonoma e adattamento all'ambiente.

Negli anni 80', l'introduzione di metodiche computazionali più avanzate, grazie al progresso tecnologico, rese possibile una misurazione quantitativa delle oscillazioni del ritmo cardiaco. In questo senso un contributo fondamentale venne dallo studio di Akselrod et al. (1981), i quali applicarono per la prima volta l'analisi spettrale al segnale dell'*HRV*, dimostrando che la distribuzione dell'energia del segnale su diverse bande di frequenza poteva essere messa in relazione con l'attività dei due rami del *SNA*. In particolare, le componenti delle alte frequenze (*HF*, 0.15–0.4 Hz) risultavano correlate con l'attività parasimpatica vagale e con il ritmo respiratorio, mentre le componenti delle basse frequenze (*LF*, 0.04–0.15 Hz) riflettevano l'interazione tra modulazione simpatica e parasimpatica.

L'articolo segnò un punto di svolta, poiché permise di tradurre il concetto di flessibilità autonoma in una misura numerica oggettiva, così l'*HRV* divenne uno strumento non invasivo per lo studio della regolazione cardiovascolare, adottato rapidamente in cardiologia, fisiologia, neuropsicologia e medicina dello sport. Negli stessi anni, i progressi nella tecnologia elettrocardiografica consentirono anche di raccogliere serie temporali più lunghe e precise, aprendo la strada a nuove analisi nel dominio del tempo e a studi sulla complessità del segnale come gli indici non lineari come i *Poincaré plots*.

La diffusione rapida delle ricerche sulla *HRV* rese necessaria però una sistematizzazione delle metodiche di registrazione e analisi, tanto che nel 1996, fu istituita una *Task Force* la quale pubblicò un documento di consenso che stabiliva le definizioni, i parametri standard e le procedure operative per la sua misurazione (*Task Force*, 1996). Il report codificò le metriche nel dominio del tempo (*SDNN*, *rMSSD*, *pNN50*) e della frequenza (*ULF*, *VLF*, *LF*, *HF*, *LF/HF*), specificando le condizioni di misurazione come durata, postura, respirazione e controllo di artefatti.

Questo documento rappresentò un momento di svolta nella storia della ricerca psicofisiologica, poiché fornì una base metodologica condivisa e favorì la comparabilità tra studi clinici, sperimentali e sportivi. Da allora, l'*HRV* è stata riconosciuta non solo come marcatore di salute cardiovascolare, ma anche come finestra sulla funzione integrata del *SNA*. Studi longitudinali hanno mostrato che una riduzione cronica della *HRV* è associata a un aumento della morbilità e mortalità cardiovascolare, mentre livelli più elevati di *HRV* predicono un miglior recupero dallo stress e una maggiore longevità (Tsuji et al., 1996; Shaffer et al., 2017).

A partire dagli anni Duemila, il paradigma dell'*HRV* ha superato i confini della fisiologia cardiovascolare per diventare uno strumento centrale nello studio della regolazione psicofisiologica. L'*HRV* viene oggi considerata un indice della flessibilità adattiva dell'organismo, ovvero della capacità di passare rapidamente da stati di attivazione a stati di recupero in risposta a stimoli ambientali o emotivi. In questo senso, essa costituisce un ponte tra fisiologia e psicologia, traducendo in segnali misurabili le dinamiche tra emozione, attenzione, stress e comportamento.

Shaffer et al. (2017) hanno descritto l'*HRV* come una proprietà emergente dei sistemi regolatori interdipendenti, che operano su scale temporali multiple per mantenere l'equilibrio dell'organismo. Il cuore, in questa prospettiva, non è un organo periferico, ma un nodo centrale di un *network* di comunicazione bidirezionale con il cervello, attraverso vie nervose (vagali e simpatiche), umorali (catecolamine e cortisolo) e meccaniche (baroriflesso). La sua variabilità riflette la coerenza e l'efficienza di questo sistema integrato.

A seguito di queste considerazioni l'interesse per l'*HRV* in ambito psicologico è cresciuto esponenzialmente, in quanto è stata correlata a processi di regolazione emotiva, resilienza, *coping* e prestazione cognitiva (Laborde et al., 2017; Mosley et al., 2022). Per esempio nel contesto sportivo, essa rappresenta oggi uno dei *marker* più affidabili per valutare lo stato di recupero, l'adattamento all'allenamento e la *readiness* mentale alla competizione (Stanley et al., 2013).

Con il progredire della ricerca, il modello lineare del bilanciamento simpatovagale è stato progressivamente sostituito da una visione più complessa e sistemica. Shaffer et al. (2014) sottolineano che un cuore sano non è un metronomo, ma un sistema dinamico che mostra oscillazioni caotiche e auto-organizzate. Queste fluttuazioni non lineari riflettono la capacità del sistema di adattarsi rapidamente a stimoli interni ed esterni, e la loro perdita a causa di un'eccessiva rigidità o eccessiva regolarità, è indicativa di uno stato patologico o di sovraccarico allostatico.

McCraty et al. (2015) hanno introdotto il concetto di coerenza psicofisiologica, descrivendo stati nei quali l'*HRV* è basata su un meccanismo in cui la frequenza respiratoria e pressoria oscillano in sincronia, producendo una configurazione ritmica stabile e armoniosa. Questo stato, ottenibile tramite tecniche di respirazione lenta, riflette un'integrazione ottimale tra sistemi fisiologici e processi psicologici e si associa a una migliore autoregolazione emotiva, attenzione sostenuta e benessere soggettivo. Tali evidenze hanno ridefinito l'*HRV* non solo come misura di salute cardiovascolare, ma come indicatore della qualità della comunicazione funzionale all'interno del sistema mente-corpo, in linea con le moderne teorie della complessità biologica (Goldberger et al., 2002).

La svolta concettuale comunque più influente nella psicofisiologia contemporanea è rappresentata dal *Neurovisceral Integration Model (NIM)* proposto da Thayer & Lane (2000; 2009). Questo modello postula che l'*HRV* sia specchio dell'efficienza funzionale del *CAN*, una rete di strutture cerebrali che include la corteccia prefrontale ventromediale, l'insula anteriore, l'amigdala, l'ipotalamo e il tronco encefalico. Il *CAN* coordina risposte fisiologiche, emotive e cognitive per garantire un adattamento flessibile alle richieste ambientali. Secondo tale modello, un'elevata *HRV* riflette un sistema nervoso centrale capace di inibire risposte impulsive e di regolare efficacemente l'*arousal*, favorendo funzioni esecutive superiori come l'attenzione selettiva, il *decision making* e la regolazione emotiva. Al contrario, una ridotta *HRV* indica una minore capacità di controllo *top-down* e una maggiore vulnerabilità allo stress, all'ansia e alla disregolazione affettiva (Thayer et al., 2012).

Il *NIM* ha fornito un'ipotesi interpretativa sulla neurofisiologia alla base della connessione mente–corpo, mostrando come l'attività vagale cardiaca costituisca un indicatore periferico della funzionalità prefrontale e della flessibilità cognitivo-emotiva. Questo approccio ha unito la tradizione psicofisiologica con le neuroscienze affettive, rendendo l'*HRV* uno dei biomarcatori più studiati nei contesti clinici e di performance.

Oggi, l'*HRV* è dunque considerata una finestra sull'allostasi (McEwen, 2017), capace di riflettere il modo in cui l'organismo mantiene la stabilità attraverso il cambiamento, anticipando e adattando le proprie risposte agli stimoli interni ed esterni. Tale prospettiva costituisce la base teorica per comprendere, nei capitoli successivi, il ruolo dell'*HRV* come indicatore della regolazione psicofisiologica nei processi di stress, ansia e performance.

3.2 Fisiologia della regolazione autonoma del cuore

La regolazione del cuore è affidata a una sofisticata architettura neurofisiologica governata dal sistema nervoso autonomo (*SNA*), che comprende il ramo simpatico (*SNS*) e quello parasimpatico (*SNP*). Questi due sistemi non operano come antagonisti rigidi, ma come componenti dinamiche di un equilibrio modulare che consente al cuore di adattarsi con rapidità ai cambiamenti ambientali, metabolici ed emotivi.

Come già accennato, il ramo simpatico origina dai segmenti toracici del midollo spinale e, attraverso le fibre postgangliari, rilascia noradrenalina che incrementa frequenza cardiaca, forza di contrazione e velocità di conduzione atrioventricolare. L'attivazione simpatica facilita la risposta allo stress acuto e alle richieste prestative, sostenendo un aumento dell'*arousal* fisiologico, del flusso sanguigno muscolare e della disponibilità energetica. Il ramo parasimpatico, invece, esercita la sua funzione prevalentemente attraverso il nervo vago. Le fibre pregangliari originano dal nucleo ambiguo e dal nucleo motore dorsale del vago nel tronco encefalico e rilasciano acetilcolina sui recettori muscarinici cardiaci. Questo determina una diminuzione della frequenza cardiaca e una modulazione fine del ritmo, favorendo stati di calma, digestione, recupero e autoregolazione.

L'*HRV* deriva in larga parte dalla modulazione parasimpatica, è infatti la componente vagale a essere responsabile delle fluttuazioni battito-battito e costituisce quindi la base neurofisiologica delle oscillazioni osservate nel dominio del tempo e della frequenza. Come sottolineato da Shaffer et al. (2017) “*un cuore sano non è un metronomo*”, proprio perché soggetto all'influenza continua delle oscillazioni vagali rapide e delle modulazioni simpatiche più lente.

Il nervo vago rappresenta la principale via di questa comunicazione bidirezionale tra cuore e cervello. Circa l'80% delle sue fibre è afferente, ciò significa che la maggior parte delle informazioni fluisce dal corpo verso il sistema nervoso centrale. Questa architettura conferma una visione *embodied* dei processi emotivi e cognitivi, in cui il cuore non è solo un organo effetto, ma un generatore di segnali che modulano stati mentali e comportamenti.

Queste fibre vagali afferenti proiettano al nucleo del tratto solitario (*NTS*), che a sua volta invia segnali alla corteccia insulare, all'amigdala, al talamo e alla corteccia prefrontale mediale. Attraverso questo circuito, il cuore fornisce un flusso continuo di informazioni che contribuisce alla percezione interocettiva, alla regolazione emotiva e al controllo esecutivo. Il ramo *SNP* può quindi essere inteso come un sistema di freno flessibile, un concetto centrale nella *Polyvagal Theory* di Porges (1995) e ripreso anche nella *NTS*, che permette di modulare rapidamente l'*arousal* in funzione del contesto. L'attività vagale elevata, misurata attraverso l'*HRV*, è associata a capacità superiori di regolazione emotiva,

attenzione sostenuta, *decision-making* flessibile e resilienza allo stress.

La comunicazione discendente (efferente) riflette invece il controllo che il sistema nervoso centrale esercita sull'attività cardiaca tramite la modulazione vagale, maggiore è la capacità prefrontale di orchestrare questa modulazione, maggiore è la flessibilità autoregolativa dell'individuo. Il baroriflesso è un meccanismo cardine nel mantenimento della stabilità cardiovascolare. Si tratta di un circuito di *feedback* rapido che agisce regolando la frequenza cardiaca e il tono vascolare in risposta alle variazioni della pressione arteriosa. I barocettori, localizzati nel seno carotideo e nell'arco aortico, rilevano continuamente l'allungamento della parete vascolare e trasmettono informazioni al *NTS*. Un aumento della pressione arteriosa attiva il baroriflesso, che incrementa l'*output* vagale e riduce la frequenza cardiaca, una diminuzione, invece, comporta un incremento dell'attività simpatica. La relazione tra baroriflesso e *HRV* è particolarmente rilevante, in quanto le bande *LF* della *HRV* dipendono in larga parte dall'accoppiamento tra oscillazioni pressorie e risposte vagali, mentre le oscillazioni respiratorie (*HF*) interagiscono con il riflesso attraverso il ritmo dell'attività vagale.

Lehrer et al. (2014) hanno mostrato che la respirazione a frequenza di risonanza, ossia quella con circa 6 atti respiratori al minuto, massimizza l'oscillazione del baroriflesso, producendo un *pattern* coerente e altamente sincronizzato tra pressione arteriosa e variabilità cardiaca. Questo meccanismo non è puramente riflesso, in quanto possiede una componente di apprendimento autonomo, che consente di migliorare la sensibilità baroriflessa nel tempo tramite pratiche di *HRV biofeedback* o di respirazione lenta. Lo sviluppo di una maggiore sensibilità del baroriflesso è associato in letteratura a una migliore regolazione dell'*arousal*, una più rapida stabilizzazione dell'emozione, una riduzione della reattività allo stress e un maggiore adattamento cardiovascolare allo sforzo.

La regolazione autonoma del cuore non dipende però solo da riflessi periferici, ma anche da un sofisticato controllo centrale operato dal *CAN*, descritto in modo approfondito da Thayer & Lane (2000; 2009).

Le sue componenti principali includono:

- Corteccia prefrontale ventromediale (*vmPFC*): responsabile del controllo inibitorio *top-down*, modula l'attività dell'amigdala e del tronco encefalico.
- Insula anteriore: centro dell'interocezione, integra informazioni viscerali e somatiche

- Amigdala: elabora minacce e segnali emotivi, riduce l'attività vagale in condizioni di pericolo.
- Ipotalamo: coordina le risposte neuroendocrine allo stress (*HPA*).
- Nuclei del tronco encefalico (*NTS, NA, DMNV*): generano la modulazione efferente vagale.

Secondo il *NTS*, l'*HRV* rappresenta un indicatore periferico della funzionalità del *CAN*.

Una *HRV* elevata riflette un sistema prefrontale efficiente, capace di mantenere sotto controllo l'attivazione limbica e di guidare l'organismo verso risposte adattive.

Al contrario, una *HRV* ridotta segnala una disconnessione funzionale all'interno del circuito, tipica di condizioni quali ansia, stress cronico, depressione o deficit esecutivi.

Questa prospettiva spiega perché l'*HRV* sia così sensibile a variabili psicologiche, cambiamenti nello stato emotivo, nell'attenzione o nella regolazione cognitiva producono modificazioni immediate nel controllo vagale del cuore.

Uno dei fenomeni più caratteristici della regolazione autonoma è il *coupling* cardiorespiratorio, ossia la sincronizzazione tra ritmo respiratorio, oscillazioni della frequenza cardiaca e variazioni della pressione arteriosa. Durante l'inspirazione, l'attività vagale viene transitoriamente inibita, con conseguente aumento della frequenza cardiaca. Mentre durante l'espirazione corrisponde un aumento dell'attività vagale con riduzione della frequenza cardiaca. Questo fenomeno, noto come aritmia sinusale respiratoria (*Respiratory Sinus Arrhythmia, RSA*), rappresenta la principale componente delle bande *HF* della *HRV*.

Le evidenze del modello *Respiratory Vagal Stimulation (RVS)* di Gerritsen et al. (2018) mostrano che:

- 1) Respirare lentamente potenzia la stimolazione vagale fasi-specifica;
- 2) Lunghe espirazioni incrementano il tono parasimpatico;
- 3) La variabilità cardiaca aumenta in modo coerente;
- 4) Migliora la sincronizzazione con oscillazioni pressorie (baroriflesso).

Il *coupling* cardiorespiratorio è anche il fondamento fisiologico alla base del *HRV biofeedback*, in cui si insegna a modulare volontariamente il ritmo respiratorio, il che consente di influenzare direttamente la componente vagale della *HRV* e, quindi, lo stato

psicofisiologico complessivo. La modulazione vagale non è comunque un tratto fisso, in quanto mostra una significativa plasticità, influenzata dall'esperienza, dall'allenamento e dalle condizioni psicofisiche. La ricerca ha dimostrato che interventi di *Mindfulness*, respirazione lenta, esercizio aerobico, sonno adeguato e pratiche contemplative possono incrementare il tono vagale e migliorare l'*HRV* nel medio-lungo termine. Questo fenomeno di plasticità vagale agisce mediante un adattamento strutturale che si riscontra in cambiamenti nei nuclei vagali del tronco encefalico. Un apprendimento autonomico con miglioramento della sensibilità del baroriflesso. Un adattamento funzionale con maggiore efficienza del *CAN* nel modulare risposte emotive e infine con un adattamento comportamentale, aumentando della consapevolezza interocettiva e dell'autoregolazione.

3.3 Metodologie di analisi e metriche dell'*Heart Rate Variability*

Come detto l'*HRV* rappresenta oggi uno degli indicatori più versatili, sensibili e concettualmente ricchi per indagare la regolazione autonoma, la qualità dell'adattamento psicofisiologico e la dinamica mente–corpo. Tuttavia, l'utilizzo scientifico dell'*HRV* richiede una rigorosa comprensione delle sue metriche, delle loro implicazioni fisiologiche e dei limiti interpretativi associati alle diverse tecniche di analisi. Sebbene le formule matematiche alla base delle misure siano relativamente semplici, la profondità teorica e fisiologica che esse veicolano è estremamente complessa. Questa complessità metodologica ha portato negli anni a interpretazioni divergenti e, in alcuni casi, a veri e propri fraintendimenti concettuali, che hanno reso necessario un chiarimento rigoroso dei fondamenti analitici.

L'obiettivo di questa sezione è fornire un quadro approfondito e argomentato delle principali metodologie di analisi dell'*HRV*, articolate nelle tre grandi famiglie storiche, dominio del tempo, dominio della frequenza e misure non lineari, integrando la discussione con considerazioni metodologiche avanzate, con la distinzione concettuale delle “3R” (*Resting, Reactivity, Recovery*) proposta da Laborde et al. (2017) e con l'analisi critica dei limiti interpretativi più rilevanti, tra cui la controversa questione del rapporto *LF/HF*.

L'*HRV*, infatti, non è un singolo valore né univocamente interpretabile quanto piuttosto un insieme di indici ognuno dei quali cattura una diversa dimensione del comportamento

autonomico, alcuni più sensibili all'attività vagale, altri alle oscillazioni lente del baroriflesso, altri ancora alle proprietà non lineari del sistema cardiaco. La scelta della metrica da osservare non è neutra in quanto determina quali aspetti della fisiologia verranno privilegiati e quali, invece, rischieranno di essere trascurati o mal interpretati.

3.3.1 *Analisi nel dominio del tempo*

Le misure nel dominio del tempo costituiscono la forma più immediata e intuitiva di analisi dell'*HRV*, e rappresentano il punto di partenza per interpretare la modulazione autonoma e la qualità della regolazione vagale. Sebbene la loro natura statistica possa apparire semplice, ciascun indice cattura aspetti specifici del comportamento autonomo e possiede un valore interpretativo distinto all'interno della letteratura scientifica. In questa sezione vengono discussi i tre parametri principali di questa tipologia di analisi che sono *SDNN*, *rMSSD* e *pNN50* andando a integrare il loro significato fisiologico, la loro interpretazione proposta nei modelli teorici contemporanei e i range di riferimento che caratterizzano valori nella norma, subottimali e ottimali, secondo le evidenze disponibili (Task Force, 1996; Shaffer et al., 2017; Nunan et al., 2010).

- *SDNN*

La deviazione standard degli intervalli *NN* (*Standard Deviation of NN intervals, SDNN*), rappresenta la deviazione standard di tutti gli intervalli *R-R* e indica la variabilità complessiva del sistema autonomo. Nelle registrazioni brevi tra 2 e 5 minuti, essa riflette soprattutto l'influenza della respirazione, dell'attività vagale e di parte delle oscillazioni lente del baroriflesso. Nelle registrazioni a lungo termine di circa 24 ore, l'*SDNN* incorpora anche oscillazioni circadiane, ritmi termoregolatori e influenze endocrine, diventando un indice integrato della complessità sistemica e dell'efficienza regolativa globale (Task Force, 1996).

La letteratura clinica considera l'*SDNN* uno dei più potenti predittori di mortalità cardiovascolare in quanto valori molto bassi (<50 ms, 24h) sono associati a rischio aumentato di mortalità post-infarto (Tsuji et al., 1996). In ambito psicofisiologico, invece, l'*SDNN* viene utilizzata principalmente come indice della variabilità totale, ma con la

consapevolezza che non distingue tra componenti simpatiche e parasimpatiche.

I valori normativi riportati da Nunan et al. (2010) e Shaffer et al. (2017) suggeriscono quanto segue:

In registrazioni brevi, inferiori ai 5 minuti:

<20 ms variabilità molto bassa, potenziale stato di stress o iperattivazione;

20–50 ms variabilità bassa;

50–70 ms nella norma;

70 ms variabilità elevata, buona flessibilità autonoma.

In registrazioni di 24 ore:

<50 ms rischio elevato;

0–100 ms range ridotto;

100–150 ms nella norma;

150 ms elevata variabilità, indice di regolazione robusta.

L'*SDNN*, pur riflettendo come detto una componente multifattoriale, è sensibile a diversi interventi che modulano la complessità del sistema autonomo. Studi longitudinali (Tang et al., 2009; Krygier et al., 2013) mostrano che pratiche di *Mindfulness* aumentano significativamente l'*SDNN* dopo 4–8 settimane, suggerendo un miglioramento della modulazione autonoma su scale temporali medio-lente. Anche l'esercizio aerobico incrementa l'*SDNN* in modo dose-dipendente (Sandercock et al., 2005), in particolare quando la pratica è regolare e moderata. Studi di Lehrer et al. (2000; 2014) mostrano poi che 6–8 settimane di *HRV-Biofeedback* aumentano l'*SDNN* sia a riposo sia in *task* cognitivi, indicando una migliore integrazione autonoma globale.

Viceversa l'*SDNN* sembra estremamente sensibile in senso negativo alla deprivazione di sonno, infatti riduzioni acute del sonno la riducono immediatamente (Kuo et al., 1999), mentre il recupero notturno la ripristina in modo veloce. Altri fattori che impattano negativamente sulla *SDNN* sono uno stato di stress cronico, *burnout*, fatica da allenamento, depressione maggiore e disturbi d'ansia (Lehrer et al., 2014; Buchheit, 2014).

- *rMSSD*

La radice quadrata della media dei quadrati delle differenze successive (*Root Mean Square of Successive Differences, rMSSD*) è considerata l'indice più sensibile dell'attività del nervo vago (Shaffer et al., 2017; Laborde et al., 2017). Essa riflette le variazioni battito–battito generate dalla modulazione parasimpatica rapida mediante acetilcolina e rappresenta quindi una misura molto accurata della *vagally mediated HRV (vmHRV)*. A differenza della *SDNN*, la *rMSSD* è poco influenzata dalle oscillazioni lente e dalla durata della registrazione, rendendolo un indicatore stabile e maggiormente comparabile tra sessioni diverse. Infatti anche se vengano ricavati dagli stessi intervalli *RR*, l'*SDNN* e la *rMSSD* misurano aspetti diversi della variabilità cardiaca.

La *SDNN* riflette tutta la variabilità presente nella registrazione, comprese le oscillazioni lente che possono cambiare anche nell'arco di pochi minuti a causa di piccole variazioni del respiro o dell'attivazione fisiologica. Mentre la *rMSSD* si basa esclusivamente su variazioni molto rapide tra un battito e il successivo, cioè sulle componenti ad alta frequenza di origine vagale. Queste oscillazioni veloci sono molto più stabili nel tempo e meno influenzate dalle fluttuazioni lente dell'attività autonoma. Di conseguenza, su registrazioni brevi come quelle di 1–5 minuti, la *rMSSD* risulta più costante e comparabile tra sessioni diverse rispetto alla *SDNN*.

I valori normative da prendere in considerazione per 5 minuti di registrazione (Nunan et al., 2010; Shaffer et al., 2017) offrono in uomini adulti di interpretare il dato come segue:

<20 ms molto bassa;

20–30 ms bassa;

30–50 ms nella norma;

50 ms buona attività vagale;

70–80 ms elevata attività vagale, spesso associata a ottimizzazione psicofisiologica.

In donne adulte invece:

15–20 ms molto bassa;

20–40 ms nella norma;

40–50 ms buona;

60 ms elevata.

Come detto l'*rMSSD* è l'indice più reattivo all'aumento dell'attività vagale e, proprio per questo, è il parametro più studiato in tutte le ricerche in ambito psicologico.

Interventi basati sull'uso della respirazione lenta di 6 atti/minuto, hanno dimostrato produrre un incremento immediato di *rMSSD* (Lehrer et al., 2003; Gevirtz, 2013). Questo effetto emerge già dopo 5 minuti di pratica. Anche interventi di *HRV biofeedback* si sono dimostrati efficaci come dimostrano le meta-analisi condotte da Goessl et al., (2017); Lehrer et al., (2014). Menges et al. (2019) hanno mostrato poi che la *Mindfulness* aumenta l'*rMSSD* già dopo 10 minuti di meditazione focalizzata sul respiro, mentre Stein et al. (2012) dimostrano che anche pratiche come *Yoga*, *Tai Chi* e training autogeno siano in grado di incrementare l'*rMSSD*.

Elementi che invece sembrano ridurre la *rMSSD* sono elevati livelli di ansia di stato e tratto (Miu et al., 2009), stress anticipatorio, compiti cognitivi impegnativi (Mosley et al., 2022), privazione di sonno, allenamenti ad alta intensità non recuperati. In questo senso l'*rMSSD* è così sensibile che viene oggi utilizzata per monitorare la *readiness* quotidiana di atleti *élite* (Buchheit, 2013).

-*pNN50*

La percentuale di intervalli differiti di >50 ms (*Percentage of consecutive RR intervals that differ >50 ms, pNN50*) si basa sul calcolo della percentuale di intervalli che differiscono di oltre 50 ms da quello precedente. Anche questo indice è generalmente considerato un marcatore dell'attività vagale, poiché cattura le variazioni rapide tipiche della modulazione parasimpatica. Tuttavia, la letteratura contemporanea tende a preferire *rMSSD* per via della maggiore stabilità e minore vulnerabilità agli artefatti (Shaffer et al., 2017). Di conseguenza, l'*pNN50* viene considerato un indice utile ma secondario, soprattutto nel contesto di analisi su brevi segmenti temporali, in quanto diversi studi mostrano una maggiore variabilità interindividuale in questo parametro, motivo per cui il parametro è meno robusto per inferenze di gruppo. Va notato inoltre che la *pNN50* tende naturalmente a diminuire con l'età, più rapidamente rispetto alla *rMSSD*, quindi tali valori normativi devono prestare attenzione a questo aspetto.

La letteratura in materia, nonostante tali limitazioni, propone i seguenti riferimenti normativi:

<3% molto bassa con vagalità ridotta;
3–10% bassa;
10–20% nella norma;
20–25% elevata, con buona modulazione vagale;
30–40% molto elevato tipico di individui giovani, sportivi e meditatori esperti.

Sebbene come detto la *pNN50* sia meno analizzata rispetto alla *rMSSD*, dalla letteratura in materia emerge che anche la *pNN50* aumenta con interventi di respirazione lenta, *Biofeedback HRV*, *training* aerobico e *Mindfulness*. Mentre essa subisce una riduzione a causa di stress acuto, iperattivazione emotiva, insonnia o sonno frammentato e sovrallenamento.

In generale rispetto dunque le analisi del fattore tempo, per la letteratura contemporanea (Laborde et al., 2017; Shaffer et al., 2017) possiamo dire che la *SDNN* descrive la variabilità totale e rappresenta una misura sistemica, la *rMSSD* descrive la variabilità vagale una misura parasimpatica mentre la *pNN50* è un indice vagale meno stabile ma utile come supporto, non come metrica principale.

3.3.2 Analisi nel dominio della frequenza

Se le misure nel dominio del tempo offrono una prima fotografia globale della variabilità, l'analisi nel dominio della frequenza permette di spacchettare il segnale *HRV* nei suoi principali ritmi fisiologici. Lo spettro di potenza viene suddiviso, secondo le raccomandazioni della *Task Force* (1996), in bande *ULF*, *VLF*, *LF* e *HF*. Ciascuna banda riflette processi regolativi differenti e, soprattutto, viene influenzata in modo selettivo da interventi comportamentali, mente–corpo e condizioni di stress. È importante sottolineare che i valori di potenza presentano una variabilità molto ampia nei diversi studi e nelle diverse popolazioni Nunan et al. (2010). Per questo motivo, i range riportati qui devono essere letti come intervalli indicativi, utili a inquadrare l'ordine di grandezza più che a definire soglie rigide.

- *HF*

La banda delle frequenze alte (*High Frequencies*, *HF*) comprese tra 0.15–0.40 Hz, sono la

componente spettrale più chiaramente interpretabile. Sono strettamente legate alla *Respiratory Sinus Arrhythmia (RSA)* e, di conseguenza, rappresentano un indice diretto della modulazione vagale cardiaca (*Task Force*, 1996). In letteratura, le *HF* sono sistematicamente utilizzate come uno dei principali indicatori di tono vagale a riposo e di regolazione parasimpatica in compiti sotto stress e negli interventi mente–corpo (Laborde et al., 2017). Valori più elevati di *HF* corrispondono a una maggiore capacità del sistema vagale di modulare rapidamente la frequenza cardiaca in risposta alla respirazione, e sono stati associati a migliori capacità di regolazione emotiva, resilienza allo stress e performance cognitive più stabili.

Rispetto le *HF* la *Task Force* riporta valori medi intorno a $\ln(HF) \approx 3.2-3.5$ (unità logaritmiche), che corrispondono approssimativamente a qualche centinaio di ms^2 in termini assoluti. Comunque più che il valore assoluto, ciò che risulta clinicamente e psicologicamente rilevante è la posizione relativa rispetto alla fascia d'età e, soprattutto, la stabilità nel tempo. Una persona giovane e fisicamente attiva tende ad avere valori delle *HF* relativamente elevati e se si assiste a una riduzione marcata rispetto alla propria baseline in un compito sotto stress questo è solitamente interpretato come segnale di ridotta modulazione vagale.

Rispetto la possibilità di incidere sulle *HF*, la letteratura converge su alcuni interventi che incrementano in modo robusto la loro potenza. La respirazione lenta a 6 atti/minuto, produce un incremento immediato e consistente della potenza *HF* e della coerenza cardiorespiratoria (Lehrer et al., 2003; Lehrer et. al, 2014). L'*HRV biofeedback* mediante protocolli strutturati di 6–10 sessioni aumenta le *HF* a riposo e durante compiti stressanti, suggerendo un rafforzamento del freno vagale. Metodiche di *Mindfulness* e *Yoga* hanno mostrato in studi condotti su interventi di 8 settimane, di incrementare in modo significativo le *HF* anche in condizioni di riposo.

Emerge viceversa che le *HF* si riducono in modo marcato in presenza di stress acuto e ansia di stato, carico cognitivo elevato e prolungato, deprivazione o frammentazione del sonno, sovrallenamento o mancato recupero negli atleti e in alcune condizioni cliniche come disturbi d'ansia, depressione, sindrome metabolica.

Va sottolineato come in contesto sperimentale, una riduzione della potenza delle *HF* durante l'esposizione a uno *stressor* viene interpretata in senso positivo come indice di

vagal withdrawal, ovvero come una sospensione transitoria dell'influenza parasimpatica sul nodo senoatriale. Tale riduzione rappresenta un adattamento fisiologico funzionale, poiché consente una maggiore predominanza delle componenti simpatiche necessarie all'attivazione comportamentale richiesta dal compito.

Dal punto di vista regolativo e di analisi di funzionamento della persona, il parametro critico è però la dinamica post-compito. In condizioni di efficiente autoregolazione, la potenza delle *HF* mostra una rapida risalita verso i livelli basali post-compito, indicando un adeguato ripristino del tono vagale e un efficace riassetto del bilanciamento autonomico. Al contrario, l'assenza di un recupero tempestivo, evidenziata dal persistere di valori *HF* inferiori al basale, è tipicamente interpretata come marcatura di una compromissione dei processi di regolazione discendente del sistema autonomo e, più nello specifico, di un deficit nei meccanismi vagali di *recovery*.

- *LF*

L'analisi delle frequenze basse (*Low Frequencies, LF*) comprese tra 0.04–0.15 Hz è, dal punto di vista concettuale, la più problematica. Inizialmente interpretata come indice dell'attività simpatica e successivamente come espressione del bilanciamento simpato–vagale, oggi viene letta in modo molto più cauto. La revisione dei meccanismi fisiologici suggerisce che le *LF* riflettano principalmente l'azione del baroriflesso e l'interazione tra componenti vagali e simpatiche, piuttosto che la sola attivazione simpatica. Studi farmacologici hanno mostrato in maniera convincente che manipolazioni della via vagale, quindi del ramo parasimpatico, possono alterare anche le *LF* in modo significativo, cosa che non dovrebbe accadere se le *LF* rappresentassero solo l'attività simpatica. Inoltre in condizioni di *HRV* molto ridotta, trasformazioni come *LFnu* e *LF/HF* possono addirittura produrre correlazioni artificialmente elevate con variabili esterne, come evidenziato da analisi di simulazione e studi di blocco con atropina.

In ogni caso per i dati di cui disponiamo (Nunan et al., 201) si può ritenere che in adulti sani con registrazioni brevi, valori corrispondenti a $\ln(LF) \approx 3.9-4.1$, rappresentino valori intermedi. Poiché le *LF* sono influenzate da molteplici fattori, gli interventi che le modificano sono eterogenei, così come lo possono essere quelli che incidono su di esse in maniera negativa. Alla luce di queste complessità, la tendenza della letteratura più recente

è quella di evitare di interpretare le *LF* come un indice simpatico e di considerarle piuttosto come un marcatore dell'integrazione baroriflesso–vago, sensibile sia alla regolazione autonoma sia alla dinamica emodinamica.

- *VLF e ULF*

Le bande delle frequenze molto basse (*Very Low Frequencies, VLF*) comprese tra 0.0033–0.04 Hz e quelle delle frequenze ultra basse (*Ultra Low Frequencies, ULF*) inferiori a <0.0033 Hz, sono dominate da oscillazioni molto lente. Le *VLF* sono state associate a processi infiammatori, attività del sistema renina–angiotensina, termoregolazione e altre modulazioni endocrine. Le *ULF* da parte loro riflettono soprattutto ritmi circadiani e regolazioni a lunghissimo termine.

Come indicazioni di massima la *Task Force* riporta, per adulti sani, range di riferimento indicativi in registrazioni di 24 ore per le $\ln(VLF) \approx 5.5–6.3$, mentre non c'è uno specifico range di riferimento per le *ULF* essendo altamente correlate alle *VLF*. In generale comunque nel caso di registrazioni brevi (2–5 minuti), il significato fisiologico di *VLF* è considerato ambiguo e, in linea con le raccomandazioni metodologiche, se ne sconsiglia l'uso come misura principale a meno che non sia supportato da altri indicatori.

Dal punto di vista clinico, le *VLF* e le *ULF* sono maggiormente utilizzate per la prognosi cardiovascolare piuttosto che a valutazioni di tipo psicologico. È stato dimostrato infatti che riduzioni significative di queste componenti sono collegate a un aumento di mortalità in diverse popolazioni cardiopatiche. In letteratura emerge comunque che le *VLF* e le *ULF* risentono di sonno frammentato e di insonnia. Così come di elevati tassi di sedentarietà, obesità, sindromi metaboliche e infiammazione di basso grado. L'attività fisica regolare e una buona igiene del sonno invece tendenzialmente sostengono una maggiore potenza nelle bande lente, indicando un sistema autonomico meglio regolato su scala circadiana.

-*Ratio LF/HF*

Per ridurre l'influenza della potenza totale e focalizzarsi sulla distribuzione relativa tra le *LF* e le *HF*, la *Task Force* ha proposto inizialmente l'uso di unità normalizzate (*LFnu*, *HFnu*) e della loro *ratio LF/HF*, quest'ultimo interpretato a lungo come un indice del

bilancio tra ramo simpatico e parasimpatico. La ricerca successiva, tuttavia, ha mostrato numerosi problemi. Per prima cosa $LFnu$ e $HFnu$ sono reciprocamente dipendenti, conoscere uno significa determinare l'altro, producendo correlazioni artificialmente elevate con variabili esterne come interventi di diversa natura. Secondariamente poiché le LF in assoluto non sono un indice puro della componente simpatica, il rapporto LF/HF non può essere interpretato come un rapporto tra simpatico e parasimpatico. Infatti in soggetti in cui l' HRV viene quasi azzerata, per esempio con un blocco vagale farmacologico che blocca le HF , anche le LF possono ridursi drasticamente, come mostrato in studi di blocco con atropina. Per finire variazioni minime delle HF , legate per esempio a cambiamenti respiratori, possono determinare grandi oscillazioni anche nelle LF senza che vi sia un cambiamento sostanziale dell'equilibrio autonomico.

Per questi motivi, una parte crescente della letteratura considera LF/HF un indicatore concettualmente fragile se utilizzato da solo, sconsigliandone l'uso come misura primaria del bilanciamento tra i due sistemi (Billman, 2013; Heathers, 2012). L'indicazione di massima che emerge dalle *review* metodologiche è di privilegiare indici vagali positivi come le HF , le $rMSSD$ o misure di complessità (DFA , entropie) e di farlo in studi dove vi sia un'analisi della dinamica nel tempo ossia con una baseline, un compito reattivo e una fase di recupero.

3.3.3 *Analisi non lineari*

Le misure non lineari rappresentano uno sviluppo metodologico cruciale nello studio della HRV . Se le metriche nel dominio del tempo e della frequenza catturano l'ampiezza e la distribuzione delle oscillazioni del ritmo cardiaco, le analisi non lineari descrivono la struttura, la coerenza, la irregolarità e la complessità del segnale. A differenza dei metodi lineari di analisi, che presuppongono relazioni proporzionali e sistemi stazionari, le misure non lineari si fondano sulla consapevolezza che l'organismo umano è un sistema complesso, in quanto non procede in modo perfettamente regolare, né completamente casuale, ma opera in una condizione intermedia che riflette la capacità di adattarsi a stimoli esterni e interni (Goldberger et al., 2002).

Dal punto di vista concettuale, la complessità biologica rappresenta la capacità del sistema di oscillare su molte scale temporali, mantenendo al tempo stesso un equilibrio dinamico.

Valori troppo alti o troppo bassi di ordini specifici di complessità indicano una perdita di capacità adattiva. Per questo motivo, le analisi non lineari sono particolarmente sensibili a condizioni di stress cronico, sovraccarico allostatico, depressione, *burnout*, sindrome da fatica e, in ambito sportivo, a condizioni di *overreaching* funzionale o non funzionale.

- *Poincaré Plot*

Il *Poincaré plot* è uno degli strumenti visivi più immediati per valutare la complessità del segnale *R-R*. Consiste nella rappresentazione grafica dell'intervallo *R-R* rispetto all'intervallo $R-R_{\{n+1\}}$, generando una nuvola di punti la cui forma descrive la relazione tra oscillazioni rapide e lente. Il *Poincaré plot* è considerato un indice non lineare perché non descrive la variabilità cardiaca attraverso medie o deviazioni standard, ma attraverso la forma geometrica generata dalla relazione punto per punto tra un intervallo *R-R* e quello successivo. Questa rappresentazione cattura *pattern* complessi del segnale, come la correlazione temporale, la struttura caotica e la distribuzione nello spazio delle oscillazioni, che non possono essere colti con le metriche lineari tradizionali. Analizza cioè una dinamica del sistema invece dei suoi valori medi, permettendo di valutare proprietà emergenti del controllo autonomico che non seguono una relazione lineare.

Due sono i parametri principali che formano il *Poincaré plot*. Il primo è l'*SD1*, che riflette la variabilità a breve termine, fortemente influenzata dalla modulazione vagale rapida e che esprime quanto i punti si disperdono in senso trasversale rispetto alla diagonale del grafico. Questa dispersione dipende dalle variazioni molto rapide tra un battito e il successivo, cioè dalla componente vagale a breve latenza. Per questo l'*SD1* è considerato un indice della variabilità istantanea, strettamente legata alla modulazione parasimpatica rapida.

Il secondo parametro è l'*SD2* che rappresenta la variabilità a lungo termine, maggiormente connessa alle oscillazioni lente del baroriflesso, ai ritmi autonomici lenti e alle influenze circadiane. Questo parametro invece descrive l'allungamento della nuvola lungo la diagonale del grafico. L'*SD2* è quindi un indice della variabilità a lungo termine.

Nell'analisi di questo indice si va a valutare la forma che si crea, leggendo il grafico emergente utilizzando le indicazioni seguenti (Porta et al., 2007):

Ellisse ampia e aperta, alta complessità con buona integrazione autonoma;

Ellisse schiacciata, ridotta variabilità a breve termine con bassa vagalità;

Allungamento eccessivo, presenza di una predominanza di oscillazioni lente, con possibile fatica o stress cronico;

Forma a cometa, presenza di una ridotta complessità con rigidità regolativa.

- *Entropie (ApEn e SampEn)*

Le misure entropiche servono a quantificare quanto la serie *R-R* sia prevedibile o imprevedibile. L'idea di base è semplice, come detto un segnale fisiologico sano non è né perfettamente regolare né completamente caotico, ma presenta una complessità organizzata. Per cui se la variabilità è troppo regolare significa che il sistema autonomico ha perso flessibilità ed è rigido, se invece la variabilità è troppo casuale, senza alcuna struttura riconoscibile, significa che la regolazione è degradata e il sistema sta perdendo controllo. Se è presente un livello intermedio di imprevedibilità, coerente ma non rigido, questo riflette allora un sistema autonomico complesso, adattivo e sano. Le entropie quindi misurano questa struttura nascosta del segnale, valutando quanto un certo *pattern* di intervalli *R-R* tende a ripetersi con lo stesso ordine nel tempo.

Questa tipologia di analisi viene basata su due indicatori.

Il primo l'*Approximate Entropy (ApEn)* il quale valuta quanto spesso *pattern* simili di *R-R* si ripetono nella serie, tenendo conto di una soglia di tolleranza. In questo caso più la serie è regolare e ripetitiva, più l'*ApEn* sarà basso. Più la serie è imprevedibile e complessa, più l'*ApEn* sarà alto.

Il secondo indicatore è invece il *Sample Entropy (SampEn)* che utilizza un calcolo più rigoroso che evita alcune distorsioni statistiche tipiche delle (*ApEn*). Proprio per questo il *SampEn* è considerato più affidabile, soprattutto quando la serie è relativamente corta, come nelle registrazioni di 5 minuti. Un valore alto di *SampEn* indica maggiore complessità e minore prevedibilità della serie *R-R*.

Dalle evidenze in materia emerge come valori più elevati di entropia indicano una migliore capacità adattiva, maggiore complessità regolativa, buona flessibilità autonoma. Mentre valori più bassi sono stati osservati in depressione maggiore, stress cronico, *burnout*, stanchezza mentale e fisica e patologie cardiovascolari (Kemp et al., 2010).

Non esistono range di riferimento universali perché l'entropia dipende dal numero di campioni e dalla metodologia, ma si ritiene che si possano considerare nel modo seguente i valori di *SampEn*:

Tra 0.8–1.5, valori fisiologici in adulti sani;

<0.5, rigidità fisiologica, stress o maladattamento;

>1.5, elevata complessità tipico di soggetti giovani, atleti, meditatori esperti.

- *DFA*

La *Detrended Fluctuation Analysis (DFA)* è un tipo di analisi che analizza le correlazioni a lungo raggio del segnale *R-R*, quantificando la sua struttura frattale, serve cioè a capire come il segnale *R-R* si organizza nel tempo, andando oltre la semplice variabilità battito-per-battito. A differenza degli indici classici, la *DFA* non guarda quanto gli intervalli *R-R* oscillano, ma come queste oscillazioni sono correlate tra loro su scale temporali più lunghe. Nell'analisi della *DFA* i parametri più utilizzati sono α_1 e α_2 , che descrivono il modo in cui il segnale *R-R* mantiene una certa coerenza nel tempo su diverse scale temporali.

L' α_1 rappresenta la correlazione del segnale su scale brevi, cioè nell'ordine di pochi secondi, ed è particolarmente sensibile ai cambiamenti legati allo stress acuto, alla fatica, al carico interno e alla qualità del recupero. In letteratura si ritiene che quando α_1 assume valori prossimi a 1.0, la variabilità cardiaca presenta una complessità equilibrata il sistema autonomico non è né troppo rigido né troppo caotico, ma mostra una dinamica flessibile e adattiva. Al contrario, quando supera un valore di 1.2, il segnale diventa eccessivamente prevedibile, indicando una riduzione della complessità. Questo aumento è interpretato come segno di stress fisiologico o mentale, affaticamento o potenziale sovrallenamento, perché il sistema perde flessibilità e tende ad assumere un funzionamento più rigido. Proprio per questo l'analisi della *DFA* è molto utilizzata nello sport per identificare stati di fatica autonoma. Plews et al. (2012) hanno infatti mostrato che un $\alpha_1 > 1.2$ in più giorni consecutivi identifica atleti in stato di *non-functional overreaching*.

L' α_2 , invece, descrive il comportamento della serie *R-R* su scale temporali più lunghe e riflette l'influenza di dinamiche autonome più lente, come quelle legate al baroriflesso o ai ritmi circadiani. Sebbene meno utilizzato rispetto all' α_1 , contribuisce a descrivere la

struttura complessiva del segnale nel medio periodo. Le misure non lineari descrivono dunque come la variabilità è organizzata. Un sistema sano alterna ordine e disordine, mostra correlazioni frattali, si adatta su scale temporali multiple, risponde con flessibilità ai cambiamenti. Questa è l'essenza dell'allostasi, mantenere la stabilità attraverso il cambiamento (McEwen, 2017). Le misure non lineari, forniscono un'informazione qualitativamente diversa non mostrando solo quanto il sistema varia, ma come varia, rivelando aspetti profondi della regolazione autonoma che metriche come *SDNN* o *HF* non possono catturare.

3.4 Considerazioni metodologiche e interpretative dell'HRV

L'interpretazione dell'*HRV* richiede un'attenzione particolare alle modalità di raccolta del dato, poiché l'*HRV* non è un tratto stabile ma una proprietà emergente dello stato psicofisiologico e delle circostanze metodologiche. In altre parole, non esiste un valore intrinseco di *HRV* svincolato dal contesto, esiste piuttosto un sistema autonomo che si esprime in modo diverso a seconda della postura, dell'ora del giorno, del ritmo respiratorio e di altri fattori che in seguito discusso. Questo aspetto è centrale nella letteratura psicofisiologica contemporanea (Laborde et al., 2017), la quale sottolinea come la validità interpretativa delle metriche *HRV* dipenda in larga parte dal rigore metodologico utilizzato nella loro acquisizione.

- La durata della registrazione

Uno dei fattori più influenti è la durata della registrazione. Registrosioni brevi di 2–5 minuti sono considerate lo standard per la psicofisiologia sperimentale, poiché permettono di cogliere adeguatamente le oscillazioni vagali rapide e parte delle oscillazioni lente del baroriflesso. Registrosioni troppo brevi, nell'ordine di 30–60 secondi, possono essere utili per monitoraggi quotidiani ma non garantiscono l'affidabilità necessaria per scopi scientifici, soprattutto per parametri come *SDNN* e la potenza *HF*, che richiedono una finestra temporale sufficiente a catturare oscillazioni su scale temporali diverse. Le registrosioni lunghe di 24 ore, invece, offrono una panoramica più ampia sul comportamento del sistema autonomo e consentono di analizzare anche le componenti

ultra-lente (*ULF*), ma sono poco utilizzate negli studi psicologici per la difficoltà di controllare le variabili contestuali.

- *Variabili individuali e circadiane*

Altro fattore determinante è costituito dalle variabili individuali e circadiane. L'età rappresenta una delle influenze più costanti, in quanto l'*HRV* tende a diminuire progressivamente nel corso della vita, soprattutto nella potenza delle componenti vagali, per via della riduzione fisiologica del tono parasimpatico. Anche il sesso biologico può incidere sui valori, con differenze documentate, che mostrano come nelle donne alcune metriche tendono a essere leggermente più elevate in età giovanile, mentre nel periodo post-menopausale si osserva una riduzione significativa della variabilità.

Oltre all'età e al genere, fattori come livello di *fitness*, familiarità cardiovascolare, profilo psicologico, ritmi circadiani e perfino cronotipi individuali influenzano la *baseline* autonoma. Come detto in precedenza infatti l'*HRV* segue un ritmo circadiano ben definito rispetto al quale tende a raggiungere i valori più elevati durante il sonno profondo e nelle prime ore notturne, mentre risulta fisiologicamente più bassa al mattino, quando prevalgono meccanismi di attivazione. Questo andamento impone che tutte le registrazioni vengano effettuate nello stesso momento della giornata, pena una distorsione sistematica dei confronti intra o inter-soggetto.

- *Fattori fisiologici durante la registrazione*

Accanto ai fattori circadiani, incidono in modo decisivo anche le condizioni corporee durante la registrazione. La postura è una delle determinanti più immediate, la posizione supina facilita una dominanza vagale e porta a valori più elevati dell'attività *HF*, mentre la posizione seduta o in piedi comporta una riduzione fisiologica della vagalità e un incremento dell'attività simpatica associata al mantenimento posturale. Per questo motivo, è indispensabile che le misurazioni vengano condotte sempre nella stessa postura e che questa informazione venga riportata con precisione nel metodo.

Tra i fattori fisiologici, inoltre la respirazione è probabilmente quella che esercita l'influenza più diretta sulla variabilità vagale. Una respirazione rapida tende a ridurre

l'ampiezza dell'*RSA* e, di conseguenza, la potenza *HF*, mentre una respirazione lenta e regolare, soprattutto nelle vicinanze della frequenza di risonanza con circa 6 atti al minuto, amplifica l'oscillazione cardiorespiratoria rendendo l'*HRV* significativamente più elevata. Questo significa che, in assenza di controllo respiratorio, differenze apparentemente sostanziali nella potenza *HF* o nel *rMSSD* possono riflettere semplici modificazioni del ritmo ventilatorio piuttosto che reali cambiamenti nella modulazione parasimpatica. La letteratura è unanime nel sottolineare che senza un minimo di monitoraggio della respirazione, la comparabilità tra condizioni sperimentali è fortemente compromessa.

- *Qualità del segnale e artefatti*

Un aspetto più tecnico ma altrettanto centrale riguarda la qualità del segnale e la presenza di artefatti. L'*HRV* è fortemente sensibile alla precisione dell'identificazione dei picchi *R* e a eventuali errori di rilevazione. Battiti ectopici, perdite momentanee del contatto elettrodo-cuore, artefatti dovuti al movimento o interferenze elettriche possono alterare il tracciato in modo sostanziale, soprattutto nelle metriche più sensibili come *rMSSD* o nella potenza *HF*. Per questo motivo, la pulizia del segnale e la correzione degli artefatti tramite algoritmi validati rappresentano un passaggio indispensabile. Software come *Kubios HRV* offrono strumenti avanzati per la correzione automatica degli artefatti e per la loro classificazione, ma la qualità dell'*output* dipende comunque dalla qualità dell'ingresso, in quanto un *ECG* rumoroso o un sensore non stabile compromettono l'intera misurazione. È dunque necessario riportare nel metodo non solo le metriche finali, ma anche la procedura di pulizia del segnale, la percentuale di artefatti corretti e i criteri adottati.

Necessità una riflessione anche la validità dei dispositivi di misura, tema particolarmente rilevante nell'epoca attuale, in cui strumenti clinici, sportivi e di consumo convergono nello stesso ecosistema tecnologico. I dispositivi basati su elettrocardiografia, con studi già validati alle spalle, come il sistema *Biograph* o come *Polar H10*, offrono una precisione molto elevata nella rilevazione dei picchi *R* e sono considerati lo standard per le misurazioni di ricerca. La loro accuratezza è generalmente sovrapponibile a quella dei sistemi clinici tradizionali, soprattutto per quanto riguarda il dominio del tempo e il dominio della frequenza nelle bande *HF* e *LF*. Al contrario, molti dispositivi basati su fotoplethismografia (*PPG*), come quelli montati al polso, presentano una maggiore vulnerabilità agli artefatti da movimento e possono introdurre ritardi o distorsioni nella

rilevazione degli intervalli interbattito. Sebbene le tecnologie *PPG* siano significativamente migliorate negli ultimi anni, esse non sono ancora considerate pienamente intercambiabili con gli *ECG* per misurazioni di breve durata, soprattutto negli studi sperimentali che richiedono elevata sensibilità. Per questo motivo, la scelta del dispositivo è una componente metodologica fondamentale e deve essere giustificata in funzione degli obiettivi della ricerca e delle metriche da analizzare.

- *Dal laboratorio all'ambiente naturale*

L'evoluzione recente della psicofisiologia ha progressivamente spostato anche la necessità di spostare l'attenzione dal laboratorio all'ambiente naturale dell'individuo, determinando una crescente adozione di approcci ecologici per il monitoraggio dell'*HRV*. Questo cambiamento riflette la consapevolezza che la variabilità cardiaca non rappresenti un parametro statico, né un tratto stabile dell'individuo, ma una proprietà emergente e altamente sensibile alle fluttuazioni quotidiane di stress, attività cognitiva, comportamento, ritmi circadiani e contesto ambientale. Per questo motivo, la raccolta di misure isolate in laboratorio o in condizioni di riposo può fornire un quadro solo parziale del funzionamento autonomico, mentre protocolli di registrazione prolungata e in condizioni ecologiche permettono di cogliere aspetti dinamici della regolazione allostatica altrimenti invisibili.

In questo senso la possibilità grazie alla tecnologia di avere dispositivi indossabili sempre più precisi, consente di osservare la modulazione vagale in risposta a eventi quotidiani quali carico lavorativo, interazioni sociali, stati emotivi, variazioni del sonno, esercizio fisico, transizioni posturali e *micro-stressor* ambientali. Questi segnali, registrati nel corso dell'intera giornata o durante specifiche finestre ecologiche, permettono di ricostruire un profilo autonomico più accurato e rappresentativo della vita reale.

L'adozione di metodologie ecologiche è coerente con la transizione epistemologica verso modelli dinamici del funzionamento autonomico, nei quali l'obiettivo non è più fotografare uno stato, ma tracciare un processo e in questo senso il monitoraggio ecologico permette di applicare pienamente il concetto di omeostasi. Attraverso registrazioni continuative, è possibile modellare infatti la capacità del sistema di adattarsi nell'arco della giornata, la sensibilità agli *stressor* quotidiani, la capacità di recupero post-evento, la presenza di rigidità regolativa e il carico allostatico cumulativo.

- *Impostazione teorica e interpretativa*

Infine anche sul piano teorico e interpretativo, la comprensione dell'*HRV* non può limitarsi a un impianto di ricerca misurato esclusivamente a riposo, in quanto il sistema autonomico, non è un'entità statica. In letteratura si ritiene che il modello proposto da Laborde et al. (2017), noto come modello delle *3R* (*Resting HRV*, *Reactivity HRV* e *Recovery HRV*) sia quello da seguire nel corso degli studi. Secondo questa cornice sperimentale si richiede di inserire negli studi tre momenti di monitoraggio.

- 1) *Resting HRV* ossia la registrazione basale del soggetto che rappresenta il tono vagale basale e, in quanto tale, fornisce un indicatore della capacità del sistema di mantenere una regolazione efficiente in condizioni neutre. Misura che però non è sufficiente in quanto da sola non basta a cogliere la flessibilità psicofisiologica dell'individuo.
- 2) *Reactivity HRV* ossia la registrazione di ciò che accade quando l'individuo viene esposto a una sfida cognitiva, emotiva o un compito. Una temporanea riduzione dell'attività vagale, il cosiddetto *vagal withdrawal*, rappresenta una risposta fisiologica normale e funzionale con cui il sistema autonomico si prepara ad affrontare la richiesta aumentando l'attivazione e riducendo la variabilità battito-battito. Una reattività attenuata, al contrario, può indicare rigidità regolativa, mentre una reattività eccessiva può segnalare vulnerabilità allo stress. In entrambi i casi, l'analisi della *reactivity HRV* offre una finestra privilegiata sulla capacità dell'organismo di modulare l'*arousal* in modo efficiente.
- 3) *Recovery HRV* infine rappresenta la registrazione in una fase di recupero, che è quella che più di ogni altra consente di valutare l'effettiva resilienza del sistema. Una volta terminato lo *stressor*, un individuo con buona flessibilità autonoma mostra una risalita relativamente rapida dell'attività vagale ai livelli basali. Una ripresa lenta o incompleta è tipica di condizioni di stress cronico, affaticamento, alterazioni del sonno o sovrallenamento nello sport.

3.5 *HRV come indice integrato di regolazione psicofisiologica*

L'insieme delle evidenze presentate finora mostra come l'*HRV* non rappresenti soltanto una misura tecnica della fluttuazione *R-R*, ma piuttosto di quanto sia un vero e proprio

indicatore integrato della regolazione psicofisiologica. Dopo averne ricostruito lo sviluppo storico, i meccanismi neurofisiologici alla base e le principali metriche di analisi, diventa necessario considerare l'*HRV* come un linguaggio attraverso cui il sistema mente–corpo rende visibile la qualità dei propri processi regolativi. In altri termini essa traduce in un segnale periferico e osservabile l'esito momentaneo dell'interazione tra reti corticali, strutture limbiche, vie autonome e meccanismi riflessi periferici, offrendo una finestra privilegiata su come l'organismo gestisce lo stress, modula l'*arousal* e coordina risorse cognitive ed emotive. Ciò vale tanto in ambito clinico, dove la riduzione persistente della *HRV* si associa a stati di ansia, depressione, *burnout* e carico allostatico elevato, tanto nei contesti di *performance* sportiva, in cui fornisce informazioni sulla *readiness* psicofisiologica, sulla qualità del recupero e sulla stabilità attentiva sotto pressione.

Il presente paragrafo si propone quindi di integrare le componenti finora descritte di fisiologia, metodologie di misura e cornici teoriche, in una visione unitaria dell'*HRV* come indice integrato di regolazione psicofisiologica. Questa sintesi fornirà il ponte concettuale necessario per comprendere, nei capitoli successivi, il ruolo dell'*HRV* nell'analisi degli interventi mente–corpo e nei protocolli sperimentali che costituiscono il nucleo empirico della tesi.

3.6 HRV come proxy della regolazione autonoma e dello stress

L'*HRV* rappresenta uno degli indicatori più sensibili e informativi della regolazione autonoma, poiché riflette in tempo reale l'equilibrio dinamico tra processi centrali e periferici che modulano l'*arousal*, l'adattamento agli stimoli e la risposta allo stress. A differenza di altri parametri fisiologici, spesso più lenti o meno specifici, costituisce una misura diretta della modulazione vagale sul nodo senoatriale e, allo stesso tempo, un indice periferico dell'attività delle reti neurali coinvolte nel controllo emotivo e nella regolazione esecutiva. In questo senso, essa può essere considerata un vero e proprio *proxy* della qualità con cui il sistema autonomo anticipa, coordina e recupera dalle sfide ambientali.

Dal punto di vista fisiologico, la componente vagale dell'*HRV*, in particolare le metriche come *rMSSD* e *HF*, riflette la rapidità con cui il sistema nervoso centrale riesce a modulare la frequenza cardiaca attraverso vie discendenti che collegano corteccia prefrontale, insula,

amigdala, ipotalamo e nuclei del tronco encefalico. L'*HRV* diventa quindi il risultato misurabile della capacità del sistema di esercitare un controllo efficiente sull'*arousal*. Elevati livelli di *HRV* a riposo indicano un tono vagale robusto e una buona capacità di mantenere stabilità regolativa in condizioni neutre, mentre riduzioni consistenti della variabilità, sia a riposo sia durante compiti cognitivi, rappresentano un *marker* di vulnerabilità allo stress, iperattivazione o eccessiva rigidità autonoma.

In relazione proprio allo stress, l'*HRV* permette di osservare due aspetti fondamentali, la reattività allo *stressor* e la capacità di recupero. Durante l'esposizione a una sfida fisica o cognitiva, come detto in precedenza è fisiologico e funzionale che la vagalità si riduca (*vagal withdrawal*), consentendo un aumento dell'attivazione simpatica e una mobilitazione rapida di risorse. Tuttavia, quando tale riduzione è eccessiva, prolungata o seguita da un recupero lento, il *pattern* risultante è tipico di un sistema autonomico indebolito, più vulnerabile allo stress e meno capace di ristabilire l'equilibrio dopo la perturbazione. Questo profilo, frequentemente riscontrato in condizioni di ansia elevata, *burnout* o stress cronico, testimonia una compromissione dei meccanismi centrali di regolazione che può emergere anche in assenza di sintomi clinici evidenti.

Il concetto di *vagal withdrawal*, merita a questo punto un approfondimento in quanto rappresenta il meccanismo più rapido attraverso cui l'organismo può modificare il proprio stato fisiologico in risposta a uno stimolo ambientale o interno. A riposo, l'attività del nodo senoatriale è fortemente modulata dal tono vagale, le fibre parasimpatiche efferenti, tramite il rilascio di acetilcolina sui recettori muscarinici *M2*, esercitano un controllo inibitorio immediato e *beat-to-beat* sulla depolarizzazione del *pacemaker* cardiaco. Come sottolineato da Shaffer et al. (2004), la modulazione vagale opera su una scala temporale estremamente breve, l'effetto di un singolo impulso può manifestarsi entro uno o due cicli cardiaci, molto più rapidamente rispetto alla più lenta latenza del sistema simpatico.

Il *vagal withdrawal* consiste dunque nella rapida sospensione di questo controllo inibitorio, determinata da un cambiamento nell'*output* del *CAN*. Quando l'individuo si confronta con un compito impegnativo, uno *stressor* psicologico o una richiesta improvvisa di incremento dell'attivazione, le strutture prefrontali, limbiche e troncoencefaliche riducono l'attività parasimpatica efferente verso il cuore. Questa rimozione del freno vagale produce un'immediata accelerazione della frequenza cardiaca, non perché si attivi simultaneamente

un *drive* simpatico, che presenta tempi di insorgenza più lenti, ma perché viene meno la principale forza inibitoria che mantiene bassa la frequenza cardiaca a riposo.

Da un punto di vista fisiologico, il *vagal withdrawal* rappresenta dunque il primo stadio della risposta autonoma allo stress, una transizione rapida da uno stato di regolazione vagale verso uno stato di minore variabilità e maggiore attivazione cardiaca. È proprio in questo passaggio che si osserva la tipica riduzione degli indici *vagal-mediated HRV* (per esempio *rMSSD*, *HF*), che riflettono la scomparsa della modulazione parasimpatica *beat-to-beat*. La successiva attivazione simpatica, più lenta e graduale, costituisce un secondo livello della risposta, ma non è necessaria per spiegare l'immediato incremento della frequenza cardiaca.

Un ulteriore elemento che rende l'*HRV* un valido *proxy* della regolazione autonoma è la sua sensibilità alle condizioni psicologiche momentanee. L'anticipazione di un compito stressante, la ruminazione, la fatica cognitiva o l'iperfocalizzazione attentiva possono generare riduzioni rapide e misurabili della variabilità cardiaca, riflettendo l'attivazione di reti cerebrali implicate nella valutazione della minaccia e nel controllo esecutivo anche subcorticali e quindi non coscienti. L'*HRV* si configura così come una misura in grado di catturare gli aspetti transitori della risposta allo stress, rendendo possibile distinguere tra capacità regolative stabili e oscillazioni legate allo stato mentale.

Nel complesso, considerare l'*HRV* come specchio della regolazione autonoma significa riconoscerne la natura multidimensionale, rappresentando allo stesso tempo una misura di tono vagale, di flessibilità del sistema autonomo, di efficienza del controllo prefrontale e di resilienza fisiologica allo stress. Questa prospettiva ne giustifica l'utilizzo crescente nella ricerca psicologica, clinica e sportiva, dove viene impiegata non solo come indicatore descrittivo, ma anche come strumento predittivo della qualità dell'adattamento e dell'efficacia degli interventi mente–corpo.

3.6.1 Modelli teorici della regolazione mente–corpo attraverso la *HRV*

L'interpretazione della variabilità della frequenza cardiaca come indicatore della regolazione psicofisiologica non può prescindere dai modelli teorici che ne spieghino i meccanismi sottostanti. Nel corso degli ultimi anni, prospettive provenienti dalle

neuroscienze, dalla fisiologia e dalla psicologia hanno delineato un quadro concettuale articolato, nel quale l'*HRV* rappresenta l'espressione periferica della qualità delle interazioni tra cervello, corpo ed emozione. Questi modelli non solo chiariscono il significato funzionale della *HRV*, ma forniscono una cornice esplicativa di come e perché gli interventi mente–corpo siano in grado di modificarla.

- *Neurovisceral Integration Model*

Il modello teorico che ha maggiormente influenzato l'interpretazione contemporanea della *HRV* è il *Neurovisceral Integration Model (NIM)*, secondo il quale la variabilità mediata dal vago costituisce un indice periferico dell'efficienza funzionale del *Central Autonomic Network (CAN)*. Il *CAN* rappresenta un sistema integrato di controllo neurale che include strutture corticali e sottocorticali quali la corteccia prefrontale ventromediale (*vmPFC*), la corteccia cingolata anteriore (*ACC*), l'insula anteriore, l'amigdala, l'ipotalamo, il nucleo del tratto solitario (*NTS*), il nucleo ambiguo (*NA*) e il nucleo motore dorsale del vago (*DMNV*). Queste strutture operano in modo coordinato per modulare l'*output* autonomico, integrando segnali interocettivi, valutazioni cognitive della minaccia e processi esecutivi di controllo.

Nella formulazione originaria del modello, l'*HRV* vagale (*vmHRV*) rappresenta un *marker* della capacità della *vmPFC* di esercitare un controllo inibitorio tonico e fasico sulle strutture limbiche, in particolare sull'amigdala, riducendone la reattività alle informazioni avversive e modulando la transizione tra stati di allerta e stati di regolazione. Un'elevata *HRV*, in questa prospettiva, indica un sistema prefrontale in grado di orchestrare in modo efficiente le risposte autonome attraverso proiezioni discendenti verso i nuclei vagali del tronco encefalico, potenziando la modulazione parasimpatica cardiaca.

Interventi mente corpo si collocano pienamente entro questa cornice teorica, poiché incidono su tre componenti centrali del modello:

- Modulano la reattività limbica, riducendo dell'*output* amigdaloideo in risposta a stimoli emotivi o interocettivi potenzialmente minacciosi;
- Potenziano la consapevolezza interocettiva, aumentando la capacità di mediazione dall'attivazione dell'insula anteriore e dalla maggiore precisione predittiva dei segnali corporei;

- Aumentano la connettività funzionale tra *vmPFC*, *ACC* e nuclei vagali, i quali rappresenta il meccanismo neurofisiologico diretto attraverso cui gli interventi regolativi modificano l'*HRV*.

La letteratura presente in materia attraverso studi di *neuroimaging* mostra infatti che interventi mente corpo come Mindfulness e respirazione consapevole, aumentano la connettività *vmPFC*–amigdala e *vmPFC*–insula, facilitando un controllo *top–down* più efficiente sull'*arousal* autonomico. Questo incremento dell'efficienza regolativa si traduce fisiologicamente in una maggiore modulazione vagale cardiaca, visibile attraverso aumenti in *rMSSD* e nella potenza *HF*, e in una capacità più rapida di ripristinare i livelli basali dopo un compito stressante, quello che viene definito nel modello delle *3R* come la fase di *recovery HRV*.

All'interno del quadro concettuale del *NIM*, gli effetti degli interventi mente–corpo sulla *HRV* non sono dunque interpretati come semplici modificazioni periferiche del ritmo cardiaco, ma come manifestazioni periferiche di una riorganizzazione centrale delle reti neurali deputate al controllo dell'*arousal*, della regolazione emotiva e dell'attenzione. L'incremento della *HRV* vagale costituisce, in questa prospettiva, il correlato fisiologico di un miglioramento della regolazione esecutiva *top–down*, della capacità di inibizione limbica e della stabilità del monitoraggio interocettivo.

- *Polyvagal Theory*

La *Polyvagal Theory* proposta da Porges offre un modello neuroevolutivo della regolazione autonoma invece centrato sulla differenziazione funzionale delle vie vagali.

Il modello identifica come detto tre circuiti filogeneticamente distinti:

- La via vagale ventrale mielinizzata (originata nel nucleo ambiguo): responsabile della modulazione rapida dell'*arousal* e dei comportamenti di ingaggio sociale;
- Il sistema simpatico: deputato alla mobilitazione attiva;
- La via vagale dorsale non mielinizzata (proveniente dal *DMNV*): associata a risposte di immobilizzazione o *shutdown* in condizioni di minaccia estrema.

L'*HRV*, in particolare gli indici *HF* e *rMSSD*, riflettono il funzionamento della via vagale ventrale mielinizzata, poiché questa è responsabile della modulazione rapida del nodo

senoatriale. In questa prospettiva, una *HRV* elevata indica un sistema neurobiologico in cui l'organismo può mantenere stati di calma attivata, condizione che consente comportamenti esplorativi, comunicazione efficace e regolazione emotiva fine, senza cadere in modalità difensive.

Secondo questa prospettiva gli interventi mente–corpo incidono sull'*HRV* perché modulano in modo selettivo proprio la via vagale ventrale agendo sulla *neuroception*. Questo concetto è stato introdotto dallo stesso Porges all'interno della *Polyvagal Theory* per descrivere un processo neurofisiologico distinto sia dalla percezione consapevole sia dalle forme deliberate di valutazione cognitiva. Con questo termine, Porges intende la capacità del sistema nervoso di rilevare automaticamente e in modo del tutto inconscio la presenza di segnali di sicurezza o minaccia provenienti dall'ambiente esterno, dal corpo e dalle interazioni sociali.

Si tratta di un meccanismo rapido, subcorticale e privo di mediazione cognitiva, che si attiva attraverso circuiti sensoriali e viscerali altamente specializzati. La sua funzione è garantire che l'organismo possa modulare in modo immediato e flessibile l'assetto autonomico più adeguato alle condizioni circostanti, selezionando senza consapevolezza quale risposta fisiologica attivare l'ingaggio sociale mediato dal vago ventrale, la mobilitazione simpatica tipica dell'attacco–fuga, oppure la risposta di immobilizzazione difensiva associata al complesso dorsovagale.

Nel modello polivagale, la *neuroception* rappresenta quindi il primo anello della catena regolatoria, una sorta di sistema di scansione continua che valuta la valenza degli stimoli prima che essi raggiungano i livelli superiori di elaborazione cosciente. Le informazioni così acquisite orientano l'attività del *CAN* e organizzano la risposta fisiologica coerente con il contesto. Una *neuroception* tarata verso la minaccia porta a un'attivazione preferenziale dei circuiti difensivi, con incremento del tono simpatico, inibizione del vago ventrale e potenziale reclutamento del circuito dorsovagale in condizioni estreme.

Al contrario, una *neuroception* che rileva segnali di sicurezza consente l'espressione delle funzioni omeostatiche di calma attiva, regolazione emotiva, comunicazione sociale e maggiore flessibilità fisiologica, tutte mediate dall'attività del vago ventrale. Sul piano neurale, ciò avviene mediante una riduzione dell'attività amigdaloidea, un aumento della

connettività tra insula anteriore e *NA* (che controlla la via vagale mielinizzata) e una maggiore sincronizzazione dei segnali vagali con il ritmo respiratorio.

L'effetto prodotto dunque degli interventi terapeutici è quello di riequilibrare il bilanciamento tra le tre vie identificate da Porges, facendo in modo che la via ventrale venga disinibita, mentre la via simpatica e quella dorsovagale risultino meno predominanti. Sul piano fisiologico, ciò si traduce in un aumento dell'attività vagale efferente responsabile della modulazione rapida del ciclo cardiaco. Sul piano neurofunzionale, le tecniche che evocano sicurezza producono una riduzione dell'attività dell'amigdala e un incremento della connettività funzionale tra insula anteriore, corteccia prefrontale mediale e nucleo ambiguo, facilitando una regolazione più fine del ritmo cardiovascolare.

Il miglioramento dell'*HRV* osservabile successivamente deriva quindi dall'attivazione stabile del *vagal brake*, ovvero del meccanismo ventrale che consente di modulare rapidamente l'*arousal* e di ristabilire uno stato di calma vigile, adattato al contesto. L'aumento degli indici *HRV* vagali, come *rMSSD* e potenza *HF*, sarebbe dunque la manifestazione periferica di una condizione centrale di sicurezza e ingaggio sociale, più che un semplice indice di rilassamento. La coerenza respiratoria, spesso indotta da tecniche di respirazione lenta, opera in questa cornice come un amplificatore di segnali interocettivi di sicurezza, poiché sincronizza il ritmo vagale con il ciclo respiratorio e favorisce una *neuroception* più stabile.

In questo senso, secondo Porges, la modulazione dell'*HRV* attraverso manovre terapeutiche diventa una finestra fisiologica su un processo più profondo, a opera di un'attivazione del circuito *ventral-vagal* come fondamento neurobiologico della regolazione emotiva, della connessione sociale e della capacità dell'organismo di sospendere le risposte difensive in favore di stati più adattivi.

- *Resonance Frequency Model*

Il *Resonance Frequency Model* di Lehrer fornisce un approccio fisiologico diretto alla modulazione dell'*HRV*, basato essenzialmente sulla dinamica oscillatoria del sistema cardiorespiratorio. Secondo questo modello, esiste una frequenza respiratoria, tipicamente intorno a 0.1 *Hz*, in cui le oscillazioni generate dal respiro, la risposta baroriflessa e la

modulazione vagale cardiaca entrano in risonanza, producendo un picco massimale della variabilità. La respirazione a frequenza di risonanza amplifica le oscillazioni di pressione arteriosa, potenzia il baroriflesso attraverso un aumento della sua sensibilità (*baroreflex sensitivity, BRS*), e sincronizza l'attività vagale efferente sui cicli respiratori. Ne deriva un incremento simultaneo della potenza *LF* e *HF*, con un *pattern* sinusoidale molto marcato della *HRV* che riflette un'efficienza regolativa ottimale.

Gli interventi mente–corpo, che modulano direttamente il respiro, incidono sulla *HRV* proprio attraverso questi meccanismi come respirazione lenta diaframmatica, *HRV-biofeedback* e diverse pratiche di *Mindfulness* agirebbero producendo:

- Aumento della sensibilità baroriflessa, rendendo più efficiente il *feedback* cardiovascolare;
- Maggiore sincronizzazione cardiorespiratoria, amplificando la *RSA*;
- Incremento dell'attività vagale efferente, per effetto della stimolazione fasi-specifica dell'espiazione;
- Riduzione dell'*arousal* simpatico, tramite *downregulation* riflessa dei circuiti noradrenergici.

L'aumento marcato della *HRV* osservato durante o dopo tali pratiche non sarebbe dunque in questo modello un fenomeno psicologico, ma un risultato meccanicistico prevedibile, legato a una configurazione fisiologica ottimale del circuito baroriflesso–vago.

- *Psicofisiological Coherence*

Il modello della *Psicofisiological Coherence* proposto da McCraty estende l'interpretazione della *HRV* oltre la modulazione vagale, sottolineando l'importanza della sincronizzazione multisistemica tra cuore, respiro e oscillazioni pressorie. In stati di coerenza fisiologica, l'*HRV* assume una forma sinusoidale stabile e regolare, indicativa di un *pattern* oscillatorio altamente organizzato che massimizza l'efficienza dei processi regolativi. Questa coerenza emerge quando l'attività vagale è elevata, la respirazione assume una frequenza regolare e lenta, il baroriflesso funziona in regime di alta sensibilità e le oscillazioni pressorie e cardiache sono in fase. Per cui in questo modello una prima forma di regolazione dell'*HRV* è da ricercare in una modulazione *bottom–up* dell'*arousal* attraverso la respirazione.

Oltre la quale però si aggiunge anche una componente *top-down*, la quale emerge dall'induzione di stati emotivi positivi che poi influiscono sulla corteccia prefrontale e sulla dinamica autonoma. Nel modello della *Psychophysiological Coherence*, infatti gli stati emotivi positivi non sono considerati il prodotto di un'elaborazione cognitiva di ordine superiore, ma il risultato emergente di una regolazione integrata tra corpo, sistema autonomo e *network* limbico-prefrontale.

Tali stati possono essere generati attraverso tre vie complementari.

- Via somatica: basata sulla modulazione respiratoria e posturale che riduce l'*arousal* e crea una *neuroception* di sicurezza;
- Via interocettiva: in cui il *pattern* coerente dell'*HRV* esercita un'influenza diretta sulle strutture limbiche attraverso le afferenze vagali, inducendo spontaneamente sensazioni di calma, apprezzamento;
- Via cognitivo-affettiva: in cui il richiamo intenzionale di emozioni positive attiva i circuiti prefrontali e inibisce l'attività amigdaloidea.

È dunque l'integrazione di queste tre vie che produce uno stato fisiologico ed emotivo altamente organizzato, caratterizzato da stabilizzazione limbica, incremento dell'efferenza vagale e sincronizzazione multisistemica, che costituisce il nucleo operativo della coerenza psicofisiologica. A livello corticale possiamo aggiungere che questi stati affettivi quali calma, apprezzamento o gratitudine riducono l'attività dell'amigdala e stabilizzano l'elaborazione limbica, diminuendo la variabilità caotica che il sistema limbico trasmette ai centri autonomi del tronco encefalico.

Tale riduzione dell'*arousal* limbico permette un più efficace ingaggio della corteccia prefrontale ventromediale, che ristabilisce un controllo inibitorio sui circuiti difensivi e modula in modo più efficiente l'attività del nucleo ambiguo e del nucleo del tratto solitario. Il risultato è un potenziamento dell'efferenza vagale e una maggiore sincronizzazione tra le oscillazioni cardiovascolari, respiratorie e baroriflessogene. Dunque in questo modello la coerenza fisiologica non deriva unicamente da meccanismi *bottom-up* indotti dal respiro, ma da una regolazione integrata in cui la modulazione emotiva e prefrontale produce un allineamento multisistemico che si manifesta perifericamente nella caratteristica oscillazione sinusoidale dell'*HRV* attorno a 0.1 Hz.

Il risultato è un incremento simultaneo di *HF*, *rMSSD* e potenza *LF* organizzata in *pattern* oscillatori altamente sincronizzati, che indica una regolazione autonoma ottimale e una riduzione del carico allostatico.

- *Vagal Tank Theory*

La *Vagal Tank Theory* (Laborde et al., 2018) propone una lettura dinamica e funzionale dell'attività vagale, interpretandola come una sorta di riserva regolativa continuamente modulata dall'interazione tra richieste ambientali e capacità autoregolative dell'organismo. In tale prospettiva, l'*HRV* non rappresenta più un semplice indice statico di tono vagale, bensì un indice che si compone di tre parti diverse, che si manifestano in tre fasi diverse e che fanno emergere funzioni diverse. Parliamo di uno stato di riposo (*resting vagal activity*), uno stato di attivazione in risposta a *stressor* (*vagal reactivity*) e uno stato di recupero post attivazione (*vagal recovery*).

La prima funzione (*Resting HRV*) è quella che emerge in una condizione di riposo, dove un'elevata attività vagale indica un sistema neurocardiaco efficiente, caratterizzato da flessibilità attentiva, integrità del network prefrontale e buona capacità di regolazione emotiva. Questa prima funzione riflette la qualità del tono vagale in condizioni neutrali, ovvero l'equilibrio autonomico in assenza di richieste specifiche. Tale parametro non rappresenta uno stato di rilassamento passivo, ma il risultato dell'interazione ottimale tra corteccia prefrontale, insula, ACC e nuclei vagali del tronco encefalico. Sul piano allostatico, un tono vagale basale elevato riflette un sistema con risorse regolative disponibili, una sorta di *baseline* di resilienza fisiologica, che permette risposte proporzionate allo stress e un recupero più rapido

La seconda funzione (*Vagal Reactivity*) è quella che emerge durante l'esposizione a uno *stressor*, dove si verifica un *vagal withdrawal* fisiologico, ovvero una riduzione temporanea del controllo vagale sul nodo senoatriale, necessaria per mobilitare risorse metaboliche e comportamentali. In cui non è la quantità assoluta di ritiro vagale a definire la funzionalità del sistema, bensì la sua adeguatezza rispetto al compito, per cui risposte ipo o iper-reattive sono tipiche di condizioni di stress cronico, rigidità autonoma o scarso controllo esecutivo. La riduzione della *HRV* durante lo stress non è dunque un segnale negativo, bensì un indice di adattamento funzionale, purché sia come detto proporzionata

alla richiesta, temporalmente adeguata e seguita da un ripristino efficiente. Due profili disfunzionali caratterizzano individui con regolazione compromessa. Un primo profilo caratterizzato da una reattività attenuata, che presenta difficoltà ad attivare l'*arousal* appropriato, dato che indica rigidità autonoma e inefficienza dei circuiti prefrontali. È un secondo profilo caratterizzato da una reattività eccessiva, che presenta una caduta marcata e prolungata della *HRV*, dato che segnala un *iper-arousal*, ipervigilanza e vulnerabilità limbica. L'analisi di questa seconda funzione è quindi un indicatore chiave della capacità di mobilitare risorse cognitive ed emotive in modo efficiente.

La terza funzione (*Vagal Recovery*) emerge al termine dello *stressor*, indicando la rapidità con cui l'attività vagale viene ristabilita, elemento che rappresenta un marcatore di resilienza fisiologica, collegato tanto alla capacità di chiudere la risposta allo stress quanto alla prontezza di affrontare una nuova richiesta. La fase di recupero costituisce il momento più informativo del ciclo regolativo. Una volta cessata la richiesta, un sistema autonomo efficiente mostra una rapida risalita della *HRV* verso i livelli basali.

Tale processo riflette il ripristino del controllo inibitorio corticale, la riduzione dell'attività amigdaloidea, la riattivazione vagale efferente attraverso *NA* e *DMNV* e un recupero metabolico e cognitivo. Un recupero lento, incompleto o disorganizzato è considerato un marcatore di carico allostatico elevato, tipico di condizioni quali stress cronico, ansia generalizzata, *burnout*, privazione di sonno o sovrallenamento. Dal punto di vista predittivo, la *recovery HRV* è uno dei migliori indicatori della resilienza psicofisiologica, individui con un rapido recupero autonomo mostrano migliori performance cognitive, migliore regolazione emotiva e minore vulnerabilità agli effetti negativi del carico mentale.

L'interpretazione integrata dunque delle tre fasi consente di collocare l'*HRV* in una cornice allostatica chiara. L'allostasi infatti richiede tre capacità fondamentali, la disponibilità di risorse regolative (*resting HRV*), la capacità di mobilitarle in risposta a una sfida (*reactivity HRV*) e la capacità di ripristinare l'equilibrio senza accumulo di carico (*recovery HRV*).

All'interno di questo quadro teorico gli interventi mente corpo si collocano perfettamente, poiché agiscono simultaneamente su tutte e tre le componenti. Tali cambiamenti sembrano mediati da una maggiore sensibilità baroriflessa, da un più fine equilibrio simpato-vagale e

da un incremento del *coupling* interocettivo, come mostrato dagli studi sulla *resonance frequency breathing* (Lehrer et al., 2000; Vaschillo et al., 2006). In particolare ci si aspetta che essi:

- Aumentino la *resting HRV* con un miglior controllo prefrontale e riduzione del rumore limbico);
- Calibrino la reattività, ottimizzando l'attivazione durante la sfida;
- Accelerino la *recovery*, migliorando l'efficienza vagale e baroriflessa.

In generale dunque nonostante le differenze concettuali tra i principali modelli teorici qui proposti, esiste una convergenza sostanziale per cui l'*HRV* riflette la capacità dell'organismo di modulare in modo flessibile l'*arousal* e la risposta allo stress.

3.6 *HRV, flessibilità vagale e adattamento psicofisiologico*

Al di là delle differenze teoriche e concettuali, è necessario sottolineare che esiste un accordo sulla nozione di flessibilità vagale all'interno delle diverse teorie e di come questo concetto si è affermato come cardine per interpretare il significato funzionale della *HRV*. L'espressione non si riferisce semplicemente al livello assoluto dell'attività parasimpatica, ma alla capacità dinamica del sistema vagale di modulare l'*arousal* in modo rapido, contestuale e reversibile. In questo senso, l'*HRV* non rappresenta un indice di calma in senso statico, bensì un marcatore della capacità dell'organismo di passare, con efficienza, da stati di attivazione a stati di recupero e viceversa, preservando l'omeostasi interna in condizioni di variabilità ambientale.

La componente di flessibilità vagale riflette principalmente l'integrità della modulazione parasimpatica rapida esercitata dal nervo vago attraverso il nucleo ambiguo, e dipende dall'interazione funzionale tra corteccia prefrontale mediale, insula anteriore, corteccia cingolata anteriore e nuclei del tronco encefalico. La sua espressione periferica è osservabile tramite parametri come *rMSSD*, *HF* e indici non lineari che riflettono la complessità dinamica della serie *RR*. In condizioni ottimali, il sistema autonomo presenta oscillazioni cardiache ampie e differenziate, un pattern che indica una regolazione discendente efficace e un'elevata capacità predittiva dei circuiti interocettivi.

Dal punto di vista neurofunzionale, individui con *HRV* vagale elevata mostrano una connettività più robusta tra *vmPFC* e amigdala, una maggiore sensibilità interolettiva nell'insula e una modulazione più efficiente del baroriflesso, contribuendo a un rapido aggiustamento dell'arousal in risposta alle richieste ambientali. In altre parole, un soggetto con alta flessibilità vagale non solo risponde allo stress in modo efficace, ma recupera rapidamente e in modo stabile, evitando la persistenza di un'attivazione autonoma residua.

La flessibilità vagale rappresenta dunque uno snodo centrale per interpretare la resilienza psicofisiologica. La sua funzione non è quella di ridurre l'*arousal* indiscriminatamente, ma di renderlo regolabile, proporzionato e temporalmente calibrato. In termini allostatici, un sistema con elevata flessibilità vagale è in grado di anticipare le richieste, modulare la risposta autonoma in modo specifico al contesto e ripristinare l'equilibrio senza accumulare carico fisiologico inutile. Al contrario, livelli ridotti di flessibilità vagale si associano a rigidità regolativa, labilità emotiva, peggioramento del recupero post-stress e maggiore rischio di disregolazione affettiva.

In questo quadro, l'*HRV* può essere considerata uno dei biomarcatori più sensibili dell'adattamento psicofisiologico. Non misura soltanto il tono vagale di base, ma la capacità del sistema di modulare tale tono in modo efficiente. L'analisi integrata delle tre componenti secondo il modello delle *3R*, consente di valutare la qualità dell'intero ciclo regolativo e di identificare profili specifici come per esempio soggetti con buona vagalità basale ma scarsa reattività, individui con reattività eccessiva e recupero lento, oppure soggetti con regolazione complessiva altamente efficiente, caratterizzati da una riduzione vagale funzionale durante lo stress e una rapida risalita in fase di recupero.

La flessibilità vagale è anche un predittore affidabile della risposta agli interventi mente-corpo. Tali tecniche agiscono infatti su più dimensioni, aumentando il tono vagale basale, migliorando la capacità del sistema di modulare l'*arousal* in condizioni di sfida e accelerando i processi di recupero autonomo dopo lo stress. Questi cambiamenti, osservabili nell'aumento immediato o differito di *rMSSD*, *HF* e indici non lineari di complessità, riflettono un potenziamento della regolazione discendente del *CAN* e una riduzione della dominanza limbica nei processi di risposta allo stress.

Nel complesso, flessibilità vagale, *HRV* e adattamento psicofisiologico formano un triangolo concettuale inscindibile in cui l'*HRV* rappresenta la misura, la flessibilità vagale il meccanismo e l'adattamento psicofisiologico l'esito. È questa integrazione che rende la variabilità cardiaca uno strumento privilegiato per comprendere l'interazione tra processi cognitivi, emotivi e autonomici, e per valutare l'efficacia di interventi orientati al miglioramento della regolazione dello stress e della resilienza.

3.7 *HRV e stress*

La relazione tra *HRV* e stress rappresenta una delle aree più consolidate della psicofisiologia contemporanea, ed è centrale per comprendere perché questo indice sia oggi considerato un biomarcatore trasversale della vulnerabilità allo stress e della qualità della regolazione emotiva ed esecutiva. Numerose evidenze convergono nel mostrare che l'*HRV*, in particolare gli indici *rMSSD*, *HF* riflettono il grado di integrazione funzionale tra i circuiti limbici, le reti esecutive e le strutture autonome del tronco encefalico, rendendola un indicatore altamente sensibile alle alterazioni indotte dallo stress (Lehrer et al., 2014)

3.8 *HRV e ansia*

La letteratura mostra in modo consistente che livelli ridotti di *HRV* sono associati a punteggi elevati di ansia di stato e tratto, maggiore reattività emotiva a stimoli avversivi e maggiore uso di strategie di coping disfunzionali (Lehrer et al., 2014). Dal punto di vista neurofunzionale, individui con bassa *HRV* mostrano una maggiore reattività amigdaloidea e una minore connettività funzionale tra *vmPFC* e amigdala, indicando una compromissione del controllo inibitorio *top-down*. Ciò rende il sistema più incline alla *iper-arousal*, alla labilità emotiva e alla difficoltà nel modulare risposte automatiche di allarme. In questa prospettiva, la bassa *HRV* non è un semplice correlato dell'ansia, ma un possibile meccanismo alla base della vulnerabilità alla risposta ansiosa. Una riduzione della modulazione vagale implica una minore capacità del sistema di interrompere rapidamente gli episodi di *arousal* e di ristabilire l'equilibrio autonomico, favorendo la persistenza di stati fisiologici di allerta che, a lungo termine, alimentano la ruminazione, l'*iper-vigilanza* e l'*anticipazione minacciosa*.

3.9 HRV e stress

La risposta allo stress acuto è caratterizzata da una sequenza fisiologica ben definita, un immediato *vagal withdrawal* che consente la mobilitazione simpatica necessaria per affrontare la sfida, seguito, nei sistemi ben regolati, da una rapida restaurazione del tono vagale in fase di *recovery*. La qualità di questa dinamica è oggi considerata uno dei più potenti indicatori della resilienza fisiologica. Individui con elevata flessibilità vagale mostrano una riduzione temporanea ma proporzionata della *HRV* sotto stress, seguita da un recupero rapido e completo. Al contrario, una reattività attenuata o un recupero lento costituiscono segnali di rigidità regolativa, sovraccarico allostatico o vulnerabilità allo stress cronico. La letteratura recente (Lehrer et al., 2014) mostra che l'*HRV* è estremamente sensibile agli *stressor* cognitivi, emotivi e sociali, e che alterazioni anche minime nello stato mentale producono variazioni immediate nella componente vagale della *HRV*. Questo rende la variabilità cardiaca un marcatore dinamico ideale per valutare l'impatto di interventi terapeutici brevi, come quelli esaminati nella presente tesi.

3.10 HRV e carico cognitivo

L'impegno cognitivo richiede un coordinamento efficiente tra le reti esecutive fronto-parietali e il sistema autonomico. Numerosi studi hanno dimostrato che compiti ad alta richiesta attentiva o decisionale, come lo *Stroop test*, lo *n-back test* o compiti di monitoraggio sostenuto, comportano una riduzione transitoria della *HRV* vagale. Tale fenomeno riflette l'aumento della richiesta di controllo esecutivo, che si traduce in una modulazione dell'attività parasimpatica attraverso il *CAN*.

In individui con elevata flessibilità regolativa, l'*HRV* diminuisce in modo funzionale durante il compito e ritorna rapidamente ai livelli basali. In individui con bassa flessibilità vagale, invece, si osservano due *pattern* disfunzionali:

- Eccessiva riduzione della *HRV*, che segnala un sovra-reclutamento delle risorse cognitive e un aumento della vulnerabilità allo stress;
- Riduzione attenuata, che indica rigidità regolativa e difficoltà ad attivare adeguatamente i meccanismi esecutivi necessari per il compito.

Questi *pattern* sono rilevanti non solo in ambito sperimentale, ma anche in contesti clinici e sportivi, dove compiti cognitivamente impegnativi rappresentano analoghi ecologici di situazioni competitive o stressanti.

3.11 *Un quadro integrato*

Considerando ansia, stress e carico cognitivo nella loro interazione dinamica, emerge una conclusione univoca, l'*HRV* costituisce un indice sintetico della capacità del sistema di mantenere stabilità all'interno del cambiamento, modulando in modo flessibile l'*arousal* sia in situazioni di minaccia che in compiti cognitivamente impegnativi. La variabilità vagale elevata non riflette la semplice assenza di stress, ma la capacità del sistema di affrontarlo e superarlo senza incorrere in disorganizzazione fisiologica o psicologica. Questa centralità rende l'*HRV* un biomarcatore ideale per valutare l'efficacia degli interventi mente-corpo. Tecniche come *Mindfulness*, respirazione lenta e *BWM-T* agiscono riducendo la reattività limbica, migliorando la connettività prefrontale e stabilizzando il recupero autonomico dopo la sfida, effetti che si manifestano direttamente nei parametri della *HRV*.

3.12 *Scelte operative per questa tesi*

L'adozione dell'*HRV* come indicatore psicofisiologico principale nei tre studi sperimentali che compongono questa tesi nasce da una scelta teorica e metodologica, profondamente radicata nei modelli contemporanei alla base degli interventi mente-corpo. L'*HRV* non è stata selezionata come semplice misura cardiovascolare, ma come detto nel corso di questo elaborato, come finestra privilegiata sui meccanismi dinamici di integrazione tra sistemi cognitivi, emotivi e autonomici. La logica che ha guidato tale scelta è coerente con i modelli discussi nelle sezioni precedenti, dal *Neurovisceral Integration Model* alla *Polyvagal Theory*, fino alla *Vagal Tank Theory*, secondo i quali l'oscillazione *R-R* mediata dal vago rappresenta la manifestazione periferica della qualità dei processi centrali di regolazione.

Dal punto di vista operativo, la scelta dell'*HRV* è stata guidata dall'esigenza di individuare un indicatore sensibile sia a lungo termine sia in acuto. Gli interventi attuati nei tre studi hanno previsto infatti una singola sessione di *BWM-T*, breve induzione di *Mindfulness* e interventi psicoeducativi, rientrano nei paradigmi di modulazione psicofisiologica immediata e con effetti acuti, richiedendo dunque un biomarcatore in grado di cogliere variazioni rapide nella reattività autonoma. In questo senso, l'*HRV* è uno dei pochi indicatori in grado di mostrare modificazioni già nei minuti successivi all'intervento, consentendo di osservare la dinamica regolativa lungo l'intera sequenza *baseline*–stress–recupero.

Un ulteriore motivo che giustifica l'adozione dell'*HRV* è la possibilità di declinare la sua interpretazione secondo un approccio dinamico e non meramente statico. L'idea che una singola misurazione a riposo possa esaurire il significato funzionale della variabilità cardiaca è ampiamente superata. Per interpretare correttamente la regolazione autonoma è necessario analizzare almeno due momenti intervallati al loro intero da una variabile che produca un effetto. Nel corso dei tre esperimenti proposti si è dunque registrato il tono vagale basale con una *baseline* pre intervento, si è poi intervenuti con un compito stressante o un intervento in grado di generare una reattività dell'*HRV* in senso positivo o negativo, e poi si è monitorato il recupero vagale successivo con una finestra di recupero. Tale tripartizione, coerente con la proposta di Laborde, Mosley & Thayer, ha formato l'intero disegno dei tre studi. In questo modo è stato possibile osservare non solo se un intervento o un compito modificano il livello di vagalità, ma anche se modificano la qualità dell'adattamento autonomo, cioè la capacità del sistema di ridurre la vagalità durante la sfida e di recuperarla rapidamente una volta cessata la richiesta.

Questa prospettiva dinamica ha avuto un impatto diretto sulla selezione degli indici utilizzati. Tra le molte metriche disponibili, sono stati scelti diversi indici di *HRV* in tutti e tre gli studi, sia del dominio del tempo che delle frequenze. Questa scelta risponde a motivazioni sia fisiologiche sia metodologiche. L'*rMSSD* è stato incluso in quanto è la metrica più comunemente utilizzata per valutare gli effetti acuti di interventi mente–corpo, ed è ampiamente validata come indice di vagalità anche in protocolli a finestra temporale ridotta. Le sue proprietà statistiche, una distribuzione più stabile, minore suscettibilità alla

variabilità intra battito, lo rendono particolarmente adatto a studi in cui la respirazione non è guidata e deve essere mantenuta spontanea per ragioni di ecologia del setting.

SDNN e *pNN50* sono stati inclusi come misure complementari della variabilità globale e della variabilità vagale a breve termine, con funzione prevalentemente descrittiva e di attivazione fisiologica indifferenziata. La loro presenza ha permesso di osservare se la struttura più ampia della variabilità *R-R* mostrasse *pattern* coerenti con quelli della *rMSSD* o se emergessero divergenze indicative di artefatti, di rumore fisiologico o di fenomeni regolativi di altro tipo.

Si è scelto di prendere in considerazione anche il ruolo delle bande spettrali *LF*, *HF*, *VLF* e il rapporto *LF/HF*. Anche in questo caso, si è deciso di seguire le indicazioni della *Task Force*. Nonostante infatti le limitazioni accennate in precedenza, in mancanza di risultati chiari e definitivi in materia, le indicazioni proposte nella *Task Force*, rimangono le uniche empiricamente accettate.

Non sono stati utilizzati indici non lineari, come *DFA*, $\alpha 1$ o le entropie, sia perché non sono presenti allo stato attuale in letteratura studi originali che li hanno messi in correlazione con interventi di natura psicologica, sia perché le finestre temporali di 5 minuti utilizzate negli studi non costituiscono la condizione ottimale per una stima stabile delle proprietà frattali del segnale. La decisione di non includere tali indici rispecchia un approccio metodologico prudente, centrato sulla qualità dei dati disponibili e sulla coerenza con le linee guida psicofisiologiche.

Le procedure di registrazione sono state progettate per minimizzare i fattori di confondimento e garantire uniformità tra studi. Tutte le misurazioni sono state effettuate in posizione seduta, in stanze silenziose e con parametri ambientali costanti, per evitare variazioni dell'attività vagale legate a temperatura, rumore o interferenze esterne.

Ai soggetti coinvolti è stato richiesto di evitare o limitare il più possibile il consumo di sostanze psicotrope come caffeina, tabacco o attività particolarmente attivanti nelle ore prima dell'esperimento e nelle parentesi temporali dei *follow-up*. Le sessioni sono state condotte nelle stesse fasce orarie, in modo da evitare gli importanti effetti circadiani che modulano naturalmente la vagalità.

La respirazione spontanea è stata mantenuta ma monitorata indirettamente, evitando qualsiasi forma di ritmo imposto che avrebbe alterato la potenza *HF*. L'uso di sensori *ECG* ad alta precisione, come il *Polar H10* o il *Biograph Infiniti*, ha permesso una rilevazione accurata degli intervalli *R-R*, riducendo al minimo la presenza di artefatti. L'analisi del segnale è stata effettuata in *Kubios HRV Premium, gold standard* internazionale, utilizzando gli stessi parametri di correzione, filtraggio e decomposizione spettrale in tutti gli studi, così da garantire omogeneità delle misure e comparabilità tra i *dataset*. Inoltre tutte le analisi sono state fatte con la trasformazione logaritmica degli indici.

Infine, la scelta di integrare l'*HRV* con misure psicologiche quali l'ansia di stato, il *distress* percepito, il senso di autoefficacia e le disponibilità di strategie di coping, risponde alla volontà di adottare un approccio realmente biopsicosociale. L'interazione tra indici autonomici e indicatori psicologici soggettivi ha permesso di distinguere gli interventi che producono un effetto prevalentemente psicologico da quelli che modulano più direttamente i meccanismi fisiologici della regolazione. Questo è evidente, per esempio, nel confronto tra gli studi tra una breve induzione di *Mindfulness* e quelli sul *BWM-T*, in quanto nello studio che verrà presentato, emergono dati che sembrano confermare che una breve induzione di *Mindfulness* tenda a modulare in modo più marcato gli indici soggettivi di benessere, probabilmente operando su meccanismi maggiormente *top-down*, mentre la *BWM-T* mostra un impatto più specifico su alcuni parametri autonomici, riflettendo la diversa natura dei processi coinvolti e un'azione su meccanismi maggiormente ibridi con componenti anche *bottom-up*.

In conclusione, le scelte operative adottate in questa tesi non sono il risultato di un protocollo imposto a priori, ma l'esito di un processo di integrazione tra teoria, metodologia e dati empirici. L'*HRV* è stata analizzata nella sua dimensione più utile e coerente con gli interventi studiati, utilizzando gli indici che i dati hanno effettivamente permesso di interpretare e applicando procedure rigorose che garantiscono validità interna, riproducibilità e aderenza ai modelli psicofisiologici contemporanei.

3.12.1 Indici utilizzati

La selezione degli indici riflette ciò che è stato analizzato nei tre studi e ciò che risulta

coerente con il razionale teorico e sperimentale. Per ogni indice verranno presentate le ragioni per cui si è deciso di includerlo nelle ricerche.

rMSSD

È l'indice principale utilizzato in tutti e tre gli studi ed è stato scelto in quanto:

- Rappresenta il *gold standard* per misurare la *vagally mediated HRV* su registrazioni brevi;
- È stabile e poco influenzato dalla respirazione spontanea;
- È l'indice più sensibile ai cambiamenti acuti indotti da interventi mente–corpo
- È coerente con i modelli *NIM* e *Vagal Tank Theory* come *marker* della regolazione prefrontale.

SDNN

È stato incluso come misura di variabilità globale in quanto:

- Fornisce un quadro integrato della complessità autonoma in finestre brevi;
- Offre un indicatore dell'attivazione autonoma complessiva;
- È utilizzato da *Kubios* come indici base per l'analisi di più bande spettrali;
- Permette un confronto multilivello con la *rMSSD*.

pNN50

Utilizzato come ulteriore indicatore vagale complementare. È stato incluso perché:

- Permette di verificare la coerenza delle variazioni rapide del sistema parasimpatico;
- È utile per controllare che i cambiamenti non siano artefatti della serie *R-R*.

HF

È stato calcolato perché parte integrante della decomposizione spettrale in quanto:

- Riflette l'ampiezza della *RSA* e quindi la modulazione vagale;
- Consente confronti con studi precedenti sulla *mindfulness* e sul *biofeedback*.

LF

Incluso come indice descrittivo delle oscillazioni lente del sistema autonomo, per le seguenti ragioni:

- Rappresenta un *marker* sensibile dell'attività baroriflessa e dell'interazione tra componenti vagali lente ed elementi emodinamici;

- Pur non essendo interpretabile come indice specifico dell'attività simpatica, fornisce informazioni utili sulla regolazione autonoma a medio periodo.
- Permette di integrare la lettura della *rMSSD* e della *HF* attraverso un'analisi multilivello del segnale.
- È utilizzato nei report standardizzati di *Kubios HRV*, facilitando confronto e replicabilità metodologica.

LF/HF

Incluso come indice spettrale complementare, interpretato con cautela, per le seguenti motivazioni:

- È tradizionalmente riportato nei report standard di *Kubios* e permette comparabilità con la letteratura storica;
- È stato utilizzato non come indice del “bilanciamento simpato–vagale, ma come misura secondaria utile a descrivere cambiamenti globali nelle bande di frequenza;
- La sua inclusione consente di verificare eventuali modificazioni aspecifiche dell'attività spettrale che non emergono da *rMSSD* e *HF*;
- La sua interpretazione è sempre stata contestualizzata alla luce degli altri indici e dei modelli contemporanei che ne mettono in discussione il valore come *proxy* autonomico puro.

VLF

Incluso ma per monitorare eventuali modificazioni a medio termine e caratterizzare l'andamento spettrale complessivo.

3.12.2 Integrazione con misure soggettive

L'impiego combinato di misure fisiologiche (*HRV*) e psicologiche soggettive costituisce un elemento metodologico centrale nei tre studi, poiché consente di interpretare le variazioni autonome all'interno di un quadro di regolazione emotiva, percezione dello stress e capacità agentiche. In tutti gli studi sono state utilizzate misure di ansia di stato, mediante *State Trait Anxiety Inventory (STAI-Y1)*, *distress* percepito mediante *Distress Thermometer (DT)*, alle quali si sono aggiunte, nel secondo studio, la *General Self-Efficacy Scale (GSES)* per cogliere eventuali cambiamenti nei processi di autoefficacia rispetto lo studio, mentre nel terzo studio sugli atleti è stata inclusa la *Coping Inventory For Stressful Situations*

(*CISS-21*), che permette di valutare lo stile abituale di coping (*task-oriented, emotion-oriented, avoidance*).

L'integrazione tra *HRV* e misure soggettive risponde a tre obiettivi metodologici. Primo, garantire una validazione convergente dei risultati autonomici. Poiché l'*HRV* rappresenta un marcatore periferico della regolazione prefrontale e del bilanciamento vagale, la sua variazione deve essere letta congiuntamente ai cambiamenti percepiti nei livelli di ansia e *distress*, una riduzione dei punteggi nella *STAI-Y* e nel *DT*, associato a effetti di aumento del tono vagale.

Secondo, consentire una interpretazione funzionale del recupero autonomico, specialmente nello studio con compiti cognitivi acuti. Nel secondo studio, la *GSES* permette di verificare se la modulazione vagale degli interventi si accompagna a un miglioramento della percezione di efficacia personale, un elemento coerente con i modelli *NIM* e *Vagal Tank* che postulano un legame tra prefrontale, vagalità e capacità di autoregolazione. Nel terzo studio, la *CISS-21* aggiunge un livello interpretativo fondamentale, per cui lo stile di coping abituale modula la reattività fisiologica allo stress e può spiegare differenze interindividuali nella dinamica *HRV* (*resting-reactivity-recovery*), nella reattività allo *Stroop* e nell'efficacia dell'intervento respiratorio.

Terzo, permettere una lettura più completa dell'adattamento psicofisiologico, in quanto la relazione tra *HRV*, ansia percepita, *distress* e strategie di *coping* consente di comprendere se l'intervento migliora soltanto il profilo autonomico oppure modifica anche la rappresentazione soggettiva dello stress. La *CISS-21*, in particolare, permette di distinguere atleti con prevalenza di *coping* orientato al compito, che tendono a mostrare una reattività *HRV* più funzionale, da atleti con *coping* emotivo o evitante, generalmente associati a *vagal withdrawal* più marcato e recupero autonomico più lento.

Nel complesso, l'integrazione delle misure soggettive con gli indici *HRV* rende possibile un'interpretazione multistrato dei risultati dei tre studi, permettendo di legare i *pattern* fisiologici a dinamiche emotive, cognitive e comportamentali, e di comprendere meglio il ruolo dei processi di *coping* e delle credenze di autoefficacia nella modulazione dello stress acuto e nei percorsi di recupero.

CAPITOLO 4

LE TECNICHE MENTE-CORPO: TEORIA E MECCANISMI DI AZIONE

4.1 Evoluzione delle tecniche mente-corpo

Negli ultimi decenni, l'interesse scientifico verso le tecniche mente–corpo è cresciuto in modo significativo, parallelamente all'aumento dei disturbi stress-correlati e alla progressiva affermazione di modelli integrati di salute e performance (Taylor et al., 2010; Creswell et al., 2014). In ambito clinico, tali tecniche sono state introdotte come interventi complementari per la gestione dell'ansia, del *distress* e delle condizioni psicosomatiche, mentre in ambito sportivo e della *performance* esse sono state adottate come strategie per l'ottimizzazione dello stato psicofisiologico, la regolazione dell'attivazione e la stabilità attentiva sotto pressione (Gardner et al., 2007; Laborde et al., 2018).

Con l'espressione tecniche mente–corpo si identifica una famiglia di interventi che condividono una caratteristica strutturale ossia l'obiettivo di modificare intenzionalmente lo stato dell'organismo in modo da promuovere processi di autoregolazione e adattamento agendo su diversi livelli di funzionamento. Un primo livello esperienziale che si manifesta in attenzione, consapevolezza e rappresentazioni mentali. Un secondo livello comportamentale che si manifesta in postura, movimento e ritmo respiratorio e infine un terzo livello fisiologico che si esprime in attivazione autonoma e segnali interocettivi.

A differenza degli interventi esclusivamente psicologici, come per esempio quelli cognitivo–verbali o esclusivamente biologici come interventi farmacologici, le tecniche mente–corpo operano su un piano di interazione funzionale tra esperienza soggettiva e regolazione fisiologica. L'esperienza soggettiva cosciente intesa come attenzione, consapevolezza e qualità dell'esperienza interna, non viene considerata un semplice epifenomeno dei processi biologici, ma una variabile attiva in grado di modulare i sistemi regolatori coinvolti nella risposta allo stress.

Allo stesso tempo, il corpo non viene concepito esclusivamente come un *output* dei processi mentali, ma come un canale di ingresso attraverso cui segnali periferici e

interocettivi possono influenzare l'organizzazione dei processi centrali. In questa prospettiva, mente e corpo non sono né separati né gerarchicamente ordinati, ma reciprocamente interdipendenti all'interno di un sistema di regolazione dinamico. Un ulteriore elemento distintivo delle tecniche mente-corpo è che il loro obiettivo primario non è necessariamente l'eliminazione del sintomo nell'immediato, ma la modifica dei processi regolativi che rendono l'organismo più o meno capace di gestire richieste interne ed esterne. Tali pratiche hanno come obiettivo di allenare le capacità di autoregolazione e ricalibrazione dei sistemi psicofisiologici che, quando disfunzionali, producono sintomi.

All'interno del quadro allostatico precedentemente descritto, lo stress non coincide semplicemente con un livello elevato di attivazione. L'attivazione è spesso necessaria e adattiva in quanto permette prestazione, vigilanza, mobilitazione energetica e risposta rapida. Il problema emerge quando l'attivazione è mal regolata. Il concetto di allostasi descrive proprio la stabilità ottenuta attraverso il cambiamento in cui l'organismo si adatta continuamente modulando arousal, attenzione, energia e comportamento. Il costo della regolazione si accumula quando questo adattamento diventa inefficiente o cronicamente richiesto, generando carico allostatico.

In questa prospettiva, lo stress problematico può essere definito non tanto dalla presenza di attivazione, quanto da specifici pattern dinamici in cui la risposta allo stress si accende facilmente ma si spegne lentamente. Anche quando lo *stressor* è terminato, il sistema resta attivo, con difficoltà a tornare a uno stato di recupero. Assistiamo dunque a un sistema che perde flessibilità, che fatica a passare da riposo all'attivazione quando serve oppure resta bloccato in uno stato attivazione oltre quanto richiesto dalla situazione. Il punto chiave è in questi casi la perdita di elasticità nel cambiare configurazione e questa mancata elasticità va a compromettere la capacità di recupero in quanto il sistema riduce l'attivazione ma non è in grado di ripristinare risorse. Quando la regolazione richiede uno sforzo costante, i sistemi centrali e periferici che sostengono l'adattamento diventano più costosi da mantenere e meno efficienti.

Questa lettura dinamica spiega perché due persone con lo stesso picco di attivazione possano avere esiti diversi, in quanto ciò che conta è la qualità della curva ossia come si attiva, quanto dura, come recupera e non il solo valore massimo di attivazione raggiunto. Alla luce di quanto sopra, la rilevanza teorica delle mente-corpo sta nel fatto che mirano a

intervenire proprio su questi parametri dinamici. Non si limitano a calmare nel senso di abbassare l'arousal ma piuttosto, mirano a:

- Ridurre la persistenza dell'attivazione, facilitando una terminazione più rapida della risposta allo stress;
- Aumentare la flessibilità di stato, ossia la capacità di passare in modo appropriato tra attivazione e recupero;
- Potenziare il recupero, inteso come ritorno efficiente a condizioni che favoriscono ristoro e ripristino;
- Ridurre il carico cumulativo, rendendo meno frequenti o meno prolungate le configurazioni disfunzionali.

Da quanto detto emerge in modo nitido la differenza tra riduzione sintomatologica e regolazione, un intervento può ridurre un sintomo, per esempio abbassare l'ansia di stato senza modificare il pattern di regolazione, ma può anche accadere il contrario, cioè che un intervento inizi a migliorare la regolazione senza produrre immediatamente una riduzione drastica dei sintomi percepiti. In quest'ottica, la valutazione dell'efficacia deve considerare non solo quanto si riduca il sintomo, ma se cambia la dinamica regolativa alla sua base. In questo secondo caso la misura di indici neurofisiologici, come l'*HRV* diventa informativa e fondamentale in quanto non registra solamente il livello statico, ma il profilo temporale della regolazione. Se come detto alcune tecniche mente-corpo possono indurre una maggiore capacità di regolazione autonoma, in assenza di percezione immediata di riduzione del sintomo, allora è necessario introdurre indicatori come l'*HRV* che siano in grado di rintracciare tali modificazioni.

Nel contesto della presente tesi, l'attenzione è rivolta in modo particolare alla regolazione autonoma, considerata un nodo centrale nei processi di adattamento allo stress, inteso da Cozzolino come un processo complesso che coinvolge simultaneamente valutazioni cognitive, risposte emotive, attivazioni autonome e meccanismi di adattamento fisiologico (Cozzolino, 2016). Inoltre l'*HRV*, viene intesa come indice non invasivo dell'attività vagale e della flessibilità del sistema nervoso autonomo, rappresenta un ponte privilegiato tra le tecniche mente-corpo e i modelli di regolazione psicofisiologica (Thayer et al., 2009; Shaffer et al., 2017). Tuttavia, non tutte le tecniche sono teoricamente equivalenti rispetto alla loro capacità di influenzare l'*HRV*, né producono necessariamente

pattern autonomici sovrapponibili, soprattutto in relazione alla durata dell'intervento e al contesto applicativo (Laborde et al., 2018; Mosley et al., 2022).

Pertanto, un'analisi critica delle tecniche mente–corpo richiede di considerare non solo se producano effetti benefici, ma come e attraverso quali meccanismi tali effetti possano emergere. In questa prospettiva, il presente capitolo si propone di integrare le principali tecniche mente–corpo all'interno di un *framework* psicofisiologico coerente, ponendo le basi teoriche necessarie per interpretare i risultati empirici presentati nei capitoli successivi.

In questa cornice, è opportuno precisare che l'*HRV* non può essere interpretata come un equivalente diretto dell'attività vagale né come un indicatore univoco di benessere o rilassamento. L'*HRV* rappresenta un fenomeno emergente, influenzato da molteplici componenti fisiologiche e contestuali, tra cui il ritmo respiratorio, la postura, il livello di fatica, i ritmi circadiani e le differenze individuali nell'assetto autonomico di base. Ne consegue che un aumento dell'*HRV* non costituisce di per sé un obiettivo clinico o prestativo, ma acquisisce significato solo se interpretato in relazione alla fase della risposta allo stress, al tipo di intervento e alle condizioni di misurazione. Per questo motivo, nella presente tesi l'*HRV* viene utilizzata non come termometro statico di calma, ma come indicatore dinamico di flessibilità regolativa, con particolare attenzione alle componenti di reattività e recupero in presenza di richiesta o stressor.

4.2 Tecniche mente-corpo top-down, bottom-up e ibride

Sul piano della classificazione, parlare di tecniche mente–corpo come categoria unica è metodologicamente rischioso perché tecniche diverse entrano nel sistema regolativo da porte diverse e quindi possono produrre effetti fisiologici simili con vie differenti, oppure effetti diversi pur condividendo un'etichetta comune. Una cornice più utile è collocarle lungo un continuum funzionale che va da interventi prevalentemente cognitivo–attentivi come per esempio la *Mindfulness* o le meditazioni di *focused attention/open monitoring*, per arrivare a interventi prevalentemente somatico–fisiologici come per esempio la respirazione lenta guidata, rilassamento muscolare, *biofeedback*, *HRV biofeedback*, includendo forme ibride che combinano simultaneamente modulazione attentiva,

interocezione e ritmo fisiologico per esempio *Yoga* e *BWM-T*. Questa eterogeneità non è un dettaglio in quanto determina la temporalità degli effetti da acuti a consolidati, la sensibilità degli *outcome* tra fasi di riposo e di reattività/recupero ma anche l'interpretabilità dell'*HRV* in quanto basate più o meno su effetti meccanici legati al respiro o di adattamenti regolativi più stabili.

Nel contesto delle tecniche mente–corpo, la distinzione tra tecniche *top–down* e *bottom–up* è interpretabile come un artificio didattico, in quanto esso rappresenta una mappa funzionale dei punti di ingresso nei sistemi di regolazione psicofisiologica, la quale indica sostanzialmente da dove è possibile ipotizzare che l'intervento inizi a modificare il sistema partendo da processi centrali o segnali periferici, per poi stabilire attraverso quale catena causale ci si attende che la modulazione si propaghi dall'alto verso il basso o dal basso verso l'alto. Questo non significa che l'effetto resti confinato al livello iniziale, piuttosto significa che la tecnica ha un bersaglio primario e una traiettoria prevalente.

- *Tecniche top-down*

Mantenendo comunque per comodità descrittiva questa distinzione, nelle tecniche *top–down* l'ipotesi implicita è che la regolazione inizi prevalentemente a livello cognitivo e si traduca successivamente in cambiamenti fisiologici. Il bersaglio iniziale non è il corpo e le sue regolazioni dinamiche, ma il modo in cui l'individuo orienta e governa l'esperienza. In particolare, tali tecniche mirano a potenziare quattro famiglie di processi.

- 1) La regolazione attentiva ossia la capacità di stabilizzare l'attenzione su un oggetto, spostarla intenzionalmente e ridurre la dispersione attentiva. In condizioni di stress, l'attenzione tende a diventare più automatica, selettiva e reattiva e le tecniche *top–down* cercano di ripristinare controllo e flessibilità;
- 2) Il controllo inibitorio, inteso come la capacità di interrompere risposte impulsive o automatiche di tipo cognitivo, emotivo o comportamentali. È un nodo centrale perché lo stress amplifica pattern di risposta rapidi e rigidi;
- 3) Il decentramento e la metacognizione, processi che consentono di osservare pensieri e emozioni come eventi mentali, senza identificarvisi completamente. Questo riduce la probabilità che un contenuto mentale diventi comando fisiologico;
- 4) L'*appraisal* e il significato, intesi come rimodulazione del significato attribuito allo

stimolo. Poiché i sistemi di stress rispondono in larga parte alla valutazione di minaccia, l'*appraisal* è un punto di leva potente.

L'ipotesi alla base del funzionamento di queste tecniche è che una modifica su come il soggetto percepisce, interpreta e gestisce lo stimolo interno o esterno, comporti un cambiamento a cascata sull'attivazione emotiva, l'output autonomico e i pattern di recupero. In sostanza si ipotizza un primo effetto a livello centrale con successivo effetto sul corpo come conseguenza. Questo potrebbe spiegare perché alcune tecniche *top-down* possono produrre effetti psicologici evidenti come riduzione di ruminazione, ansia di stato, reattività emotiva senza generare, soprattutto in protocolli brevi, un cambiamento grande e stabile dell'*HRV* a riposo.

- *Tecniche bottom-up*

Nelle tecniche *bottom-up*, il punto di partenza è opposto, si interviene direttamente su parametri corporei che hanno un accesso privilegiato ai sistemi regolativi, sfruttando il fatto che il cervello riceve continuamente segnali che definiscono lo stato dell'organismo. Qui i processi coinvolti sono soprattutto tre.

- 1) Il ritmo respiratorio e il pattern ventilatorio, in quanto rallentare e regolarizzare il respiro modifica immediatamente la dinamica cardio-respiratoria e può favorire un aumento acuto della componente vagale dell'*HRV* attraverso *RSA* e baroriflesso. È un ingresso privilegiato perché il respiro è volontario ma allo stesso tempo collegato ai circuiti autonomici;
- 2) Il tono muscolare e il rilascio somatico, per ridurre la tensione periferica soprattutto in distretti tipicamente ipertonici sotto stress, abbassando segnali afferenti di prontezza difensiva e facilitando un passaggio verso il recupero;
- 3) La postura e il movimento, poiché movimenti lenti e controllati possono modulare arousal e interocezione, producendo una ricalibrazione progressiva dei sistemi di regolazione.

La logica *bottom-up* si basa dunque sull'ipotesi che modificando lo stato corporeo e i segnali interni che il cervello utilizza per stimare sicurezza/minaccia e disponibilità di risorse, allora è possibile cambiare la configurazione centrale nei processi legati a emozioni, attenzione e *appraisal* come conseguenza ascendente. Questo potrebbe spiegare

perché alcune tecniche *bottom-up* producono effetti acuti misurabili sull'*HRV* e sull'*arousal* anche dopo singole sessioni, pur richiedendo pratica ripetuta per trasformare l'effetto transitorio in adattamento stabile.

- *Tecniche ibride*

Nella pratica applicativa comunque molte tecniche mente-corpo non possono essere descritte come puramente *top-down* o puramente *bottom-up*, poiché combinano in modo simultaneo componenti di regolazione cognitivo-attentiva e componenti di modulazione somatica e interocettiva. Definire tali interventi come ibridi non significa soltanto riconoscere la presenza di più ingredienti, ma assumere che l'effetto emergente dipenda dalla qualità dell'integrazione tra livelli, e non dalla semplice somma delle componenti. Questa integrazione è spesso la ragione per cui alcune pratiche risultano più efficaci e più trasferibili in condizioni ecologiche di stress elevato, contesti prestativi e alta pressione, dove l'accesso alla regolazione solo cognitiva o solo corporea può essere limitante.

Interventi basate su metodiche ibride generano un accoppiamento coerente tra tre domini.

- 1) Il primo riguarda l'attenzione ossia la capacità di orientare e mantenere l'attenzione su un bersaglio come respiro, sensazioni corporee o un compito e di recuperarla dopo distrazione. In condizioni di stress, l'attenzione tende a diventare più reattiva e frammentata, le tecniche ibride cercano di stabilizzarla non solo con istruzioni cognitive, ma agganciandola a un segnale corporeo ancorante.;
- 2) Il secondo è l'interocezione che non riguarda solo la capacità di sentire il corpo, ma discriminare segnali interni rilevanti di tensione, ritmo e accelerazione e usarli come indicatori di stato regolativo. L'interocezione funge da ponte in quanto rende visibile l'*arousal* prima che diventi comportamento o sintomo;
- 3) Il terzo è la fisiologia autonoma che rappresenta la dimensione più direttamente misurabile. Nelle tecniche ibride, la modulazione fisiologica non avviene a caso, ma come output di un processo attentivo-interocettivo in cui l'individuo riconosce lo stato, lo modula e ne osserva gli effetti. Quando questi tre livelli si allineano, l'organismo riceve un set di segnali convergenti "*sono presente*" (attenzione), "*so cosa sta accadendo dentro*" (interocezione), "*posso modificare lo stato*" (fisiologia).

Questa convergenza favorisce sia l'effetto immediato di *state regulation* sia l'apprendimento che comporta una stabilizzazione nel tempo. Al contrario, se uno dei tre domini resta disallineato, l'effetto tende a diventare fragile, per esempio, un controllo cognitivo senza accesso interocettivo può risultare rigido e facilmente collassare sotto pressione; una modulazione respiratoria senza attenzione stabile può produrre effetti transitori e poco trasferibili; una consapevolezza corporea intensa senza strategia di modulazione può amplificare l'iper-monitoraggio e la reattività.

Una condizione di stress elevato rappresenta un test ecologico cruciale, in quanto in presenza di minaccia o richiesta prestazionale, aumentano la velocità cognitiva, la reattività emotiva e la tendenza a risposte automatiche. In tale contesto, gli interventi puramente *top-down* possono fallire perché richiedono risorse esecutive che sotto stress diventano meno disponibili, gli interventi puramente *bottom-up* possono invece produrre regolazione momentanea ma senza consolidare una capacità di gestione del significato e dell'attenzione.

Le tecniche ibride possono offrire un vantaggio proprio perché:

- Ridimensionano lo sforzo cognitivo in quanto l'attenzione viene ancorata a segnali corporei, riducendo il carico esecutivo necessario a mantenere il controllo;
- Aumentano la precisione regolativa, i segnali interocettivi funzionano come *feedback* interno che guida micro-aggiustamenti prima che l'attivazione diventi disorganizzante.

Questo punto assume particolare rilevanza quando l'obiettivo dell'intervento non è soltanto produrre un abbassamento dell'arousal in condizioni protette, ma sostenere la regolazione in condizioni ecologiche di stress elevato, in cui l'organismo è spinto verso automatismi attentivi, incremento della velocità cognitiva e riduzione della disponibilità esecutiva. In tali condizioni, l'efficacia delle strategie esclusivamente *top-down* può risultare limitata perché richiede un controllo cognitivo che lo stress tende a erodere; al contrario, strategie esclusivamente *bottom-up* possono produrre un effetto immediato sullo stato fisiologico senza necessariamente tradursi in un cambiamento stabile del rapporto con lo *stressor* o del controllo attentivo. Le tecniche ibride, quando strutturate in modo coerente, possono offrire un vantaggio funzionale perché riducono il carico di controllo richiesto e contemporaneamente forniscono un segnale corporeo ancorante che guida micro-aggiustamenti regolativi in tempo reale. Ne consegue che, a parità di durata, un intervento

ibrido può essere teoricamente più adatto a modificare pattern dinamici della risposta allo stress, in particolare la rapidità di recupero e la stabilità attentiva, rispetto a interventi che agiscono su un singolo canale.

4.3 Principali tipologie di tecniche mente–corpo

Le tecniche mente–corpo comprendono un insieme ampio e non omogeneo di pratiche, che differiscono per origine teorica, modalità operative e meccanismi psicofisiologici ipotizzati. A oggi non esiste un elenco normativo unico delle tecniche mente–corpo riconosciute, tuttavia le principali revisioni sistematiche e i *framework* teorici convergono nell'identificare come interventi mente–corpo quelle pratiche che integrano processi cognitivi, attentivi e fisiologici, producendo effetti misurabili sulla regolazione autonoma e sul funzionamento psicologico (Theadom et al., 2015).

Una classificazione puramente descrittiva, basata sul contesto di applicazione o sulla tradizione di provenienza, risulta insufficiente per comprendere il modo in cui tali tecniche esercitano i loro effetti. Ai fini della presente tesi, appare più utile adottare una classificazione funzionale, fondata sui processi regolativi prevalentemente coinvolti e sulle vie attraverso cui l'intervento agisce sui sistemi mente–corpo. In questa prospettiva, le principali tecniche mente–corpo saranno raggruppate in cinque grandi categorie, sebbene tali categorie non siano mutuamente esclusive, esse consentono di delineare differenze rilevanti in termini di focus attentivo, coinvolgimento corporeo e potenziale impatto sui sistemi di regolazione autonoma. Inoltre per ogni categoria funzionale verrà indagata l'incidenza sul parametro dell'*HRV*.

4.3.1 Meditazione e Mindfulness

Le pratiche di meditazione e *Mindfulness* rappresentano una delle forme più studiate di intervento mente–corpo, sia in ambito clinico sia in ambito di *performance*. Esse comprendono un insieme eterogeneo di tecniche accomunate dall'allenamento sistematico dell'attenzione e della consapevolezza, con l'obiettivo di modificare il rapporto dell'individuo con i contenuti mentali ed emotivi (Lutz et al., 2008; Tang et al., 2015).

Dal punto di vista operativo, la letteratura distingue comunemente tra pratiche di *focused attention*, che prevedono il mantenimento dell'attenzione su un oggetto specifico per esempio il respiro e pratiche di *open monitoring*, caratterizzate da un'osservazione non selettiva e non giudicante dell'esperienza interna (Lutz et al., 2008). I protocolli mindfulness maggiormente diffusi in ambito occidentale, come la *Mindfulness-Based Stress Reduction (MBSR)* e la *Mindfulness-Based Cognitive Therapy (MBCT)*, integrano elementi di entrambe le modalità, insieme a componenti psicoeducative e pratiche corporee leggere (Kabat-Zinn, 1990; Segal et al., 2002).

In termini di meccanismi di azione, tali pratiche sono generalmente considerate interventi a prevalente orientamento *top-down*, in quanto agiscono principalmente su processi attentivi, metacognitivi e di regolazione emotiva. Gli effetti fisiologici osservati, inclusi quelli sull'*HRV*, sono spesso interpretati come conseguenze indirette di una riduzione della reattività cognitiva ed emotiva allo stress (Creswell et al., 2014; Thayer et al., 2009). Tuttavia, la presenza di in molte di queste di un focus costante sul respiro introduce anche una componente *bottom-up*, rendendo questi interventi intrinsecamente ibridi.

4.3.2 Tecniche di respirazione controllata

Le tecniche di respirazione controllata costituiscono una categoria centrale tra gli interventi mente-corpo, in virtù del ruolo chiave del respiro come interfaccia tra processi volontari e sistemi autonomici. Tali tecniche includono una vasta gamma di pratiche, che vanno dalla respirazione diaframmatica lenta alle tecniche derivate dalle tradizioni *yogiche* (*prāṇāyāma*), fino ai protocolli di respirazione guidata utilizzati nel contesto del *biofeedback* (Lehrer et al., 2014).

A differenza delle pratiche meditative, le tecniche di respirazione sono generalmente considerate interventi a prevalente orientamento *bottom-up*, in quanto mirano a modulare direttamente parametri fisiologici quali il ritmo respiratorio, la profondità del respiro e la relazione tra inspirazione ed espirazione. La respirazione lenta, in particolare, è stata associata a un aumento dell'attività parasimpatica, a una maggiore efficienza del baroriflesso e a un incremento della variabilità della frequenza cardiaca vagalmente mediata (Lehrer et al., 2020; Shaffer et al., 2017).

La rilevanza di queste tecniche nel contesto dell'*HRV* risiede nel fatto che esse agiscono su meccanismi fisiologici ben delineati, come la *respiratory sinus arrhythmia (RSA)*, rendendole particolarmente adatte a produrre effetti acuti e misurabili sulla regolazione autonoma. Tuttavia, l'efficacia di tali interventi dipende fortemente da variabili quali il ritmo respiratorio adottato, la durata della pratica e il livello di coinvolgimento dell'individuo.

4.3.3 Pratiche di movimento consapevole: Yoga, Tai Chi e Qigong

Le pratiche di movimento consapevole, quali *Yoga*, *Tai Chi* e *Qigong*, rappresentano interventi mente-corpo multimodali che integrano postura, movimento lento, respirazione e attenzione focalizzata sul corpo. Queste pratiche si collocano lungo il continuum mente-corpo come interventi fortemente integrativi, in cui componenti cognitive, sensoriali e motorie sono strettamente interconnesse (Wayne et al., 2008).

Dal punto di vista psicofisiologico, tali pratiche combinano meccanismi *top-down* e *bottom-up*, da un lato, l'attenzione consapevole al movimento e al respiro favorisce processi di regolazione attentiva ed emotiva, mentre dall'altro il coinvolgimento corporeo e il ritmo lento del movimento contribuiscono alla modulazione del sistema nervoso autonomo e alla riduzione dell'attivazione simpatica.

Le evidenze relative all'*HRV* suggeriscono che queste pratiche possono favorire un miglioramento della regolazione autonoma, soprattutto in protocolli di medio-lungo termine. Tuttavia, la complessità dell'intervento rende più difficile isolare i meccanismi specifici responsabili degli effetti osservati, rispetto a tecniche più focalizzate come la respirazione controllata o il biofeedback (Mosley et al., 2022).

4.3.4 Tecniche di rilassamento psicofisiologico

Le tecniche di rilassamento, tra cui il rilassamento muscolare progressivo (*PMR*) e il training autogeno, costituiscono una delle forme storicamente più consolidate di intervento mente-corpo in ambito clinico. Queste tecniche si basano sulla riduzione sistematica della tensione muscolare e sull'induzione di stati di calma attraverso procedure strutturate di contrazione-rilascio o autosuggestione (Jacobson, 1938; Schultz et al., 1986).

Dal punto di vista funzionale, tali interventi agiscono prevalentemente in modalità *bottom-up*, riducendo l'attivazione somatica e favorendo una risposta di rilassamento generalizzata. Gli effetti sull'*HRV* sono stati osservati soprattutto in termini di riduzione dell'attivazione simpatica e incremento della componente parasimpatica, sebbene i risultati siano spesso meno consistenti rispetto a quelli ottenuti con interventi specificamente mirati alla modulazione del ritmo respiratorio (Lehrer et al., 2014).

4.3.5 Biofeedback e HRV Biofeedback

Il *biofeedback* rappresenta una categoria specifica di interventi mente-corpo basata sull'utilizzo di segnali fisiologici in tempo reale per facilitare l'apprendimento dell'autoregolazione. Tra le varie forme di biofeedback, l'*HRV biofeedback* occupa una posizione di particolare rilievo, in quanto combina respirazione lenta, consapevolezza interocettiva e *feedback* visivo o uditivo della variabilità cardiaca (Lehrer et al., 2000; Shaffer et al., 2017). Questo tipo di intervento è considerato un paradigma *bottom-up* altamente mirato, in cui il soggetto apprende progressivamente a modulare la propria attività autonoma attraverso il controllo del respiro e l'ottimizzazione della risonanza cardiovascolare. In virtù della sua specificità, l'*HRV biofeedback* rappresenta un modello privilegiato per studiare in modo diretto la relazione tra tecniche mente-corpo e regolazione autonoma, rendendolo particolarmente rilevante per gli obiettivi della presente tesi (Laborde et al., 2018).

4.3.6 Brain Wave Modulation Technique (BWM-T)

La *Brain Wave Modulation Technique (BWM-T)*, intervento clinico ideato e sviluppato da Cozzolino & Celia (2016), si colloca all'interno delle tecniche mente-corpo di tipo ibride, in quanto integra in modo intenzionale componenti fisiologiche, attentive e cognitive, con l'obiettivo di modulare rapidamente lo stato psicofisiologico dell'individuo. A differenza di interventi più circoscritti, come la respirazione controllata o l'*HRV biofeedback*, la *BWM-T* non si fonda su un singolo canale regolativo, ma su una sequenza organizzata di stimolazioni *bottom-up* e *top-down*, progettate per agire in modo sinergico sui sistemi di regolazione autonoma e sui processi di controllo attentivo. Dal punto di vista funzionale, la *BWM-T* può essere descritta come un intervento a prevalente orientamento *bottom-up*

nella fase iniziale seguiti da una fase di modulazione *top-down*, orientata alla stabilizzazione attentiva e alla riorganizzazione dello stato mentale. Questa struttura ibrida consente di ipotizzare un duplice meccanismo di azione da un lato, una modulazione diretta dei parametri fisiologici legati alla regolazione autonoma, in particolare quelli associati alla variabilità della frequenza cardiaca vagalmente mediata, dall'altro, un miglioramento della capacità di mantenere uno stato attentivo regolato e funzionale sotto condizioni di richiesta o stress.

In termini psicofisiologici gli effetti attesi sull'*HRV* non sono interpretati esclusivamente come espressione di uno stato di rilassamento generalizzato, ma come indicatore di una maggiore flessibilità e adattività del sistema autonomo, coerente con i modelli di *neurovisceral integration* e con l'approccio regolativo proposto da Laborde. In questo senso, la *BWM-T* si differenzia da tecniche puramente contemplative, in quanto mira non solo alla riduzione dell'attivazione, ma anche all'ottimizzazione dello stato di prontezza psicofisiologica.

Alla luce di queste considerazioni, la *BWM-T* viene inquadrata nella presente tesi come una tecnica mente-corpo multimodale emergente, teoricamente fondata sull'integrazione di processi *bottom-up* e *top-down* e coerente con i principali modelli contemporanei di regolazione psicofisiologica. La sua inclusione consente di esplorare, in modo controllato, se e in che misura un intervento di breve durata ma strutturalmente integrato sia in grado di produrre modificazioni misurabili nei *marker* di regolazione autonoma e nella risposta allo stress.

4.4 Meccanismi psicofisiologici di azione delle tecniche mente-corpo

Le tecniche mente-corpo come detto costituiscono un insieme unitario di interventi dal punto di vista dei meccanismi di azione, ma condividono l'obiettivo di modulare i sistemi di regolazione psicofisiologica coinvolti nella risposta allo stress e nei processi di adattamento. Comprendere tali meccanismi è essenziale per superare una lettura puramente fenomenologica dei loro effetti e per interpretare in modo coerente i cambiamenti osservati a livello soggettivo, comportamentale e fisiologico.

Nel contesto della presente tesi, l'attenzione è rivolta in particolare ai meccanismi che collegano l'esperienza intenzionale indotta dalle tecniche mente–corpo alla regolazione del sistema nervoso autonomo, con specifico riferimento all'attività vagale e alla variabilità della frequenza cardiaca (*HRV*). Tuttavia, una spiegazione esaustiva richiede un approccio multilivello, in grado di integrare processi periferici, autonomici, centrali e psicologici all'interno di un quadro unitario.

A tal fine, i meccanismi di azione delle tecniche mente–corpo verranno analizzati secondo una prospettiva gerarchica e interconnessa, articolata in quattro livelli principali:

- 1) Modulazione del sistema nervoso autonomo;
- 2) Ruolo del nervo vago e dell'interocezione;
- 3) Coinvolgimento dei sistemi centrali di regolazione;
- 4) Implicazioni per i processi psicologici di regolazione emotiva e dello stress.

Questa impostazione è coerente con i principali modelli teorici contemporanei, in particolare il *Neurovisceral Integration Model* (Thayer et al., 2009), e consente di interpretare l'*HRV* non come un semplice indice fisiologico isolato, ma come espressione emergente dell'integrazione mente–corpo.

4.4.1 Modulazione del sistema nervoso autonomo

Il sistema nervoso autonomo (*SNA*) rappresenta uno dei principali bersagli fisiologici delle tecniche mente–corpo. Esso svolge un ruolo centrale nella regolazione delle funzioni viscerali, nella risposta allo stress e nei processi di recupero, coordinando l'attività dei sistemi simpatico e parasimpatico in funzione delle richieste ambientali e interne (Berntson et al., 1997; Kreibig, 2010).

All'interno di questa cornice, lo stress può essere concettualizzato come una condizione di sbilanciamento autonomico, caratterizzata da un'attivazione simpatica prolungata e da una ridotta flessibilità parasimpatica. Tale condizione non implica necessariamente un'iperattivazione costante del sistema simpatico, ma piuttosto una perdita della capacità di modulare efficacemente l'attivazione in risposta ai cambiamenti contestuali, con conseguente riduzione della variabilità fisiologica (McEwen, 2007; Sterling, 2012).

Le tecniche mente–corpo intervengono su questo equilibrio in modi differenti, a seconda della loro struttura e del canale di ingresso privilegiato. Interventi a prevalente orientamento *bottom–up*, agiscono direttamente su segnali periferici che influenzano l’attività autonoma, favorendo una riduzione dell’attivazione simpatica e un incremento dell’attività parasimpatica. Al contrario, interventi a prevalente orientamento *top–down*, possono modulare l’attività autonoma in modo più indiretto, attraverso la riduzione della reattività cognitiva ed emotiva agli stimoli stressanti (Creswell et al., 2014).

Un aspetto cruciale riguarda il concetto di flessibilità autonoma, intesa come capacità del sistema nervoso autonomo di adattare dinamicamente il proprio assetto alle richieste dell’ambiente. In questo senso, una regolazione efficace non coincide con uno stato di attivazione costantemente basso, ma con la capacità di passare rapidamente e in modo appropriato da stati di attivazione a stati di recupero. Le tecniche mente–corpo, quando efficaci, sembrano favorire proprio questa flessibilità, piuttosto che un semplice abbassamento dell’arousal (Thayer et al., 2009; Laborde et al., 2017). In questo quadro, un aumento dell’*HRV* non va inteso come un obiettivo in sé, ma come un indicatore di maggiore capacità regolativa, soprattutto in condizioni di stress o di richiesta prestazionale.

È tuttavia fondamentale sottolineare che la relazione tra tecniche mente–corpo e *SNA* non è lineare né uniforme. Gli effetti osservati dipendono da molteplici fattori, tra cui la durata dell’intervento, il livello di stress iniziale, le caratteristiche individuali e il contesto di applicazione. Inoltre, non tutte le tecniche producono necessariamente un incremento dell’*HRV* a riposo, in alcuni casi gli effetti più rilevanti emergono a livello di reattività o di recupero dopo uno stressor, piuttosto che nello stato basale (Laborde et al., 2022).

Queste considerazioni rendono evidente la necessità di interpretare i cambiamenti autonomici indotti dalle tecniche mente–corpo all’interno di un modello dinamico, che tenga conto delle diverse fasi della risposta allo stress e delle interazioni tra sistemi. Nei paragrafi successivi, tale analisi verrà approfondita focalizzandosi sul ruolo specifico del nervo vago, sui meccanismi interocettivi e sui sistemi centrali di integrazione autonoma.

4.4.2 *Il ruolo del nervo vago e dei processi interocettivi*

All’interno dei meccanismi di regolazione psicofisiologica, il nervo vago occupa una posizione centrale, in quanto principale via parasimpatica di comunicazione bidirezionale

tra periferia e sistema nervoso centrale. Il suo ruolo nella modulazione dell'attività cardiaca, respiratoria e viscerale rende il vago un candidato privilegiato per spiegare gli effetti delle tecniche mente–corpo sulla regolazione dello stress e sull'adattamento autonomico (Porges, 2007; Thayer et al., 2009).

Dal punto di vista anatomico e funzionale, il nervo vago è costituito in larga parte da fibre afferenti, che trasmettono informazioni dallo stato degli organi interni verso il cervello, piuttosto che da fibre efferenti dirette dal cervello alla periferia (Berthoud et al., 2000). Questa asimmetria sottolinea come la regolazione autonoma non sia un processo unidirezionale, ma il risultato di un flusso continuo di informazioni interocettive che contribuiscono alla costruzione dello stato corporeo e affettivo dell'individuo.

Nel contesto delle tecniche mente–corpo, la modulazione dell'attività vagale può avvenire attraverso due vie principali. La prima è rappresentata dalla modulazione diretta dei segnali periferici, come nel caso della respirazione lenta, che influenza l'attività vagale cardiaca attraverso meccanismi mecano- e barocettivi. La seconda è costituita dalla modulazione dell'elaborazione centrale delle informazioni interocettive, come avviene nelle pratiche che allenano la consapevolezza corporea e l'attenzione al respiro, influenzando indirettamente il tono vagale (Critchley et al., 2013).

Un concetto chiave per comprendere questa dinamica è quello di interocezione, definita come la percezione e l'elaborazione delle informazioni provenienti dallo stato interno del corpo. Le tecniche mente–corpo, in particolare quelle che pongono un'enfasi esplicita sull'attenzione alle sensazioni corporee e al respiro, sembrano potenziare la sensibilità interocettiva e la capacità di integrare tali segnali in modo funzionale (Farb et al., 2015). Questo processo può contribuire a una regolazione più efficace delle risposte emotive e autonome, riducendo la reattività automatica agli stimoli stressanti.

Dal punto di vista fisiologico, l'attività vagale cardiaca si manifesta in modo particolarmente evidente attraverso la respiratory sinus arrhythmia (*RSA*), ovvero l'oscillazione della frequenza cardiaca in sincronia con il ciclo respiratorio. La *RSA* rappresenta un indice diretto dell'influenza vagale sul nodo senoatriale ed è strettamente correlata agli indici di *HRV* vagalmente mediati, come *rMSSD* e *HF* (Berntson et al., 1997; Shaffer et al., 2017). Le tecniche che modulano intenzionalmente il ritmo respiratorio,

rallentandolo e rendendolo più regolare, amplificano la *RSA* e favoriscono un incremento transitorio dell'attività vagale.

A questo proposito, è necessario distinguere con chiarezza tra l'incremento acuto dell'*HRV* osservabile durante la respirazione lenta e gli adattamenti regolativi più stabili attribuibili a processi di apprendimento o ricalibrazione autonoma. La respirazione lenta e regolare può amplificare la *RSA* e modificare in modo marcato la dinamica cardio-respiratoria per un effetto di sincronizzazione, producendo aumenti immediati degli indici vagalmente mediati che riflettono in parte un fenomeno fisiologico “guidato” dal pattern ventilatorio.

Questo non implica automaticamente un incremento del tono vagale di base né una maggiore competenza regolativa al di fuori della pratica. Gli adattamenti più robusti e trasferibili si osservano infatti quando l'effetto acuto si accompagna a cambiamenti nella sensibilità del baroriflesso, nella capacità di terminare la risposta allo stress e nella stabilità dei pattern di recupero. Tale distinzione è cruciale per evitare interpretazioni semplificate dell'*HRV* e per chiarire perché, nello studio di interventi mente–corpo, la valutazione non dovrebbe limitarsi alla misura durante la pratica o in condizioni statiche, ma includere anche finestre di reattività e recupero, più informative rispetto al funzionamento regolativo in contesti di richiesta.

Tuttavia, è importante sottolineare che un aumento acuto dell'*HRV* indotto da respirazione lenta non coincide necessariamente con un adattamento regolativo stabile. Come evidenziato da diversi autori, gli effetti immediati sulla *RSA* riflettono in parte un fenomeno meccanico legato alla sincronizzazione cardio-respiratoria, mentre gli effetti a lungo termine dipendono da cambiamenti più profondi nella regolazione autonoma e nella sensibilità del baroriflesso (Lehrer et al., 2014; 2020). Questa distinzione è cruciale per interpretare correttamente i risultati degli studi sulle tecniche mente–corpo e per evitare letture eccessivamente semplicistiche dell'*HRV*.

Un ulteriore elemento rilevante riguarda il legame tra attività vagale e regolazione emotiva. Secondo il *Neurovisceral Integration Model*, un'elevata attività vagale a riposo è associata a una maggiore capacità di inibizione corticale, flessibilità attentiva e regolazione delle risposte emotive (Thayer et al., 2009). In questo quadro, le tecniche mente–corpo che favoriscono un aumento dell'attività vagale, direttamente o indirettamente, possono

contribuire a migliorare la capacità dell'individuo di modulare le proprie risposte emotive in condizioni di stress, piuttosto che a eliminarle.

Infine, è opportuno adottare una prospettiva critica rispetto ad alcune interpretazioni semplificate della relazione tra nervo vago e benessere. Sebbene il vago svolga un ruolo fondamentale nei processi di regolazione, non può essere considerato un interruttore univoco del rilassamento o della calma. La regolazione adattiva richiede un equilibrio dinamico tra attivazione simpatica e parasimpatica, e un'eccessiva enfasi su un incremento indiscriminato dell'attività vagale rischia di trascurare la complessità dei sistemi coinvolti (Billman, 2013; Laborde et al., 2017).

4.4.3 Il *Central Autonomic Network* e i meccanismi di regolazione top-down

Oltre ai meccanismi periferici e interocettivi, le tecniche mente-corpo influenzano la regolazione psicofisiologica attraverso il coinvolgimento dei sistemi centrali di controllo autonomo, comunemente concettualizzati all'interno del modello del *Central Autonomic Network (CAN)*. Il *CAN* rappresenta un insieme funzionalmente integrato di strutture corticali e sottocorticali responsabili della modulazione dell'attività autonoma in funzione delle richieste ambientali, cognitive ed emotive (Benarroch, 1993; Thayer et al., 2009).

Tra le principali componenti del *CAN* rientrano la corteccia prefrontale mediale e dorsolaterale, la corteccia cingolata anteriore, l'insula, l'amigdala, l'ipotalamo e nuclei del tronco encefalico coinvolti nella regolazione cardiovascolare e respiratoria. Queste strutture operano in modo coordinato per integrare informazioni cognitive, affettive e interocettive, traducendole in pattern autonomici adattivi. In questa prospettiva, l'attività del sistema nervoso autonomo non è considerata un riflesso automatico isolato, ma l'espressione di un controllo centrale modulato dai processi di ordine superiore.

Il *Neurovisceral Integration Model* propone che l'*HRV*, in particolare la sua componente vagalmente mediata, rifletta il grado di efficienza funzionale del *CAN* e, in particolare, la capacità della corteccia prefrontale di esercitare un controllo inibitorio sulle strutture limbiche e sottocorticali implicate nella risposta allo stress (Thayer et al., 2009). In condizioni di buona regolazione, un'elevata attività prefrontale è associata a una maggiore

flessibilità autonoma e a una più efficace modulazione delle risposte emotive; al contrario, stati di stress cronico o elevata reattività emotiva sono caratterizzati da una ridotta influenza prefrontale e da pattern autonomici più rigidi.

Le tecniche mente–corpo a prevalente orientamento *top–down*, come la meditazione *Mindfulness*, possono agire su questi sistemi centrali attraverso l’allenamento intenzionale dell’attenzione e della consapevolezza. Studi di *neuroimaging* hanno mostrato che la pratica meditativa è associata a modificazioni funzionali e strutturali in regioni del *CAN*, in particolare nella corteccia prefrontale, nell’insula e nel cingolo anteriore, aree coinvolte nella regolazione attentiva ed emotiva (Tang et al., 2015; Hölzel et al., 2011). Tali cambiamenti sono stati interpretati come indicatori di una maggiore capacità di monitoraggio e modulazione delle risposte interne, con potenziali ricadute sulla regolazione autonoma.

Un aspetto rilevante riguarda il ruolo dell’insula come nodo di integrazione tra segnali interocettivi e processi cognitivi. L’insula anteriore, in particolare, è implicata nella rappresentazione conscia degli stati corporei e nella valutazione della loro rilevanza emotiva. Le tecniche mente–corpo che potenziano la consapevolezza interocettiva possono quindi facilitare una più accurata integrazione dei segnali corporei all’interno del *CAN*, contribuendo a una regolazione più flessibile delle risposte autonome.

Dal punto di vista funzionale, l’influenza *top–down* del *CAN* sul sistema nervoso autonomo si traduce in una modulazione dinamica del tono vagale. In questo quadro, l’*HRV* non rappresenta semplicemente un indice periferico, ma un *marker* emergente dell’integrazione funzionale tra sistemi centrali e periferici. Un’elevata *HRV* vagale è stata associata a migliori prestazioni nei compiti di controllo esecutivo, a una maggiore capacità di regolazione emotiva e a una ridotta vulnerabilità allo stress, suggerendo un legame stretto tra flessibilità cognitiva e flessibilità autonoma (Thayer et al., 2009; Laborde et al., 2017).

È tuttavia importante sottolineare che gli effetti delle tecniche mente–corpo sul *CAN* non sono immediati né uniformi. A differenza degli interventi *bottom–up*, che possono produrre cambiamenti fisiologici acuti attraverso meccanismi diretti, le modificazioni *top–down* richiedono generalmente pratica ripetuta e consolidamento. Ciò implica che gli

effetti sull'*HRV* associati a interventi di tipo *Mindfulness* possano emergere in modo più graduale e risultare maggiormente dipendenti da fattori individuali, come l'esperienza di pratica, la motivazione e il contesto applicativo (Creswell et al., 2014).

Inoltre, la relazione tra attività prefrontale e regolazione autonoma non è lineare né unidirezionale. Come evidenziato da modelli bidirezionali, i segnali periferici e interocettivi influenzano a loro volta l'attività del *CAN*, creando un circuito di feedback continuo tra cervello e corpo (Critchley et al., 2013). In questo senso, le tecniche mente-corpo più efficaci possono essere quelle in grado di integrare componenti *top-down* e *bottom-up*, facilitando una regolazione sinergica dei sistemi coinvolti.

4.4.4 Asse ipotalamo-ipofisi-surrene, stress e processi di recupero

Accanto alla modulazione del sistema nervoso autonomo, un ulteriore meccanismo centrale attraverso cui le tecniche mente-corpo esercitano i loro effetti riguarda la regolazione dell'asse ipotalamo-ipofisi-surrene (*HPA*), uno dei principali sistemi neuroendocrini coinvolti nella risposta allo stress. L'asse *HPA* coordina il rilascio di glucocorticoidi, in particolare del cortisolo, consentendo all'organismo di mobilitare risorse energetiche e cognitive in risposta a richieste percepite come minacciose o impegnative (McEwen et al., 1993). In condizioni di stress acuto, l'attivazione dell'asse *HPA* svolge una funzione adattiva.

Tuttavia, una stimolazione ripetuta o prolungata può condurre a una disregolazione del sistema, con conseguenze negative sul piano fisiologico e psicologico. In questa prospettiva, il concetto di allostasi descrive il processo attraverso cui l'organismo mantiene la stabilità attraverso il cambiamento, mentre il carico allostatico rappresenta il costo cumulativo associato a un'attivazione inefficiente o cronica dei sistemi di stress (McEwen, 2007; Sterling, 2012).

Le tecniche mente-corpo sono state proposte come interventi in grado di ridurre il carico allostatico, favorendo una modulazione più efficiente dell'asse *HPA* e facilitando i processi di recupero dopo l'esposizione allo stress. Diversi studi hanno evidenziato che diverse pratiche sono associate a una riduzione dei livelli basali di cortisolo o a una risposta più attenuata allo stress acuto, sebbene i risultati non siano sempre consistenti e dipendano

fortemente dal disegno dello studio e dalla durata dell'intervento (Pascoe et al., 2017; Creswell et al., 2019).

Dal punto di vista meccanicistico, la regolazione dell'asse *HPA* è strettamente interconnessa con i sistemi autonomici e con il *Central Autonomic Network*. Le strutture prefrontali e limbiche coinvolte nel *CAN* esercitano infatti un'influenza inibitoria sull'ipotalamo, modulando l'attivazione dell'asse *HPA* in funzione della valutazione cognitiva ed emotiva dello stimolo (Thayer et al., 2009). In questo senso, le tecniche mente-corpo che migliorano il controllo *top-down* e riducono la reattività emotiva possono contribuire indirettamente a una regolazione più efficiente della risposta neuroendocrina allo stress.

Un aspetto rilevante riguarda il ruolo del recupero, inteso non semplicemente come cessazione dell'attivazione, ma come processo attivo di ritorno a uno stato di equilibrio dinamico. La letteratura sullo stress ha evidenziato come la capacità di recupero dopo uno stressor sia un indicatore cruciale di adattamento, talvolta più informativo dei livelli basali di attivazione. In questo quadro, le tecniche mente-corpo possono favorire non solo una minore reattività iniziale, ma soprattutto un recupero più rapido ed efficiente, sia a livello autonomico sia a livello neuroendocrino.

La relazione tra asse *HPA* e *HRV* è complessa e bidirezionale. Sebbene l'*HRV* non rappresenti una misura diretta dell'attività dell'asse *HPA*, numerose evidenze suggeriscono che una maggiore attività vagale e una maggiore flessibilità autonoma siano associate a una regolazione più efficiente della risposta allo stress, inclusa una minore esposizione prolungata ai glucocorticoidi (Thayer et al., 2012). In questo senso, l'*HRV* può essere considerata un indicatore indiretto della capacità dell'organismo di contenere e terminare la risposta allo stress, piuttosto che un semplice riflesso dell'attivazione neuroendocrina.

È importante sottolineare che gli effetti delle tecniche mente-corpo sull'asse *HPA* tendono a manifestarsi in modo più evidente in protocolli di medio-lungo termine e in popolazioni caratterizzate da elevati livelli di stress o vulnerabilità. Interventi brevi o singole sessioni possono produrre effetti misurabili sulla percezione soggettiva dello stress o sulla regolazione autonoma, senza necessariamente determinare cambiamenti significativi nei livelli di cortisolo (Pascoe et al., 2017). Questa discrepanza evidenzia la necessità di

interpretare i risultati empirici tenendo conto della specificità temporale dei diversi sistemi di regolazione.

Nel paragrafo successivo, tali meccanismi verranno sintetizzati in una prospettiva integrata, mettendo in relazione i diversi livelli di analisi e preparando il passaggio alla sezione dedicata all'*HRV* come mediatore e *outcome* degli interventi mente–corpo.

4.4.5 Integrazione multilivello dei meccanismi di azione

L'analisi dei meccanismi psicofisiologici attraverso cui le tecniche mente–corpo esercitano i loro effetti evidenzia la necessità di adottare una prospettiva multilivello e dinamica, capace di integrare processi periferici, autonomici, centrali e neuroendocrini all'interno di un quadro coerente. Considerare ciascun livello in modo isolato rischia infatti di fornire una lettura parziale e riduzionista dei cambiamenti osservati, in particolare quando l'obiettivo è interpretare indici complessi come l'*HRV*.

A livello periferico, le tecniche mente–corpo possono modulare direttamente segnali fisiologici quali il ritmo respiratorio, il tono muscolare e la postura. Questi segnali influenzano l'attività dei recettori meccanici e barocettivi, generando afferenze viscerali che raggiungono il tronco encefalico e le strutture superiori coinvolte nella regolazione autonoma. In questo contesto, interventi per esempio come la respirazione lenta e l'*HRV* biofeedback rappresentano esempi paradigmatici di modulazione *bottom–up*, in cui l'effetto iniziale è osservabile a livello cardiovascolare attraverso fenomeni come la *RSA*.

A livello autonomico, tali segnali periferici vengono integrati all'interno dei circuiti che regolano il bilanciamento dinamico tra attività simpatica e parasimpatica. L'attività vagale cardiaca, espressa dagli indici di *HRV* vagalmente mediata, riflette la capacità del sistema di modulare rapidamente l'attivazione in funzione delle richieste contestuali. In questa prospettiva, l'*HRV* non rappresenta semplicemente uno stato, ma un processo, ovvero la manifestazione della flessibilità del sistema nervoso autonomo nel tempo (Thayer et al., 2009; Laborde et al., 2017).

A livello centrale, il *CAN* svolge una funzione di coordinamento, integrando informazioni cognitive, emotive e interocettive e modulando l'output autonomico in modo adattivo. Le

tecniche mente–corpo che agiscono sui processi attentivi, metacognitivi e di consapevolezza corporea possono rafforzare il controllo *top–down* esercitato dalle strutture prefrontali, favorendo una regolazione più efficiente delle risposte limbiche e ipotalamiche. In questo quadro, l'*HRV* può essere interpretata come un indice indiretto dell'efficienza funzionale di tali circuiti centrali.

A livello neuroendocrino, la regolazione dell'asse *HPA* si intreccia con i sistemi autonomici e centrali, contribuendo a definire la risposta complessiva allo stress e i processi di recupero. Le tecniche mente–corpo, attraverso la riduzione della reattività emotiva e il miglioramento del controllo centrale, possono favorire una modulazione più contenuta e temporalmente limitata della risposta glucocorticoidea, riducendo il carico allostatico. Sebbene l'*HRV* non misuri direttamente l'attività dell'asse *HPA*, una maggiore flessibilità autonoma è coerente con una migliore capacità di terminare la risposta allo stress e di ristabilire uno stato di equilibrio dinamico.

L'integrazione di questi livelli consente di superare una visione lineare causa–effetto e di adottare un modello circolare e bidirezionale della regolazione psicofisiologica. In tale modello, i cambiamenti indotti dalle tecniche mente–corpo non seguono una singola traiettoria, ma emergono dall'interazione continua tra segnali corporei, processi centrali e sistemi neuroendocrini. Di conseguenza, gli effetti osservati sull'*HRV* devono essere interpretati come espressione emergente di questa integrazione, piuttosto che come risultato diretto di un singolo meccanismo.

Questa prospettiva ha implicazioni rilevanti sia teoriche sia metodologiche. Dal punto di vista teorico, suggerisce che tecniche diverse possano produrre pattern autonomici simili attraverso vie differenti, oppure pattern differenti attraverso meccanismi apparentemente simili. Dal punto di vista metodologico, implica che la valutazione dell'efficacia delle tecniche mente–corpo non possa basarsi esclusivamente su misure statiche a riposo, ma debba includere analisi della reattività e del recupero, coerentemente con modelli dinamici della regolazione come la *Vagal Tank Theory* (Laborde et al., 2018).

Un'ulteriore implicazione di questa prospettiva multilivello riguarda la temporalità con cui i diversi sistemi di regolazione possono modificarsi in risposta a un intervento. Alcune componenti, come la dinamica cardio-respiratoria e la modulazione autonoma indotta da

variazioni del respiro, possono cambiare su scale temporali dell'ordine di minuti, generando effetti immediati osservabili sull'*HRV*. Altre componenti, come i processi *top-down* mediati dal controllo prefrontale e le competenze metacognitive, richiedono in genere pratica ripetuta e consolidamento, manifestando i propri effetti su scale temporali più lente.

Analogamente, la regolazione neuroendocrina dell'asse *HPA* tende a mostrare variazioni più evidenti in protocolli di durata maggiore o in condizioni di stress elevato e protratto. Riconoscere questa differenza di temporalità evita aspettative irrealistiche rispetto a singole sessioni e orienta l'interpretazione degli *outcome* verso dimensioni più plausibili di cambiamento a breve termine, quali la reattività e soprattutto la qualità del recupero dopo uno stressor. In tale ottica, l'analisi dell'*HRV* lungo fasi distinte della risposta allo stress risulta metodologicamente coerente con l'ipotesi che gli interventi mente-corpo possano agire primariamente sulla dinamica regolativa piuttosto che sui livelli basali.

Questa integrazione costituisce il fondamento concettuale per la sezione successiva, in cui l'*HRV* verrà analizzata in modo sistematico come mediatore e *outcome* degli interventi mente-corpo.

4.5 Tecniche mente-corpo e *HRV*

Nel contesto delle tecniche mente-corpo, l'*HRV* assume un ruolo privilegiato in quanto consente di osservare in modo non invasivo come l'organismo risponda, si moduli e recuperi in relazione a interventi che mirano esplicitamente alla regolazione mente-corpo. Tuttavia, affinché l'*HRV* possa essere interpretata in modo coerente e teoricamente fondato, è necessario chiarire che cosa misura, quali componenti sono rilevanti e in quali condizioni i cambiamenti osservati possono essere considerati espressione di un miglioramento regolativo.

Nel quadro delle tecniche mente-corpo, l'*HRV* può essere concettualizzata non solo come *outcome* fisiologico, ma anche come mediatore dei cambiamenti psicologici osservati. In altri termini, le tecniche mente-corpo non agiscono semplicemente sull'*HRV*, ma modulano i processi regolativi che l'*HRV* esprime a livello periferico. Questo implica che

un cambiamento dell'*HRV* acquista significato solo se interpretato alla luce del contesto, del tipo di intervento e della fase della risposta allo stress in cui viene rilevato.

4.5.1 *HRV come indice di regolazione e adattamento*

All'interno dei modelli contemporanei, l'*HRV* è stata interpretata come un indice della capacità dell'organismo di adattarsi in modo flessibile alle richieste ambientali. Secondo il *Neurovisceral Integration Model*, una maggiore *HRV* vagale a riposo riflette un più efficiente controllo inibitorio prefrontale sulle strutture limbiche, facilitando la regolazione emotiva e comportamentale (Thayer et al., 2009). In questa prospettiva, l'*HRV* non rappresenta uno stato di calma permanente, ma la disponibilità del sistema a modulare l'attivazione in modo rapido ed efficace.

Questa concezione è particolarmente rilevante nel contesto delle tecniche mente–corpo, poiché chiarisce che l'obiettivo dell'intervento non è necessariamente aumentare l'*HRV* in modo indiscriminato, ma favorire una maggiore flessibilità regolativa. Un'*HRV* elevata in condizioni inappropriate, o un'assenza di variazione dell'*HRV* in risposta a uno *stressor*, possono infatti indicare pattern disfunzionali piuttosto che adattivi (Billman, 2013).

4.5.2 *Effetti delle tecniche mente–corpo sugli indici HRV*

Le evidenze empiriche suggeriscono che diverse tecniche mente–corpo possono influenzare l'*HRV* attraverso meccanismi differenti. Le tecniche di respirazione lenta e l'*HRV* biofeedback mostrano effetti robusti e immediati sugli indici di *HRV* vagalmente mediata, principalmente attraverso l'amplificazione della *respiratory sinus arrhythmia* e il miglioramento della sensibilità del baroriflesso (Lehrer et al., 2014; 2020). In questi casi, l'aumento dell'*HRV* durante la pratica riflette in parte un effetto meccanico-fisiologico legato alla sincronizzazione cardio-respiratoria.

Al contrario, gli interventi basati su meditazione e *Mindfulness* presentano risultati più eterogenei. Alcuni studi riportano aumenti dell'*HRV* a riposo dopo programmi di *Mindfulness*, mentre altri non osservano cambiamenti significativi, soprattutto in protocolli brevi o in popolazioni con bassi livelli iniziali di stress (Pascoe et al., 2017; Mosley et al.,

2022). Questa variabilità suggerisce che gli effetti di tali interventi sull'*HRV* siano mediati da processi più complessi e dipendenti dal tempo, come il consolidamento di strategie di regolazione emotiva e attentiva.

Le pratiche di movimento consapevole, come *Yoga* e *Tai Chi*, mostrano a loro volta effetti moderati sull'*HRV*, spesso osservabili in protocolli di medio-lungo termine. Tuttavia, la natura multimodale di questi interventi rende difficile isolare i contributi specifici delle singole componenti, complicando l'interpretazione dei cambiamenti autonomici (Wayne et al., 2008). Tecniche ibride come la *BWM-T* hanno mostrato invece effetti su parametri come la *VLF*, maggiormente in relazione a modificazioni a medio termine e processi di regolazione autonoma ormonali. (Borgese et al., 2025).

4.5.3 HRV, reattività e recupero: oltre la misura a riposo

Un limite rilevante di molta letteratura sulle tecniche mente–corpo è l'enfasi esclusiva sull'*HRV* a riposo, a discapito di misure dinamiche di reattività e recupero. Tuttavia, modelli recenti sottolineano che la capacità di un individuo di rispondere a uno stressor e di recuperare efficacemente può fornire informazioni più rilevanti rispetto ai valori basali (Laborde et al., 2018). In questo quadro, le tecniche mente–corpo possono esercitare effetti differenziati sulle diverse fasi della risposta allo stress. Alcuni interventi possono non modificare significativamente l'*HRV* a riposo, ma migliorare la rapidità e l'ampiezza del recupero autonomico dopo uno stressor. Altri possono modulare la reattività iniziale, attenuando la risposta simpatica. Queste differenze hanno implicazioni importanti per l'interpretazione dei risultati empirici e per la progettazione degli studi.

4.5.4 Effetti acuti vs adattamenti cronici

Un'ulteriore distinzione concettualmente cruciale nell'interpretazione degli effetti delle tecniche mente–corpo riguarda la differenza tra effetti acuti e adattamenti cronici della regolazione psicofisiologica. Tale distinzione risulta particolarmente rilevante negli studi che utilizzano indicatori fisiologici sensibili come l'*HRV*, la quale può rispondere in modo rapido e marcato a modificazioni transitorie dello stato dell'organismo. Numerose tecniche mente–corpo, in particolare quelle basate sulla respirazione lenta e controllata, sono in

grado di produrre incrementi immediati dell'*HRV* vagalmente mediata durante la pratica o immediatamente al termine dell'intervento. Questi cambiamenti acuti riflettono una modulazione momentanea dell'equilibrio autonomico, mediata da meccanismi quali l'aumento della *RSA*, il miglioramento dell'efficienza del baroriflesso e la stimolazione afferente vagale. Tuttavia, tali risposte non possono essere automaticamente interpretate come indicatori di un cambiamento stabile o strutturale del sistema di regolazione autonoma.

Gli adattamenti cronici, intesi come modificazioni durature dei pattern regolativi dell'asse cuore–cervello, implicano processi di apprendimento fisiologico e integrazione funzionale che richiedono generalmente pratica ripetuta, continuità dell'esposizione e generalizzazione dei pattern appresi al di fuori del contesto di intervento. In questa prospettiva, l'*HRV* non rappresenta soltanto un indice di rilassamento, ma un marker della flessibilità adattiva del sistema, la cui stabilizzazione nel tempo è il risultato di cambiamenti a livello centrale e periferico, inclusi i circuiti del *CAN*.

Questa distinzione assume un ruolo metodologico centrale nell'interpretazione degli studi basati su singole sessioni di intervento o su *follow-up* a breve termine. In tali disegni sperimentali, i cambiamenti osservati nei parametri di *HRV* possono riflettere prevalentemente effetti di stato, legati a una temporanea riduzione dell'attivazione o a una facilitazione transitoria della regolazione vagale, piuttosto che adattamenti di tratto o trasformazioni strutturali della capacità autoregolativa dell'individuo. Come sottolineato da Lehrer et al. (2020), la presenza di un effetto acuto positivo non garantisce di per sé l'instaurarsi di benefici a lungo termine, se non supportata da un adeguato processo di allenamento e consolidamento.

Alla luce di queste considerazioni, risulta essenziale che gli effetti delle tecniche mente–corpo vengano interpretati tenendo conto della temporalità del cambiamento, distinguendo chiaramente tra modulazioni immediate dello stato psicofisiologico e adattamenti cronici della regolazione autonoma. Tale distinzione consente non solo una lettura più accurata dei risultati sperimentali, ma anche una maggiore coerenza teorica nell'inquadramento degli interventi mente–corpo all'interno dei modelli contemporanei di autoregolazione e adattamento allo stress.

4.6 Evidenze empiriche sull'efficacia delle tecniche mente-corpo

Le evidenze empiriche sull'efficacia delle tecniche mente–corpo hanno conosciuto una crescita esponenziale negli ultimi decenni, parallelamente all'aumento dell'interesse scientifico verso i processi di regolazione dello stress, dell'autoregolazione emotiva e dell'integrazione mente–corpo. Studi sperimentali, trial controllati randomizzati e revisioni sistematiche hanno indagato l'impatto di tali interventi in una pluralità di contesti, includendo l'ambito clinico, quello educativo, la psicologia dello sport e più in generale i domini della salute e della *performance*.

Nonostante l'ampiezza della letteratura disponibile, il campo risulta caratterizzato da una marcata eterogeneità, sia in termini di tipologia di interventi considerati, sia rispetto ai disegni metodologici adottati, alla durata dei protocolli e agli *outcome* misurati. Tecniche profondamente diverse per struttura, intensità e meccanismi ipotizzati vengono spesso incluse sotto l'etichetta ombrello di interventi mente–corpo, rendendo complessa la comparazione diretta dei risultati e favorendo, in alcuni casi, interpretazioni semplificate o eccessivamente generalizzanti.

Un ulteriore elemento di complessità riguarda la natura degli esiti valutati. Molti studi si concentrano prevalentemente su misure soggettive di benessere, stress percepito o sintomatologia ansiosa, mentre un numero crescente di ricerche ha iniziato a integrare indicatori psicofisiologici, tra cui la *HRV*, al fine di esplorare in modo più diretto i correlati fisiologici degli effetti osservati. Tuttavia, anche in questo ambito, permangono differenze rilevanti nelle modalità di misurazione, nella scelta degli indici *HRV* e nei criteri interpretativi adottati.

Alla luce di tali considerazioni, la presente tesi adotta una prospettiva di lettura meccanicistica e regolativa delle evidenze empiriche, privilegiando gli studi che consentono di comprendere come e attraverso quali processi le tecniche mente–corpo producano i loro effetti, piuttosto che limitarsi a documentarne l'efficacia in termini puramente descrittivi. In questa prospettiva, l'*HRV* viene considerata non come un semplice *outcome* accessorio, ma come un indicatore chiave dei processi di regolazione autonoma e della flessibilità adattiva del sistema psicofisiologico.

Di conseguenza, le evidenze empiriche verranno discusse non come risultati isolati, ma all'interno di un quadro teorico che integra i modelli di regolazione dello stress, l'approccio neuroviscerale e le distinzioni tra effetti acuti e adattamenti cronici. Questo approccio consente una lettura più coerente e critica della letteratura esistente e prepara il terreno per l'analisi degli studi sperimentali presentati nei capitoli successivi.

4.6.1 Evidenze in ambito clinico

Le tecniche mente–corpo sono state ampiamente investigate in ambito clinico, in particolare nel trattamento dei disturbi stress-correlati, dei disturbi d'ansia, dei disturbi dell'umore, delle condizioni psicosomatiche e delle patologie caratterizzate da una marcata disregolazione del sistema nervoso autonomo. L'interesse clinico verso tali interventi si è sviluppato parallelamente all'affermazione di modelli biopsicosociali della salute, che concepiscono lo stress cronico non soltanto come un fattore psicologico, ma come un processo di disregolazione integrata a livello cognitivo, emotivo e fisiologico (McEwen, 1998; Thayer et al., 2009).

In questo contesto, le tecniche mente–corpo sono state progressivamente introdotte come interventi complementari o integrativi rispetto ai trattamenti psicologici e farmacologici tradizionali, con l'obiettivo di potenziare la capacità di autoregolazione dell'individuo e di ridurre il carico psicofisiologico associato all'esposizione prolungata a *stressor* interni ed esterni.

Le revisioni sistematiche e le meta-analisi disponibili indicano che tali interventi possono produrre riduzioni significative dello stress percepito, dei sintomi ansiosi e depressivi e, in alcuni casi, del dolore cronico con effetti di dimensione generalmente piccola-moderata (Grossman et al., 2004). Tuttavia, tali risultati devono essere interpretati con cautela, alla luce di una marcata eterogeneità metodologica, che riguarda sia la struttura dei protocolli sia le caratteristiche dei campioni clinici inclusi.

Un contributo rilevante in questa direzione è rappresentato dalla revisione di Theadom et al. (2015), che pur riconoscendo il potenziale beneficio delle tecniche mente–corpo, sottolineano la variabilità della qualità delle evidenze e la difficoltà di trarre conclusioni definitive sull'efficacia clinica a lungo termine di molti interventi, in particolare quando

basati su studi di breve durata o su campioni numericamente limitati. Questa revisione evidenzia inoltre come interventi concettualmente differenti vengano spesso aggregati sotto un'unica etichetta, rendendo complessa l'identificazione dei meccanismi specifici responsabili degli effetti osservati.

Negli ultimi anni comunque, un numero crescente di studi clinici ha iniziato a integrare indicatori psicofisiologici come *outcome* di interesse, con particolare attenzione alla *HRV* quale marker della regolazione autonoma. È ormai consolidato che soggetti affetti da disturbi d'ansia, depressione, stress cronico o dolore persistente presentino livelli ridotti di *HRV* vagalmente mediata, coerenti con una condizione di ridotta flessibilità adattiva e di predominanza simpatica (Kemp et al., 2010; Thayer et al., 2012). In questo quadro, le tecniche mente–corpo vengono ipotizzate come strumenti in grado di facilitare un ripristino della modulazione vagale, piuttosto che come semplici strategie di rilassamento aspecifico.

Interventi mente corpo sembrano in grado di produrre modificazioni stabili dei *pattern* autonomici (Lehrer et al., 2014; Shaffer et al., 2017). Tuttavia, la relazione tra cambiamento fisiologico e miglioramento clinico appare complessa e non lineare. In diversi studi, infatti, l'aumento dell'*HRV* non è risultato direttamente proporzionale alla riduzione della sintomatologia, suggerendo che la modulazione autonoma rappresenti una condizione facilitante, ma non sufficiente, per il cambiamento psicologico.

Nel complesso, le evidenze cliniche supportano l'idea che le tecniche mente–corpo possano svolgere un ruolo significativo nel migliorare la regolazione psicofisiologica in popolazioni cliniche, ma suggeriscono al contempo la necessità di una lettura teoricamente informata dei risultati, capace di distinguere tra effetti acuti, adattamenti cronici e reali trasformazioni del funzionamento regolativo.

4.6.2 Evidenze in ambito sportivo e della performance

Negli ultimi due decenni, le tecniche mente–corpo hanno ricevuto un'attenzione crescente anche nell'ambito della psicologia dello sport e della performance, dove lo stress non è concepito esclusivamente come fattore di rischio, ma come componente intrinseca delle situazioni competitive e di alta richiesta. In questo contesto, l'obiettivo degli interventi

mente–corpo non è primariamente la riduzione dell’attivazione in senso assoluto, bensì l’ottimizzazione dello stato psicofisiologico in funzione della prestazione, della stabilità attentiva e della capacità di adattamento sotto pressione (Gardner et al., 2007; Laborde et al., 2018).

La letteratura in ambito sportivo si è progressivamente spostata da un approccio centrato esclusivamente su variabili psicologiche soggettive verso modelli integrati che includono marker fisiologici di regolazione, tra cui l’*HRV*. In particolare quest’ultima è stata proposta come indice di autoregolazione, flessibilità adattiva e prontezza psicofisiologica, coerentemente con il modello di *Neurovisceral Integration* (Thayer et al., 2009) e con la *Vagal Tank Theory* applicata allo sport (Laborde et al., 2018).

Le evidenze empiriche indicano che atleti con livelli più elevati di *HRV* a riposo tendono a mostrare una migliore regolazione emotiva, una maggiore stabilità attentiva e una più efficiente gestione dello stress competitivo, sebbene tali associazioni non siano sempre lineari né universalmente riscontrabili (Laborde et al., 2017; Mosley et al., 2022). In questo senso, l’*HRV* viene sempre più interpretata non come semplice indice di rilassamento, ma come marcatore della capacità del sistema di modulare l’attivazione in modo flessibile in risposta alle richieste ambientali.

Numerosi studi sperimentali hanno indagato l’efficacia delle tecniche mente–corpo nel contesto sportivo, mostrando effetti positivi sulla gestione dell’ansia competitiva, sulla concentrazione e sulla qualità della prestazione, sebbene con risultati variabili e spesso mediati dall’esperienza dell’atleta e dalla durata dell’intervento (Gardner et al., 2012; Röthlin et al., 2016). In particolare studi condotti su atleti e popolazioni ad alta performance indicano che la respirazione a frequenza di risonanza può incrementare l’*HRV*, migliorare il controllo attentivo e favorire una risposta più efficiente a compiti stressanti, sia cognitivi sia motori (Lehrer et al., 2014; Pagaduan et al., 2020). In questi casi, l’effetto dell’intervento appare strettamente legato alla capacità di indurre una modulazione autonoma rapida e misurabile.

Un elemento distintivo dell’ambito sportivo è l’attenzione crescente verso la dinamica temporale della risposta allo stress, piuttosto che verso il solo livello basale di attivazione. In linea con la *Vagal Tank Theory*, diversi studi hanno evidenziato l’importanza di

considerare non solo l'*HRV* a riposo, ma anche le risposte di reattività e recupero in relazione a stressor acuti, quali compiti cognitivi, simulazioni competitive o situazioni di pressione sociale (Laborde et al., 2018). In questo quadro, le tecniche mente–corpo vengono valutate per la loro capacità di migliorare non tanto la calma generale, quanto la qualità della risposta adattiva allo stress.

Nel complesso, le evidenze in ambito sportivo suggeriscono che le tecniche mente–corpo possano rappresentare strumenti efficaci per modulare la risposta allo stress e supportare l'autoregolazione psicofisiologica in contesti di alta richiesta. Tuttavia, tali effetti risultano fortemente dipendenti dal contesto di applicazione, dalla temporalità dell'intervento e dal tipo di stressor considerato, evidenziando la necessità di studi sperimentali controllati che esplorino in modo sistematico gli effetti acuti di interventi mente–corpo sulla risposta allo stress.

4.6.3 Evidenze sperimentali su stress acuto, *HRV* e compiti cognitivi

Un filone di ricerca particolarmente rilevante per la presente tesi riguarda gli studi sperimentali che hanno indagato la risposta psicofisiologica a stressor acuti di natura cognitiva, analizzando la modulazione dell'*HRV* in relazione a compiti attentivi, di controllo esecutivo o di interferenza cognitiva. In questo ambito, lo stress viene operazionalizzato non come condizione cronica, ma come sfida temporanea capace di attivare i sistemi di regolazione centrale e autonoma, offrendo un contesto controllato per osservare i meccanismi di adattamento mente–corpo.

Compiti cognitivi ad alta richiesta, quali lo *Stroop Test* o paradigmi di interferenza attentiva, sono ampiamente utilizzati in letteratura come stressor sperimentali, in quanto in grado di evocare una risposta simpatica misurabile, accompagnata da una riduzione transitoria dell'*HRV* vagalmente mediata. Tale risposta è stata interpretata come espressione di un aumento del carico cognitivo e della necessità di mobilitare risorse attentive ed esecutive, in linea con il modello di *Neurovisceral Integration*, che attribuisce un ruolo centrale alla corteccia prefrontale nella modulazione dell'attività autonoma durante compiti cognitivamente impegnativi.

Numerosi studi hanno mostrato che l'esecuzione di compiti cognitivi stressanti è associata a una soppressione vagale transitoria, evidenziata da riduzioni degli indici di *HRV* nel dominio del tempo e della frequenza. Questa dinamica non è interpretata come disfunzionale in sé, ma come una risposta adattiva a breve termine. Tuttavia, la qualità di tale risposta, in termini di ampiezza della reattività e rapidità del recupero, risulta variabile tra individui ed è influenzata da fattori quali il livello di stress percepito, la capacità di autoregolazione e l'esperienza pregressa con tecniche di gestione dell'attivazione.

In questo contesto, le tecniche mente–corpo sono state progressivamente introdotte come interventi sperimentali acuti, con l'obiettivo di verificare se una modulazione intenzionale dello stato psicofisiologico possa influenzare la risposta allo stress cognitivo. Studi basati sulle tecniche mente corpo hanno evidenziato la possibilità di attenuare la soppressione vagale o di facilitare un recupero autonomico più rapido al termine del compito. Tali risultati suggeriscono che anche interventi di breve durata possono produrre modificazioni misurabili della risposta fisiologica allo stress, pur senza implicare necessariamente adattamenti cronici.

Un aspetto metodologicamente rilevante di questi studi riguarda la distinzione tra stato e tratto. Gli effetti osservati in seguito a una singola sessione di intervento vengono interpretati come modulazioni dello stato psicofisiologico momentaneo, piuttosto che come cambiamenti strutturali della capacità regolativa. Tuttavia, proprio per questa ragione, i paradigmi di stress acuto rappresentano un contesto privilegiato per esplorare i meccanismi immediati di regolazione, isolando l'effetto dell'intervento da variabili confondenti legate alla pratica a lungo termine.

La letteratura più recente sottolinea inoltre l'importanza di considerare non solo il valore medio dell'*HRV* durante il compito, ma anche la dinamica temporale della risposta, includendo fasi di baseline, reattività e recupero. Questo approccio consente di distinguere tra una semplice attenuazione dell'attivazione e una più sofisticata modulazione adattiva, caratterizzata da una risposta flessibile allo stress seguita da un recupero efficiente. In tale prospettiva, l'efficacia di un intervento mente–corpo non viene valutata esclusivamente in termini di incremento dell'*HRV*, ma come capacità di supportare una regolazione funzionale in presenza di richiesta cognitiva.

Alla luce di queste considerazioni, lo studio degli effetti acuti delle tecniche mente–corpo durante compiti cognitivi stressanti rappresenta un ambito di ricerca metodologicamente legittimo e teoricamente rilevante. Esso consente di indagare in modo diretto l’interazione tra intervento regolativo, risposta autonoma e richiesta cognitiva, fornendo un quadro interpretativo coerente per comprendere i risultati di studi sperimentali basati su singole sessioni e follow-up a breve termine.

4.6.4 Sintesi critica

Nel loro insieme, le evidenze empiriche disponibili indicano che le tecniche mente–corpo rappresentano un insieme di interventi potenzialmente efficaci per modulare la risposta allo stress e supportare i processi di autoregolazione psicofisiologica. Tuttavia, la letteratura esaminata evidenzia con chiarezza come l’efficacia di tali tecniche non possa essere interpretata in modo unitario o generalizzato, ma debba essere compresa alla luce di una serie di variabili critiche, tra cui il contesto di applicazione, la temporalità dell’intervento, la tipologia di stressor e i meccanismi regolativi coinvolti.

In ambito clinico, le tecniche mente–corpo mostrano effetti positivi prevalentemente in termini di riduzione della sintomatologia stress-correlata e miglioramento del benessere soggettivo, sebbene tali risultati siano caratterizzati da dimensioni dell’effetto generalmente moderate e da una significativa eterogeneità metodologica. L’introduzione di marker psicofisiologici ha consentito di superare parzialmente una lettura esclusivamente soggettiva degli esiti, evidenziando come molte condizioni cliniche siano associate a una ridotta flessibilità autonoma. Tuttavia, la relazione tra modificazioni dell’*HRV* e cambiamento clinico risulta complessa e non lineare, suggerendo che la modulazione fisiologica costituisca una condizione facilitante, ma non sufficiente, per il cambiamento psicologico.

In ambito sportivo e della performance, le tecniche mente–corpo vengono invece inquadrare principalmente come strumenti di ottimizzazione regolativa, piuttosto che come interventi di riduzione dell’attivazione in senso stretto. In questo contesto, l’*HRV* viene interpretata come indicatore di flessibilità adattiva, capacità di risposta allo stress e qualità del recupero, in linea con i modelli di *Neurovisceral Integration* e *Vagal Tank Theory*. Le evidenze suggeriscono che gli interventi possano influenzare positivamente la gestione

dello stress competitivo e la stabilità attentiva, ma mettono anche in luce la dipendenza di tali effetti dal contesto, dalla durata dell'intervento e dalla specificità del compito.

Un elemento trasversale emerso con particolare forza dalla letteratura riguarda la distinzione tra effetti acuti e adattamenti cronici. Numerosi studi documentano incrementi immediati dell'*HRV* e modificazioni della risposta autonoma in seguito a singole sessioni di intervento mente–corpo, soprattutto quando queste vengono applicate in prossimità o durante l'esposizione a uno stressor. Tuttavia, tali effetti non possono essere automaticamente interpretati come indicativi di cambiamenti stabili del sistema regolativo, che richiedono invece pratica ripetuta, integrazione funzionale e generalizzazione dei pattern appresi.

In questo scenario, gli studi sperimentali basati su *stressor* acuti di natura cognitiva, come i compiti di interferenza attentiva, assumono un ruolo metodologicamente e teoricamente centrale. Tali paradigmi consentono infatti di osservare in modo controllato la dinamica della risposta psicofisiologica allo stress, distinguendo tra fasi di baseline, reattività e recupero, e permettono di valutare l'effetto immediato di interventi regolativi su sistemi altamente sensibili come quello autonomo. L'utilizzo di compiti cognitivi standardizzati consente inoltre di ridurre la variabilità contestuale, aumentando la validità interna e la precisione nell'analisi dei meccanismi causali.

Alla luce di queste considerazioni, emerge con chiarezza uno spazio di ricerca ancora parzialmente esplorato, rappresentato dallo studio comparativo degli effetti acuti di differenti tecniche mente–corpo sulla risposta allo stress, integrando misure soggettive e fisiologiche e indagando la durata del mantenimento degli effetti ottenuti. In particolare, risulta rilevante indagare se interventi strutturalmente diversi, ma accomunati da un orientamento regolativo, producano pattern di risposta distinti o sovrapponibili a livello autonomo e psicologico quando applicati in condizioni di stress controllato. In particolare, la letteratura evidenzia una carenza di studi che esplorino in modo controllato gli effetti acuti di interventi mente–corpo multimodali sulla regolazione autonoma, valutandone non solo l'impatto immediato, ma anche la persistenza nel breve periodo e la capacità di modulare la risposta allo stress in condizioni di richiesta cognitiva.

Il presente lavoro si propone dunque di contribuire alla letteratura attraverso la presentazione di una revisione sistematica e di tre studi sperimentali originali, concepiti come parti di un percorso unitario volto a esplorare in modo progressivo e articolato gli effetti della *BWM-T*, assieme ad altri interventi mente corpo, sulla risposta allo stress e sulla regolazione autonoma, con particolare riferimento all'*HRV*. In particolare i 3 studi originali hanno le seguenti finalità.

Il primo studio è finalizzato a verificare l'impatto immediato di una singola sessione di *BWM-T* sui principali indici di *HRV*, con l'obiettivo di esplorare se e in che misura l'intervento sia in grado di produrre una modulazione acuta della regolazione autonoma rispetto un'intervento di psicoeducazione.

Il secondo studio estende questa analisi introducendo una valutazione di *follow-up* a quattro ore, al fine di esplorare la stabilità temporale degli effetti osservati e distinguere tra una modulazione puramente transitoria dello stato psicofisiologico e una persistenza a breve termine dei *pattern* regolativi indotti dall'intervento, ponendo a confronto la *BWM-T* con una breve induzione di *Mindfulness*.

Il terzo studio, infine, si colloca esplicitamente nel filone della ricerca sullo stress acuto sperimentale, analizzando l'effetto della *BWM-T* somministrata prima dell'esposizione a un compito cognitivo stressante. In questo caso, l'obiettivo è verificare se l'intervento sia in grado di influenzare la risposta psicofisiologica allo stress, modulando la reattività e il recupero autonomo durante e dopo il compito, oltre alle risposte soggettive associate in confronto a un intervento di psicoeducazione.

Nel loro insieme, la revisione sistematica e i tre studi consentono di affrontare in modo integrato e progressivo il tema della regolazione mente–corpo, passando dall'analisi degli effetti acuti in condizioni di riposo, alla loro persistenza nel breve periodo, fino all'esame del ruolo dell'intervento nella modulazione della risposta allo stress cognitivo. Tale impostazione risulta coerente con i modelli contemporanei di autoregolazione e risponde all'esigenza, sempre più riconosciuta in letteratura, di chiarire non solo se le tecniche mente–corpo producano effetti misurabili, ma quando, per quanto tempo e in quali condizioni tali effetti si manifestino.

PARTE II

STUDI EMPIRICI

CAPITOLO 5

SVILUPPO EPISTEMOLOGICO E METODOLOGICO DEGLI STUDI CONDOTTI

La presente tesi si articola in due parti tra loro strettamente interconnesse, una prima parte teorica, finalizzata alla ricostruzione dei principali modelli concettuali sullo stress, sulla regolazione psicofisiologica e sugli interventi mente–corpo, seguita da una seconda parte empirica, dedicata alla verifica sperimentale di tali modelli attraverso una serie di studi condotti. La Parte II si colloca dunque come naturale prosecuzione della Parte I, con l’obiettivo di tradurre il quadro teorico delineato nei capitoli precedenti in ipotesi operative e disegni di ricerca empiricamente testabili.

Nella Parte I è stato evidenziato come lo stress non possa essere compreso esclusivamente come una risposta lineare a uno stimolo, ma debba essere concepito come un processo dinamico, risultante dall’interazione tra valutazioni cognitive, risposte emotive e meccanismi di regolazione autonoma. In questa prospettiva, la regolazione dello stress emerge come un fenomeno multilivello, che coinvolge simultaneamente dimensioni soggettive e fisiologiche, rendendo necessario un approccio di studio integrato.

La Parte II nasce precisamente dall’esigenza di indagare empiricamente tali processi, superando la tradizionale separazione tra misure psicologiche e fisiologiche. Gli studi condotti presentati in questa sezione sono stati progettati per rispondere a due esigenze principali. Da un lato, verificare l’efficacia degli interventi mente–corpo nella modulazione della risposta allo stress e dall’altro esplorare i meccanismi psicofisiologici sottostanti a tali cambiamenti, con particolare riferimento alla regolazione autonoma e alla variabilità della frequenza cardiaca (*HRV*) come indicatore di adattamento e flessibilità fisiologica. In tal senso, la Parte II non si limita a valutare gli esiti degli interventi, ma si propone di analizzare il modo in cui tali esiti emergono nel tempo, considerando le diverse fasi della risposta allo stress e del recupero e di verificare se tali effetti si manifestino in diverse

condizioni sperimentali

È importante sottolineare che gli studi condotti e inseriti nella Parte II non devono essere interpretati come contributi indipendenti e slegati tra loro, bensì come elementi di un unico programma di ricerca coerente. Ciascuno studio risponde a specifici obiettivi, ma tutti condividono un impianto teorico comune e una logica metodologica integrata, volta a indagare la regolazione dello stress come processo dinamico e modificabile. In questa prospettiva, la Parte II rappresenta il tentativo di coniugare rigore sperimentale e rilevanza applicativa, offrendo un contributo empirico alla comprensione dei processi di regolazione mente–corpo in contesti di stress.

5.1 Razionale scientifico degli studi

Nonostante il crescente interesse scientifico per gli interventi mente–corpo e per il loro impiego nella gestione dello stress, la letteratura presenta ancora numerose criticità sul piano metodologico e teorico. In particolare, molti studi si limitano a valutare gli effetti degli interventi attraverso misure soggettive, trascurando i correlati psicofisiologici dei cambiamenti osservati, oppure utilizzano indicatori fisiologici in modo descrittivo, senza un solido ancoraggio teorico. Questa frammentazione ha contribuito a una comprensione parziale dei meccanismi attraverso cui le tecniche mente–corpo esercitano i loro effetti. Un ulteriore limite rilevante riguarda la tendenza a considerare lo stress come un esito statico, valutato in termini di riduzione sintomatologica pre–post intervento, piuttosto che come un processo dinamico che si sviluppa nel tempo e che coinvolge fasi distinte di attivazione, mantenimento e recupero. Tale impostazione riduce la possibilità di cogliere le modalità con cui l’organismo si adatta alle richieste ambientali e limita l’interpretabilità dei risultati, soprattutto quando si analizzano interventi finalizzati alla regolazione autonoma.

Alla luce di queste criticità, gli studi presentati nella Parte II sono stati concepiti per rispondere a tre esigenze scientifiche principali. In primo luogo, integrare sistematicamente misure psicologiche e psicofisiologiche, al fine di cogliere in modo più completo la risposta allo stress e i cambiamenti indotti dagli interventi. In secondo luogo, adottare disegni sperimentali che consentano di analizzare lo stress come processo, distinguendo tra fasi di riposo, esposizione allo stress e recupero. Infine in terzo luogo, collocare

l'interpretazione dei dati all'interno di modelli teorici consolidati della regolazione autonoma e dell'autoregolazione, evitando letture riduzionistiche dei singoli indici.

Il razionale scientifico di questa Parte II si fonda dunque sull'ipotesi che gli interventi mente–corpo agiscano principalmente attraverso la modulazione dei sistemi di regolazione psicofisiologica, piuttosto che tramite unicamente effetti cognitivi o percettivi. In tale prospettiva, l'*HRV* rappresenta uno strumento privilegiato per osservare tali processi, in quanto indicizza la capacità dell'organismo di adattarsi in modo flessibile alle richieste ambientali. Tuttavia, l'*HRV* viene qui concepita non come un semplice *marker* di stato, ma come un indicatore dinamico, sensibile alle variazioni indotte dallo stress e alle fasi di recupero successive.

Inoltre, la scelta di articolare la Parte II in più studi distinti risponde all'esigenza di affrontare il tema della regolazione dello stress da prospettive complementari. Attraverso studi con differenti disegni, popolazioni e obiettivi specifici, è stato possibile esplorare sia gli effetti immediati degli interventi sia le loro implicazioni in contesti più applicativi. Questa strategia consente di rafforzare la solidità complessiva dei risultati e di fornire una visione più articolata dei meccanismi di azione delle tecniche mente–corpo.

5.2 La scelta della regolazione dello stress come processo psicofisiologico

Ai fini della progettazione, della conduzione e dell'interpretazione degli studi presentati nella Parte II, si è reso necessario adottare una definizione operativa di stress e della sua regolazione coerente con i modelli teorici discussi nella Parte I e con l'impostazione psicofisiologica del presente lavoro. In questa prospettiva, la regolazione dello stress non viene intesa come un semplice esito misurabile in termini di riduzione sintomatologica, ma come un processo psicofisiologico dinamico, che si sviluppa nel tempo e che coinvolge l'interazione continua tra valutazioni cognitive, risposte emotive e meccanismi di regolazione autonoma.

Tale impostazione implica il superamento di una concezione lineare stimolo–risposta dello stress, a favore di modelli che considerano l'adattamento come il risultato di una modulazione flessibile dell'attivazione in funzione delle richieste ambientali e delle risorse

individuali disponibili. In questo senso, lo stress non è concepito esclusivamente come uno stato di attivazione elevata o di disagio soggettivo, ma come un processo che può assumere configurazioni differenti a seconda del contesto, del compito e della fase temporale considerata.

Dal punto di vista fisiologico, la risposta allo stress si manifesta attraverso modificazioni coordinate dell'attività del sistema nervoso autonomo, con variazioni nei pattern di attivazione simpatica e parasimpatica. Tuttavia, in linea con i modelli contemporanei di autoregolazione, ciò che risulta centrale per l'adattamento non è il livello assoluto di attivazione, quanto piuttosto la capacità dell'organismo di modulare efficacemente tale attivazione, passando in modo flessibile da stati di attivazione funzionale a stati di recupero una volta cessata la sollecitazione. In questa prospettiva, la regolazione dello stress non coincide con una semplice riduzione dell'arousal, ma con la capacità di rispondere in modo appropriato alle richieste e di ristabilire un equilibrio funzionale.

La letteratura psicofisiologica ha identificato nella flessibilità autonoma uno dei principali indicatori di tale capacità regolatoria. L'*HRV*, in particolare nelle sue componenti vagalmente mediate, è stata interpretata come un indice della capacità dell'organismo di integrare segnali centrali e periferici e di adattare la risposta fisiologica alle sfide ambientali. In questo quadro, un'adeguata regolazione dello stress non si esprime in valori di *HRV* elevati o ridotti in senso assoluto, ma in pattern dinamici di variazione, coerenti con le richieste del compito e con le fasi di recupero successive.

Considerare la regolazione dello stress come processo implica inoltre la necessità di distinguere tra momenti funzionalmente differenti della risposta psicofisiologica. Le fasi di riposo, esposizione allo stress e recupero rappresentano stati qualitativamente distinti, ciascuno caratterizzato da specifiche configurazioni di attivazione autonoma. L'analisi isolata di una sola fase rischia di fornire una rappresentazione parziale del funzionamento regolatorio, mentre l'osservazione delle transizioni tra le fasi consente di cogliere la capacità dell'organismo di adattarsi e riorganizzarsi nel tempo.

All'interno di questo quadro concettuale, gli interventi mente–corpo vengono interpretati come strumenti in grado di agire non soltanto sull'intensità della risposta allo stress, ma soprattutto sulle modalità di regolazione dei processi psicofisiologici sottostanti. Attraverso

pratiche che coinvolgono in modo integrato l'attenzione, la respirazione e la percezione corporea, tali interventi possono favorire una maggiore integrazione tra dimensioni cognitive e autonome, promuovendo pattern di risposta più flessibili e funzionali.

Gli studi presentati nella Parte II si collocano esplicitamente all'interno di questa cornice concettuale e adottano la regolazione dello stress come processo psicofisiologico quale oggetto primario di indagine. Questa scelta guida sia la selezione delle misure psicologiche e fisiologiche, sia la strutturazione dei paradigmi sperimentali e delle finestre temporali di osservazione, consentendo un'analisi coerente e integrata dei meccanismi di autoregolazione attivati dagli interventi mente–corpo.

5.3 Scelta delle misure e dei paradigmi sperimentali

La scelta delle misure e dei paradigmi sperimentali adottati negli studi presentati nella Parte II è stata guidata dall'esigenza di cogliere la complessità dei processi di regolazione dello stress, evitando approcci riduzionistici basati su singoli indicatori o valutazioni statiche. Coerentemente con l'impostazione teorica delineata nei capitoli precedenti, la regolazione dello stress è stata operazionalizzata attraverso un'integrazione di misure psicologiche e psicofisiologiche, in grado di restituire una rappresentazione multilivello del funzionamento dell'individuo sotto stress.

Per quanto concerne le misure psicologiche, sono stati privilegiati strumenti validati per la valutazione dell'ansia, dello stress e delle risorse di autoregolazione, al fine di rilevare le componenti soggettive dell'esperienza. Tali misure consentono di esplorare come gli individui percepiscono e interpretano le situazioni stressanti e come valutano i propri stati interni prima e dopo l'intervento. Tuttavia, la valutazione esclusivamente soggettiva di questi vissuti risulta insufficiente a coglierne i correlati fisiologici e le dinamiche regolatorie sottostanti, rendendo necessaria l'integrazione con misure oggettive.

In questo contesto, l'*HRV* è stata selezionata come principale indicatore psicofisiologico, in quanto ampiamente utilizzata nella letteratura per l'analisi della regolazione autonoma e dell'adattamento allo stress. L'*HRV* offre il vantaggio di essere una misura non invasiva, sensibile alle variazioni dello stato autonomico e adatta a cogliere cambiamenti sia tonici

sia fasici della risposta fisiologica. Tuttavia, in linea con le raccomandazioni metodologiche più recenti, l'*HRV* è stata interpretata con cautela, evitando letture semplicistiche in termini di equilibrio simpato–vagale e privilegiando un focus sulle componenti vagalmente mediate e sulla loro variazione nel tempo.

Un elemento centrale dell'intero disegno sperimentale riguarda la strutturazione delle procedure di misurazione in fasi distinte. In tutti gli studi della Parte II, la risposta allo stress è stata analizzata considerando almeno una fase di baseline e una fase di recupero successiva. Questa articolazione consente di distinguere il livello di funzionamento autonomico a riposo dalla reattività allo stress e dalla capacità di recupero, offrendo una visione più completa dei processi di regolazione. L'analisi delle differenze tra queste fasi permette inoltre di indagare non solo se un intervento produce cambiamenti, ma in quale momento del processo tali cambiamenti si manifestano.

La scelta dei paradigmi utilizzati nei diversi studi risponde all'esigenza di evocare una risposta psicofisiologica sufficientemente intensa e riproducibile, pur mantenendo un elevato controllo sperimentale. Compiti cognitivi o situazioni strutturate sono stati impiegati per indurre un'attivazione o disattivazione autonoma misurabile, consentendo al contempo il confronto tra condizioni e gruppi. L'utilizzo di paradigmi standardizzati favorisce la replicabilità degli studi e rafforza l'interpretabilità dei risultati.

Nel loro insieme, le scelte metodologiche adottate mirano a garantire coerenza tra il quadro teorico di riferimento e le procedure sperimentali, permettendo di analizzare la regolazione dello stress come processo dinamico e multilivello. Questa impostazione costituisce il fondamento metodologico su cui si sviluppano i quattro studi presentati nei capitoli successivi.

5.4 Razionale degli interventi mente–corpo utilizzati

La selezione degli interventi mente–corpo impiegati negli studi della Parte II è stata guidata da criteri teorici e metodologici coerenti con l'obiettivo generale della tesi, ovvero l'analisi dei processi di regolazione dello stress sul piano psicofisiologico. In particolare, sono stati privilegiati interventi che agiscono direttamente sui meccanismi di autoregolazione, coinvolgendo in modo esplicito l'interazione tra attenzione e percezione

corporea, piuttosto che tecniche focalizzate esclusivamente sulla respirazione, ristrutturazione cognitiva o sulla gestione sintomatica.

Dal punto di vista teorico, gli interventi mente–corpo si fondano sull’assunto che la regolazione degli stati interni non avvenga unicamente attraverso processi cognitivi *top–down*, ma coinvolga anche canali *bottom–up*, capaci di modulare l’attività del sistema nervoso autonomo. In questa prospettiva, pratiche che includono l’attenzione focalizzata alle sensazioni corporee e l’integrazione mente–corpo rappresentano strumenti particolarmente idonei per intervenire sui circuiti psicofisiologici implicati nella risposta allo stress.

Un ulteriore criterio di selezione ha riguardato la *standardizzabilità* e la riproducibilità degli interventi. Gli approcci utilizzati sono stati strutturati in protocolli chiari e replicabili, al fine di ridurre la variabilità procedurale e garantire un adeguato controllo sperimentale. Questo aspetto risulta cruciale in un contesto di ricerca sperimentale, in cui l’efficacia di un intervento deve poter essere valutata in modo sistematico e confrontabile tra studi e condizioni diverse.

Gli interventi mente–corpo inclusi nella Parte II presentano inoltre una durata relativamente breve e una struttura compatta, in linea con l’obiettivo di osservare effetti acuti o a breve termine sulla regolazione dello stress. Tale scelta risponde all’esigenza di indagare la sensibilità dei sistemi di regolazione psicofisiologica a interventi mirati e circoscritti nel tempo, evitando l’introduzione di variabili confondenti legate a percorsi di lunga durata o a processi di apprendimento estesi. In questo senso, l’attenzione è posta più sui meccanismi di azione immediati che sugli esiti clinici a lungo termine.

Infine, la presenza di interventi differenti all’interno degli studi consente di esplorare la regolazione dello stress da prospettive complementari, mettendo a confronto approcci che, pur condividendo una matrice mente–corpo, si differenziano per enfasi e modalità operative. Questa scelta permette di analizzare se e in che misura differenti modalità di intervento producano pattern distinti di risposta psicofisiologica, contribuendo a una comprensione più articolata dei meccanismi attraverso cui le tecniche mente–corpo influenzano la regolazione autonoma.

Nel loro insieme, gli interventi selezionati non vengono considerati semplicemente come strumenti terapeutici, ma come vere e proprie manipolazioni sperimentali, finalizzate a testare ipotesi sui processi di regolazione dello stress. Essi costituiscono pertanto un elemento centrale del disegno di ricerca della Parte II, ponendo le basi per l'interpretazione integrata dei risultati presentati nei capitoli successivi.

5.5 La revisione sistematica come cornice concettuale della Parte II

La Parte II della presente tesi si apre con una revisione sistematica della letteratura dedicata agli interventi mente–corpo e ai loro effetti sulla regolazione dello stress e sui correlati psicofisiologici, con particolare attenzione agli indici dell'*HRV*. La scelta di collocare la revisione sistematica all'inizio della sezione empirica risponde a un'esigenza metodologica e concettuale precisa, fornire una mappa critica dello stato dell'arte prima di introdurre gli studi sperimentali originali.

Negli ultimi due decenni, la letteratura sugli interventi mente–corpo ha mostrato una crescita esponenziale, accompagnata tuttavia da una notevole eterogeneità teorica, metodologica e interpretativa. Le tecniche considerate sotto l'etichetta di *mind–body interventions* includono approcci differenti per durata, struttura, focus attentivo e meccanismi ipotizzati di azione, rendendo complessa una lettura integrata dei risultati. In questo contesto, la revisione sistematica assume la funzione di chiarire quali evidenze siano attualmente disponibili, quali indicatori psicofisiologici risultino maggiormente sensibili al cambiamento e quali limiti ricorrenti emergano nella ricerca esistente.

Un ulteriore obiettivo della revisione è quello di mettere in luce il ruolo dell'*HRV* come indice privilegiato di regolazione autonoma e di adattamento allo stress. Sebbene l'*HRV* sia sempre più utilizzata negli studi in ambito clinico, sportivo e della performance, permangono differenze rilevanti nelle modalità di misurazione, nelle fasi sperimentali considerate (riposo, reattività, recupero) e nelle interpretazioni teoriche dei risultati. La revisione consente pertanto di collocare criticamente l'uso dell'*HRV* all'interno di modelli coerenti di autoregolazione psicofisiologica, evitando letture semplificate o puramente descrittive.

Dal punto di vista strutturale, la revisione sistematica non viene concepita come un capitolo isolato, ma come un elemento funzionale all'intero impianto della Parte II. I risultati emersi orientano infatti la progettazione degli studi successivi, sia nella scelta degli interventi mente–corpo da testare, sia nella selezione delle variabili psicologiche e fisiologiche di *outcome*, sia infine nella definizione delle finestre temporali di osservazione. In questo senso, la revisione svolge una funzione generativa, ponendo le basi teoriche e metodologiche per gli studi sperimentali presentati nei capitoli successivi. Infine, l'inclusione della revisione sistematica consente di evidenziare le lacune presenti nella letteratura, in particolare per quanto riguarda gli effetti acuti degli interventi mente–corpo, il confronto tra tecniche differenti e l'analisi integrata di misure soggettive e psicofisiologiche. Tali criticità rappresentano il punto di partenza esplicito dei quattro studi empirici che compongono il nucleo della Parte II, i quali si propongono di contribuire in modo mirato al superamento di tali limiti.

CAPITOLO 6

STATO DELL'ARTE SUGLI INTERVENTI MENTE-CORPO, HRV E REGOLAZIONE PSICOFISIOLOGICA DELLO STRESS: UNA REVISIONE SISTEMATICA

6.1 Introduzione alla revisione sistematica

Negli ultimi anni, gli interventi mente–corpo hanno ricevuto una crescente attenzione nella ricerca psicologica e psicofisiologica come strategie potenzialmente efficaci per la gestione dello stress e per la promozione di processi di autoregolazione. Tali interventi includono un insieme eterogeneo di pratiche che condividono l'obiettivo di intervenire sull'interazione tra processi mentali e fisiologici, attraverso il coinvolgimento consapevole dell'attenzione, della respirazione e della percezione corporea. Nonostante il crescente numero di studi pubblicati, la letteratura presenta risultati non sempre convergenti e una marcata eterogeneità metodologica, che rende complessa una valutazione integrata delle evidenze disponibili.

In particolare, sebbene numerosi studi riportino effetti positivi degli interventi mente–corpo sulla riduzione dell'ansia e dello stress percepito, rimane meno chiaro in che misura tali cambiamenti siano accompagnati da modificazioni coerenti dei sistemi di regolazione psicofisiologica. La variabilità della frequenza cardiaca è sempre più frequentemente utilizzata come indicatore di tali processi, in quanto riflette la modulazione autonoma e la flessibilità dell'organismo nell'adattarsi alle richieste ambientali. Tuttavia, l'uso dell'*HRV* nella letteratura sugli interventi mente–corpo è caratterizzato da una notevole variabilità nelle modalità di misurazione, negli indici selezionati e nei modelli teorici di riferimento adottati per l'interpretazione dei risultati.

Un ulteriore elemento critico riguarda la concezione dello stress sottesa agli studi esistenti. In molti casi, lo stress viene trattato come un esito statico, valutato attraverso confronti pre–post intervento, senza un'analisi approfondita delle dinamiche temporali della risposta psicofisiologica. Questo approccio limita la comprensione dei meccanismi di azione degli interventi mente–corpo, che potrebbero agire non solo sull'intensità della risposta allo stress, ma anche sulla reattività e sulla capacità di recupero dell'organismo.

Alla luce di tali considerazioni, la presente revisione sistematica si propone di offrire una

sintesi critica della letteratura sugli interventi mente–corpo, con particolare attenzione agli effetti sulla regolazione dello stress e ai correlati psicofisiologici indicizzati dall'*HRV*.

L'obiettivo non è soltanto quello di valutare l'efficacia complessiva di tali interventi, ma anche di analizzare come essi siano stati studiati, quali misure siano state privilegiate e quali limiti metodologici emergano in modo ricorrente. In questo senso, la revisione intende fornire una base solida per l'interpretazione degli studi sperimentali presentati nei capitoli successivi, contribuendo a collocare i risultati originali della tesi all'interno del più ampio panorama della ricerca esistente.

6.2 Metodo

6.2.1 Disegno della revisione

La presente revisione è stata condotta seguendo un disegno di revisione sistematica, con l'obiettivo di identificare, selezionare e analizzare in modo critico gli studi empirici che hanno indagato gli effetti degli interventi mente–corpo sulla regolazione dello stress e sui correlati psicofisiologici, con particolare riferimento alla variabilità della frequenza cardiaca. Il processo di revisione è stato strutturato in accordo con le linee guida *PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)*, al fine di garantire trasparenza, replicabilità e rigore metodologico nelle diverse fasi di ricerca, selezione e sintesi degli studi.

La revisione è stata concepita con finalità descrittive e critiche, piuttosto che meta-analitiche, in considerazione dell'elevata eterogeneità degli interventi, dei disegni sperimentali e delle misure utilizzate negli studi disponibili. Questa scelta metodologica consente di esplorare in modo approfondito le caratteristiche della letteratura esistente, mettendo in evidenza *pattern* ricorrenti, discrepanze metodologiche e aree di criticità, piuttosto che produrre stime quantitative aggregate.

6.2.2 Strategia di ricerca bibliografica

La ricerca bibliografica è stata condotta attraverso una consultazione sistematica di più database elettronici di ambito psicologico, medico e delle scienze dello sport, al fine di

garantire una copertura ampia e interdisciplinare della letteratura. I database consultati includono *PubMed*, *Web of Science*, *Scopus* e *PsycINFO*. Le stringhe di ricerca sono state costruite combinando termini relativi agli interventi mente–corpo, allo stress e alla variabilità della frequenza cardiaca, utilizzando operatori booleani. In particolare, sono stati impiegati termini quali *mind–body intervention*, *mindfulness*, *meditation*, *breathing*, *biofeedback*, *stress*, *anxiety* e *heart rate variability*. Le stringhe sono state adattate alle specificità di ciascun database. La ricerca è stata limitata a studi pubblicati su riviste *peer-reviewed* e redatti in lingua inglese. Non sono stati applicati vincoli stringenti rispetto all’anno di pubblicazione, al fine di includere sia studi pionieristici sia contributi più recenti, garantendo una visione complessiva dell’evoluzione del campo.

6.2.3 Criteri di inclusione ed esclusione

Gli studi sono stati inclusi nella revisione se soddisfacevano i seguenti criteri:

- (a) Utilizzo di uno o più interventi riconducibili alle tecniche mente–corpo;
- (b) Valutazione dello stress o di costrutti correlati (per esempio ansia o distress) attraverso misure psicologiche e/o psicofisiologiche;
- (c) Inclusione della variabilità della frequenza cardiaca come *outcome* o variabile di interesse;
- (d) Disegno empirico sperimentale o quasi sperimentale;
- (e) Popolazioni adulte sane o non cliniche.

Sono stati esclusi studi condotti su popolazioni cliniche con diagnosi mediche o psichiatriche specifiche, studi di caso singolo, articoli teorici, *review* narrative, meta-analisi e contributi non sottoposti a revisione paritaria. Per non cliniche si intendono popolazioni senza diagnosi medica/psichiatrica riportata o reclutate nella comunità/contesti educativi e lavorativi, anche quando presenti livelli subclinici di stress.

Sono stati inoltre esclusi studi che utilizzavano l’*HRV* in modo puramente descrittivo, senza un chiaro collegamento con la regolazione dello stress o con l’intervento mente–corpo.

6.2.4 Processo di selezione degli studi

Il processo di selezione si è articolato in più fasi. In una prima fase, sono stati esaminati titoli e abstract degli studi individuati attraverso la ricerca bibliografica, al fine di valutare la pertinenza rispetto ai criteri di inclusione. Successivamente, i *full-text* degli articoli potenzialmente rilevanti sono stati analizzati in modo approfondito per confermare l'idoneità all'inclusione nella revisione. Il processo di selezione è stato documentato attraverso un diagramma di flusso conforme alle linee guida *PRISMA*, che riporta il numero di studi identificati, esclusi e inclusi in ciascuna fase della revisione (Vedi Appendice Figura 1)

6.2.5 Estrazione dei dati

Per ciascuno studio incluso, sono stati estratti dati relativi alle caratteristiche del campione, al tipo di intervento mente–corpo, alla durata e modalità di somministrazione, alle misure psicologiche utilizzate e agli indici di *HRV* analizzati.

6.2.6 Valutazione della qualità metodologica

La qualità metodologica degli studi inclusi è stata valutata utilizzando criteri standardizzati di *assessment* del rischio di *bias*, tenendo conto di aspetti quali il disegno sperimentale, la presenza di gruppi di controllo, la randomizzazione, la chiarezza delle procedure e l'appropriatezza delle analisi statistiche. Questa valutazione è stata utilizzata a fini interpretativi, senza escludere automaticamente studi sulla base della sola qualità metodologica, al fine di fornire una rappresentazione il più possibile completa della letteratura esistente.

6.3 Risultati

Al termine del processo di selezione, condotto secondo le linee guida *PRISMA*, sono stati inclusi nella revisione 23 studi empirici, per un totale complessivo di 1297 partecipanti. Gli studi sono stati pubblicati tra il 2018 e il 2024 e risultano distribuiti in modo eterogeneo a

livello geografico, con una prevalenza di contributi provenienti dall'Europa, ma anche studi condotti in Nord e Sud America e in Asia.

(Vedi Appendice Tabella 1)

Le popolazioni investigate risultano prevalentemente non cliniche, in linea con i criteri di inclusione della revisione. In particolare, otto studi hanno coinvolto studenti universitari, sei studi lavoratori, due studi atleti, mentre in sette studi la popolazione non è stata ulteriormente specificata. L'età media dei partecipanti varia ampiamente, da giovani adulti fino a soggetti anziani, sebbene la maggior parte degli studi si concentri su campioni di età compresa tra i 19 e i 40 anni.

Per quanto riguarda il disegno sperimentale, 14 studi adottano un disegno *randomized controlled trial*, mentre i restanti includono studi pilota, disegni quasi-sperimentali, studi crossover ed esplorativi. Tale eterogeneità metodologica riflette lo stato attuale della letteratura sugli interventi mente–corpo, caratterizzata da un rapido sviluppo ma da una limitata standardizzazione dei protocolli sperimentali.

6.3.1 Tipologie di interventi mente–corpo

Sulla base delle caratteristiche degli interventi descritti negli studi inclusi, è stato possibile classificare le tecniche mente–corpo in quattro categorie principali, interventi di *Mindfulness*, *HRV* biofeedback, interventi basati sulla respirazione e interventi misti (Vedi Appendice Tabella 2).

Gli interventi di *Mindfulness* rappresentano la categoria più frequente, con 8 studi. All'interno di questo gruppo, tre studi utilizzano protocolli di tipo *MBSR* o adattamenti dello stesso, tre impiegano pratiche di *Mindfulness* formale, mentre due adottano protocolli di *Mindful Loving-Kindness and Compassion*. La durata degli interventi varia considerevolmente, da singole sessioni di 10–24 minuti fino a programmi di due mesi con pratica regolare in gruppo e a domicilio.

Gli interventi di *HRV* biofeedback sono presenti in 7 studi. Tali interventi mostrano un'elevata variabilità sia in termini di durata complessiva sia di numero di sessioni, che vanno da una singola sessione di 10–30 minuti fino a programmi strutturati di otto

settimane con allenamento quotidiano. La maggior parte degli studi prevede interventi individuali, svolti in laboratorio, in ambito ospedaliero o tramite piattaforme digitali per la pratica domiciliare.

Gli interventi basati sulla respirazione sono rappresentati da 4 studi e includono tecniche di respirazione lenta, respirazione diaframmatica e *RSA breathing*. In questo gruppo prevalgono protocolli brevi, spesso costituiti da una singola sessione della durata compresa tra 6 e 15 minuti, sebbene uno studio preveda un intervento distribuito su quattro settimane

Infine, 4 studi utilizzano interventi misti, che combinano elementi di *Mindfulness*, respirazione e *HRV biofeedback*. Questi interventi presentano una maggiore complessità procedurale e una durata variabile, da singole sessioni brevi fino a programmi di sei settimane con pratica quotidiana. Tutti gli interventi misti sono stati somministrati in formato individuale.

6.3.2 Misure psicologiche e psicofisiologiche utilizzate

Tutti gli studi inclusi prevedono la valutazione di almeno un indicatore di salute mentale o distress psicologico, in accordo con i criteri di inclusione. Le misure psicologiche più frequentemente utilizzate riguardano lo stress percepito, l'ansia, la reattività emotiva e, in alcuni casi, il funzionamento cognitivo o la qualità del sonno. Per quanto concerne le misure psicofisiologiche, tutti gli studi utilizzano la variabilità della frequenza cardiaca come indice di regolazione autonoma. Gli indici di *HRV* analizzati includono misure del dominio del tempo (*rMSSD*, *SDNN*, *pNN50*) e del dominio delle frequenze (*VLF*, *HF*, *LF*, *LF/HF*). In linea con le scelte metodologiche dichiarate dagli autori, l'*rMSSD* rappresenta l'indice più frequentemente utilizzato, in quanto considerato meno sensibile alle variazioni respiratorie rispetto ad altri parametri.

6.3.3 Effetti degli interventi sugli indici di *HRV*

Complessivamente, 17 dei 23 studi inclusi (73,91%) riportano un effetto significativo di almeno un intervento mente-corpo su uno o più indici di *HRV*. In particolare, 58,82% degli

studi mostrano un cambiamento significativo dell'*rMSSD*, confermando la sensibilità di questo parametro nell'individuare modificazioni della regolazione parasimpatica. Analizzando i risultati in funzione della tipologia di intervento, emerge che la maggior parte degli studi di *Mindfulness* e *HRV* biofeedback riporta miglioramenti significativi di uno o più indici di *HRV*, sebbene siano presenti anche risultati nulli, soprattutto negli studi basati su una singola sessione. Gli interventi di respirazione mostrano risultati più eterogenei, con effetti significativi osservati in circa la metà degli studi. Gli interventi misti, invece, mostrano risultati positivi in tutti gli studi inclusi, sebbene il numero di contributi in questa categoria sia limitato.

6.3.4 Studi a sessione singola

Un aspetto rilevante emerso dalla revisione riguarda gli interventi a sessione singola, che rappresentano 10 dei 23 studi inclusi (43,48%). All'interno di questo sottogruppo, 6 studi (60%) riportano un cambiamento significativo in almeno un indice di *HRV*. Tali risultati suggeriscono che, in determinate condizioni, anche interventi brevi possono produrre modificazioni misurabili della regolazione autonoma, sebbene l'eterogeneità dei protocolli e dei campioni renda necessaria cautela nell'interpretazione.

6.4 Discussione

I risultati della presente revisione sistematica mostrano che la maggior parte degli studi inclusi riporta effetti significativi degli interventi mente-corpo su almeno un indice di variabilità della frequenza cardiaca. In particolare, emerge una relativa convergenza nel considerare l'*rMSSD* come parametro sensibile ai cambiamenti indotti dagli interventi, suggerendo un possibile coinvolgimento dei meccanismi di regolazione parasimpatica. *rMSSD* è stato l'indice più utilizzato, in quanto comunemente impiegato come *proxy* della *HRV* vagalmente mediata e particolarmente adatto a registrazioni brevi, pur rimanendo sensibile alle caratteristiche della respirazione.

Tuttavia, tale evidenza non è uniforme e coesiste con un numero non trascurabile di studi che non rilevano effetti significativi, soprattutto in protocolli caratterizzati da una singola sessione o da una durata molto limitata. La sintesi complessiva dei risultati evidenzia

dunque un quadro articolato, da un lato, gli interventi mente–corpo appaiono potenzialmente efficaci nel modulare la regolazione autonoma; dall’altro, l’eterogeneità dei risultati suggerisce che tali effetti siano fortemente dipendenti dalle caratteristiche dell’intervento, dalla popolazione studiata e dalle modalità di misurazione adottate. Questo dato rafforza l’idea che non sia possibile formulare conclusioni generalizzabili senza considerare il contesto sperimentale e i processi sottostanti.

6.4.1 Interpretazione dei risultati alla luce dei modelli teorici

Letti alla luce dei principali modelli teorici della regolazione psicofisiologica, i risultati della revisione sembrano coerenti con una concezione dello stress come processo dinamico e multilivello. I cambiamenti osservati negli indici di *HRV*, quando presenti, possono essere interpretati come espressione di una maggiore flessibilità autonoma e di una più efficiente modulazione vagale, piuttosto che come semplici variazioni quantitative di attivazione fisiologica. In particolare, i risultati risultano compatibili con i modelli che enfatizzano il ruolo della regolazione parasimpatica nella capacità di adattamento allo stress, come i modelli di integrazione neuroviscerale e di autoregolazione. In questa prospettiva, gli interventi mente–corpo non agirebbero esclusivamente riducendo l’*arousal*, ma facilitando una riorganizzazione più funzionale dei sistemi di regolazione, soprattutto in relazione alla capacità di recupero dopo una sollecitazione stressante. Tuttavia, la revisione mette anche in evidenza come tali modelli teorici vengano raramente esplicitati o utilizzati in modo sistematico per guidare la progettazione degli studi e l’interpretazione dei risultati. In molti casi, l’*HRV* viene impiegata come *outcome* isolato, senza un chiaro collegamento a ipotesi teoriche sui meccanismi di azione degli interventi, limitando la portata interpretativa dei dati raccolti.

6.4.2 Limiti metodologici della letteratura esistente

Uno degli aspetti più rilevanti emersi dalla revisione riguarda i limiti metodologici ricorrenti nella letteratura sugli interventi mente–corpo. In primo luogo, l’elevata eterogeneità dei protocolli di intervento, in termini di durata, frequenza e contenuto, rende complesso il confronto diretto tra studi e ostacola la possibilità di individuare pattern di risposta stabili. In secondo luogo, le modalità di misurazione dell’*HRV* risultano

estremamente variabili. Gli studi differiscono per la scelta degli indici, per la durata delle registrazioni e per le condizioni sperimentali in cui le misurazioni vengono effettuate. In particolare, la distinzione tra fasi di riposo, reattività allo stress e recupero è spesso assente o poco esplicitata, con una conseguente riduzione della capacità di interpretare l'HRV come indicatore di processo. Un ulteriore limite riguarda le dimensioni campionarie, frequentemente ridotte, e l'uso non sempre rigoroso di disegni sperimentali controllati. Questi aspetti incidono sulla robustezza statistica dei risultati e sulla loro generalizzabilità, soprattutto quando si considerano interventi brevi o a sessione singola.

6.4.3 Implicazioni per la ricerca futura

Nel loro insieme, i risultati della revisione suggeriscono la necessità di una integrazione nella ricerca sugli interventi mente–corpo. Anzitutto emerge un numero esiguo di studi che abbia previsto il monitoraggio di indici fisiologici come l'HRV. Questo dato risulta in contraddizione con la tipologia di intervento, in quanto metodiche mente-corpo per definizione comportano degli effetti anche a partire dalla componente somatica. La mancanza di misura di queste parti può rappresentare un limite da superare. Manca anche in molti studi un campionamento rigoroso e un'analisi rigorosa dei dati dell'HRV. Allo stesso tempo non sono presenti studi che abbiano monitorato gli effetti degli interventi dopo una singola sessione nel corpo del tempo, anche a distanza di poche ore. Questa limitazione risulta particolarmente evidente in quanto non consente di poter considerare gli effetti di una singola sessione di intervento se non come acuti. Infine piuttosto che concentrarsi esclusivamente sugli esiti pre–post, appare fondamentale progettare studi in grado di cogliere la dimensione processuale della regolazione dello stress, distinguendo tra diverse fasi della risposta psicofisiologica e analizzando le transizioni tra di esse. Queste considerazioni costituiscono il rationale diretto per gli studi sperimentali presentati nei capitoli successivi, che si propongono di affrontare alcune delle criticità emerse dalla revisione, adottando un approccio processuale e integrato alla regolazione dello stress.

CAPITOLO 7

PRIMO STUDIO: VARIAZIONI DELLA REGOLAZIONE PSICOFISIOLOGICA DELLO STRESS DOPO UNA SINGOLA SESSIONE DI BWM-T E PSICOEDUCAZIONE

7.1 Razionale e ipotesi

Lo stress rappresenta uno dei costrutti centrali nello studio del funzionamento psicofisiologico umano, in quanto coinvolge simultaneamente processi cognitivi, emotivi e autonomici. In particolare, lo stress di breve durata, pur potendo svolgere una funzione adattiva, è associato a rapide modificazioni dell'equilibrio del sistema nervoso autonomo (*SNA*), con una prevalente attivazione simpatica e una concomitante riduzione della modulazione parasimpatica. Tali cambiamenti si riflettono in modo sensibile sulla variabilità della frequenza cardiaca (*HRV*), considerata uno degli indicatori più affidabili della capacità dell'organismo di autoregolarsi in risposta alle richieste ambientali.

Numerose evidenze empiriche mostrano come una riduzione dell'*HRV* sia associata a condizioni di stress acuto e cronico, a livelli elevati di ansia di stato e a una minore flessibilità adattiva del sistema psicofisiologico. Studi condotti su popolazioni universitarie hanno documentato una significativa diminuzione dei principali parametri *HRV* durante periodi di elevato carico stressante, come le sessioni d'esame, confermando la sensibilità di tali indici alle variazioni dello stato emotivo e cognitivo.

Alla luce di queste evidenze, negli ultimi anni è cresciuto l'interesse verso interventi di breve durata in grado di favorire una rapida modulazione dello stress e dell'ansia, agendo non solo a livello cognitivo, ma anche sui meccanismi autonomici sottostanti. In questo contesto si collocano le tecniche mente–corpo, che mirano a integrare dimensioni corporee, attentive e psicologiche al fine di promuovere una regolazione più efficiente del *SNA*.

Tuttavia, una parte rilevante della letteratura presenta ancora difficoltà nel distinguere gli effetti specifici degli interventi mente–corpo da quelli aspecifici legati all'informazione, all'attenzione ricevuta o all'aspettativa di beneficio. Per questo motivo, l'utilizzo di un controllo attivo rappresenta una scelta metodologica cruciale. La psicoeducazione sullo

stress, in particolare, consente di fornire informazioni strutturate sui meccanismi dello stress e sulle strategie di coping, controllando al contempo per variabili quali il tempo di esposizione, il contatto con il professionista e il *setting* dell'intervento, senza però intervenire direttamente sui processi di regolazione autonoma *bottom-up*.

Nel presente studio, la *Brain Wave Modulation Technique (BWM-T)* è stata selezionata come intervento sperimentale. Si tratta di una tecnica mente–corpo di breve durata, caratterizzata da una procedura semplice e facilmente apprendibile, che affonda le sue radici nel dialogo tra tradizioni orientali e ricerca neuroscientifica contemporanea sul rapporto mente–corpo. La *BWM-T* è concepita per favorire uno stato di autoregolazione psicofisiologica attraverso un coinvolgimento diretto del corpo e dell'attenzione, con potenziali effetti sulla modulazione dell'attività autonoma, come suggerito da precedenti studi che ne hanno documentato l'efficacia nella riduzione dello stress percepito anche dopo una singola sessione.

Sulla base di tali premesse teoriche ed empiriche, il presente studio si propone di confrontare gli effetti immediati di una singola sessione di *BWM-T* con quelli di una sessione di psicoeducazione sullo stress, adottando un disegno sperimentale randomizzato con misure pre e post intervento. L'obiettivo è valutare se, a fronte di una riduzione soggettiva dello stress e dell'ansia potenzialmente comune a entrambe le condizioni, la *BWM-T* sia in grado di produrre modificazioni specifiche a livello fisiologico, indicatrici di una più efficace regolazione del *SNA*.

7.1.1 Ipotesi di ricerca

Alla luce degli obiettivi dello studio, sono state formulate le seguenti ipotesi:

- Ipotesi 1: una singola sessione di *BWM-T* sarà associata a cambiamenti significativi nei parametri di *HRV*, indicativi di una migliore regolazione del sistema nervoso autonomo, rispetto alla sessione di psicoeducazione;
- Ipotesi 2: i partecipanti assegnati al gruppo *BWM-T* mostreranno una riduzione significativamente maggiore dei livelli di stress percepito e di ansia di stato rispetto ai partecipanti assegnati al gruppo di controllo sottoposto a psicoeducazione.

7.2 Materiali e metodi

7.2.1 Campione

Utilizzando il software *G*Power* 3.1, è stata eseguita un'analisi di potenza per determinare la dimensione del campione richiesta. I parametri includevano un livello alfa di 0,05, una dimensione dell'effetto conservativo di 0,12 e una potenza di 0,80. I risultati hanno rivelato che un campione di 56 partecipanti avrebbe fornito una probabilità dell'80% di rifiutare correttamente l'ipotesi nulla. Il campione era composto da partecipanti non clinici, inclusi studenti universitari sia universitari che post-universitari di vari livelli di istruzione. Il reclutamento è avvenuto tramite un annuncio via e-mail inviato a tutti gli studenti tramite piattaforme accademiche, con il risultato che 72 individui hanno espresso interesse per questo studio.

I criteri di esclusione includevano l'età inferiore ai 18 anni e la presenza di gravi disabilità mentali o fisiche, che hanno portato tutti i 72 intervistati a essere considerati idonei. L'età media dei partecipanti era di 27,5 anni ($DS = 13,48$). Tra i partecipanti, 57 erano donne, riflettendo la tipica distribuzione demografica dei programmi universitari coinvolti. Ogni partecipante ha compilato un questionario in due momenti distinti, prima e dopo l'intervento, per raccogliere informazioni demografiche e psicologiche. A ciascun individuo è stato assegnato un *ID* univoco. Il modulo di consenso informato indicava chiaramente che i partecipanti potevano ritirarsi dallo studio in qualsiasi momento. Tutti i questionari erano anonimi per garantire la riservatezza e l'affidabilità dei dati.

Tutte le procedure seguite in questo studio sono state conformi alle linee guida etiche stabilite dal comitato di ricerca dell'Associazione Italiana di Psicologia (AIP) e dalla Dichiarazione di Helsinki del 1964 e successivi emendamenti. La Commissione Etica dell'Università di Salerno (Unisa) ha approvato questo studio il 17 febbraio 2024 (numero di protocollo 0064918).

7.2.2 Misure

Tutte le misure sono state digitalizzate e messe a disposizione dei partecipanti tramite un collegamento informatico condiviso tramite una piattaforma accademica.

- Lo stress percepito a breve termine è stato misurato utilizzando il *Distress Thermometer (DT)*, uno strumento di screening a singolo *item* noto per la sua elevata sensibilità e

specificità nel rilevare lo stress a breve termine. Questo strumento è stato precedentemente validato per l'uso nel contesto italiano. I partecipanti hanno valutato il loro livello di stress attuale su una scala a 11 punti da 0 (nessun disagio) a 10 (massimo disagio). Grazie al suo formato conciso e a singola domanda, il *DT* è particolarmente adatto per l'inclusione nella ricerca sulla gestione dello stress con studenti universitari.

- I livelli di ansia sono stati misurati utilizzando lo *State-Trait Anxiety Inventory Form Y (STAI-Y)*, uno strumento *self-report* che valuta sia l'ansia presente (di stato) sia una tendenza generalizzata all'ansia (di tratto). La scala ha dimostrato solide proprietà psicometriche in campioni italiani. In questo studio, è stata utilizzata solo la sottoscala di stato, composta da 20 *item*. Ogni item è valutato su una scala Likert a 4 punti (da 1 = "per niente" a 4 = "moltissimo"), ottenendo un intervallo totale da 20 (bassa ansia) a 80 (alta ansia). Punteggi elevati corrispondono a livelli di ansia più elevati, legati allo stato emotivo immediato del partecipante.

- I dati sulla frequenza cardiaca sono stati raccolti tramite un sensore di pulsazione del volume sanguigno (*BVP*) (Thought Technology, Montreal, Canada) applicato all'indice di ciascun partecipante. Le registrazioni sono state effettuate per cinque minuti per soddisfare i requisiti minimi *standard* a breve termine, seguiti da ulteriori cinque minuti dopo l'intervento. Sia per le misurazioni iniziali che per quelle finali, è stato utilizzato un dispositivo *ProComp Infiniti* in combinazione con il *software Biograph* (Thought Technology; versione 6.0.4 del *software Biograph*).

Gli intervalli tra i battiti sono stati sottoposti a un'analisi spettrale di potenza, utilizzando un *cutoff* alto di 2000 *ms* e un *cutoff* basso di 300 *ms*. Le densità (ms^2/Hz) delle bande ad alta frequenza (*HF*; 0,15–0,4 *Hz*), bassa frequenza (*LF*; 0,04–0,15 *Hz*) e bassissima frequenza (*VLF*; 0,016–0,04 *Hz*) sono state espresse come percentuali sull'intero intervallo di frequenza (0,016–0,500 *Hz*). Successivamente, i dati *RR* (intervallo tra i battiti) sono stati elaborati utilizzando *Kubios HRV Premium* (versione 4.1.0; Università della Finlandia orientale, Kuopio, Finlandia).

La pre-elaborazione ha seguito la pipeline predefinita del software, inclusa la correzione degli artefatti e il ricampionamento. I dati risultanti sono stati convertiti in parametri del dominio della frequenza, bassa frequenza (*LF*; componente sia simpatica che

parasimpatica), alta frequenza (*HF*; componente parasimpatica), potenza totale (*TP*; attività autonoma complessiva) e rapporto *LF/HF* (attività simpatica), utilizzando una trasformata di Fourier rapida (*FFT*). Per correggere le discrepanze di varianza, i valori di *TP*, *LF* e *HF* (ms^2/Hz) sono stati sottoposti a trasformazione logaritmica naturale.

7.2.3 Disegno dello studio

È stato utilizzato un disegno di studio randomizzato controllato con un fattore tra soggetti e un fattore entro i soggetti. Prima dell'inizio di questo studio, a ciascun partecipante è stato fornito un modulo di consenso informato che delineava gli obiettivi, le procedure, i potenziali benefici e rischi e il loro diritto di ritirarsi dalla ricerca in qualsiasi momento senza alcuna conseguenza. Tutti i partecipanti hanno firmato il modulo, confermando la loro disponibilità a partecipare a questo studio. Utilizzando uno strumento di randomizzazione, è stata generata una lista di randomizzazione bloccata e successivamente applicata al campione. Seguendo questa procedura, i partecipanti sono stati assegnati alla condizione di controllo o a quella sperimentale. In totale, 36 individui sono stati assegnati alla condizione di controllo e 36 alla condizione sperimentale.

7.2.4 Intervento

L'intervento è stato svolto in un'unica sessione per tutti i partecipanti. Uno script con le istruzioni per la ricerca è stato letto a tutti i partecipanti, sia nel gruppo di controllo che in quello sperimentale. Dopo aver completato i questionari psicologici (*STAI-Y* e *DT*), un sensore *BVP* è stato applicato a tutti i soggetti per monitorare l'*HRV*. Dopo l'applicazione del sensore *BVP*, tutti i partecipanti sono stati sottoposti a una pre-stima dei parametri *HRV*. A tutti i partecipanti è stato chiesto di chiudere gli occhi e respirare normalmente.

Dopodiché, i partecipanti nella condizione sperimentale hanno ricevuto una sessione di 16 minuti del *BWM-T*, mentre i controlli hanno guardato video di 16 minuti che fornivano suggerimenti sulla riduzione dello stress a breve termine. Nella condizione sperimentale, data la rilevanza degli interventi mente-corpo per la riduzione dello stress a breve termine che emerge in letteratura, abbiamo utilizzato un intervento specifico, la *BWM-T*, che ha già dimostrato la sua efficacia in diversi studi. La tecnica prevede una procedura di movimento

delle dita in quattro fasi, facile da implementare e che aiuta spontaneamente il cervello a rilasciare onde alfa più lente. Il protocollo *BWM-T* utilizzato nella condizione sperimentale prevedeva un movimento delle dita in 4 fasi. Il ricercatore, uno psicologo clinico, ha descritto la tecnica e ha mostrato ciascuna delle quattro posizioni delle dita *BWM-T*, assicurandosi che i partecipanti potessero facilmente imitarle e impararle. La prima posizione prevedeva di toccare la punta del mignolo con la punta del pollice; la seconda posizione, di toccare la punta dell'anulare con la punta del pollice; la terza posizione, di toccare la punta del medio con la punta del pollice; e la quarta posizione, di toccare la punta del medio e dell'anulare con la punta del pollice. Ai partecipanti è stato chiesto di mantenere ogni posizione per almeno 4 minuti, con lo psicologo che forniva promemoria per cambiare posizione. Successivamente, è stato chiesto loro di appoggiare entrambe le mani sulle gambe o sul bracciolo della sedia e di chiudere gli occhi.

Nel gruppo di controllo, i partecipanti hanno guardato un video informativo di 15 minuti sulla gestione dello stress a breve termine. Nel video, uno psicologo ha spiegato come si sviluppa lo stress e come può influire negativamente sia sul corpo che sulla mente, prima di presentare una serie di strategie pratiche di *coping*. Al termine delle sessioni, a tutti i soggetti è stata somministrata un'ulteriore misurazione di 5 minuti, durante la quale è stato chiesto loro di chiudere gli occhi e respirare normalmente. Dopo questa misurazione, il sensore *BVP* è stato rimosso e sono stati nuovamente somministrati i test *STAI-Y* e *DT*.

7.3 Analisi statistica

Prima di condurre l'analisi, i dati sono stati controllati per valori mancanti e valori anomali utilizzando *box plot*. Non sono stati identificati dati mancanti. Sono state inoltre valutate normalità, linearità e omoschedasticità. La linearità è stata valutata calcolando i Fattori di Inflazione della Varianza (*VIF*). L'omoschedasticità (l'ipotesi di varianze uguali tra i gruppi) è stata esaminata utilizzando grafici a dispersione bivariati. Sebbene alcune variabili non fossero distribuite normalmente, nessuno dei valori di asimmetria e curtosi ha superato le soglie critiche delineate. Pertanto, tutte le variabili sono state mantenute per l'analisi. Sono state condotte statistiche descrittive per esaminare le caratteristiche del campione.

È stata eseguita una serie di ANOVA 2×2 a misure ripetute, con la fase di valutazione (pre vs. post) e il gruppo (sperimentale vs. controllo) come variabili indipendenti, e le misure fisiologiche (ovvero *SDNN*, *rMSSD*, *VLF*, *LF*, *HF*, *LF/HF*, *pNN50* e *HR*) e le misure psicologiche (ovvero *STAI-Y* e *DT*) come variabili dipendenti. I confronti *post hoc* di Tukey sono stati condotti per effetti significativi. L'eta-quadrato parziale è stato riportato come misura della dimensione dell'effetto ed è stato impostato un valore *p* di 0,05 per la significatività statistica.

7.4 Risultati

- *SDNN*

La prima ANOVA a misure ripetute è stata condotta considerando gli effetti della fase di valutazione e dell'appartenenza al gruppo sulla misura della *SDNN*. Sono emersi risultati significativi per l'effetto dell'interazione tra le due variabili indipendenti, con una dimensione dell'effetto elevata [$F(1, 70) = 14,29; p < 0,001; \eta p^2 = 0,170$]. I confronti *post hoc* di Tukey hanno rivelato che i partecipanti al gruppo di controllo hanno mostrato una *SDNN* significativamente più alta nel pre-test rispetto al post-test ($MD = 5,02; p < 0,001$). Non sono emersi risultati significativi per l'effetto principale della fase di valutazione (Vedere Appendice Tabella 3; Figura 2a).

- *rMSSD*

La successiva ANOVA a misure ripetute è stata condotta considerando gli effetti della fase di valutazione e dell'appartenenza al gruppo sulla misura di *rMSSD*. Sono emersi risultati significativi per l'effetto dell'interazione tra le due variabili indipendenti con una dimensione dell'effetto media [$F(1, 70) = 8,44; p < 0,01; \eta p^2 = 0,10$]. I confronti *post hoc* di Tukey hanno rivelato che i partecipanti al gruppo di controllo hanno mostrato un *rMSSD* significativamente più elevato nel pre-test rispetto al post-test ($MD = 3,20; p < 0,05$). Non sono emersi risultati significativi per l'effetto principale della fase di valutazione. I confronti *post hoc* hanno evidenziato che la misura dell'*rMSSD* era significativamente più elevata nel pre-test rispetto al post-test per il gruppo di controllo, mentre non sono emerse differenze tra le fasi di valutazione per il gruppo sperimentale. (Vedi Appendice Tabella 3; Figura 2b).

-VLF

È stata condotta un'ulteriore *ANOVA* a misure ripetute considerando gli effetti della fase di valutazione e dell'appartenenza al gruppo sulla misura della *VLF*. Risultati significativi sono emersi per l'effetto principale della fase di valutazione, mostrando una dimensione dell'effetto media [$F(1, 70) = 8,20; p < 0,01; \eta p^2 = 0,10$]. I confronti *post hoc* di Tukey hanno rivelato che i partecipanti (in entrambi i gruppi) hanno mostrato una *VLF* significativamente più elevata al post-test rispetto al pre-test ($MD = 0,299; p < 0,01$). Non sono emersi risultati significativi per l'effetto di interazione tra variabili indipendenti. Pertanto, sono emersi risultati significativi per l'effetto della fase di valutazione sulla *VLF*. L'analisi dei confronti *post hoc* ha rivelato che in entrambi i gruppi, la misura della *VLF* era significativamente più elevata nel post-test rispetto al pre-test. (Vedi Appendice Tabella 3; Figura 2c).

- LF

È stata condotta un'ulteriore *ANOVA* a misure ripetute considerando gli effetti della fase di valutazione e dell'appartenenza al gruppo sulla misura della *LF*. Sono emersi risultati significativi per l'effetto di interazione tra variabili indipendenti, mostrando una dimensione dell'effetto media [$F(1, 70) = 9,76; p < 0,01; \eta p^2 = 0,12$]. I confronti *post hoc* di Tukey hanno rivelato che i partecipanti del gruppo sperimentale hanno mostrato un *LF* significativamente più alto al post-test rispetto al pre-test ($MD = -0,369; p < 0,05$). Non è emerso alcun risultato significativo per l'effetto principale della fase di valutazione. Sono emersi risultati significativi grazie all'interazione tra l'intervento e il gruppo sul parametro *LF*. I confronti *post hoc* hanno mostrato una differenza significativa tra le misure post e pre nel gruppo sperimentale: i partecipanti del gruppo sperimentale avevano una misura *LF* media significativamente inferiore nel pre rispetto al post. I partecipanti del gruppo di controllo hanno mostrato una riduzione della misura nel post rispetto al pre, che, tuttavia, non è significativa. (Vedi Appendice Tabella 3; Figura 2d).

- *HF*

Un'altra *ANOVA* a misure ripetute è stata condotta considerando gli effetti della fase di valutazione e dell'appartenenza al gruppo sulla misura dell'*HF*. Sono emersi risultati significativi per l'effetto principale della fase di valutazione, mostrando una dimensione dell'effetto media [$F(1, 70) = 5,31; p < 0,05; \eta p^2 = 0,07$]. I confronti *post hoc* di Tukey hanno rivelato che i partecipanti (in entrambi i gruppi) hanno mostrato un'*HF* significativamente più elevata nel pre-test rispetto al post-test ($MD = 0,171; p < 0,05$). Non sono emersi risultati significativi per l'effetto dell'interazione tra variabili indipendenti. Sono emersi risultati significativi per l'effetto del fattore di intervento sull'*HF*. L'analisi dei confronti *post hoc* rivela che in entrambi i gruppi la misura dell'*HF* è significativamente più elevata nel pre-test rispetto al post-test. La differenza tra *HF* pre e post è significativa e si riduce significativamente nel post rispetto al pre in entrambi i gruppi, senza alcuna differenza. (Vedi Appendice Tabella 3; Figura 2e).

- *LF/HF*

La successiva *ANOVA* a misure ripetute è stata condotta considerando gli effetti della fase di valutazione e dell'appartenenza al gruppo sulla misura di *LF/HF*. Sono emersi risultati significativi per l'effetto dell'interazione tra le due variabili indipendenti, con una dimensione dell'effetto media [$F(1, 70) = 5,13; p < 0,05; \eta p^2 = 0,07$]. I confronti *post hoc* di Tukey hanno rivelato che i partecipanti al gruppo sperimentale hanno mostrato un *LF/HF* significativamente più alto nel post-test rispetto al pre-test ($MD = -1,09; p < 0,05$). Non sono emersi risultati significativi per l'effetto principale della fase di valutazione. Sono emersi risultati significativi per *LF/HF* grazie all'interazione tra l'intervento e l'appartenenza al gruppo. I confronti *post hoc* hanno mostrato una differenza significativa tra le misure post e pre nel gruppo sperimentale; i partecipanti del gruppo sperimentale presentavano una misura media *LF/HF* significativamente inferiore nel pre rispetto al post. (Vedi Appendice Tabella 3; Figura 2f).

- *pNN50*

La successiva *ANOVA* a misure ripetute è stata condotta considerando gli effetti della fase di valutazione e dell'appartenenza al gruppo sulla misura di *pNN50*. Sono emersi risultati significativi per l'effetto di interazione tra le variabili indipendenti, mostrando una dimensione dell'effetto media [$F(1, 70) = 7,87; p < 0,01; \eta p^2 = 0,10$]. I confronti *post hoc* di Tukey hanno rivelato che i partecipanti del gruppo di controllo mostravano una *pNN50* significativamente inferiore al post-test rispetto al pre-test ($MD = 2,34; p < 0,05$). Non sono emersi risultati significativi per l'effetto principale della fase di valutazione.

Dai confronti *post hoc* è emersa una differenza significativa tra le misure post e pre nel gruppo di controllo: i partecipanti del gruppo di controllo presentavano una misura media di *pNN50* più alta rispetto al post, mentre non è emersa alcuna differenza tra le fasi di valutazione per il gruppo sperimentale. (Vedi Appendice Tabella 3; Figura 2g).

- *FC*

La successiva *ANOVA* a misure ripetute è stata condotta considerando gli effetti della fase di valutazione e dell'appartenenza al gruppo sulla misura della frequenza cardiaca (*FC*). Sono emersi risultati significativi per l'effetto principale della fase di valutazione, con una piccola dimensione dell'effetto [$F(1, 70) = 4,16; p < 0,05; \eta p^2 = 0,06$]. I confronti *post hoc* di Tukey hanno rivelato che i partecipanti (in entrambi i gruppi) mostravano frequenze cardiache significativamente inferiori al post-test rispetto al pre-test ($MD = 1,25; p < 0,05$). Non sono emersi risultati significativi per l'effetto di interazione tra le variabili indipendenti. (Vedi Appendice Tabella 3; Figura 2h).

- *STAI-Y*

È stata condotta un'*ANOVA* a misure ripetute considerando gli effetti della fase di valutazione e dell'appartenenza al gruppo sulla misura dell'ansia di stato *STAI-Y*. Considerando la misura dell'ansia di stato, sono emersi risultati significativi per l'effetto principale della fase di valutazione, mostrando un'ampia dimensione dell'effetto [$F(1, 70) = 45,99; p < 0,001; \eta p^2 = 0,39$]. I confronti *post hoc* di Tukey hanno rivelato che i partecipanti (in entrambi i gruppi) mostravano un'ansia di stato significativamente più

elevata nel pre-test rispetto al post-test ($MD = 6,93$; $p < 0,001$). Non sono emersi risultati significativi per l'effetto di interazione tra le variabili indipendenti.

I risultati indicano una riduzione significativa dei punteggi *STAI-Y* sia nel gruppo sperimentale che in quello di controllo, confrontando le misurazioni post-intervento con quelle pre-intervento. Ciò suggerisce che entrambi i tipi di intervento, *BWM-T* e la sessione psicoeducativa, sono stati efficaci nel ridurre i sintomi di ansia percepiti.

(Vedi Appendice Tabella 4; Figura 3).

- *DT*

Infine, è stata condotta un'*ANOVA* a misure ripetute considerando gli effetti della fase di valutazione e dell'appartenenza al gruppo sulla misura del *DT*. Sono emersi risultati significativi per l'effetto principale della fase di valutazione, mostrando un'ampia dimensione dell'effetto [$F(1, 70) = 45,26$; $p < 0,001$; $\eta p^2 = 0,39$]. I confronti *post hoc* di Tukey hanno rivelato che i partecipanti (in entrambi i gruppi) hanno mostrato punteggi significativamente più alti per il *DT* al pre-test rispetto al post-test ($MD = 1,42$; $p < 0,001$). Non sono emersi risultati significativi per l'effetto di interazione tra le variabili indipendenti. I risultati di questo studio indicano una riduzione significativa dei punteggi *DT* sia nel gruppo sperimentale che in quello di controllo, confrontando le misurazioni post-intervento con quelle pre-intervento. Ciò suggerisce che entrambi i tipi di intervento, *BWM-T* e la sessione psicoeducativa, sono stati efficaci il *distress* percepito nel breve termine. (Vedi Appendice Tabella 4; Figura 4).

7.5 *Discussione*

Il presente studio aveva l'obiettivo di confrontare gli effetti immediati di una singola sessione di *BWM-T* con quelli di una sessione di psicoeducazione sullo stress, utilizzata come controllo attivo, su misure psicologiche di stress e ansia e su indici fisiologici di regolazione autonoma, valutati attraverso l'*HRV*. Nel complesso, i risultati evidenziano un quadro articolato, in cui i cambiamenti soggettivi e quelli fisiologici seguono traiettorie parzialmente divergenti, offrendo spunti rilevanti per la comprensione dei meccanismi specifici coinvolti nei diversi tipi di intervento. Per quanto riguarda le misure psicologiche,

i risultati mostrano una riduzione significativa dei livelli di ansia di stato e di stress percepito in entrambi i gruppi, indipendentemente dalla tipologia di intervento.

Questo dato suggerisce che sia la *BWM-T* sia la psicoeducazione siano in grado di produrre benefici soggettivi nel breve termine. Tale risultato è coerente con quanto riportato in letteratura, secondo cui interventi di breve durata focalizzati sulla gestione dello stress, anche quando di natura prevalentemente informativa, possono determinare una riduzione immediata del *distress* percepito. Diversi studi hanno infatti evidenziato che l'aumento della consapevolezza rispetto ai meccanismi dello stress, unitamente alla partecipazione a un contesto strutturato e contenitivo, può attivare processi di ristrutturazione cognitiva di base e di auto-monitoraggio emotivo, sufficienti a produrre un miglioramento soggettivo a breve termine.

In questa prospettiva, la riduzione osservata nei punteggi *STAI-Y* e *DT* in entrambi i gruppi può essere interpretata come l'espressione di fattori aspecifici dell'intervento, quali l'attenzione ricevuta, il setting sperimentale, l'aspettativa di beneficio e il semplice fatto di prendersi uno spazio dedicato al proprio benessere psicologico. Questo aspetto rafforza la scelta metodologica di utilizzare un controllo attivo, che consente di isolare con maggiore precisione gli effetti specifici dell'intervento sperimentale.

Diversamente da quanto osservato per le misure psicologiche, i risultati relativi alla *HRV* mostrano un *pattern* differenziale tra i due gruppi, suggerendo un effetto specifico della *BWM-T* sui meccanismi di regolazione autonoma. In particolare, il gruppo sottoposto alla *BWM-T* ha mostrato variazioni significative nei parametri *LF* e *LF/HF*, mentre tali cambiamenti non sono emersi nel gruppo di controllo. La riduzione del rapporto *LF/HF* osservata nel gruppo sperimentale è generalmente interpretata come un indicatore di miglioramento dell'equilibrio autonomico, con una minore predominanza simpatica e una maggiore integrazione della componente parasimpatica.

Alla luce del *Neurovisceral Integration Model*, questi risultati suggeriscono che la *BWM-T* possa facilitare un miglior coordinamento tra i sistemi corticali di regolazione e le strutture sottocorticali coinvolte nel controllo autonomico. In questo senso, l'intervento sembra agire non tanto attraverso una semplice attivazione parasimpatica diretta, quanto piuttosto attraverso una riorganizzazione del bilanciamento simpato-vagale, rilevabile nei parametri

di frequenza più sensibili ai cambiamenti di stato. È rilevante notare che parametri come *SDNN*, *rMSSD* e *HF* non hanno mostrato variazioni significative nel gruppo sperimentale.

Questo dato può essere interpretato in più direzioni. In primo luogo, il campione era composto prevalentemente da giovani adulti sani, caratterizzati verosimilmente da una buona riserva parasimpatica di base, che potrebbe aver limitato l'ampiezza dei cambiamenti osservabili in seguito a una singola sessione di intervento.

In secondo luogo, la *BWM-T* non prevede una modulazione respiratoria esplicita e strutturata, elemento noto per esercitare un impatto diretto e immediato su parametri *HRV* come *rMSSD* e *HF* attraverso il meccanismo della *RSA*. In questa prospettiva, i cambiamenti osservati nei parametri *LF* e *LF/HF* potrebbero riflettere un'azione più sottile e indiretta dell'intervento, mediata da processi attentivi, interocettivi e di autoregolazione centrale, piuttosto che da una stimolazione vagale periferica diretta.

Un aspetto particolarmente rilevante emerso da questo studio riguarda la differenza emersa tra il miglioramento soggettivo percepito e un correlato fisiologico. Sebbene entrambi i gruppi abbiano riportato una riduzione comparabile nel *distress* e nell'ansia percepita, solo il gruppo *BWM-T* ha mostrato cambiamenti autonomici specifici. Questo risultato supporta l'idea che il cambiamento percepito a livello cosciente non coincida necessariamente con una reale riorganizzazione dei sistemi di regolazione fisiologica. In altri termini, una riduzione del *distress* percepito non implica automaticamente un miglioramento della flessibilità autonoma o della capacità di adattamento psicofisiologico.

Tale dissociazione è coerente con modelli che distinguono tra processi di regolazione *top-down*, prevalentemente cognitivi e consapevoli, e processi *bottom-up*, più profondamente radicati nei sistemi corporei e autonomici. In questo quadro, la psicoeducazione sembrerebbe agire principalmente a livello *top-down*, mentre la *BWM-T* potrebbe favorire un coinvolgimento più diretto dei circuiti *bottom-up*, producendo effetti fisiologici che non sempre si traducono immediatamente in una maggiore consapevolezza soggettiva. Nel loro insieme dunque i risultati di questo studio suggeriscono che la *BWM-T* rappresenti un intervento in grado di attivare meccanismi di regolazione psicofisiologica distinti rispetto alla sola informazione sullo stress e le sue strategie di *coping*.

Questi dati contribuiscono a rafforzare l'ipotesi secondo cui gli interventi mente–corpo non dovrebbero essere valutati esclusivamente sulla base di esiti soggettivi immediati, ma anche attraverso indicatori fisiologici in grado di cogliere modificazioni più profonde e meno immediatamente accessibili alla consapevolezza.

7.6 Limitazioni e direzioni future

Nonostante i risultati ottenuti forniscano indicazioni rilevanti sul confronto tra *BWM-T* e psicoeducazione nel breve termine, il presente studio presenta alcuni limiti che devono essere considerati nell'interpretazione dei dati.

Un primo limite riguarda la composizione del campione, costituito da una popolazione non clinica e prevalentemente giovane. È plausibile che soggetti con una buona regolazione autonoma di base presentino una ridotta sensibilità ai cambiamenti fisiologici indotti da una singola sessione di intervento, limitando l'ampiezza degli effetti osservabili su alcuni parametri *HRV*, in particolare quelli maggiormente dipendenti dalla modulazione vagale diretta.

Un secondo limite concerne la durata dell'intervento e l'assenza di un *follow-up*. Lo studio è stato progettato per valutare esclusivamente gli effetti immediati di una singola sessione, senza considerare la stabilità o l'evoluzione dei cambiamenti nel tempo. Di conseguenza, non è possibile trarre conclusioni circa il mantenimento degli effetti osservati né sull'eventuale consolidamento delle modificazioni autonome in seguito a una pratica ripetuta della *BWM-T*.

Un ulteriore limite è rappresentato dall'assenza di misure respiratorie dirette. Poiché la respirazione esercita un'influenza significativa su diversi parametri *HRV*, in particolare su *rMSSD* e *HF*, la mancata registrazione della frequenza respiratoria impedisce di controllare pienamente il contributo di questa variabile ai cambiamenti osservati. Sebbene la respirazione fosse spontanea e standardizzata tra le condizioni, la sua misurazione diretta avrebbe consentito un'interpretazione più fine dei risultati fisiologici. Va inoltre considerato il ricorso a misure psicologiche auto-riferite per la valutazione dello stress percepito e dell'ansia. Sebbene strumenti come il *Distress Thermometer* e lo *STAI-Y* siano

ampiamente validati, essi rimangono soggetti a *bias* di risposta e potrebbero non cogliere cambiamenti sottili o non immediatamente consapevoli dello stato emotivo.

Infine, sebbene la dimensione del campione sia risultata adeguata sulla base dell'analisi di potenza, è possibile che alcuni effetti psicologici differenziali tra i gruppi non siano emersi a causa di una limitata sensibilità statistica, soprattutto considerando la natura esplorativa dello studio e l'utilizzo di un controllo attivo.

7.7 Analisi critica all'interno del progetto di ricerca

Il primo studio ha permesso di confrontare, in un disegno sperimentale controllato, gli effetti immediati di una singola sessione di *BWM-T* e di una sessione di psicoeducazione sullo stress e strategie di coping, fornendo evidenze utili per comprendere le differenze tra interventi mente-corpo e approcci informativi nel breve termine.

I risultati mostrano che entrambi gli interventi sono efficaci nel ridurre lo stress percepito e l'ansia di stato immediatamente dopo la sessione, suggerendo un ruolo rilevante dei fattori aspecifici e del contesto strutturato di intervento nel determinare miglioramenti soggettivi a breve termine. Tuttavia, solo la *BWM-T* è risultata associata a modificazioni specifiche di alcuni parametri *HRV*, in particolare del rapporto *LF/HF* e della componente *LF*, indicativi di una riorganizzazione dell'equilibrio autonomico.

Nel loro insieme, questi dati suggeriscono che la *BWM-T* possa produrre effetti fisiologici distintivi rispetto alla psicoeducazione, anche in assenza di differenze marcate nelle misure psicologiche auto-riferite. Tale dissociazione tra cambiamento soggettivo e cambiamento fisiologico rafforza l'importanza di adottare misure multimodali nella valutazione degli interventi per la gestione dello stress.

Al fine di superare le limitazioni emerse nel primo studio e di approfondire in modo più articolato i meccanismi psicofisiologici sottostanti agli effetti osservati, il progetto di ricerca ha previsto negli studi successivi:

- L'introduzione di una finestra di *follow-up* per valutare la stabilità temporale degli effetti psicologici e autonomici;
- L'inclusione di misure fisiologiche aggiuntive e più controllate, con particolare attenzione alla componente respiratoria e alla dinamica cardiorespiratoria;

- L'impiego di compiti stressogeni standardizzati per indagare non solo le variazioni toniche, ma anche le risposte reattive e di recupero del sistema autonomico.

Questa progressione metodologica risponde all'esigenza di superare una lettura puramente statica dell'*HRV* e di adottare un approccio maggiormente processuale e multimodale, in linea con i modelli contemporanei di regolazione psicofisiologica dello stress. In tal senso, il primo studio rappresenta una base esplorativa necessaria, mentre gli studi successivi mirano a chiarire la specificità degli effetti della *BWM-T* rispetto ad altri interventi mente-corpo, nonché a delinearne i potenziali meccanismi di azione nel tempo.

CAPITOLO 8

SECONDO STUDIO: LA REGOLAZIONE MENTE-CORPO DELLO STRESS: CONFRONTO TRA BWM-T E MINDFULNESS CON FOLLOW UP DI 4 ORE

8.1 Razionale e ipotesi

Il razionale del secondo studio si fonda innanzitutto sull'evidenza che gli studenti universitari rappresentano una popolazione ad alto rischio di distress psicologico, caratterizzata da elevati livelli di stress, ansia e incertezza rispetto alle proprie capacità di far fronte alle richieste accademiche. Tali condizioni non incidono esclusivamente sul benessere soggettivo, ma compromettono anche funzioni cognitive centrali per l'apprendimento, come l'attenzione, la memoria di lavoro e il controllo esecutivo. In questo contesto, il costrutto di autoefficacia generalizzata assume un ruolo chiave.

Sebbene spesso concettualizzata come una credenza relativamente stabile, l'autoefficacia è oggi considerata un costrutto sensibile alle fluttuazioni dello stato emotivo e dell'*arousal* fisiologico. Riduzioni acute dell'ansia e del *distress* possono infatti tradursi, anche nel breve termine, in una rivalutazione più positiva delle proprie capacità di coping, rendendo l'autoefficacia un *outcome* particolarmente appropriato per valutare interventi brevi e focalizzati sulla regolazione dello stress.

In questa prospettiva, l'autoefficacia può essere intesa non solo come tratto relativamente stabile, ma anche come una valutazione dinamica e contestuale delle proprie risorse, sensibile alle fluttuazioni dello stato emotivo e dell'attivazione fisiologica. Interventi in grado di ridurre rapidamente l'ansia e il *distress* possono quindi favorire, anche nel breve termine, una ricalibrazione positiva delle convinzioni di efficacia personale, rendendo l'autoefficacia un indicatore rilevante per catturare cambiamenti prossimali indotti da pratiche di regolazione dello stress.

Dal punto di vista psicofisiologico, lo studio si inserisce all'interno dei modelli contemporanei di regolazione dello stress che enfatizzano il ruolo del sistema nervoso autonomo, e in particolare dell'equilibrio tra attivazione simpatica e regolazione

parasimpatica. L'*HRV* rappresenta uno degli indicatori più utilizzati per valutare la flessibilità autonoma e la capacità di autoregolazione dell'organismo.

Un'ampia letteratura ha mostrato come interventi mente–corpo, inclusi *Mindfulness*, respirazione lenta e *biofeedback*, possano modulare l'*HRV* anche in seguito a pratiche di breve durata. Tuttavia, molti di questi interventi richiedono training prolungati o competenze specifiche, limitandone l'applicabilità in contesti ad alta densità di stress e con vincoli temporali stringenti, come l'università. Negli ultimi anni, è quindi emerso un crescente interesse verso interventi ultra-brevi, capaci di produrre cambiamenti psicologici e fisiologici misurabili anche dopo una singola sessione.

Tuttavia, rimane ancora poco chiaro se tali cambiamenti siano transitori o se possano persistere oltre l'immediato post-intervento, soprattutto quando gli individui tornano ad affrontare le normali richieste della giornata. In linea con i modelli più recenti, l'*HRV* non deve essere interpretata come un semplice indice lineare dell'attività vagale, ma come una proprietà emergente dell'interazione dinamica tra sistemi centrali e periferici coinvolti nella regolazione dello stress. In questo senso, le variazioni dell'*HRV* riflettono processi integrati di adattamento piuttosto che modificazioni isolate di singoli componenti del sistema nervoso autonomo.

All'interno di questo quadro, il confronto tra *BWM-T* e una breve induzione *Mindfulness* assume un significato teorico specifico. Sebbene entrambe rientrino nella categoria degli interventi mente–corpo, esse possono essere concettualizzate come basate su processi regolativi parzialmente differenti. In quanto come già evidenziato la *BWM-T* può essere interpretata come un intervento a prevalente funzionamento *bottom-up*, in quanto enfatizza l'ancoraggio corporeo e la modulazione dello stato interno attraverso il corpo, favorendo processi di regolazione che coinvolgono direttamente i sistemi interocettivi e autonomici.

La breve induzione di *Mindfulness*, pur includendo inevitabilmente componenti corporee, può essere concettualizzata come un intervento a prevalente funzionamento *top-down*, in cui l'attenzione consapevole e il monitoraggio non giudicante dell'esperienza agiscono principalmente attraverso circuiti corticali di controllo attentivo ed esecutivo, con effetti indiretti sulla regolazione autonoma.

Come accennato, un elemento distintivo del secondo studio è rappresentato dalla scelta di includere un *follow-up* a 4 ore. Questa finestra temporale è stata selezionata per ragioni sia teoriche sia ecologiche. Dal punto di vista psicofisiologico, le modificazioni dell'arousal e dell'equilibrio autonomico tendono a fluttuare rapidamente nel corso della giornata, soprattutto quando gli individui sono esposti a nuovi stressor. Dal punto di vista applicativo, quattro ore rappresentano un intervallo realistico all'interno di una tipica giornata universitaria, durante il quale gli studenti affrontano lezioni, interazioni sociali e compiti cognitivi. In questo senso, il *follow-up* a 4 ore rappresenta una finestra temporale intermedia raramente esplorata negli studi su interventi brevi, collocandosi tra l'immediato post-intervento e i follow-up a distanza di giorni o settimane, e consentendo di valutare la tenuta degli effetti in condizioni ecologicamente valide ma non ancora strutturalmente consolidate.

8.1.1 Ipotesi di ricerca

Alla luce di queste considerazioni, il secondo studio si propone di:

- Prima ipotesi: una singola sessione di *BWM-T* e di una breve induzione di *Mindfulness* produrrà effetti simili su costrutti psicologici come ansia di stato, distress psicologico e autoefficacia generalizzata;
- Seconda ipotesi: una singola sessione di *BWM-T* produrrà un effetto significativo sull'*HRV* in modalità differenti dalla breve induzione di *Mindfulness*, soprattutto in indici non correlati alla *RSA*;
- Terza ipotesi: il mantenimento di tali effetti psicologici e fisiologici si manterrà a un *follow-up* di 4 ore.

8.2 Materiali e Metodi

8.2.1 Campione

È stata condotta un'analisi di potenza a priori per un'*ANOVA* a disegno misto con due gruppi e tre punti temporali, concentrandosi sull'interazione Gruppo × Tempo, che rappresenta l'effetto critico di interesse in questo disegno. Seguendo le convenzioni per gli effetti medi nei disegni a misure ripetute (Cohen, 1988), abbiamo ipotizzato una

dimensione dell'effetto di $f = 0,25$, $\alpha = 0,05$ e potenza $(1-\beta) = 0,80$. In queste condizioni, le linee guida metodologiche per l'*ANOVA* mista indicano una dimensione totale del campione richiesta di circa $N = 68$ partecipanti. Il campione finale ha raggiunto questa soglia, sebbene senza alcun margine per tenere conto di potenziali deviazioni dalle ipotesi statistiche. Lo studio dovrebbe quindi essere considerato adeguatamente potenziato per rilevare gli effetti medi, ma con una sensibilità limitata agli effetti di interazione più piccoli.

Un totale di 72 studenti universitari ha inizialmente espresso interesse per lo studio attraverso annunci di reclutamento distribuiti tramite *mailing list* accademiche e siti web dipartimentali. I criteri di inclusione richiedevano che i partecipanti avessero almeno 18 anni e non presentassero gravi condizioni fisiche o psicologiche. Nessun partecipante ha riferito precedenti esperienze con la *BWM-T* o brevi pratiche basate sulla *Mindfulness*.

A seguito dello screening di idoneità, tutti i 72 soggetti sono stati ammessi, tuttavia quattro sono stati esclusi a causa di dati incompleti sulla *HRV* o di risposte mancanti al questionario, ottenendo un campione finale di 68 partecipanti. Il campione presentava caratteristiche eterogenee per età, con un'età media di 27,5 anni ($DS = 13,48$). Questa distribuzione riflette il tipico profilo demografico dei programmi universitari italiani, che include sia studenti tradizionali che individui che tornano a studiare più tardi nella vita. Il campione finale era composto da 47 donne (69,1%) e 21 uomini (30,9%), in linea con la distribuzione di genere nei dipartimenti accademici partecipanti. Ogni partecipante ha compilato una serie di questionari psicologici e ha misurato la sua variabilità della frequenza cardiaca (*HRV*) in tre momenti diversi: prima dell'intervento ($T0$), subito dopo l'intervento ($T1$) e quattro ore dopo ($T2$).

A ciascun partecipante è stato assegnato un *ID* univoco per tracciare i propri dati mantenendo la riservatezza della propria identità. Il documento di consenso informato spiegava che i partecipanti potevano abbandonare lo studio in qualsiasi momento senza subire conseguenze negative. Tutte le informazioni raccolte sono state mantenute anonime e archiviate in modo codificato per proteggere i dati personali e rispettare le norme di sicurezza dei dati. I metodi utilizzati in questa ricerca hanno seguito le linee guida etiche stabilite dall'Associazione Italiana di Psicologia (*AIP*) e sono conformi agli standard etici della Dichiarazione di Helsinki del 1964 e dei suoi successivi aggiornamenti. Il piano di

studio è stato esaminato e approvato dal Comitato Etico dell'Università di Salerno l'11 giugno 2024, con il numero di riferimento 0186309.

8.2.2 Misure

Tutte le misure sono state digitalizzate e messe a disposizione dei partecipanti tramite un collegamento informatico condiviso tramite una piattaforma accademica.

- Lo stress percepito a breve termine è stato misurato utilizzando il *Distress Thermometer (DT)*, uno strumento di *screening* a singolo *item* noto per la sua elevata sensibilità e specificità nel rilevare lo stress a breve termine. Questo strumento è stato precedentemente validato per l'uso nel contesto italiano. I partecipanti hanno valutato il loro livello di stress attuale su una scala a 11 punti da 0 (nessun disagio) a 10 (massimo disagio). Grazie al suo formato conciso e a singola domanda, il *DT* è particolarmente adatto per l'inclusione nella ricerca sulla gestione dello stress con studenti universitari.

- I livelli di ansia sono stati misurati utilizzando lo *State-Trait Anxiety Inventory Form Y (STAI-Y)*, uno strumento *self-report* che valuta sia l'ansia presente (di stato) sia una tendenza generalizzata all'ansia (di tratto). La scala ha dimostrato solide proprietà psicometriche in campioni italiani. In questo studio, è stata utilizzata solo la sottoscala di stato, composta da 20 *item*. Ogni *item* è valutato su una scala Likert a 4 punti (da 1 = "per niente" a 4 = "moltissimo"), ottenendo un intervallo totale da 20 (bassa ansia) a 80 (alta ansia). Punteggi elevati corrispondono a livelli di ansia più elevati, legati allo stato emotivo immediato del partecipante.

- L'autoefficacia è stata misurata tramite la *Generalized Self-Efficacy Scale (GSES)* (Sibilia et al., 1995), la quale è stata utilizzata per valutare l'efficacia percepita nella gestione delle sfide e nella regolazione delle proprie risposte alle richieste situazionali. La scala è composta da 10 *item* valutati su una scala Likert a 4 punti (1 = per niente vero; 4 = completamente vero), con un coefficiente di affidabilità di $\alpha = 0,86$. Sebbene spesso concettualizzata come una convinzione relativamente stabile, l'autoefficacia può anche mostrare fluttuazioni a breve termine, simili a stati, in risposta a cambiamenti nell'attivazione emotiva e nel controllo percepito, come suggerito dalla teoria delle convinzioni di efficacia di Bandura e dai modelli di valutazione dello stress (Bandura,

1997; Lazarus et al., 1984). Per questo motivo, la *GSES* è stata utilizzata in studi precedenti per catturare i cambiamenti prossimali nella capacità di coping percepita a seguito di brevi interventi di regolazione dello stress.

- La variabilità della frequenza cardiaca (*HRV*) è stata registrata utilizzando una fascia toracica *Polar H10*, che fornisce misurazioni dell'intervallo R-R con elevata risoluzione temporale (1 *ms*) ed è stata convalidata rispetto all'elettrocardiogramma (*ECG*) *standard* per l'analisi dell'*HRV* a breve termine (Gilgen-Ammann et al., 2019; Gamelin et al., 2006). I partecipanti sono stati fatti sedere comodamente, è stato chiesto loro di respirare spontaneamente e di ridurre al minimo i movimenti durante la registrazione. Tutte le valutazioni sono state condotte in una stanza silenziosa con temperatura stabile e illuminazione controllata. Le registrazioni sono durate 5 minuti, in linea con il tempo minimo previsto dalle linee guida per l'acquisizione dell'*HRV* a breve termine (Task Force, 1996; Shaffer et al., 2017). Sono state raccolte due registrazioni, una valutazione basale prima dell'intervento (*T0*) e una seconda valutazione immediatamente dopo l'intervento (*T1*). Una terza misurazione dell'*HRV* è stata eseguita quattro ore dopo (*T2*).

I dati dell'intervallo *R-R* sono stati esportati come file.txt ed elaborati in Kubios *HRV* Premium (versione 4.1.2). La pre-elaborazione ha seguito la pipeline standard del software, inclusa la correzione degli artefatti con la correzione automatica del battito Kubios (algoritmo basato sulla soglia), il *detrending* utilizzando il metodo dei priori di *smoothness* ($\lambda = 500$), l'interpolazione e il ricampionamento a 4 *Hz* come raccomandato per l'analisi spettrale. Gli indici *HRV* sono stati calcolati nel dominio della frequenza utilizzando la trasformazione rapida di Fourier. La variabilità della frequenza cardiaca è stata ricavata dalle registrazioni degli intervalli tra i battiti e analizzata utilizzando il *software* Kubios *HRV*. Gli indici nel dominio del tempo e della frequenza sono stati calcolati secondo le procedure standard. La frequenza respiratoria (*RP*) è stata stimata dalle serie temporali degli intervalli tra i battiti utilizzando il *software* Kubios *HRV*. Questa stima riflette la frequenza respiratoria (espressa in *Hz*) derivata dalle oscillazioni cardiorespiratorie, ma non fornisce informazioni sulla profondità respiratoria. In linea con le recenti raccomandazioni metodologiche, questa misura è stata utilizzata per caratterizzare le variazioni della frequenza respiratoria correlate alla condizione e per contestualizzare i risultati dell'*HF-HRV*, piuttosto che come misura diretta della fisiologia respiratoria (Quigley et al., 2024).

8.2.3 Disegno dello studio

Questo studio ha utilizzato uno studio clinico randomizzato controllato a gruppi paralleli con un fattore inter-soggetto (*BWM-T* vs. breve induzione di *Mindfulness*) e un fattore intra-soggetto (tempo, basale, immediatamente dopo l'intervento e quattro ore dopo). Prima della partecipazione, tutti gli studenti hanno ricevuto informazioni scritte che descrivevano gli obiettivi dello studio, le procedure, i potenziali rischi e benefici e il loro diritto di ritirarsi in qualsiasi momento senza conseguenze. È stato ottenuto il consenso informato scritto da ciascun partecipante. La randomizzazione è stata eseguita utilizzando il *Research Randomizer*, che ha generato una sequenza di randomizzazione a blocchi (dimensione del blocco = 4) per garantire un'assegnazione equilibrata ai gruppi con un rapporto 1:1. L'assegnazione ai gruppi è stata nascosta utilizzando voci numerate in sequenza, accessibili solo dopo che i partecipanti hanno completato la valutazione basale. Data la natura degli interventi, i partecipanti non potevano essere all'oscuro dell'assegnazione al gruppo; tuttavia, l'elaborazione dei dati e l'estrazione dell'*HRV* sono state eseguite da un valutatore all'oscuro della condizione di intervento.

Un totale di 68 partecipanti è stato randomizzato, con 34 assegnati al gruppo *BWM-T* e 34 al gruppo di breve induzione alla *Mindfulness*. Non sono state osservate differenze significative tra i gruppi al basale per quanto riguarda le variabili demografiche o psicologiche, a supporto del successo della randomizzazione. Nel dominio della frequenza, sono state incluse le componenti *HF* (0,15–0,40 Hz), *LF* (0,04–0,15 Hz) e *VLF* (<0,04 Hz). Il rapporto *LF/HF* è stato riportato, ma interpretato con cautela a causa di problemi metodologici ben documentati (Billman, 2013). Trasformazioni logaritmiche naturali sono state applicate ai valori *HF*, *LF* e *VLF* prima dell'analisi. Nel dominio del tempo, sono stati calcolati anche *HF*, *SDNN*, *rMSSD* e *pNN50* (Laborde et al., 2017; Shaffer et al., 2017). L'*RP* è stata stimata dal segnale cardiaco e considerata nell'interpretazione delle variazioni di *HF*.

8.2.4 Intervento

Tutti i partecipanti hanno partecipato a una singola sessione sperimentale condotta in un laboratorio universitario silenzioso. All'arrivo, è stato letto ad alta voce un copione standardizzato per garantire istruzioni uniformi in tutte le condizioni. I partecipanti hanno prima compilato i questionari psicologici di base (*STAI-Y*, *Distress Thermometer* e *GSES*). L'*HRV* è stata quindi valutata utilizzando una fascia toracica Polar H10, che ha registrato gli intervalli *R-R* per 5 minuti mentre i partecipanti erano seduti comodamente con gli occhi chiusi e venivano istruiti a respirare spontaneamente e ridurre al minimo i movimenti. Le condizioni ambientali, luce, temperatura e livello di rumore, sono state mantenute costanti in tutte le valutazioni. Dopo la registrazione di base, i partecipanti hanno completato l'intervento assegnato.

I partecipanti alla condizione *BWM-T* hanno ricevuto una sessione di 16 minuti condotta da uno psicologo clinico qualificato, seguendo il protocollo standardizzato in quattro fasi descritto in studi precedenti (Cozzolino et al., 2020a; 2020b; 2021b). Ogni posizione è stata mantenuta per circa quattro minuti con guida verbale dal vivo che incoraggiava la consapevolezza corporea e l'immobilità. Il facilitatore ha dimostrato e guidato la procedura in tempo reale per garantirne l'aderenza.

I partecipanti alla breve condizione di induzione di *Mindfulness* hanno completato un esercizio contemplativo audioguidato di 16 minuti, modellato su Watford (2014).

L'induzione includeva periodi di attenzione focalizzata, consapevolezza del momento presente e frasi ripetute in silenzio. Questa pratica rappresenta una breve induzione alla *Mindfulness*, piuttosto che un programma completo di allenamento alla *Mindfulness*.

I partecipanti erano seduti con gli occhi chiusi e istruiti a seguire attentamente le istruzioni.

Subito dopo l'intervento, è stata ottenuta una seconda registrazione dell'*HRV* di 5 minuti nelle stesse condizioni standardizzate della fase iniziale. I partecipanti hanno quindi compilato gli stessi questionari psicologici (*STAI-Y*, *DT*, *GSES*). Ai partecipanti è stato chiesto di astenersi dal consumo di caffeina, alcol o tabacco e di evitare attività fisica intensa o compiti stressanti durante l'intervallo di 4 ore tra le due valutazioni. Le stesse restrizioni sono state fornite anche prima della sessione basale. L'aderenza non è stata monitorata tramite misurazione diretta, ma è stata comunicata come parte della procedura

standard per gli studi psicofisiologici a breve termine. Al *follow-up* di quattro ore (T_2), i partecipanti sono tornati in laboratorio, hanno compilato i questionari psicologici per la terza volta e si sono sottoposti a una registrazione finale dell'*HRV* di 5 minuti utilizzando le stesse procedure e attrezzature delle valutazioni precedenti.

8.3 *Analisi statistica*

Prima delle analisi principali, il set di dati è stato ispezionato per individuare valori mancanti e valori anomali utilizzando *boxplot* (Vedi appendice Tabella 6 e 7). Non sono stati identificati dati mancanti. La normalità, l'omogeneità della varianza e la sfericità sono state valutate rispettivamente tramite i test di Shapiro-Wilk, Levene e Mauchly. Lievi deviazioni dalla normalità sono state tollerate, data la robustezza dell'*ANOVA* a disegno misto, pertanto non sono state applicate trasformazioni. Poiché i partecipanti sono stati assegnati in modo casuale ai gruppi e non sono emerse differenze basali, non sono state incluse covariate. In piccoli campioni randomizzati, l'aggiustamento delle covariate può ridurre la potenza statistica e aumentare l'instabilità del modello, pertanto sono stati utilizzati modelli non aggiustati.

Sono state condotte *ANOVA* miste con il Tempo (T_0 - T_1 - T_2) come fattore entro i soggetti e il Gruppo (*BWM-T* vs. breve induzione di *Mindfulness*) come fattore tra i soggetti. Sono stati testati modelli separati per ciascun esito psicologico (*STAI-Y*, *DT*, *GSES*) e indici di *HRV* (*FC*, *SDNN*, *rMSSD*, *pNN50*, *VLF*, *LF*, *HF*, *LF/HF*). La frequenza respiratoria stimata (*Hz*) è stata inclusa per contestualizzare le variazioni di *HRV* piuttosto che come esito primario. Le dimensioni dell'effetto sono state riportate come *eta quadrato parziale* (ηp^2), con $\alpha = 0,05$. È emersa un'interazione significativa Tempo \times Gruppo solo per *VLF*, $F(2,132) = 3,36$, $p = 0,038$, $\eta p^2 = 0,05$. Per questa variabile, sono stati eseguiti *T test* per campioni appaiati all'interno del gruppo per chiarire l'andamento temporale in ciascun gruppo separatamente.

Il gruppo *BWM-T* ha mostrato una diminuzione significativa da T_0 a T_1 , mentre non sono stati osservati cambiamenti significativi nel gruppo di breve induzione di *Mindfulness*. Per tutte le altre variabili, l'interazione Tempo \times Gruppo non è stata significativa; pertanto, sono state condotte analisi *post-hoc* all'interno di ciascun gruppo per esaminare i cambiamenti temporali in cui l'effetto principale del Tempo era significativo.

La d di Cohen e gli intervalli di confidenza al 95% sono stati calcolati per tutti i confronti appaiati. Data la natura esplorativa dello studio e la dimensione del campione relativamente ridotta, non è stata applicata alcuna correzione globale per i confronti multipli a tutti gli esiti. Tuttavia, quando è emerso un effetto omnibus significativo, sono stati applicati test *post-hoc* aggiustati di Bonferroni ai confronti corrispondenti. Questo approccio è stato adottato per bilanciare il rischio di errori di Tipo I e di Tipo II in un contesto psicofisiologico esplorativo.

8.4 Risultati

I risultati delle *ANOVA* a disegno misto sono riportati in ogni sottosezione per chiarezza. Quando è emerso un effetto principale del tempo o un'interazione significativa Tempo \times Gruppo, sono stati utilizzati test *t* per campioni appaiati per chiarire i cambiamenti all'interno del gruppo.

- *STAI-Y*

Un'*ANOVA* a disegno misto ha rivelato un effetto principale significativo del tempo sull'ansia di stato, $F(2, 132) = 15,88, p < 0,001, \eta p^2 = 0,19$, indicando una riduzione tra i punti di valutazione. Al contrario, né l'effetto principale del gruppo, $F(1, 66) = 0,04, p = 0,848, \eta p^2 = 0,00$, né l'interazione tempo \times gruppo, $F(2, 132) = 0,61, p = 0,545, \eta p^2 = 0,01$, hanno raggiunto la significatività, suggerendo che entrambi gli interventi hanno prodotto cambiamenti comparabili nel tempo (Vedi Appendice Tabella 8 Figura 5).

- *DT*

L'*ANOVA* a disegno misto ha rivelato un effetto principale significativo del tempo sui livelli di disagio, $F(2, 132) = 20,78, p < 0,001, \eta p^2 = 0,24$, indicando una riduzione generale nei tre punti di valutazione. Al contrario, né l'effetto principale del gruppo, $F(1, 66) = 0,01, p = 0,924$, né l'interazione tempo \times gruppo, $F(2, 132) = 0,53, p = 0,589$, hanno raggiunto la significatività, suggerendo che entrambi gli interventi hanno prodotto traiettorie simili nel tempo. (Vedi Appendice Tabella 8 Figura 6).

- *GSES*

L'*ANOVA* a disegno misto ha rivelato un effetto principale significativo del tempo sull'autoefficacia, $F(2, 132) = 16,74, p < 0,001, \eta p^2 = 0,20$, indicando un aumento generale nei punti di valutazione. Al contrario, né l'effetto principale del gruppo, $F(1, 66) = 3,43, p = 0,690$, né l'interazione tempo \times gruppo, $F(2, 132) = 0,28, p = 0,755$, hanno raggiunto la significatività, indicando che i due interventi hanno prodotto traiettorie comparabili nel tempo. (Vedi Appendice Tabella 8 Figura 7).

- *FC*

L'*ANOVA* a disegno misto ha rivelato un effetto principale significativo del tempo sulla frequenza cardiaca, $F(2, 132) = 9,76, p < 0,001, \eta p^2 = 0,13$, indicando variazioni della *FC* nei punti di valutazione. Al contrario, né l'effetto principale del gruppo, $F(1, 66) = 0,30, p = 0,586$, né l'interazione tempo \times gruppo, $F(2, 132) = 0,67, p = 0,515$, hanno raggiunto la significatività, suggerendo che entrambi gli interventi hanno prodotto traiettorie di frequenza cardiaca comparabili nel tempo. L'analisi dei valori medi ha suggerito variazioni della frequenza cardiaca nei diversi punti di valutazione, con una tendenza verso valori più elevati alla valutazione di follow-up e modelli temporali comparabili osservati in entrambi i gruppi. (Vedi Appendice Tabella 8 Figura 8a).

- *SDNN*

L'*ANOVA* a disegno misto non ha rivelato effetti significativi per la *SDNN*. Né l'effetto principale del tempo, $F(2, 132) = 0,14, p = 0,867$, né l'effetto principale del gruppo, $F(1, 66) = 0,02, p = 0,883$, hanno raggiunto la significatività. Anche l'interazione tempo \times gruppo non è risultata significativa, $F(2, 132) = 0,64, p = 0,527$, a indicare che la *SDNN* non è cambiata nelle valutazioni e che i due interventi hanno prodotto modelli comparabili nel tempo. (Vedi Appendice Tabella 8 Figura 8b).

- *rMSSD*

L'*ANOVA* a disegno misto non ha rivelato effetti significativi per *rMSSD*. Né l'effetto principale del tempo, $F(2, 132) = 0,29, p = 0,750$, né l'effetto principale del gruppo, $F(1, 66) = 0,72, p = 0,398$, sono risultati significativi. Anche l'interazione tempo \times gruppo non ha raggiunto la significatività, $F(2, 132) = 1,06, p = 0,348$, a indicare che la variabilità della frequenza cardiaca mediata dal vago è rimasta stabile nelle valutazioni in entrambi i gruppi. (Vedi Appendice Figura Tabella 8 8c).

- *pNN50*

L'*ANOVA* a disegno misto non ha rivelato effetti significativi per *pNN50*. Né l'effetto principale del tempo, $F(2, 132) = 1,29, p = 0,279$, né l'effetto principale del gruppo, $F(1, 66) = 0,09, p = 0,765$, hanno raggiunto la significatività. Anche l'interazione tempo \times gruppo è risultata non significativa, $F(2, 132) = 0,79, p = 0,455$, indicando che *pNN50* è rimasto stabile in tutti i punti di valutazione in entrambi i gruppi di intervento. (Vedi Appendice Tabella 8 Figura 8d).

- *VLf*

L'*ANOVA* a disegno misto ha rivelato una significativa interazione tempo \times gruppo per la potenza *VLf*, $F(2, 132) = 3,36, p = 0,038, \eta p^2 = 0,05$, indicando che i due interventi hanno prodotto traiettorie temporali diverse. Né l'effetto principale del tempo né l'effetto principale del gruppo hanno raggiunto la significatività (Vedi Appendice Tabella 8 Figura 8e).

Sono stati condotti confronti di *follow-up* a coppie di campioni in base all'interazione significativa. Nel gruppo *BWM-T*, la *VLf* è diminuita significativamente da T0 a T1, $t(33) = 2,38, p = 0,023$, ma questo effetto non si è mantenuto al *follow-up* (T0–T2: $t(33) = 0,75, p = 0,461$). Non sono emerse differenze significative tra T1 e T2. Al contrario, il gruppo con breve induzione di *Mindfulness* non ha mostrato cambiamenti significativi in nessun punto temporale (tutti $p > 0,13$). (Vedi Appendice Tabella 9).

- *LF*

L'*ANOVA* a disegno misto non ha rivelato effetti significativi sulla potenza della *LF*. Né l'effetto principale del tempo, $F(2, 132) = 0,34, p = 0,693$, né l'effetto principale del gruppo, $F(1, 66) = 1,01, p = 0,319$, hanno raggiunto la significatività. Anche l'interazione tempo \times gruppo non è risultata significativa, $F(2, 132) = 0,10, p = 0,890$, a indicare che la potenza *LF* è rimasta stabile in tutte le valutazioni in entrambi i gruppi.

(Vedi Appendice Tabella 8 Figura 8f),

- *HF*

L'*ANOVA* a disegno misto non ha rivelato effetti significativi sulla potenza *HF*. Né l'effetto principale del tempo, $F(2, 132) = 0,34, p = 0,693$, né l'effetto principale del gruppo, $F(1, 66) = 0,54, p = 0,466$, sono risultati significativi. Anche l'interazione tempo \times gruppo non è risultata significativa, $F(2, 132) = 0,10, p = 0,890$, a indicare che l'attività ad alta frequenza mediata dal vago è rimasta stabile nelle tre valutazioni in entrambi i gruppi.

(Vedi Appendice Tabella 8 Figura 8g).

- *LF/HF*

L'*ANOVA* a disegno misto non ha rivelato effetti significativi sul rapporto *LF/HF*.

L'effetto principale del tempo non è risultato significativo, $F(2, 132) = 0,15, p = 0,861$, e nemmeno l'effetto principale del gruppo, $F(1, 66) = 0,02, p = 0,880$. Anche l'interazione tempo \times gruppo non ha raggiunto la significatività, $F(2, 132) = 0,09, p = 0,912$, a indicare che il rapporto *LF/HF* è rimasto stabile in tutti i punti di misurazione in entrambi gli interventi. (Vedi Appendice Tabella 8 Figura 8h).

- *RP*

L'*ANOVA* a disegno misto non ha rivelato effetti significativi sulla frequenza respiratoria stimata. Né l'effetto principale del tempo, $F(2, 132) = 1,72, p = 0,184$, né l'effetto principale del gruppo, $F(1, 66) = 0,94, p = 0,337$, hanno raggiunto la significatività.

L'interazione tempo \times gruppo Anche *n* non era significativo, $F(2, 132) = 0,48, p = 0,618$,

indicando che la frequenza respiratoria è rimasta stabile in tutti i punti di valutazione e non ha mostrato differenze tra i gruppi *BWM-T* e breve induzione di *Mindfulness*. (Vedi Appendice Tabella 8 Figura 8i).

8.5 *Discussione*

Il presente studio ha esaminato gli effetti immediati e a breve termine di una singola sessione di *BWM-T* e di una breve induzione di *Mindfulness* sugli indicatori psicologici e autonomici della regolazione dello stress e autoefficacia in studenti universitari. In entrambi gli interventi, i partecipanti hanno riportato significative riduzioni dell'ansia di stato e del disagio psicologico, nonché un aumento dell'autoefficacia generale, con cambiamenti mantenuti fino a quattro ore dopo la sessione. Questi risultati suggeriscono che anche pratiche mente-corpo molto brevi possono generare un rapido cambiamento nell'efficacia percepita e nelle valutazioni correlate allo stress, in linea con l'evidenza che le pratiche contemplative brevi possono modulare il controllo attentivo, l'eccitazione emotiva e le risorse di coping percepite (Hölzel et al., 2011; Tang et al., 2015).

Da una prospettiva teorica, la convergenza degli effetti sui risultati psicologici di entrambi gli interventi potrebbe riflettere meccanismi regolatori condivisi. Sebbene, come accennato in precedenza in questo articolo, *BWM-T* e l'induzione breve alla *Mindfulness* possano basarsi su percorsi distinti di modulazione *bottom-up* rispetto alla regolazione *top-down*, almeno inizialmente, il loro impatto comune sulla consapevolezza interocettiva, sul reindirizzamento dell'attenzione, sulla riduzione del carico cognitivo e sul miglioramento della discriminazione interocettiva potrebbe produrre miglioramenti a breve termine comparabili nel disagio soggettivo acuto e nell'ansia.

Modelli di valutazione dello stress e di autoregolazione suggeriscono che la diminuzione dell'arousal simpatico e della minaccia percepita può aumentare rapidamente il senso di controllo ed efficacia (Bandura, 1997; Lazarus et al., 1984). L'aumento dell'autoefficacia osservato al *follow-up* di quattro ore potrebbe quindi rappresentare un effetto a valle delle riduzioni acute di ansia e disagio, piuttosto che un effetto diretto delle tecniche di intervento stesse.

A differenza dei risultati psicologici, gli indici autonomici hanno mostrato un modello di cambiamento più selettivo. Una significativa interazione Gruppo \times Tempo è emersa solo per la potenza *VLF*, con una riduzione transitoria immediatamente dopo *BWM-T* che non è stata osservata nel gruppo di induzione breve di *Mindfulness*. Sebbene l'interpretazione fisiologica della *VLF* rimanga dibattuta, soprattutto nelle registrazioni a breve termine, le riduzioni in questa banda sono state provvisoriamente associate a cambiamenti nei processi omeostatici lenti, nella termoregolazione e nelle oscillazioni autonome a lunga latenza (Shaffer et al., 2017). È importante notare che la frequenza cardiaca ha mostrato un significativo effetto principale del tempo, indicando una modulazione temporale dell'attività cardiaca nelle diverse valutazioni, ma senza differenze di gruppo o traiettorie divergenti. Al contrario, la frequenza respiratoria stimata è rimasta stabile nel tempo e non ha mostrato differenze tra i gruppi.

Questa dissociazione suggerisce che i cambiamenti autonomici osservati non possono essere attribuiti a semplici alterazioni della frequenza respiratoria, ma piuttosto riflettono dinamiche cardiorespiratorie più complesse. In linea con i quadri psicofisiologici contemporanei, questo modello supporta un'interpretazione dell'*HRV* e dei cambiamenti cardiaci come proprietà emergenti di processi regolatori integrati, piuttosto che come *proxy* diretti di una modulazione vagale isolata (Quigley et al., 2024).

Una possibilità è che la caratteristica del *BWM-T* abbia modulato brevemente questi meccanismi regolatori più lenti, in linea con i modelli *bottom-up* che enfatizzano il miglioramento della discriminazione interocettiva, in un modo non evocato dall'induzione breve di *Mindfulness* orientata cognitivamente. È necessaria un'interpretazione più dettagliata dei risultati della *VLF*, soprattutto considerando che questo è stato l'unico parametro *HRV* a mostrare un'interazione significativa, ma evidenze emergenti suggeriscono che gli interventi mente-corpo e contemplativi possono modulare transitoriamente la *VLF*, anche quando altri indici *HRV* rimangono invariati (Tang et al., 2015; Bernardi et al., 2006).

Un contributo importante di questo studio risiede nell'adozione di una finestra di *follow-up* di quattro ore. La maggior parte delle ricerche sugli interventi a sessione singola esamina i risultati immediatamente dopo la pratica o entro una o due ore. L'estensione della finestra a quattro ore ha affrontato una questione ecologica significativa, se i rapidi miglioramenti

psicologici persistano durante la ripresa degli impegni accademici quotidiani, quando i fattori di stress riemergono naturalmente. Il mantenimento delle riduzioni di ansia e disagio a *T2* suggerisce che brevi pratiche mente-corpo possano offrire un supporto funzionale a breve termine durante i periodi di pressione accademica, anche se i cambiamenti fisiologici rimangono circoscritti o difficili da rilevare.

Nel complesso, i risultati attuali supportano la crescente evidenza che interventi mente-corpo molto brevi possono produrre benefici psicologici a breve termine, evidenziando al contempo le difficoltà nel rilevare effetti autonomici paralleli in tempi così limitati. Le differenze tra tecniche *bottom-up* e *top-down* possono emergere principalmente nella loro immediatezza. firme incarnate, come la riduzione transitoria della *VLFF* a seguito di *BWM-T*, mentre i miglioramenti emotivi soggettivi sembrano essere condivisi tra le modalità. Sono necessarie ulteriori ricerche che utilizzino campioni più ampi, misure autonome più dettagliate e manipolazioni dello stress ecologicamente valide per chiarire i percorsi specifici attraverso i quali questi interventi esercitano la loro influenza.

8.6 Limitazioni e direzioni future

Diverse limitazioni devono essere riconosciute nell'interpretazione dei presenti risultati. In primo luogo, sebbene sia stata condotta un'analisi di potenza a priori, la dimensione del campione ha fornito una sensibilità adeguata solo per effetti di interazione di medie dimensioni. Effetti fisiologici minori, in particolare quelli che influenzano gli indici di *HRV*, potrebbero quindi essere rimasti inosservati. I parametri *HRV* sono caratterizzati da una sostanziale variabilità interindividuale e l'individuazione di sottili cambiamenti a seguito di interventi ultra-brevi richiede in genere campioni più ampi o progetti intensivi a misure ripetute. Va comunque specificato che sebbene *HF* e *SDNN* non abbiano raggiunto la significatività statistica, entrambi gli indici hanno mostrato tendenze che potrebbero essere fisiologicamente significative. Per interpretare meglio questi modelli, la ricerca futura dovrebbe includere un gruppo di controllo passivo, che consentirebbe di determinare se tali tendenze riflettano risposte autonome reali agli interventi piuttosto che una variabilità spontanea.

In secondo luogo, diverse covariate note dell'*HRV* non sono state controllate sperimentalmente o aggiustate statisticamente, tra cui l'attività fisica recente, l'assunzione

di caffeina, la qualità del sonno, la fase del ciclo mestruale e i modelli respiratori. Ai partecipanti è stato chiesto di evitare sostanze e attività che potessero influenzare l'attività autonoma, ma l'aderenza non è stata monitorata oggettivamente, il che potrebbe aver introdotto una variabilità incontrollata nelle misure di *HRV*.

In terzo luogo, le misure psicologiche si basavano su strumenti di autovalutazione, soggetti a effetti di aspettativa, *bias* di risposta e risoluzione temporale limitata. In particolare, l'uso di una scala di stress a singolo item e di una misura di autoefficacia generalizzata potrebbe non catturare appieno le rapide fluttuazioni dello stress e dei processi regolatori nell'arco di quattro ore.

Infine, la scelta di un *follow-up* di quattro ore, sebbene teoricamente fondata ed ecologicamente significativa, rappresenta comunque una finestra di osservazione relativamente breve. Non è chiaro se i benefici psicologici osservati persisterebbero su intervalli più lunghi o in caso di ripetute esposizioni a fattori di stress accademici o ambientali. La ricerca futura dovrebbe quindi includere ulteriori valutazioni di follow-up, marcatori oggettivi di reattività allo stress e disegni di ricerca che consentano il confronto diretto con le condizioni di controllo.

8.7 Analisi critica all'interno del progetto di ricerca

Considerati congiuntamente, i risultati del secondo studio rafforzano e articolano quanto emerso nel primo. Il primo studio aveva infatti una funzione prevalentemente orientata a verificare se una singola sessione di *BWM-T* fosse in grado di produrre effetti immediati sullo stress percepito e su alcuni indicatori autonomici, distinguendosi da un intervento di psicoeducazione. In questo contesto, l'emergere di una specificità fisiologica della *BWM-T*, a fronte di effetti soggettivi comparabili, aveva già suggerito la necessità di superare una valutazione basata esclusivamente sugli esiti percepiti.

Il secondo studio si colloca consapevolmente in continuità con tali risultati, assumendo come obiettivo non tanto la dimostrazione di una maggiore efficacia di un intervento rispetto a un altro, quanto l'approfondimento dei processi di regolazione psicofisiologica sottesi agli effetti osservati. L'introduzione di un confronto con un intervento attivo e strutturato come una breve induzione di *Mindfulness* ha permesso di restringere il campo interpretativo, spostando l'attenzione da una dicotomia intervento specifico vs. controllo a

un confronto tra due pratiche mente–corpo potenzialmente efficaci, ma fondate su presupposti e modalità operative differenti.

Considerati congiuntamente, i risultati dei due studi delineano un quadro coerente in cui la convergenza sugli esiti soggettivi come riduzione dell'ansia, del *distress* e incremento dell'autoefficacia coesiste con una differenziazione più sottile sul piano fisiologico e temporale. Tale pattern rafforza l'ipotesi che gli interventi brevi possano attivare rapidamente processi di autoregolazione percepita, ma che la qualità, la profondità e la dinamica di tali processi non siano necessariamente sovrapponibili. In questa prospettiva, le differenze osservate nei parametri autonomici e nella loro evoluzione nel tempo assumono un ruolo cruciale per comprendere come gli interventi agiscano, piuttosto che limitarsi a stabilire se producano un effetto.

All'interno del progetto di ricerca complessivo, questo passaggio risulta particolarmente rilevante perché consente di integrare progressivamente livelli diversi di analisi quello soggettivo e quello psicofisiologico, mettendo in discussione una concezione unitaria dell'efficacia degli interventi per la gestione dello stress e alla luce di queste considerazioni, il passaggio allo terzo studio rappresenta l'esigenza di approfondire ulteriormente i meccanismi di regolazione psicofisiologica messi in evidenza nei primi due studi, rivolgendosi a un campione specifico di sportivi amatoriali e indagando in modo più diretto la dinamica della risposta allo stress.

CAPITOLO 9

TERZO STUDIO: MODULAZIONE DELLA RISPOSTA ALLO STRESS IN CONDIZIONI DI PRESTAZIONE: CONFRONTO TRA BWM-T E PSICOEDUCAZIONE DURANTE COMPITO STRESSANTE

Nell'ambito del presente lavoro, il terzo studio viene presentato nella forma di un'analisi preliminare. Al momento della stesura di questa tesi, la raccolta dei dati è infatti ancora in corso e il campione non ha ancora raggiunto la numerosità prevista dal disegno sperimentale completo. Di conseguenza, i risultati riportati devono essere interpretati come indicativi e non conclusivi, con una funzione prevalentemente esplorativa e orientativa rispetto alle ipotesi di ricerca. Tuttavia, la presentazione di tali risultati preliminari risponde all'esigenza di offrire una prima verifica empirica della direzione teorica e metodologica intrapresa, in continuità con i due studi precedenti. In particolare, essa consente di valutare la fattibilità del protocollo, la sensibilità delle misure adottate e la coerenza dei pattern emergenti con le ipotesi formulate, costituendo una base necessaria per le analisi definitive che verranno condotte al completamento dello studio.

9.1 Razionale e ipotesi dello studio

La capacità di regolare efficacemente lo stress rappresenta una competenza cruciale non solo in ambito clinico, ma anche nei contesti di performance, in particolare nello sport, dove gli atleti sono costantemente esposti a richieste cognitive, emotive e decisionali elevate. In condizioni di pressione acuta, una regolazione inefficace dello stress può compromettere il controllo attentivo, la qualità del processo decisionale, la coordinazione motoria e, in ultima analisi, la prestazione sportiva complessiva.

Numerosi studi hanno evidenziato come tali effetti siano mediati dal funzionamento del sistema nervoso autonomo (*SNA*), responsabile del bilanciamento tra attivazione simpatica e recupero parasimpatico in risposta alle richieste ambientali. In questo quadro, la variabilità della frequenza cardiaca (*HRV*) si è affermata come uno degli indicatori più robusti della flessibilità autonoma e della capacità di adattamento allo stress, con valori più elevati associati a una maggiore resilienza psicofisiologica e a migliori capacità di autoregolazione.

In particolar modo nel contesto sportivo, questa flessibilità assume un ruolo particolarmente rilevante, in quanto gli atleti devono essere in grado di passare rapidamente da fasi di attivazione a fasi di recupero, spesso più volte nel corso di una singola competizione. In tale prospettiva, non è soltanto l'intensità della risposta allo stress a risultare determinante, ma anche la velocità e l'efficacia del recupero fisiologico successivo, considerato un indicatore chiave di resilienza e prontezza funzionale.

In questo senso la *BWM-T* presenta caratteristiche che la rendono particolarmente adatta a contesti applicativi come lo sport in quanto essa è semplice da apprendere, non richiede attrezzature specifiche, può essere somministrata in tempi brevi e si presta a essere utilizzata immediatamente prima di situazioni stressanti o competitive. Per testare l'efficacia della *BWM-T* in una situazione di stress acuto e controllato, il terzo studio prevede l'utilizzo dello *Stroop Color-Word Task (SCWT)* come stressor cognitivo. Questo compito è ampiamente utilizzato in letteratura come paradigma di stress mentale ed è noto per indurre un aumento del carico cognitivo, una soppressione dell'*HRV* e un'attivazione della componente simpatica del *SNA*. Sebbene non rappresenti una situazione competitiva reale, lo *SCWT* consente di simulare alcune caratteristiche chiave dello stress sportivo, come la pressione temporale, l'interferenza cognitiva e la richiesta di controllo attentivo.

Monitorando l'andamento dell'*HRV* e delle risposte soggettive di ansia attraverso diverse fasi (baseline, post-intervento, esposizione allo stress e recupero), questo studio si propone di valutare se una singola sessione di *BWM-T* sia in grado di modulare la risposta psicofisiologica allo stress in sportivi amatoriali, rispetto a una condizione di controllo basata sulla psicoeducazione.

9.1.1 Ipotesi di ricerca

Alla luce di queste premesse, il terzo studio è stato progettato con i seguenti obiettivi:

- Ipotesi 1: una singola sessione di *BWM-T* sarà associata a cambiamenti significativi nei parametri di *HRV*, indicativi di una migliore regolazione del sistema nervoso autonomo, rispetto al gruppo di psicoeducazione in sportivi amatoriali nel pre-post;
- Ipotesi 2: i partecipanti assegnati al gruppo *BWM-T* mostreranno una minore riduzione autonoma durante il compito stressante rispetto al gruppo di psicoeducazione;

- Ipotesi 3: i partecipanti assegnati al gruppo *BWM-T* mostreranno un recupero autonomico migliore *HRV* nella fase post compito stressante rispetto al gruppo di psicoeducazione.

9.2. *Materiali e metodi*

9.2.1 *Campione*

Il campione attualmente preso in esame in queste prime analisi preliminari è composto da 23 atleti amatoriali (17 uomini e 6 donne; età media = 25,6 anni, $DS = 4,7$). I partecipanti sono stati reclutati da club sportivi locali e centri sportivi universitari e rappresentavano diverse discipline sportive di squadra (basket, calcio, rugby e pallavolo). Tutti i partecipanti si allenavano regolarmente (almeno 3 sessioni a settimana) e non riportavano infortuni o condizioni cliniche in corso. Tutti i 23 partecipanti hanno completato l'intero protocollo di studio e nessun dato è stato escluso dalle analisi. Tutti i partecipanti hanno riferito di non aver mai avuto esperienze pregresse con pratiche di rilassamento strutturato o meditazione. Tutte le procedure di questo studio sono state eseguite in conformità con gli standard etici del comitato di ricerca dell'Associazione Italiana di Psicologia (*AIP*) e con la Dichiarazione di Helsinki del 1964 e i suoi successivi emendamenti. Lo studio è stato approvato dalla commissione etica dell'Università di Salerno (Unisa) l'11 giugno 2024, numero di protocollo 0186309.

9.2.2 *Misure*

Tutte le misure sono state digitalizzate e messe a disposizione dei partecipanti tramite un collegamento informatico condiviso tramite una piattaforma accademica.

- I livelli di ansia sono stati misurati utilizzando lo *State-Trait Anxiety Inventory Form Y (STAI-Y)*, uno strumento *self-report* che valuta sia l'ansia presente (di stato) sia una tendenza generalizzata all'ansia (di tratto). La scala ha dimostrato solide proprietà psicometriche in campioni italiani. In questo studio, è stata utilizzata solo la sottoscala di stato, composta da 20 *item*. Ogni *item* è valutato su una scala Likert a 4 punti (da 1 = "per niente" a 4 = "moltissimo"), ottenendo un intervallo totale da 20 (bassa ansia) a 80 (alta ansia). Punteggi elevati corrispondono a livelli di ansia più elevati, legati allo stato emotivo

immediato del partecipante.

- Le strategie di coping sono state valutate utilizzando il *Coping Inventory for Stressful Situations – Short Form (CISS-21)* (Endler et al., 1990), uno strumento *self-report* di 21 item progettato per valutare le tendenze individuali di coping in risposta allo stress.

La scala comprende tre sottoscale, ciascuna composta da 7 *item*.

Coping Orientato al Compito (*TOC*), *Coping* Orientato alle Emozioni (*EOC*) e *Coping* Orientato all'Evitamento (*AOC*). Gli item sono valutati su una scala Likert a 5 punti (da 1 = "per niente" a 5 = "moltissimo"), con punteggi più alti che indicano una maggiore dipendenza dallo stile di *coping* corrispondente. Il *CISS-21* è stato adattato per l'uso nella popolazione italiana e ha mostrato proprietà psicometriche accettabili (Sirigatti et al., 2009).

- La variabilità della frequenza cardiaca (*HRV*) è stata registrata utilizzando una fascia toracica *Polar H10*, che fornisce misurazioni dell'intervallo *R-R* con elevata risoluzione temporale (1 *ms*) ed è stata convalidata rispetto all'elettrocardiogramma (*ECG*) standard per l'analisi dell'*HRV* a breve termine (Gilgen-Ammann et al., 2019; Gamelin et al., 2006). I partecipanti sono stati fatti sedere comodamente, è stato chiesto loro di respirare spontaneamente e di ridurre al minimo i movimenti durante la registrazione. Tutte le valutazioni sono state condotte in una stanza silenziosa con temperatura stabile e illuminazione controllata. Le registrazioni sono durate 5 minuti, in linea con il tempo minimo previsto dalle linee guida per l'acquisizione dell'*HRV* a breve termine (Task Force, 1996; Shaffer et al., 2017). Sono state raccolte tre registrazioni, una valutazione basale prima dell'intervento (*T0*), una seconda valutazione durante il compito stressante (*T1*) e una dopo l'intervento (*T2*). I dati dell'intervallo *R-R* sono stati esportati come *file.txt* ed elaborati in Kubios *HRV* Premium (versione 4.1.2).

La pre-elaborazione ha seguito la pipeline standard del software, inclusa la correzione degli artefatti con la correzione automatica del battito Kubios (algoritmo basato sulla soglia), il *detrending* utilizzando il metodo dei priori di *smoothness* ($\lambda = 500$), l'interpolazione e il ricampionamento a 4 *Hz* come raccomandato per l'analisi spettrale. Gli indici *HRV* sono stati calcolati nel dominio della frequenza utilizzando la trasformazione rapida di Fourier. La variabilità della frequenza cardiaca è stata ricavata dalle registrazioni degli intervalli tra i battiti e analizzata utilizzando il software Kubios *HRV*. Gli indici nel

dominio del tempo e della frequenza sono stati calcolati secondo le procedure standard. La frequenza respiratoria (*RP*) è stata stimata dalle serie temporali degli intervalli tra i battiti utilizzando il software Kubios *HRV*. Questa stima riflette la frequenza respiratoria (espressa in *Hz*) derivata dalle oscillazioni cardiorespiratorie, ma non fornisce informazioni sulla profondità respiratoria. In linea con le recenti raccomandazioni metodologiche, questa misura è stata utilizzata per caratterizzare le variazioni della frequenza respiratoria correlate alla condizione e per contestualizzare i risultati dell'*HF-HRV*, piuttosto che come misura diretta della fisiologia respiratoria (Quigley et al., 2024).

9.2.3 Disegno dello studio

È stato utilizzato un disegno di studio randomizzato controllato con un fattore tra soggetti e un fattore entro i soggetti. Prima dell'inizio di questo studio, a ciascun partecipante è stato fornito un modulo di consenso informato che delineava gli obiettivi, le procedure, i potenziali benefici e rischi e il loro diritto di ritirarsi dalla ricerca in qualsiasi momento senza alcuna conseguenza. Tutti i partecipanti hanno firmato il modulo, confermando la loro disponibilità a partecipare a questo studio. Utilizzando uno strumento di randomizzazione, è stata generata una lista di randomizzazione bloccata e successivamente applicata al campione. Seguendo questa procedura, i partecipanti sono stati assegnati alla condizione di controllo o a quella sperimentale. In totale, 11 individui sono stati assegnati alla condizione di controllo e 12 alla condizione sperimentale.

9.2.4 Intervento

L'intervento è stato svolto in un'unica sessione per tutti i partecipanti. Uno script con le istruzioni per la ricerca è stato letto a tutti i partecipanti, sia nel gruppo di controllo che in quello sperimentale. Dopo aver completato i questionari psicologici (*STAI-Y* e *CISS-21*), una fascia cardiaca *Polar H10* è stata applicata a tutti i soggetti per monitorare la variabilità della frequenza cardiaca (*HRV*). Dopo l'applicazione, tutti i partecipanti sono stati sottoposti a una pre-stima dei parametri *HRV*. A tutti i partecipanti è stato chiesto di chiudere gli occhi e respirare normalmente.

Dopodiché, i partecipanti nella condizione sperimentale hanno ricevuto una sessione di 16 minuti del *BWM-T*, mentre i controlli hanno guardato video di 16 minuti che fornivano

suggerimenti sulla riduzione dello stress a breve termine. Nella condizione sperimentale, data la rilevanza degli interventi mente-corpo per la riduzione dello stress a breve termine che emerge in letteratura, abbiamo utilizzato un intervento specifico, la *BWM-T*, che ha già dimostrato la sua efficacia in diversi studi. La tecnica prevede una procedura di movimento delle dita in quattro fasi, facile da implementare e che aiuta spontaneamente il cervello a rilasciare onde alfa più lente. Il protocollo *BWM-T* utilizzato nella condizione sperimentale prevedeva un movimento delle dita in 4 fasi. Il ricercatore, uno psicologo clinico, ha descritto la tecnica e ha mostrato ciascuna delle quattro posizioni delle dita *BWM-T*, assicurandosi che i partecipanti potessero facilmente imitarle e impararle. La prima posizione prevedeva di toccare la punta del mignolo con la punta del pollice; la seconda posizione, di toccare la punta dell'anulare con la punta del pollice; la terza posizione, di toccare la punta del medio con la punta del pollice; e la quarta posizione, di toccare la punta del medio e dell'anulare con la punta del pollice. Ai partecipanti è stato chiesto di mantenere ogni posizione per almeno 4 minuti, con lo psicologo che forniva promemoria per cambiare posizione. Successivamente, è stato chiesto loro di appoggiare entrambe le mani sulle gambe o sul bracciolo della sedia e di chiudere gli occhi.

Nel gruppo di controllo, i partecipanti hanno guardato un video informativo di 15 minuti sulla gestione dello stress a breve termine. Nel video, uno psicologo ha spiegato come si sviluppa lo stress e come può influire negativamente sia sul corpo che sulla mente, prima di presentare una serie di strategie pratiche di coping.

Nella successiva fase *T1*, tutti i partecipanti hanno completato un compito computerizzato di *Stroop Color-Word* di 3 minuti, un fattore di stress cognitivo convalidato noto per indurre un'attivazione simpatica acuta. L'*HRV* è stata registrata continuamente durante questo compito per catturare la reattività autonoma.

Infine, nella fase *T2* è stata effettuata una terza registrazione della *HRV* a riposo di 5 minuti. Al termine di questa fase, i partecipanti hanno nuovamente compilato i questionari *STAI-Y* e *CISS-21* per valutare i cambiamenti nell'ansia percepita e nelle strategie di coping a seguito dell'intervento e dell'esposizione allo stress.

Tutte le sessioni sono state condotte individualmente in una stanza tranquilla e a temperatura controllata. Il protocollo completo è durato circa 45 minuti per partecipante.

Ai partecipanti è stato chiesto di astenersi da caffeina, attività fisica intensa o pasti pesanti per almeno due ore prima del test (Lahmann et al., 2017).

9.3 Analisi statistica

Considerato il carattere ancora preliminare del terzo studio a causa della numerosità campionaria attualmente disponibile ($n = 23$), le analisi statistiche sono state condotte con finalità prevalentemente esplorative. Al momento della stesura del presente lavoro, la raccolta dei dati è ancora in corso e il campione non ha raggiunto la numerosità prevista dal disegno sperimentale completo. Di conseguenza, i risultati riportati non hanno valore confermativo, ma sono finalizzati a descrivere i pattern emergenti e a valutare la coerenza dei dati con le ipotesi teoriche formulate.

I primi dati emersi sono stati analizzati utilizzando Jamovi (versione 2.5.5; The Jamovi Project, 2024). La significatività statistica è stata impostata su $\alpha = 0,05$. Sono stati condotti controlli preliminari di normalità e omogeneità della varianza (test di Shapiro-Wilk e Levene). (Vedi Appendice Tabella 10)

Per le variabili *HRV*, è stata eseguita un'*ANOVA* mista 3 (Fase: *T1, T2, T3*) \times 2 (Gruppo: sperimentale vs. controllo). Per le misure psicologiche (*STAI-Y* e *CISS-21*), sono state utilizzate *ANOVA* a misure ripetute 2×2 . Correzioni Greenhouse-Geisser sono state applicate in caso di violazione delle ipotesi di sfericità. Le dimensioni dell'effetto sono riportate come *eta quadrato parziale* (η^2p) (Vedi Appendice Tabella 11 e 12). Non sono emerse differenze significative al basale tra il gruppo sperimentale e quello di controllo nelle variabili demografiche (età, distribuzione di genere) o nelle misure psicologiche e fisiologiche al basale, come confermato dai *T-test* per campioni indipendenti (tutti i *ps* $>$ 0,05).

9.4 Risultati preliminari

- *SDNN*

L'*ANOVA* a misure ripetute per la misura *SDNN* non ha rivelato alcun effetto di interazione significativo tra le due variabili indipendenti emerse [$F(3, 63) = 0,993$; $p = 0,402$]. È stato riscontrato un effetto principale significativo della fase [$F(3, 63) = 8,423$; $p < 0,001$]. I confronti *post hoc* hanno rivelato che la *SDNN* era significativamente più alta in *T0*

rispetto a *T1* ($MD = 15,69$; $t = 3,798$; $p = 0,001$) e significativamente più bassa nella fase *T1* rispetto a *T2* ($MD = -20,13$; $t = -5,484$; $p < 0,001$). Non è stato riscontrato alcun effetto principale significativo del gruppo [$F(1, 21) = 2,49$; $p = 0,130$]. (Vedi Appendice Figura 9)

- *rMSSD*

L'*ANOVA* a misure ripetute per la misura *rMSSD* ha rivelato un effetto principale significativo della fase [$F(3, 63) = 8,423$; $p < 0,001$]. I confronti *post hoc* hanno mostrato che l'*rMSSD* era significativamente più alto in *T0* rispetto a *T1* ($MD = 13,46$; $t = 3,445$; $ptukey = 0,012$) e significativamente più basso tra *T1* e *T2* ($MD = -12,44$; $t = -4,084$; $ptukey = 0,003$). Non è stato riscontrato alcun effetto principale significativo del gruppo [$F(1, 21) = 0,679$; $p = 0,419$]. (Vedi Appendice Figura 10)

- *pNN50*

L'*ANOVA* a misure ripetute per la misura *pNN50* non ha rilevato alcun effetto di interazione significativo tra le due variabili indipendenti [$F(3, 63) = 1,34$; $p = 0,268$]. È emerso un effetto principale significativo della fase [$F(3, 63) = 5,17$; $p = 0,003$]. I confronti *post hoc* hanno mostrato che *pNN50* era significativamente inferiore tra *T1* rispetto *T2* ($MD = -8,573$; $t = -2,913$; $ptukey = 0,038$). Non è stato rilevato alcun effetto principale significativo del gruppo [$F(1, 21) = 0,0375$; $p = 0,848$]. (Vedi Appendice Figura 11)

- *VLF*

L'*ANOVA* a misure ripetute per la misura *VLF* non ha rilevato effetti significativi per l'interazione [$F(3, 63) = 1,466$; $p = 0,232$]. L'effetto principale della fase [$F(3, 63) = 0,495$; $p = 0,687$], o l'effetto principale del gruppo [$F(1, 21) = 0,654$; $p = 0,428$]. (Vedi Appendice Figura 12)

- *LF*

L'*ANOVA* a misure ripetute per la misura *LF* non ha rilevato alcun effetto significativo di interazione tra le due variabili indipendenti [$F(3, 63) = 0,272$; $p = 0,846$]. È emerso un

effetto principale significativo della fase [$F(3, 63) = 39,098; p < 0,001$]. I confronti *post hoc* hanno rivelato differenze significative tra le fasi, *LF* era significativamente più alto in *T0* rispetto *T1* ($MD = 1,969; t = 8,50; ptukey < 0,001$) e tra *T1* e *T2* ($MD = 1,650; t = 8,48; ptukey < 0,001$). Non è stato riscontrato alcun effetto principale significativo del gruppo [$F(1, 21) = 2,08; p = 0,164$]. (Vedi Appendice Figura 13)

- *HF*

L'*ANOVA* a misure ripetute per la misura *HF* non ha rivelato un effetto di interazione significativo [$F(3, 63) = 1,68; p = 0,181$]. È stato riscontrato un effetto principale significativo della fase [$F(3, 63) = 20,71; p < 0,001$]. I confronti *post hoc* hanno rivelato molteplici differenze significative tra le fasi. L'*HF* è significativamente più elevata in *T0* rispetto *T1* ($MD = 1,4350; t = 7,1246; ptukey < 0,001$), così come tra *T1* e *T2* ($MD = -1,4206; t = -6,0836; ptukey < 0,001$). Non è stato riscontrato alcun effetto principale significativo del gruppo [$F(1, 21) = 0,174; p = 0,680$]. (Vedi Appendice Figura 14)

- *LF/HF*

L'*ANOVA* a misure ripetute per il rapporto *LF/HF* non ha rilevato effetti significativi per l'interazione [$F(3, 63) = 1,24; p = 0,302$], l'effetto principale della fase [$F(3, 63) = 1,70; p = 0,175$], o l'effetto principale del gruppo [$F(1, 21) = 0,00648; p = 0,937$]. (Vedi Appendice Figura 15)

- *STAI-Y*

È stata condotta un'*ANOVA* a misure ripetute per valutare gli effetti del tempo e del gruppo sulla misura *STAI-Y*. È emerso un effetto di interazione significativo [$F(1, 21) = 6,602; p = 0,018$]. Tuttavia, confronti *post hoc* specifici non hanno rivelato differenze significative ($p > 0,05$) tra i punti temporali all'interno dei gruppi. Non sono stati riscontrati effetti significativi per il tempo [$F(1, 21) = 0,175; p = 0,680$] o per il gruppo [$F(1, 21) = 0,947; p = 0,342$] (Vedi Appendice Figura 16)

È stata condotta un'ANOVA a misure ripetute per valutare gli effetti del tempo e del gruppo sulla misura CISS-21 nelle 3 sottoscale. Nella sottoscala AOC non sono emersi effetti significativi per l'interazione [$F(1, 21) = 0,00266; p = 0,959$] o per il gruppo principale. Non è stato riscontrato alcun effetto principale significativo del gruppo [$F(1, 21) = 3,90; p = 0,062$], sebbene questo risultato fosse vicino alla significatività statistica. Nella sottoscala EOC non sono stati riscontrati effetti significativi per l'interazione [$F(1, 21) = 1,73; p = 0,203$], (l'effetto principale del tempo [$F(1, 21) = 0,000408; p = 0,984$], o l'effetto principale del gruppo [$F(1, 21) = 1,66; p = 0,211$]. Nella sottoscala TOC non sono stati riscontrati effetti significativi per l'interazione [$F(1, 21) = 0,183; p = 0,673$], l'effetto principale del tempo [$F(1, 21) = 0,445; p = 0,512$], o l'effetto principale del gruppo [$F(1, 21) = 0,958; p = 0,339$]. (Vedi Appendice Figura 17)

9.5 Discussione

I risultati preliminari del terzo studio suggeriscono che l'esposizione a un compito stressogeno standardizzato è associata a modificazioni dinamiche e coerenti di diversi indici psicofisiologici, in particolare a livello della variabilità della frequenza cardiaca. In linea con quanto osservato nei due studi precedenti, alcuni parametri HRV hanno mostrato in queste prime analisi una tendenza verso una sensibilità alla fase di stress, seguita da un parziale o completo recupero nella fase post-compito, delineando un *pattern* temporale compatibile con i modelli di regolazione autonoma in risposta allo stress acuto.

Accanto a tali effetti statisticamente significativi, altri parametri hanno evidenziato andamenti coerenti nella direzione attesa, che non hanno tuttavia raggiunto la soglia di significatività statistica. In considerazione della numerosità campionaria attualmente disponibile e della natura preliminare delle analisi, tali risultati non vengono interpretati come evidenza di effetto, ma come indicazioni esplorative di possibili differenze nei meccanismi di regolazione fisiologica.

In particolare, la presenza di *pattern* temporali sistematici e di ampiezze dell'effetto non trascurabili suggerisce che alcune dinamiche potrebbero emergere in modo più robusto con il completamento della raccolta dati e l'aumento della potenza statistica. È rilevante

sottolineare che l'assenza di significatività statistica per alcuni indici non implica necessariamente l'assenza di un effetto fisiologicamente significativo, soprattutto nel contesto di misure caratterizzate da elevata variabilità interindividuale come l'*HRV*.

In questa prospettiva, i risultati preliminari del terzo studio assumono valore principalmente nel loro contributo alla comprensione della dinamica della risposta allo stress, piuttosto che nella dimostrazione di differenze stabili tra condizioni o gruppi. Tali evidenze, considerate congiuntamente ai risultati dei due precedenti studi rafforzano l'ipotesi che interventi mente–corpo brevi possano produrre effetti differenziati non tanto sul piano soggettivo immediato, quanto sui processi temporali di attivazione e recupero autonomico.

9.6 Analisi critica all'interno del progetto di ricerca

Inseriti all'interno del disegno complessivo del progetto di ricerca, i risultati preliminari del terzo studio assumono un significato che va oltre la loro semplice presentazione. A differenza dei primi due studi, focalizzati prevalentemente sugli effetti immediati di interventi mente–corpo sullo stress percepito e su indici autonomici tonici, il terzo studio introduce in modo esplicito una prospettiva dinamica, orientata all'analisi della risposta allo stress come processo articolato nelle fasi di attivazione e recupero. In questa cornice, l'assenza di effetti robusti per alcune variabili e la presenza di *pattern* solo parzialmente significativi non rappresentano una criticità del progetto, ma risultano coerenti con la natura preliminare dello studio e con la complessità dei fenomeni indagati.

L'*HRV*, in particolare, è caratterizzata da una marcata variabilità interindividuale e da una sensibilità elevata alle condizioni contestuali e temporali; di conseguenza, la rilevazione di trend coerenti nella direzione attesa, anche in assenza di significatività statistica, può essere interpretata come un segnale della bontà del disegno sperimentale e della pertinenza delle misure adottate. Da questo punto di vista, i risultati preliminari del terzo studio contribuiscono a rafforzare l'impostazione teorica del progetto, suggerendo che la valutazione degli interventi per la gestione dello stress non possa limitarsi alla misurazione di cambiamenti medi pre–post, ma debba includere l'analisi delle modalità con cui l'organismo reagisce e recupera dopo una sollecitazione stressante.

Anche laddove le differenze tra gruppi o condizioni non risultino ancora statisticamente consolidate, la presenza di pattern temporali coerenti con i modelli di regolazione psicofisiologica supporta l'ipotesi che interventi mente–corpo brevi possano differire più per i processi che attivano che per gli esiti soggettivi immediatamente osservabili.

PARTE III SINTESI E IMPLICAZIONI FUTURE

CAPITOLO 10

DISCUSSIONE GENERALE

10.1 Integrazione teorica dei risultati

Il presente capitolo ha l'obiettivo di proporre una sintesi interpretativa dell'intero progetto di ricerca, integrando in una cornice unitaria le evidenze emerse dalla revisione sistematica della letteratura e dai tre studi condotti. Lo scopo è definire che tipo di conoscenza può essere legittimamente inferita dai dati disponibili e come tale conoscenza si collochi all'interno dei modelli teorici contemporanei sullo stress, sul sistema nervoso autonomo e sulla regolazione mente–corpo.

Questa operazione risponde a un'esigenza epistemologica precisa, quella di evitare che i risultati vengano interpretati come una semplice sommatoria di effetti locali o come esiti isolati di singoli interventi, mentre lo scopo è quello di collocarli invece all'interno di una lettura processuale, multilivello e non lineare della regolazione dello stress.

10.2 Conferme empiriche e limiti operativi: la visione dello stress come processo

Uno dei presupposti teorici centrali della tesi è la concezione dello stress come processo dinamico, caratterizzato da fasi di anticipazione, attivazione, mantenimento e recupero, piuttosto che come stato statico rilevabile attraverso una singola misura. I risultati dei tre studi originali forniscono un supporto concettualmente rilevante, a questa impostazione. Nei primi due studi, focalizzati prevalentemente su misure a riposo e su confronti pre–post intervento, la dimensione processuale dello stress emerge in modo implicito, soprattutto attraverso la discontinuità tra cambiamento soggettivo e cambiamento fisiologico. La riduzione dell'ansia e del *distress* nel post-intervento suggerisce una rapida modulazione dell'esperienza dello stress. Nel terzo studio, l'introduzione esplicita di una fase di stress

acuto e di una fase di recupero consente invece di osservare lo stress come sequenza temporale di risposte, rendendo più evidente la natura dinamica dei processi autonomici.

In questo senso, il terzo studio rappresenta il punto di maggiore allineamento empirico con il modello teorico adottato, pur mostrando ancora limiti legati alla numerosità campionaria e alla potenza statistica. Nel complesso, i dati suggeriscono che la concezione processuale dello stress è teoricamente fondata ma metodologicamente esigente, richiedendo disegni sperimentali che vadano oltre il semplice confronto pre–post.

10.3 Convergenze sugli esiti psicologici: efficacia percepita e rapidità di risposta

Un risultato altamente convergente tra i tre studi riguarda la riduzione dei livelli soggettivi di ansia, osservati in tutti i gruppi sperimentali, indipendentemente dalla specifica tecnica di intervento. Questa convergenza conferma quanto emerso dalla revisione sistematica, secondo cui anche interventi mente–corpo di breve durata sono in grado di produrre benefici psicologici immediati. Dal punto di vista teorico, tali risultati sono coerenti con i modelli di stress basati sulla valutazione cognitiva, secondo cui la percezione di possedere strumenti di gestione, anche minimi, può determinare una riduzione rapida dello stress percepito. La psicoeducazione, la breve induzione di *Mindfulness* e la *BWM-T* condividono infatti alcuni elementi trasversali come strutturazione dell’esperienza, focalizzazione dell’attenzione e riduzione dell’evitamento. Tuttavia, questa convergenza sugli esiti psicologici non deve essere interpretata come prova di equivalenza dei meccanismi di intervento, ma piuttosto come indicazione del fatto che il piano soggettivo è particolarmente sensibile a fattori contestuali e cognitivi, soprattutto nel breve termine.

10.4 Divergenze fisiologiche: selettività degli effetti autonomici

A fronte della convergenza sugli esiti soggettivi, emerge in modo sistematico una divergenza sul piano fisiologico, che rappresenta uno degli aspetti più rilevanti e teoricamente informativi dell’intero lavoro. Nel primo studio, le variazioni osservate in *LF* e nel rapporto *LF/HF* sono emerse esclusivamente nel gruppo sottoposto a *BWM-T*, suggerendo un coinvolgimento autonomico differenziato rispetto alla psicoeducazione. Nel secondo studio, la riduzione della *VLF* osservata dopo la *BWM-T*, ma non dopo la breve induzione di *Mindfulness*, rafforza l’ipotesi che questo intervento agisca su componenti della regolazione autonoma meno direttamente legate alla respirazione immediata. Nel

terzo studio, pur in assenza di differenze consolidate tra gruppi e della limitata potenza del campione a causa dei dati ancora in fase di raccolta, i *pattern* dinamici osservati durante la fase di stress e recupero indicano una tendenza alla sensibilità dell'*HRV* alle transizioni tra stati, piuttosto che a cambiamenti tonici stabili nel gruppo *BWM-T*. Queste evidenze risultano coerenti con la letteratura analizzata nella revisione sistematica.

10.5 Analisi d'insieme

L'analisi congiunta dei risultati non suggerisce una semplice somma di effetti, ma evidenzia una struttura ricorrente che attraversa e orienta l'interpretazione complessiva del progetto di ricerca. Ciò che emerge non è tanto una differenza di efficacia tra interventi, quanto una differenza nei livelli e nei meccanismi di regolazione coinvolti, coerente con una concezione multilivello dello stress e del funzionamento del sistema nervoso autonomo.

Nel loro insieme, i dati mostrano che gli esiti degli interventi mente-corpo tendono a organizzarsi secondo piani regolatori parzialmente indipendenti, che rispondono a logiche e tempi differenti. Il piano soggettivo appare maggiormente sensibile a interventi brevi e a componenti contestuali, mentre il piano psicofisiologico risulta più selettivo, meno immediato e maggiormente dipendente dalla natura specifica dell'intervento e dal contesto sperimentale. Questa dissociazione strutturale è coerente con i modelli transazionali dello stress, secondo cui la valutazione cognitiva e l'esperienza soggettiva della minaccia possono modificarsi prima, e indipendentemente, della risposta fisiologica periferica. Tale impostazione è in linea con i modelli che concepiscono il sistema nervoso autonomo non come semplice esecutore di stati emotivi, ma come sistema dinamico di adattamento, modulato dall'interazione tra strutture centrali e periferiche.

Un ulteriore elemento rilevante dell'analisi d'insieme riguarda il ruolo del contesto e della dimensione temporale della risposta. I risultati suggeriscono che alcune differenze tra interventi diventano leggibili soprattutto quando la regolazione viene osservata in condizioni dinamiche, come nelle fasi di stress e recupero, piuttosto che attraverso misure toniche isolate. Questo aspetto risulta coerente con le prospettive che interpretano l'attività del sistema nervoso autonomo in termini di flessibilità e capacità di adattamento, più che come semplice livello di attivazione simpatica o parasimpatica.

Nel complesso, l'analisi d'insieme conduce a una riformulazione del criterio di lettura dell'efficacia degli interventi mente–corpo. Tali interventi non possono essere valutati esclusivamente in termini di incremento o decremento di singoli indicatori fisiologici o psicologici, ma devono essere compresi in relazione al tipo di processo regolatorio che attivano, al livello su cui tale processo si manifesta e alle condizioni in cui viene osservato. Questo criterio interpretativo, ancorato ai modelli processuali dello stress e della regolazione autonoma, costituisce il presupposto concettuale per la meta-sintesi teorica sviluppata nel capitolo successivo.

CAPITOLO 11

PUNTI DI FORZA, LIMITI E IMPLICAZIONI DELLA RICERCA

Il presente capitolo è dedicato a una valutazione critica del progetto di ricerca, con l'obiettivo di discutere in modo sistematico i punti di forza, i limiti e le implicazioni teoriche, metodologiche e applicative della tesi. In coerenza con l'impostazione epistemologica adottata, questa analisi non assume una funzione meramente valutativa o difensiva, ma si propone di chiarire entro quali confini interpretativi i risultati ottenuti possano essere considerati validi, informativi e trasferibili.

11.1 Punti di forza della ricerca

11.1.1 Integrazione tra revisione sistematica e ricerca empirica

Un primo punto di forza rilevante è rappresentato dall'integrazione esplicita tra revisione sistematica della letteratura e studi. La revisione non è stata utilizzata come semplice cornice introduttiva, ma ha informato in modo diretto:

- La formulazione delle domande di ricerca;
- La scelta delle misure psicologiche e psicofisiologiche;
- L'interpretazione dei risultati empirici.

Questo approccio ha consentito di collocare i dati ottenuti all'interno delle criticità già note in letteratura, evitando letture isolate o eccessivamente localistiche dei risultati.

11.1.2 Approccio multilivello alla regolazione dello stress

Un ulteriore punto di forza riguarda l'adozione di un approccio multilivello, che ha integrato misure soggettive come ansia, distress, autoefficacia e misure psicofisiologiche *HRV*. Questa scelta ha permesso di mettere in evidenza la non sovrapposizione automatica tra cambiamenti percepiti e cambiamenti autonomici, contribuendo a una lettura più articolata dei processi di regolazione dello stress.

In particolare, l'attenzione alla divergenza tra livelli di analisi rappresenta un elemento di originalità rispetto a studi che assumono implicitamente una corrispondenza lineare tra benessere psicologico e indici fisiologici.

11.1.3 Confronto tra interventi con meccanismi differenti

Il confronto tra interventi caratterizzati da meccanismi di azione differenti tra cui psicoeducazione, breve induzione di *Mindfulness* e *BWM-T* costituisce un ulteriore punto di forza. Piuttosto che valutare l'efficacia di una singola tecnica, il progetto ha consentito di esplorare come differenti modalità di intervento modulino lo stress attraverso vie diverse, rendendo possibile una lettura comparativa dei meccanismi *top-down* e *bottom-up*.

11.2 Limiti metodologici

11.2.1 Dimensione campionaria e potenza statistica

Uno dei principali limiti del progetto riguarda la dimensione campionaria, in particolare negli studi. Sebbene i campioni siano coerenti con quelli riportati in numerosi studi presenti in letteratura e siano stati calcolati per soddisfare la potenza statistica richiesta, la numerosità limitata ne riduce la portata, soprattutto per quanto concerne le misure psicofisiologiche, notoriamente caratterizzate da elevata variabilità interindividuale. Questo aspetto suggerisce cautela nell'interpretazione delle assenze di effetto, che non possono essere automaticamente interpretate come evidenza di inefficacia degli interventi.

11.2.2 Durata degli interventi e timing delle misurazioni

Un ulteriore limite riguarda la brevità degli interventi e il *timing* delle valutazioni post-intervento. Gli studi inclusi nella tesi si sono concentrati prevalentemente su effetti immediati o di brevissimo termine, scelta coerente con gli obiettivi del progetto, ma che limita la possibilità di osservare processi di riorganizzazione psicofisiologica più stabili. In particolare, è plausibile che alcune modificazioni autonome richiedano ripetizione, apprendimento e consolidamento, elementi non pienamente catturabili in disegni a sessione singola.

11.2.3 Complessità interpretativa degli indici HRV

L'uso dell'*HRV* come indicatore di regolazione autonoma rappresenta al contempo un punto di forza e un limite. Nonostante l'adozione di criteri metodologici coerenti con le linee guida internazionali, l'interpretazione degli indici *HRV* rimane intrinsecamente

complessa, in particolare per quanto riguarda componenti come *LF/HF*. Questo limite non è specifico del presente lavoro, ma riflette una criticità strutturale della letteratura, che rende necessaria una lettura prudente e contestualizzata dei risultati.

11.3 Limiti teorici e concettuali

11.3.1 Assenza di un modello causale univoco

Dal punto di vista teorico, il progetto non consente di formulare modelli causali forti sui meccanismi di regolazione dello stress. La natura esplorativa degli studi e la complessità dei fenomeni indagati rendono più appropriata una lettura in termini di *pattern* associativi e processuali, piuttosto che di relazioni causali dirette. Questo limite, tuttavia, è coerente con l'impostazione epistemologica della tesi, che privilegia una comprensione dinamica e multilivello rispetto a modelli riduzionistici.

11.3.2 Generalizzabilità dei risultati

Un ulteriore limite teorico riguarda la generalizzabilità dei risultati. I campioni utilizzati, prevalentemente composti da giovani studenti, rappresentano una popolazione specifica, con caratteristiche di età, contesto e funzionamento che potrebbero non essere direttamente estendibili a popolazioni cliniche o altamente performative. Questo aspetto suggerisce cautela nell'estensione indiscriminata dei risultati e sottolinea la necessità di studi futuri su popolazioni più diversificate.

11.3.2 Necessità di integrazione di misure multilivello

Infine ulteriore limite del presente lavoro riguarda la scelta delle misure adottate per l'osservazione dei processi di regolazione dello stress. Sebbene l'*HRV* rappresenti un indicatore consolidato e sensibile della modulazione autonoma, essa descrive solo una porzione del sistema regolativo coinvolto nella risposta allo stress. La regolazione psicofisiologica è infatti un fenomeno multilivello che include componenti centrali, autonome ed endocrine; pertanto, l'utilizzo di un singolo biomarcatore non consente di cogliere in modo esaustivo l'intera dinamica del processo.

L'integrazione con ulteriori misure, quali indici neuroendocrini (per esempio il cortisolo salivare), segnali elettrodermici o tecniche di monitoraggio dell'attività cerebrale, permetterebbe di distinguere con maggiore precisione le differenti traiettorie regolative e di chiarire meglio i meccanismi sottostanti agli effetti osservati. Future ricerche dovrebbero quindi adottare protocolli multimodali, in grado di combinare indicatori soggettivi e fisiologici appartenenti a diversi livelli di analisi, al fine di fornire una rappresentazione più completa della regolazione dello stress.

CAPITOLO 12

CONCLUSIONI GENERALI E PROSPETTIVE DI RICERCA

12.1 Valutazione degli obiettivi all'interno del quadro degli studi

La presente tesi di dottorato è stata progettata con l'obiettivo di indagare i meccanismi di regolazione psicofisiologica dello stress attraverso un approccio integrato, capace di coniugare misure soggettive, indici psicofisiologici e modelli teorici mente–corpo. Fin dalle sue premesse, il lavoro ha inteso superare una concezione riduzionistica dello stress, inteso come stato statico o come semplice esito misurabile, adottando invece una prospettiva processuale, dinamica e multilivello.

In linea con il modello proposto da Cozzolino & Celia, il contributo principale di questa tesi non risiede nell'identificazione di un singolo intervento più efficace rispetto ad altri, ma nella possibile riformulazione del problema scientifico relativo allo studio degli interventi mente–corpo e della regolazione dello stress. I risultati ottenuti mostrano infatti che riflessione non debba essere sull'efficacia di tali interventi, in quanto tale questione risulta epistemologicamente insufficiente se non accompagnata da interrogativi più articolati relativi a come, a quale livello e in quali condizioni tali interventi producano effetti.

12.2 Stress e regolazione: da esito a processo

Un elemento centrale che emerge dall'intero lavoro riguarda la necessità di concepire la risposta allo stress non come un'entità statica, ma come un processo di adattamento che si sviluppa nel tempo e coinvolge sistemi diversi con dinamiche non necessariamente sincrone. In questa prospettiva come già ampiamente sottolineato da diversi modelli e teorie illustrati nella Parte I, la regolazione di risposta allo stress appare come una sequenza di aggiustamenti progressivi, piuttosto che come il raggiungimento di uno stato fisiologico o psicologico ottimale.

I risultati della tesi suggeriscono che la modulazione cognitiva e soggettiva allo stress può rappresentare una fase iniziale del processo regolatorio, che non coincide automaticamente con una riorganizzazione stabile dei sistemi autonomici. I cambiamenti fisiologici, quando

presenti, tendono a manifestarsi in modo più selettivo, transitorio e dipendente dal contesto.

Questa visione processuale consente di spostare l'attenzione dalla ricerca di *marker* univoci di rilassamento verso l'analisi della flessibilità regolatoria, intesa come capacità dell'organismo di modulare l'attivazione in funzione delle richieste ambientali e di recuperare efficacemente dopo una sollecitazione. In tal senso, la tesi contribuisce a una concettualizzazione più articolata dello stress, coerente con i modelli teorici contemporanei.

12.3 HRV e psicofisiologia: implicazioni per la ricerca futura

Dal punto di vista metodologico e teorico, il lavoro offre un contributo rispetto una riflessione sull'uso dell'*HRV* come indicatore di regolazione psicofisiologica. I risultati suggeriscono che l'*HRV* fornisce informazioni particolarmente significative quando viene utilizzata per osservare dinamiche di cambiamento, piuttosto che come misura statica isolata.

Questa evidenza implica la necessità di disegni sperimentali in grado di catturare la dimensione temporale della risposta allo stress, includendo fasi di baseline, intervento e recupero. Inoltre, emerge l'importanza di interpretare gli indici *HRV* in relazione al contesto sperimentale e al timing delle misurazioni, evitando attribuzioni di significato univoche a singoli parametri fisiologici.

In questo senso, la tesi contribuisce a promuovere un uso più critico e teoricamente informato delle misure psicofisiologiche, sottolineando il valore dell'*HRV* come indicatore di flessibilità adattiva piuttosto che come semplice *proxy* di benessere fisiologico.

12.4 Implicazioni per i contesti applicativi

Sul piano applicativo, i risultati confermano come emerso in altri studi, che gli interventi mente–corpo brevi possono rappresentare strumenti utili ma nella gestione dello stress, sia in ambito clinico sia nei contesti di *performance*. La riduzione dello stress percepito osservata in seguito agli interventi indica che tali pratiche possono facilitare l'accesso a stati di maggiore consapevolezza e controllo soggettivo, soprattutto nelle fasi iniziali di un percorso di regolazione.

Merita attenzione e approfondimenti ulteriori se questa modulazione della regolazione autonoma richieda tempi più lunghi, training ripetuti e interventi maggiormente personalizzati per stabilizzarsi nel tempo. Queste evidenze invitano a un uso prudente e contestualizzato delle tecniche mente–corpo, valorizzandone l’integrazione all’interno di percorsi strutturati e evitando promesse eccessivamente semplificate.

12.5 Prospettive di ricerca future

A partire dai risultati e dai limiti emersi, è possibile delineare alcune prospettive di sviluppo per la ricerca futura nel campo della psicofisiologia dello stress. In particolare, appaiono auspicabili studi longitudinali in grado di esplorare gli effetti di interventi mente–corpo ripetuti nel tempo, valutando processi di apprendimento e consolidamento.

Ulteriori sviluppi riguardano l’adozione di disegni sperimentali orientati ai processi, capaci di catturare dinamiche di reattività e recupero, e l’integrazione di misure multimodali che combinino indicatori psicologici, autonomici e neurocognitivi. Un ulteriore ambito di sviluppo riguarda la personalizzazione degli interventi sulla base di profili individuali di regolazione dello stress e l’estensione della ricerca a popolazioni cliniche e altamente performative.

12.6 Conclusione finale

In conclusione, la presente tesi di dottorato offre un contributo originale allo studio della regolazione psicofisiologica dello stress, proponendo una lettura integrata che supera le tradizionali dicotomie tra mente e corpo, soggettivo e fisiologico, esito e processo.

L’insieme dei risultati empirici e delle riflessioni teoriche sviluppate nel corso del lavoro suggerisce che la regolazione dello stress non possa essere ridotta né a un singolo indicatore né all’efficacia isolata di una specifica tecnica, ma debba essere compresa come un fenomeno complesso, dinamico e contestuale, emergente dall’interazione tra livelli cognitivi, emotivi e corporei.

Uno degli elementi centrali che caratterizza il contributo della tesi riguarda lo spostamento del focus interpretativo dalla ricerca di effetti lineari e generalizzabili alla comprensione dei processi regolatori sottostanti. In linea con quanto discusso nella parte teorica iniziale, lo stress viene qui concepito come un processo transazionale e adattivo, che si sviluppa nel tempo e che coinvolge sistemi diversi con dinamiche non necessariamente sincrone. In

questa prospettiva, la riduzione dello stress percepito rappresenta una componente rilevante del processo regolatorio, ma non ne esaurisce la complessità né coincide automaticamente con una riorganizzazione stabile dei sistemi autonomici.

I risultati della tesi mostrano infatti come interventi mente–corpo brevi possano incidere in modo relativamente rapido sull’esperienza soggettiva dello stress, mentre le modificazioni della regolazione psicofisiologica risultano più selettive, dipendenti dal contesto e dalla natura dell’intervento. Questa divergenza tra livelli, lungi dal costituire un limite, rappresenta un dato teoricamente informativo, coerente con i modelli che concepiscono il sistema nervoso autonomo non come semplice esecutore di stati emotivi, ma come sistema dinamico di adattamento sensibile alle richieste ambientali e alle risorse dell’individuo.

In questo quadro si colloca in modo particolarmente significativo il riferimento ai contributi teorici che, come quelli di Cozzolino & Celia, sottolineano il ruolo del corpo non come semplice bersaglio passivo degli interventi psicologici, ma come mediatore attivo dei processi di regolazione emotiva e relazionale. L’idea che la regolazione passi attraverso circuiti *embodied*, in cui l’esperienza corporea contribuisce a modulare gli stati emotivi e cognitivi, trova una conferma indiretta nei pattern osservati nei dati psicofisiologici della presente tesi. In particolare, gli effetti selettivi e non generalizzati sugli indici di *HRV* suggeriscono che alcuni interventi possano agire su livelli profondi dell’organizzazione psicofisiologica senza tradursi immediatamente in cambiamenti tonici osservabili.

La riflessione sull’*HRV*, sviluppata lungo l’intero lavoro, rafforza ulteriormente questa impostazione. L’*HRV* emerge non come semplice indicatore di rilassamento o benessere, ma come indice della flessibilità adattiva del sistema, utile soprattutto quando osservato in relazione a transizioni tra stati di attivazione, stress e recupero. Tale prospettiva risulta coerente con l’impostazione teorica iniziale della tesi, che ha criticato l’uso statico e decontestualizzato degli indici fisiologici, proponendo invece una lettura processuale della regolazione.

Nel loro insieme, i risultati e le interpretazioni proposte invitano a ripensare il modo in cui vengono studiati e applicati gli interventi mente–corpo. L’efficacia di tali interventi non può essere valutata esclusivamente in termini di esiti immediati o di variazioni unidimensionali, ma deve essere compresa in relazione al tipo di processo regolatorio attivato, al livello su cui esso si manifesta e alle condizioni in cui viene osservato. Questo

implica una concezione della regolazione come fenomeno distribuito, graduale e multilivello, in cui mente e corpo non rappresentano domini separati, ma aspetti interdipendenti di un unico sistema adattivo.

In questo senso, il valore della presente tesi risiede non solo nei risultati empirici ottenuti, ma nella cornice interpretativa complessiva che essa propone. Tale cornice invita a superare approcci riduzionistici e dicotomici, aprendo la strada a modelli di ricerca e di intervento più sensibili alla complessità dei processi di regolazione psicofisiologica dello stress. La tesi si colloca così come un contributo alla costruzione di un dialogo più maturo tra teoria, ricerca empirica e applicazione clinica e performativa, coerente con le sfide epistemologiche contemporanee della psicologia e della psicofisiologia.

Ringraziamenti

Desidero in conclusione di questo mio lavoro ringraziare il mio relatore il Professor Mauro Cozzolino, per il supporto scientifico, la guida metodologica, il confronto critico e l'avermi offerto una direzione esistenziale sia professionale che umana attraverso un modello di vita a cui ispirarmi. Ringrazio anche la Professoressa Giovanna Celia per avermi instradato a percorrere questa strada, riuscendo a vedere in me del potenziale. Un sentito ringraziamento va anche ai co-relatori e tutte le persone del Dipartimento che hanno contribuito in modo significativo alla costruzione della tesi. In particolare a Francesco, per la disponibilità, la competenza dimostrate e la sua impagabile gentilezza e disponibilità.

Un grazie particolare va di cuore a tutti i partecipanti alla ricerca, il cui contributo ha reso possibile la realizzazione degli studi sperimentali. Senza di voi nulla di tutto questo sarebbe stato possibile.

Infine, desidero ringraziare il mio nucleo primario, la mia base sicura, scegliendo come criterio ordinale la data di nascita: Nonno, Nonna, Zio, Papà, Mamma, Mio Fratello, Sara, Robin, Freud, Pluto e Matias. Grazie per il vostro sostegno costante durante questo percorso nel passato, nel presente e nel futuro. Quando sarà più grande vorrei che Matias sappia di quanto sia stato importante, per avermi fatto sentire di pancia cosa voglia dire avere dentro di sé il bisogno di prendersi cura dell'altro, senza volere nulla in cambio.

Con affetto Marco. Vi amerò per sempre ma non tutti i giorni.

Abstract II

La presente tesi di dottorato indaga i meccanismi di regolazione psicofisiologica dello stress attraverso un approccio integrato, volto a superare una concezione riduzionistica dello stress inteso come stato statico o semplice esito misurabile. In continuità con i modelli teorici transazionali e processuali, lo stress viene qui concettualizzato come un processo dinamico e multilivello, emergente dall'interazione tra dimensioni soggettive, fisiologiche e contestuali.

Il lavoro si articola in una revisione sistematica della letteratura sugli interventi mente–corpo applicati allo stress e in tre studi sperimentali. La revisione mette in evidenza un'elevata eterogeneità degli interventi, una frequente discrepanza tra esiti psicologici e fisiologici e una prevalenza di disegni focalizzati su misure statiche. I tre studi sperimentali valutano gli effetti di interventi brevi di regolazione dello stress (psicoeducazione, induzione breve di *Mindfulness* e *Brain Wave Modulation Technique*) rispetto indicatori soggettivi di ansia, *distress*, autoefficacia e strategie di *coping* e su indici fisiologici in particolare la variabilità della frequenza cardiaca (*HRV*).

I risultati mostrano una convergenza consistente sugli esiti psicologici, con riduzioni significative, a fronte di effetti fisiologici più selettivi, contestuali e dipendenti dal tipo di intervento e dal disegno sperimentale. Tra cui interventi come la *Brain Wave Modulation Technique* sembrano incidere maggiormente sulla componente fisiologica.

L'integrazione dei risultati supporta una concezione della regolazione dello stress come processo distribuito e non sincrono, in cui interventi differenti possono produrre esiti simili sul piano fenomenologico attraverso meccanismi psicofisiologici distinti. L'*HRV* emerge come indicatore di flessibilità adattiva più informativo quando osservato in relazione a transizioni tra stati di stress e recupero, piuttosto che come misura statica di benessere.

Nel complesso, la tesi contribuisce a una lettura teoricamente fondata e processuale della regolazione psicofisiologica dello stress, con implicazioni rilevanti per la ricerca, la pratica clinica e i contesti di performance.

Abstract ENG

This doctoral thesis investigates the psychophysiological mechanisms underlying stress regulation through an integrated approach aimed at overcoming a reductionist view of stress as a static state or a simple measurable outcome. In line with transactional and process-oriented theoretical models, stress is conceptualized as a dynamic and multilevel process emerging from the interaction between subjective experience, physiological regulation, and contextual factors.

The work comprises a systematic review of the literature on mind–body interventions for stress regulation and three experimental studies. The systematic review highlights substantial heterogeneity across interventions, frequent discrepancies between psychological and physiological outcomes, and a predominance of study designs focused on static rather than process-oriented measures. The experimental studies examine the effects of brief stress-regulation interventions (psychoeducation, brief Mindfulness induction, and Brain Wave Modulation Technique) on subjective indicators of anxiety, distress, auto efficacy and coping strategies as well as on heart rate variability (*HRV*) indices.

Results consistently show significant reductions in perceived stress and state anxiety across interventions, while physiological effects appear more selective, context-dependent, and influenced by the specific intervention and experimental design. Notably, findings reveal the absence of a linear correspondence between subjective improvement and autonomic regulation.

The integration of empirical findings supports a process-based and distributed view of stress regulation, in which different interventions may yield similar subjective outcomes through partially distinct psychophysiological pathways. *HRV* emerges as an indicator of adaptive flexibility that is particularly informative when examined across transitions between baseline, stress, and recovery phases, rather than as a static marker of physiological well-being.

Overall, this thesis contributes to a theoretically grounded and process-oriented understanding of psychophysiological stress regulation, offering relevant implications for future research, clinical practice, and performance-related contexts.

Bibliografia

Abid, A., Farhan, S., & Atif, T. (2021). Academic stress, psychological distress, coping and self-efficacy among undergraduate university students during COVID-19. *Asian Journal of Social Sciences and Management Studies*, 8(2), 43–52.

Adam, E. K., Quinn, M. E., Tavernier, R., McQuillan, M. T., Dahlke, K. A., & Gilbert, K. E. (2017). Diurnal cortisol slopes and mental and physical health outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Psychoneuroendocrinology*, 83, 25–41.

Ader, R., Cohen, N. and Felten, D. (1995) Psychoneuroimmunology: Interactions between the Nervous System and the Immune System. *The Lancet*, 345, 99-103.

Aftanas, L. I., & Golocheikine, S. A. (2001). Human anterior and frontal midline theta and lower alpha reflect emotionally positive state and internalized attention: high-resolution EEG investigation of meditation. *Neuroscience letters*, 310(1), 57–60.

Agorastos A., Mansueto A., Hager T., Pappi E., Gardikioti A., Stiedl O. Heart Rate Variability as a Translational Dynamic Biomarker of Altered Autonomic Function in Health and Psychiatric Disease. *Biomedicines*. 2023 May 30;11(6):1591.

Akselrod, S., Gordon, D., Ubel, F. A., Shannon, D. C., Berger, A. C., & Cohen, R. J. (1981). Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science*, 213(4504), 220–222.

American Academy of Pediatrics (2016). Mind-body therapies in children and youth. *Pediatrics* 138:e20161896

American Psychological Association. (2020). *Publication manual of the American Psychological Association* (7th ed.). American Psychological Association.

Appelhans, B. M., & Luecken, L. J. (2006). Heart Rate Variability as an Index of Regulated Emotional Responding. *Review of General Psychology*, 10(3), 229-240. (Original work published 2006)

Arch, J. J., & Craske, M. G. (2006). Mechanisms of mindfulness: emotion regulation following a focused breathing induction. *Behaviour research and therapy*, 44(12), 1849–1858.

Arnsten A. F. (2009). Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function. *Nature reviews. Neuroscience*, 10(6), 410–422.

Aston-Jones, G., & Cohen, J. D. (2005). An integrative theory of locus coeruleus-norepinephrine function: adaptive gain and optimal performance. *Annual review of neuroscience*, 28, 403–450.

Atkinson, D., Iannotti, S., Cozzolino, M., Castiglione, S., Ciatelli, A., Vyas, B., Mortimer, J., Hill, R., Chovanec, E., Chiamberlando, A., Cuadros, J., Viot, C., Kerouac, M., Kallfass, T., Krippner, S., Frederick, C., Gregory, B., Shaffran, M., Bullock, M., Soleimany, E., Rossi, A. C., & Rossi, E. (2010). A new bioinformatics paradigm for the theory, research, and clinical practice of therapeutic hypnosis. *American Journal of Clinical Hypnosis*, 53(1), 27–46.

Azam, M., Gong, Z., Ali, A., & Chung, H. C. (2024). A systematic review of the effects of practice, exercise, and sport experience on gap interception behavior. *Quest*, 76(2), 207–226.

Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. W. H. Freeman.

Barrett L. F. (2017). The theory of constructed emotion: an active inference account of interoception and categorization. *Social cognitive and affective neuroscience*, 12(1), 1–23.

Beauchaine T. P. (2015). Future Directions in Emotion Dysregulation and Youth Psychopathology. *Journal of clinical child and adolescent psychology : the official journal for the Society of Clinical Child and Adolescent Psychology*, American Psychological Association, Division 53, 44(5), 875–896.

Beiter, R., Nash, R., McCrady, M., Rhoades, D., Linscomb, M., Clarahan, M., & Sammut, S. (2015). The prevalence and correlates of depression, anxiety, and stress in a sample of college students. *Journal of Affective Disorders*, 173, 90–96.

Benarroch E. E. (1993). The central autonomic network: functional organization, dysfunction, and perspective. *Mayo Clinic proceedings*, 68(10), 988–1001.

Benedek, M., & Kaernbach, C. (2010). A continuous measure of phasic electrodermal activity. *Journal of neuroscience methods*, 190(1), 80–91.
<https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2010.04.028>

Bernard, C. (1865). *An introduction to the study of experimental medicine* (H. C. Greene, Trans.). Dover Publications. (Original work published 1865)

Bernardi, L., Porta, C., & Sleight, P. (2006). Cardiovascular, cerebrovascular, and respiratory changes induced by different types of music in musicians and non-musicians: the importance of silence. *Heart (British Cardiac Society)*, 92(4), 445–452.

Berntson, G. G., Bigger, J. T., Eckberg, D. L., Grossman, P., Kaufmann, P. G., Malik, M., van der Molen, M. W. (1997). Heart rate variability: Origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34(6), 623–648.

Bertollo, M., Doppelmayr, M., & Robazza, C. (2020). Using brain technologies in practice. In G. Tenenbaum, R. C. Eklund, & N. Boiangin (Eds.), *Handbook of sport psychology: Social perspectives, cognition, and applications* (4th ed., pp. 666–693). John Wiley & Sons, Inc.

Bertollo, Maurizio & Forzini, Fabio & Biondi, Sara & Liborio, Massimiliano & Vaccaro, Maria & Georgiadis, Emmanouil & Conti, Cristiana. (2021). How Does a Sport Psychological Intervention Help Professional Cyclists to Cope With Their Mental Health During the COVID-19 Lockdown? *Frontiers in Psychology*. 12. 607152.

Beuchel P, Cramer C. Heart Rate Variability and Perceived Stress in Teacher Training: Facing the Reality Shock With Mindfulness? *Glob Adv Integr Med Health*. 2023 May 18;12:27536130231176538 *Psychophysiol Biofeedback*. 2019 Dec;44(4):331-342

Billman, G. E. (2011). Heart rate variability: A historical perspective. *Frontiers in Physiology*, 2, Article 86.

Billman, G. E. (2013). The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance. *Frontiers in Physiology*, 4, Article 26.

Billman, G. E. (2020). Homeostasis: The underappreciated and far too often ignored central organizing principle of physiology. *Frontiers in Physiology*, 11, Article 200.

Birrer, D., & Morgan, G. (2010). Psychological skills training as a way to enhance an athlete's performance in high-intensity sports. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20 Suppl 2, 78–87.

Bishop, S. R., Lau, M., Shapiro, S., Carlson, L., Anderson, N. D., Carmody, J., ... Devins, G. (2004). Mindfulness: A proposed operational definition. *Clinical Psychology: Science and Practice*, 11(3), 230–241.

Borgese, M., Tinella, L., Cozzolino, M., & Celia, G. (2025). The impact of the brain wave modulation technique (BWM-T) on heart rate variability: A single session for short-term stress reduction. *Journal of Clinical Medicine*, 14(3), 715.

Bortolla R, Galli M, Spada GE, Maffei C. Mindfulness Effects on Mind Wandering and Autonomic Balance. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2022 Mar;47(1):53-64

Bravi, A., Longtin, A., & Seely, A. J. E. (2011). Review and classification of variability analysis techniques. *Biomedical Engineering Online*, 10, Article 90.

Brinkmann AE, Press SA, Helmert E, Hautzinger M, Khazan I, Vagedes J. Comparing Effectiveness of HRV-Biofeedback and Mindfulness for Workplace Stress Reduction: A Randomized Controlled Trial. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2020 Dec;45(4):307-322

- Britton, W. B. (2019). Can mindfulness be too much of a good thing? The value of a middle way. *Current Opinion in Psychology*, 28, 159–165.
- Broadhead, W. E., Gehlbach, S. H., de Gruy, F. V., & Kaplan, B. H. (1988). The Duke–UNC Functional Social Support Questionnaire. *Medical Care*, 26(7), 709–723.
- Brosschot J. F. (2017). Ever at the ready for events that never happen. *European journal of psychotraumatology*, 8(1), 1309934.
- Brown, K. W., & Ryan, R. M. (2003). The benefits of being present: Mindfulness and its role in psychological well-being. *Journal of Personality and Social Psychology*, 84(4), 822–848.
- Buchheit, M., Samozino, P., Glynn, J. A., Michael, B. S., Al Haddad, H., Mendez-Villanueva, A., & Morin, J. B. (2014). Mechanical determinants of acceleration and maximal sprinting speed in highly trained young soccer players. *Journal of sports sciences*, 32(20), 1906–1913.
- Cacioppo, J. T., & Tassinary, L. G. (1990). Inferring psychological significance from physiological signals. *American Psychologist*, 45(1), 16–28. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.45.1.16>
- Cacioppo, J. T., & Tassinary, L. G. (1992). *Principles of psychophysiology: Physical, social, and inferential elements*. Cambridge University Press.
- Campbell, J., & Ehlert, U. (2012). Acute psychosocial stress: does the emotional stress response correspond with physiological responses? *Psychoneuroendocrinology*, 37(8), 1111–1134.
- Cancer Council Victoria. Mind-body techniques. Retrieved from <https://www.cancervic.org.au/cancer-information/treatments/common-side-effects/complementary-therapies/mind-body-techniques.html>

Cannon, W. B. (1915). *Bodily changes in pain, hunger, fear and rage: An account of recent researches into the function of emotional excitement*. D Appleton & Company.

Cannon, W. B. (1932). *The wisdom of the body*. W. W. Norton & Company.

Castro Ribeiro T, Sobregrau Sangrà P, García Pagès E, Badiella L, López-Barbeito B, Aguiló S, Aguiló J. Assessing the effectiveness of heart rate variability biofeedback to mitigate mental health symptoms: a pilot study. *Front Physiol*. 2023 May 10;14:1147260

Chaitanya S, Datta A, Bhandari B, Sharma VK. Effect of Resonance Breathing on Heart Rate Variability and Cognitive Functions in Young Adults: A Randomised Controlled Study. *Cureus*. 2022 Feb 13;14(2):e22187

Chalmers JA, Quintana DS, Abbott MJ, Kemp AH. Anxiety disorders are associated with reduced heart rate variability: a meta-analysis. *Frontiers in psychiatry*. 2014;5:80

Chelidoni O, Plans D, Ponzio S, Morelli D, Cropley M. Exploring the Effects of a Brief Biofeedback Breathing Session Delivered Through the BioBase App in Facilitating Employee Stress Recovery: Randomized Experimental Study. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2020 Oct 15;8(10):e19412

Chemers, M. M., Hu, L.-T., & Garcia, B. F. (2001). Academic self-efficacy and first year college student performance and adjustment. *Journal of Educational Psychology*, 93(1), 55–64.

Chen, T. L., Chang, S. C., Huang, C. Y., & Wang, H. H. (2021). Effectiveness of mindfulness-based interventions on quality of life and menopausal symptoms in menopausal women: A meta-analysis. *Journal of Psychosomatic Research*, 147, 110515.

Chelidoni, O., Plans, D., Ponzio, S., Morelli, D., & Cropley, M. (2020). Exploring the effects of a brief biofeedback breathing session delivered through the BioBase app in facilitating employee stress recovery: Randomized experimental study. *JMIR mHealth and uHealth*, 8(10), e19412.

Chida, Y., & Steptoe, A. (2008). Positive psychological well-being and mortality: a quantitative review of prospective observational studies. *Psychosomatic medicine*, 70(7), 741–756.

Chojnacka, M., Antosik-Wójcińska, A. Z., Dominiak, M., Bzinkowska, D., Borzym, A., Sokół-Szawłowska, M., Bodzak-Opolska, G., Antoniak, D., & Świącicki, Ł. (2016). A sham-controlled randomized trial of adjunctive light therapy for non-seasonal depression. *Journal of Affective Disorders*, 203, 1–8.

Chrousos, G. P. (2009). Stress and disorders of the stress system. *Nature Reviews Endocrinology*, 5(7), 374–381.

Chu, B., Marwaha, K., & Sanvictores, T. (2025). Physiology, stress reaction. In StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing.

Chung AH, Gevirtz RN, Gharbo RS, Thiam MA, Ginsberg JPJ. Pilot Study on Reducing Symptoms of Anxiety with a Heart Rate Variability Biofeedback Wearable and Remote Stress Management Coach. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2021 Dec;46(4):347-358

Clow, A., Hucklebridge, F., Stalder, T., Evans, P., & Thorn, L. (2010). The cortisol awakening response: more than a measure of HPA axis function. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 35(1), 97–103.

Conlon A, Arnold R, Preatoni E, Moore LJ. Pulling the Trigger: The Effect of a 5-Minute Slow Diaphragmatic Breathing Intervention on Psychophysiological Stress Responses and Pressurized Pistol Shooting Performance. *J Sport Exerc Psychol*. 2022 Apr 25;44(3):206-219

Cozzolino, M. (2015). The neuroscientific evolution of Ericksonian approach as a metamodel of mind-body healing: The psychosocial and cultural genomics and new evidence based results. *The International Journal of Psychosocial and Cultural Genomics: Consciousness & Health Research*, (3), 4–14

Cozzolino, M., & Celia, G. (2016). The neuroscientific evolution of the Ericksonian approach as a metamodel of healing. *International Journal of Psychosocial and Cultural Genomics, Consciousness and Health Research*, 2, 31–41.

Cozzolino, M., Guarino, F., Castiglione, S., Ciatelli, A., & Celia, G. (2018). Pilot study on epigenetic response to a mind-body treatment. *Translational Medicine UniSa*, 17, 40–44.

Cozzolino, M., Celia, G., & Rossi, E. (2020a). Brain wave modulation technique: Epigenetics and neuroscience of the mind-body connection. *International Journal of Psychosocial and Cultural Genomics, Consciousness and Health Research*, 6(1), 25–33.

Cozzolino, M., Vivo, D. R., Girelli, L., Limone, P., & Celia, G. (2020b). The evaluation of a mind-body intervention (MBT-T) for stress reduction in academic settings: A pilot study. *Behavioral Sciences*, 10(8), 124.

Cozzolino, M., Cocco, S., Piezzo, M., Celia, G., Costantini, S., Abate, V., Capone, F., Barberio, D., Girelli, L., Cavicchiolo, E., Ascierio, P. A., Madonna, G., Budillon, A., & De Laurentiis, M. (2021a). A psychosocial genomics pilot study in oncology for verifying clinical, inflammatory and psychological effects of mind–body transformations-therapy (MBT-T) in breast cancer patients: Preliminary results. *Journal of Clinical Medicine*, 10(1), 136.

Cozzolino, M., Celia, G., Girelli, L., & Limone, P. (2021b). Effects of the brain wave modulation technique administered online on stress, anxiety, global distress, and affect during the first wave of the COVID-19 pandemic: A randomized clinical trial. *Frontiers in Psychology*, 12, 635877.

Creswell, J. D. (2017). Mindfulness interventions. *Annual Review of Psychology*, 68, 491–516.

Creswell, J. D., & Lindsay, E. K. (2014). How does mindfulness training affect health? A mindfulness stress buffering account. *Perspectives on Psychological Science*, 9(3), 298–314.

Critchley, H. D., Mathias, C. J., & Dolan, R. J. (2002). Fear conditioning in humans: the influence of awareness and autonomic arousal on functional neuroanatomy. *Neuron*, 33(4), 653–663.

Critchley, H. D., & Harrison, N. A. (2013). Visceral influences on brain and behavior. *Neuron*, 77(4), 624–638.

Critchley, H. D., & Garfinkel, S. N. (2017). Interoception and emotion. *Current opinion in psychology*, 17, 7–14.

Dana, D. (2018). *The polyvagal theory in therapy: Engaging the rhythm of regulation*. W. W. Norton & Company.

de Kloet, E. R., Meijer, O. C., de Nicola, A. F., de Rijk, R. H., & Joëls, M. (2018). Importance of the brain corticosteroid receptor balance in metaplasticity, cognitive performance and neuro-inflammation. *Frontiers in neuroendocrinology*, 49, 124–145.

de Souza PM, de Cássia Souza M, Diniz LA, Araújo CRV, Lopez M, Volchan E, Fernandes O Jr, Sanchez TA, Souza GGL. Long-term benefits of heart rate variability biofeedback training in older adults with different levels of social interaction: a pilot study. *Sci Rep*. 2022 Nov 5;12(1):18795

Deasy, C., Coughlan, B., Pironom, J., Jourdan, D., & Mannix-McNamara, P. (2014). Psychological distress and coping amongst higher education students: a mixed method enquiry. *PloS one*, 9(12), e115193.

Deschodt-Arsac V, Lalanne R, Spiluttini B, Bertin C, Arsac LM. Effects of heart rate variability biofeedback training in athletes exposed to the stress of university examinations. *PLoS One*. 2018 Jul 26;13(7):e0201388

Deschodt-Arsac V, Blons E, Gilfriche P, Spiluttini B, Arsac LM. Entropy in Heart Rate Dynamics Reflects How HRV-Biofeedback Training Improves Neurovisceral Complexity during Stress-Cognition Interactions. *Entropy (Basel)*. 2020 Mar 11;22(3):317

Dickerson, S. S., & Kemeny, M. E. (2004). Acute stressors and cortisol responses: A theoretical integration and synthesis of laboratory research. *Psychological Bulletin*, 130(3), 355–391.

Ditto, B., Eclache, M., & Goldman, N. (2006). Short-term autonomic and cardiovascular effects of mindfulness body scan meditation. *Annals of Behavioral Medicine*, 32(3), 227–234.

Dobkin, P. L., Irving, J. A., & Amar, S. (2012). For whom may participation in a mindfulness-based stress reduction program be contraindicated? *Mindfulness*, 3(1), 44–50.

Dudášová, A. (2008). Use of biofeedback in cardiovascular rehabilitation. *Rehabilitácia*, 45(3): 172–183.

12 Ferreira Jr, M., & Zanesco, A. (2016).

El-Malahi, O., Mohajeri, D., Mincu, R., Bäuerle, A., Rothenaicher, K., Knuschke, R., Rammos, C., Rassaf, T., & Lortz, J. (2024). Beneficial impacts of physical activity on heart rate variability: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*, 19(4), e0299793.

Electrophysiology Task Force of the European Society of Cardiology & the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93(5), 1043–1065.

Endler, N. S., & Parker, J. D. A. (1990). Multidimensional assessment of coping: A critical evaluation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 58(5), 844–854.

Farb, N., Daubenmier, J., Price, C. J., Gard, T., Kerr, C., Dunn, B. D., Klein, A. C., Paulus, M. P., & Mehling, W. E. (2015). Interoception, contemplative practice, and health. *Frontiers in psychology*, 6, 763.

Feng, X., Jia, M., Cai, M., Zhang, L., & Zhou, Y. (2025). Central–peripheral neuroimmune dynamics in psychological stress and depression: Insights from current research. *Molecular Psychiatry*. Advance online publication.

Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5th ed.). Sage.

Finck C, Avila A, Jiménez-Leal W, Botero JP, Shambo D, Hernandez S, Reinoso-Carvalho F, Andonova V. A multisensory mindfulness experience: exploring the promotion of sensory awareness as a mindfulness practice. *Front Psychol.* 2023 Nov 9;14:1230832

Fortes, L. S., Gantois, P., de Lima-Júnior, D., Barbosa, B. T., Ferreira, M. E. C., Nakamura, F. Y., Albuquerque, M. R., & Fonseca, F. S. (2023). Playing videogames or using social media applications on smartphones causes mental fatigue and impairs decision-making performance in amateur boxers. *Applied neuropsychology. Adult*, 30(2), 227–238. <https://doi.org/10.1080/23279095.2021.1927036>

Frankenhaeuser, M. (1986). A psychobiological framework for research on human stress and coping. *Advances in Experimental Social Psychology*, 19, 101–173.

Friedman B. H. (2007). An autonomic flexibility-neurovisceral integration model of anxiety and cardiac vagal tone. *Biological psychology*, 74(2), 185–199.

Fries, E., Dettenborn, L., & Kirschbaum, C. (2009). The cortisol awakening response (CAR): facts and future directions. *International journal of psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 72(1), 67–73.

Galante, J., Friedrich, C., Dawson, A. F., Modrego-Alarcón, M., Gebbing, P., Delgado-Suárez, I., Gupta, R., Dean, L., Dalglish, T., White, I. R., & Jones, P. B. (2021). Mindfulness-based programmes for mental health promotion in adults in nonclinical settings: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *PLoS Medicine*, 18(1), e1003481.

Gamelin, F. X., Berthoin, S., & Bosquet, L. (2006). Validity of the Polar S810 heart rate monitor to measure R–R intervals at rest. *International Journal of Sports Medicine*, 27(11), 900–904.

Garland, E. L., Hanley, A. W., Riquino, M. R., Reese, S. E., Baker, A. K., Salas, K., Yack, B. P., Bedford, C. E., Bryan, M. A., Atchley, R., Nakamura, Y., Froeliger, B., & Howard,

M. O. (2019). Mindfulness-oriented recovery enhancement reduces opioid misuse risk via analgesic and positive psychological mechanisms: A randomized controlled trial. *Journal of consulting and clinical psychology*, 87(10), 927–940.

Geisler, F. C., Kubiak, T., Siewert, K., & Weber, H. (2013). Cardiac vagal tone is associated with social engagement and self-regulation. *Biological psychology*, 93(2), 279–286.

Gerritsen, R. J. S., & Band, G. P. H. (2018). Breath of life: The respiratory vagal stimulation model of contemplative activity. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, 397.

Gianaros, P. J., & Wager, T. D. (2015). Brain–body pathways linking psychological stress and physical health. *Current Directions in Psychological Science*, 24(4), 313–321.

Gilgen-Ammann, R., Schweizer, T., & Wyss, T. (2019). RR interval signal quality of a heart rate monitor and an ECG Holter at rest and during exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 119(7), 1525–1532.

Goessl VC, Curtiss JE, Hofmann SG. The effect of heart rate variability biofeedback training on stress and anxiety: a meta-analysis. *Psychol Med*. 2017 Nov;47(15):2578-2586

Goldberger, A. L., Amaral, L. A., Hausdorff, J. M., Ivanov, P. C.h, Peng, C. K., & Stanley, H. E. (2002). Fractal dynamics in physiology: alterations with disease and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99 Suppl 1(Suppl 1), 2466–2472.

Gomutbutra P, Srikamjak T, Sapinun L, Kunaphanh S, Yingchankul N, Apaijai N, Shinlapawittayatorn K, Phuackchantuck R, Chattipakorn N, Chattipakorn S. Effect of intensive weekend mindfulness-based intervention on BDNF, mitochondria function, and anxiety. A randomized, crossover clinical trial. *Compr Psychoneuroendocrinol*. 2022 Apr 29;11:100137.

Goyal, M., Singh, S., Sibinga, E. M., Gould, N. F., Rowland-Seymour, A., Sharma, R., Berger, Z., Sleicher, D., Maron, D. D., Shihab, H. M., Ranasinghe, P. D., Linn, S., Saha,

S., Bass, E. B., & Haythornthwaite, J. A. (2014). Meditation programs for psychological stress and well-being: A systematic review and meta-analysis. *JAMA Internal Medicine*, 174(3), 357–368.

Goldstein, D. S., Benthon, O., Park, M. Y., & Sharabi, Y. (2011). Low-frequency power of heart rate variability is not a measure of cardiac sympathetic tone but may be a measure of modulation of cardiac autonomic outflows by baroreflexes. *Experimental Physiology*, 96(12), 1255–1261.

Greenlee H, Balneaves LG, Carlson LE, Cohen M, Deng G, Hershman D, Mumber M, Perlmutter J, Seely D, Sen A, Zick SM, Tripathy D; Society for Integrative Oncology. Clinical practice guidelines on the use of integrative therapies as supportive care in patients treated for breast cancer. *J Natl Cancer Inst Monogr*. 2014 Nov;2014(50):346-58.

Gross, J. J. (2015). Emotion regulation: Current status and future prospects. *Psychological Inquiry*, 26(1), 1–26.

Grossman, P., Niemann, L., Schmidt, S., & Walach, H. (2004). Mindfulness-based stress reduction and health benefits. *Journal of Psychosomatic Research*, 57(1), 35–43.

Guendelman, S., Medeiros, S., & Rampes, H. (2017). Mindfulness and emotion regulation: Insights from neurobiological, psychological, and clinical studies. *Frontiers in Psychology*, 8, 220.

Guidi, J., Lucente, M., Sonino, N., & Fava, G. A. (2021). Allostatic Load and Its Impact on Health: A Systematic Review. *Psychotherapy and psychosomatics*, 90(1), 11–27.

Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. (1996). *Circulation*, 93(5), 1043–1065. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology.

Heathers J. A. (2014). Everything Hertz: methodological issues in short-term frequency-domain HRV. *Frontiers in physiology*, 5, 177.

Hellhammer, D. H., Wüst, S., & Kudielka, B. M. (2009). Salivary cortisol as a biomarker in stress research. *Psychoneuroendocrinology*, 34(2), 163–171.

Hermans, E. J., Henckens, M. J., Joëls, M., & Fernández, G. (2014). Dynamic adaptation of large-scale brain networks in response to acute stressors. *Trends in neurosciences*, 37(6), 304–314.

Hjortskov, N., Rissén, D., Blangsted, A. K., Fallentin, N., Lundberg, U., & Søgaard, K. (2004). The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work. *European journal of applied physiology*, 92(1-2), 84–89.
<https://doi.org/10.1007/s00421-004-1055-z>

Hölzel, B. K., Carmody, J., Vangel, M., Congleton, C., Yerramsetti, S. M., Gard, T., & Lazar, S. W. (2011). Mindfulness practice leads to increases in regional brain gray matter density. *Psychiatry research*, 191(1), 36–43.

Hon, E. H., & Lee, S. T. (1963). Electronic evaluation of the fetal heart rate. Viii. Patterns preceding fetal death, further observations. *American journal of obstetrics and gynecology*, 87, 814–826.

Howarth, A., Smith, J. G., Perkins-Porras, L., Ussher, M., & Michie, S. (2019). Effects of brief mindfulness-based interventions on health-related outcomes: A systematic review. *Mindfulness*, 10(10), 1957–1968.

Hugdahl, K., Kazimierczak, K., Beresniewicz, J., Kompus, K., Westerhausen, R., Ersland, L., Grüner, R., & Specht, K. (2019). Dynamic up- and down-regulation of the default (DMN) and extrinsic (EMN) mode networks during alternating task-on and task-off periods. *PloS one*, 14(9), e0218358.

Kabat-Zinn, J. (1990). *Full catastrophe living: Using the wisdom of your body and mind to face stress, pain, and illness*. Delacorte Press.

- Karatsoreos, I. N., Bhagat, S., Bloss, E. B., Morrison, J. H., & McEwen, B. S. (2011). Disruption of circadian clocks has ramifications for metabolism, brain, and behavior. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(4), 1657–1662.
- Karim M, Yu X, Doufas L, et al. The effects of acute psychological stress on heart rate variability in healthy subjects. *Int J Cardiol*. 2011;146(1):13-18.
- Kasamatsu, A., & Hirai, T. (1973). An electroencephalographic study on the Zen meditation (Zazen): II. *Journal of the American Institute of Hypnosis*, 14, 107–114.
- Kemp, A. H., Quintana, D. S., Gray, M. A., Felmingham, K. L., Brown, K., & Gatt, J. M. (2010). Impact of depression and antidepressant treatment on heart rate variability: a review and meta-analysis. *Biological psychiatry*, 67(11), 1067–1074.
- Kemp, A. H., & Quintana, D. S. (2013). The relationship between mental and physical health: insights from the study of heart rate variability. *International journal of psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 89(3), 288–296.
- Keng, S. L., Smoski, M. J., & Robins, C. J. (2011). Effects of mindfulness on psychological health. *Clinical Psychology Review*, 31(6), 1041–1056.
- Kim, H. G., Cheon, E. J., Bai, D. S., Lee, Y. H., & Koo, B. H. (2018). Stress and heart rate variability: A meta-analysis and review of the literature. *Psychiatry Investigation*, 15(3), 235–245.
- Kirk, U., & Axelsen, J. L. (2020). Heart rate variability is enhanced during mindfulness practice: A randomized controlled trial involving a 10-day online-based mindfulness intervention. *PLoS ONE*, 15(12), e0243488.
- Kirk U, Staiano W, Hu E, Ngnoumen C, Kunkle S, Shih E, Clausel A, Purvis C, Lee L. App-Based Mindfulness for Attenuation of Subjective and Physiological Stress Reactivity

in a Population With Elevated Stress: Randomized Controlled Trial. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2023 Oct 13;11:e47371

Kirschbaum, C., Pirke, K. M., & Hellhammer, D. H. (1993). The “Trier Social Stress Test”: A tool for investigating psychobiological stress responses in a laboratory setting. *Neuropsychobiology*, 28(1–2), 76–81.

Khoury, B., Lecomte, T., Fortin, G., Masse, M., Therien, P., Bouchard, V., Chapleau, M. A., Paquin, K., & Hofmann, S. G. (2013). Mindfulness-based therapy: A comprehensive meta-analysis. *Clinical Psychology Review*, 33(6), 763–771.

Kleiger RE, Stein PK, Bigger JT Jr. Heart rate variability: measurement and clinical utility. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*. 2005;10:88–101.

Koerten HR, Watford TS, Dubow EF, O'Brien WH. Cardiovascular effects of brief mindfulness meditation among perfectionists experiencing failure. *Psychophysiology*. 2020 Apr;57(4):e13517

Koolhaas, J. M., Bartolomucci, A., Buwalda, B., de Boer, S. F., Flügge, G., Korte, S. M., Meerlo, P., Murison, R., Olivier, B., Palanza, P., Richter-Levin, G., Sgoifo, A., Steimer, T., Stiedl, O., van Dijk, G., Wöhr, M., & Fuchs, E. (2011). Stress revisited: a critical evaluation of the stress concept. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 35(5), 1291–1301

Kreibig S. D. (2010). Autonomic nervous system activity in emotion: a review. *Biological psychology*, 84(3), 394–421

Krygier, J. R., Heathers, J. A., Shahrestani, S., Abbott, M., Gross, J. J., & Kemp, A. H. (2013). Mindfulness meditation, well-being, and heart rate variability: a preliminary investigation into the impact of intensive Vipassana meditation. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 89(3), 305–313.

Kwon CY, Lee B. Systematic Review of Mind-Body Modalities to Manage the Mental Health of Healthcare Workers during the COVID-19 Era. *Healthcare (Basel)*. 2022 Jun 1;10(6):1027.

Kudielka, B. M., & Kirschbaum, C. (2005). Sex differences in HPA axis responses to stress: a review. *Biological psychology*, 69(1), 113–132.

Kudielka, B. M., Hellhammer, D. H., & Wüst, S. (2009). Why do we respond so differently? Reviewing determinants of human salivary cortisol responses to challenge. *Psychoneuroendocrinology*, 34(1), 2–18.

Jacobson, E. (1938). *Progressive relaxation* (2nd ed.). Univ. Chicago Press.

Janelle, C. M., Fawver, B. J., & Beatty, G. F. (2020). Emotion and sport performance. In G. Tenenbaum, R. C. Eklund, & N. Boiangin (Eds.), *Handbook of sport psychology: Social perspectives, cognition, and applications* (4th ed., pp. 254–298). John Wiley & Sons, Inc.

Jarczok, M. N., Koenig, J., Wittling, A., Fischer, J. E., & Thayer, J. F. (2019). First Evaluation of an Index of Low Vagally-Mediated Heart Rate Variability as a Marker of Health Risks in Human Adults: Proof of Concept. *Journal of clinical medicine*, 8(11), 1940.

Juster, R. P., McEwen, B. S., & Lupien, S. J. (2010). Allostatic load biomarkers of chronic stress and impact on health and cognition. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 35(1), 2–16.

Laborde S, Allen MS, Borges U, Iskra M, Zammit N, You M, Hosang T, Mosley E e Dosseville F (2022) Psychophysiological effects of slow-paced breathing at six cycles per minute with or without heart rate variability biofeedback. *Psychophysiology* 59(1): e13952.

Laborde, S., Mosley, E., & Thayer, J. F. (2017). Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research—Recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. *Frontiers in Psychology*, 8, 213.

Laborde, S., Mosley, E., & Mertgen, A. (2018). Vagal Tank Theory: The Three Rs of Cardiac Vagal Control Functioning - Resting, Reactivity, and Recovery. *Frontiers in neuroscience*, 12, 458.

Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science. *Frontiers in Psychology*, 4, Article 863.

Lazarus, R. S. (1999). *Stress and emotion: A new synthesis*. Springer Publishing Company.

Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). *Stress, appraisal, and coping*. Springer Publishing Company.

LeDoux J. E. (2000). Emotion circuits in the brain. *Annual review of neuroscience*, 23, 155–184.

Lehrer, P. M., Vaschillo, E., & Vaschillo, B. (2000). Resonant frequency biofeedback training to increase cardiac variability. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 25(3), 177–191.

Lehrer, P. M., & Gevirtz, R. (2014). Heart rate variability biofeedback: How and why does it work? *Frontiers in Psychology*, 5, Article 756.

Lehrer, P. M., Eddie, D., & Vaschillo, E. (2020). Heart rate variability biofeedback. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 45(2), 109–129.

Lin, L., He, G., Yan, J., Gu, C., & Xie, J. (2019). The effects of a modified mindfulness-based stress reduction program for nurses: A randomized controlled trial. *Workplace Health & Safety*, 67(3), 111–122.

Lundberg, U., Forsman, M., Zachau, G., Eklöf, M., Palmerud, G., Melin, B., & Kadefors, R. (2002). Effects of experimentally induced mental and physical stress on motor unit recruitment in the trapezius muscle. *Work & Stress*, 16(2), 166–178.

Lupien, S. J., McEwen, B. S., Gunnar, M. R., & Heim, C. (2009). Effects of stress throughout the lifespan on the brain, behaviour and cognition. *Nature reviews. Neuroscience*, 10(6), 434–445.

Lutz, A., Slagter, H. A., Dunne, J. D., & Davidson, R. J. (2008). Attention regulation and monitoring in meditation. *Trends in cognitive sciences*, 12(4), 163–169.

Luu, K., & Hall, P. A. (2016). Hatha yoga and executive function: A systematic review. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 22(2), 125–133.

Malik, M. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 1(2), 151–181.

Mason, J. W. (1971). A re-evaluation of the concept of "non-specificity" in stress theory. *Journal of Psychiatric Research*, 8(3-4), 323–333.

McCraty, R., Atkinson, M., Tomasino, D., & Bradley, R. T. (2009). The coherent heart: Heart–brain interactions, psychophysiological coherence, and the emergence of system-wide order. *Integral Review*, 5(2), 10–115.

McCraty, R., & Shaffer, F. (2015). Heart Rate Variability: New Perspectives on Physiological Mechanisms, Assessment of Self-regulatory Capacity, and Health risk. *Global advances in health and medicine*, 4(1), 46–61.
<https://doi.org/10.7453/gahmj.2014.073>

McEwen, B. S. (1998). Protective and damaging effects of stress mediators. *New England Journal of Medicine*, 338(3), 171–179.

McEwen, B. S. (2007). Physiology and neurobiology of stress and adaptation: Central role of the brain. *Physiological Reviews*, 87(3), 873–904.

McEwen, B. S. (2017). Neurobiological and systemic effects of chronic stress. *Chronic Stress*, 1, 1–11.

McEwen, B. S., & Stellar, E. (1993). Stress and the individual: Mechanisms leading to disease. *Archives of Internal Medicine*, 153(18), 2093–2101.

Mehling, W. E., Price, C., Daubenmier, J. J., Acree, M., Bartmess, E., & Stewart, A. (2012). The Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness (MAIA). *PloS one*, 7(11), e48230.

Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., Raglin, J., Rietjens, G., Steinacker, J., Urhausen, A., European College of Sport Science, & American College of Sports Medicine (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine and science in sports and exercise*, 45(1), 186–205.

Min B, Park H, Kim JI, Lee S, Back S, Lee E, Oh S, Yun JY, Kim BN, Kim Y, Hwang J, Lee S, Kim JH. The Effectiveness of a Neurofeedback-Assisted Mindfulness Training Program Using a Mobile App on Stress Reduction in Employees: Randomized Controlled Trial. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2023 Oct 3;11:e42851.

Minkler, T., Oparina, E., & Kostrna, J. (2025). A systematic review of the mindful sport performance enhancement program. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 1–37.

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & The PRISMA Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097.

Mosley, E., & Laborde, S. (2022). A scoping review of heart rate variability in sport and exercise psychology. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*.

Muralikrishnan, K., Balakrishnan, B., Balasubramanian, K., & Visnegarawla, F. (2012). Measurement of the effect of Isha Yoga on the cardiac autonomic nervous system using short-term heart rate variability. *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine*, 3(2): 91-32

Nakamura, F. Y., Flatt, A. A., Pereira, L. A., Ramirez-Campillo, R., Loturco, I., & Esco, M. R. (2015). Ultra-short-term heart rate variability is sensitive to training effects in team sports players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 14(3), 602–605.

Niles BL, Mori DL, Polizzi C, Pless Kaiser A, Weinstein ES, Gershkovich M, Wang C. A systematic review of randomized trials of mind-body interventions for PTSD. *J Clin Psychol*. 2018 Sep;74(9):1485-1508

Nivison, M. E., Lehrer, P. M., & Karavidas, M. K. (2020). Respiratory sinus arrhythmia biofeedback: Concepts, evidence, and future directions. In *Handbook of Cardiac Anatomy, Physiology, and Devices* (pp. 713–728). Springer.

Noh S, Cho H. Psychological and Physiological Effects of the Mindful Lovingkindness Compassion Program on Highly Self-critical University Students in South Korea. *Front Psychol*. 2020 Oct 14;11:585743

Nunan, D., Sandercock, G. R., & Brodie, D. A. (2010). A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults. *Pacing and clinical electrophysiology: PACE*, 33(11), 1407–1417.

Oswalt, S. B., Lederer, A. M., Chestnut-Steich, K., Day, C., Halbritter, A., & Ortiz, D. (2020). Trends in college students' mental health diagnoses and utilization of services, 2009–2015. *Journal of American College Health*, 68(1), 41–51.

Pagaduan, J. C., Chen, Y. S., Fell, J. W., & Wu, S. S. X. (2020). Can Heart Rate Variability Biofeedback Improve Athletic Performance? A Systematic Review. *Journal of human kinetics*, 73, 103–114.

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71.

Panaite, V., Hindash, A. C., Bylsma, L. M., Small, B. J., Salomon, K., & Rottenberg, J. (2016). Respiratory sinus arrhythmia reactivity to a sad film predicts depression symptom improvement and symptomatic trajectory. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 99, 108–113.

Pariante, C. M., & Lightman, S. L. (2008). The HPA axis in major depression: classical theories and new developments. *Trends in neurosciences*, 31(9), 464–468.

Park, D. C., Lodi-Smith, J., Drew, L., Haber, S., Hebrank, A., Bischof, G. N., & Aamodt, W. (2014). The impact of sustained engagement on cognitive function in older adults: the Synapse Project. *Psychological science*, 25(1), 103–112.

Pascoe MC, Thompson DR, Ski CF. Yoga, mindfulness-based stress reduction and stress-related physiological measures: A meta-analysis. *Psychoneuroendocrinology*. 2017 Dec;86:152-168. Epub 2017 Aug 30. PMID: 28963884.

Pascoe, M. C., Hetrick, S. E., & Parker, A. G. (2020). The impact of stress on students in secondary school and higher education. *International Journal of Adolescence and Youth*, 25(1), 104–112.

Pascoe, M. C., J. de Manincor, M., Hallgren, M., Baldwin, P. A., Tseberja, J., & Parker, A. G. (2021). Psychobiological mechanisms underlying the mental health benefits of yoga-based interventions: A narrative review. *Mindfulness*, 12(12), 2877–2889.

Paul, M., & Garg, K. (2012). The effect of heart rate variability biofeedback on performance psychology of basketball players. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 37(2), 131–144.

Pedrabissi, L., & Santinello, M. (1989). Verifica della validità dello S.T.A.I. forma Y di Spielberger. *Bollettino di Psicologia Applicata*, 191–192, 11–14.

Penz, M., Stalder, T., Miller, R., Ludwig, V. M., Kanthak, M. K., & Kirschbaum, C. (2018). Hair cortisol as a biological marker for burnout symptomatology. *Psychoneuroendocrinology*, 87, 218–221.

Plans D, Morelli D, Sütterlin S, Ollis L, Derbyshire G, Croy M. Use of a Biofeedback Breathing App to Augment Poststress Physiological Recovery: Randomized Pilot Study. *JMIR Form Res*. 2019 Jan 11;3(1):e12227

Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: Opening the door to effective monitoring. *Sports Medicine*, 43(9), 773–781.

Porges S. W. (1995). Orienting in a defensive world: mammalian modifications of our evolutionary heritage. A Polyvagal Theory. *Psychophysiology*, 32(4), 301–318.

Porges S. W. (2001). The polyvagal theory: phylogenetic substrates of a social nervous system. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 42(2), 123–146

Porges, S. W. (2011). *The polyvagal theory: Neurophysiological foundations of emotions, attachment, communication, and self-regulation*. W. W. Norton & Company.

Porta, A., Tobaldini, E., Guzzetti, S., Furlan, R., Montano, N., & Gneccchi-Ruscione, T. (2007). Assessment of cardiac autonomic modulation during graded head-up tilt by symbolic analysis of heart rate variability. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*, 293(1), H702–H708.

Putman P. (2011). Resting state EEG delta-beta coherence in relation to anxiety, behavioral inhibition, and selective attentional processing of threatening stimuli. *International journal of psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 80(1), 63–68.

Quigley, K. S., Gianaros, P. J., Norman, G. J., Jennings, J. R., Berntson, G. G., & de Geus, E. J. C. (2024). Recommendations for measurement and reporting of heart rate and heart rate variability in psychophysiological research. *Psychophysiology*, 61(9), e14604.

Qin, S., Hermans, E. J., van Marle, H. J., Luo, J., & Fernández, G. (2009). Acute psychological stress reduces working memory-related activity in the dorsolateral prefrontal cortex. *Biological psychiatry*, 66(1), 25–32.

Quintana, D. S., Alvares, G. A., & Heathers, J. A. J. (2016). Guidelines for reporting articles on psychiatry and heart rate variability. *Translational Psychiatry*, 6(e803).

Quintana, D. S., & Heathers, J. A. J. (2014). Considerations in the assessment of heart rate variability in biobehavioral research. *Frontiers in Psychology*, 5, Article 805.

Raglin, J., & Hanin, Y. (2000). Competitive anxiety and athletic performance. In Y. L. Hanin (Ed.), *Emotions in sport* (pp. 93-112). Champaign, IL: Human Kinetics.

Regehr, C., Glancy, D., & Pitts, A. (2013). Interventions to reduce stress in university students: A review and meta-analysis. *Journal of Affective Disorders*, 148(1), 1–11.

Reyes del Paso, G. A., Langewitz, W., Mulder, L. J., van Roon, A., & Duschek, S. (2013). The utility of low frequency heart rate variability as an index of sympathetic cardiac tone: A review with emphasis on a reanalysis of previous studies. *Psychophysiology*, 50(5), 477–487.

Rice, S. M., Purcell, R., De Silva, S., Mawren, D., McGorry, P. D., & Parker, A. G. (2016). The mental health of elite athletes: A narrative systematic review. *Sports Medicine*, 46(9), 1333–1353.

Rossi, E. L., Cozzolino, M., Mortimer, J., Atkinson, D., & Rossi, K. L. (2011). A brief protocol for the Creative Psychosocial Genomic Healing Experience: The 4-stage creative process in therapeutic hypnosis and brief psychotherapy. *American Journal of Clinical Hypnosis*, 54(2), 133–152.

Rossi, E., Iannotti, S., Cozzolino, M., Castiglione, S., Cicatelli, A., & Rossi, K. (2008). A pilot study of positive expectations and focused attention via a new protocol for optimizing therapeutic hypnosis and psychotherapy assessed with DNA microarrays: The Creative Psychosocial Genomic Healing Experience. *Sleep and Hypnosis*, 10(1), 39–44.

Roth, S., & Cohen, L. J. (1986). Approach, avoidance, and coping with stress. *American Psychologist*, 41(7), 813–819.

Röthlin, P., Horvath, S., Birrer, D., & grosse Holtforth, M. (2016). Mindfulness promotes the ability to deliver performance in highly demanding situations. *Mindfulness*, 7(3), 727–733.

Ruiz-Ariza, B.; Hita-Contreras, F.; Rodríguez-López, C.; Rivas-Campo, Y.; Aibar-Almazán, A.; Carcelén-Fraile, M.d.C.; Castellote-Caballero, Y.; Afanador-Restrepo, D.F. Effects of Mind-Body Training as a Mental Health Therapy in Adults with Diabetes Mellitus Type II: A Systematic Review. *J. Clin. Med.* 2023, 12, 853.

Russo, M. A., Santarelli, D. M., & O'Rourke, D. (2017). The physiological effects of slow breathing in the healthy human. *Breathe*, 13(4), 298–309.

Saito R, Sawamura D, Yoshida K, Sakai S. Relationship between the proficiency level and anxiety-reducing effect in a one-time heart rate variability biofeedback: A randomized controlled trial. *Medicine (Baltimore)*. 2021 Nov 12;100(45):e27742

Sandercock, G. R., Bromley, P. D., & Brodie, D. A. (2005). Effects of exercise on heart rate variability: inferences from meta-analysis. *Medicine and science in sports and exercise*, 37(3), 433–439.

Sanghvi, D., Subramanian, S. K., & Rajan, R. (2024). Immediate effect of Isha Kriya meditation on heart rate variability and its sequential changes among healthy adults. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 35, 132–138.

Saper C. B. (2002). The central autonomic nervous system: conscious visceral perception and autonomic pattern generation. *Annual review of neuroscience*, 25, 433–469.

Sapolsky, R. M., Romero, L. M., & Munck, A. U. (2000). How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions. *Endocrine reviews*, 21(1), 55–89.

Sapolsky, R. M. (2004). Stress and Cognition. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (3rd ed., pp. 1031–1042). Boston Review.

Sayers B. M. (1973). Analysis of heart rate variability. *Ergonomics*, 16(1), 17–32.
<https://doi.org/10.1080/00140137308924479>

Schwarzer, R., & Jerusalem, M. (1995). Generalized Self-Efficacy Scale. In J. Weinman, S. Wright, & M. Johnston (Eds.), *Measures in health psychology: A user's portfolio* (pp. 35–37). NFER-NELSON.

Schultz J. H. (1986), *Il training autogeno, Volume I, Esercizi Inferiori*, Edizioni Feltrinelli, Milano.

Seeman, T. E., McEwen, B. S., Rowe, J. W., & Singer, B. H. (2001). Allostatic load as a marker of cumulative biological risk: MacArthur studies of successful aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(8), 4770–4775.

Seeman, M., Stein Merkin, S., Karlamangla, A., Koretz, B., & Seeman, T. (2014). Social status and biological dysregulation: the "status syndrome" and allostatic load. *Social science & medicine* (1982), 118, 143–151.

Segal, Z. V., Williams, J. M. G., & Teasdale, J. D. (2002). *Mindfulness-based cognitive therapy for depression: A new approach to preventing relapse*. Guilford Press.

Selye, H. A Syndrome produced by Diverse Nocuous Agents. *Nature* 138, 32 (1936).

Selye, H. (1956). *The stress of life*. McGraw-Hill.

Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in Public Health*, 5, Article 258.

Short, M., Mazmanian, D., Oinonen, K., & Mushquash, C. (2015). Executive function and self-regulation mediate dispositional mindfulness and well-being. *Personality and Individual Differences*, 93, 92–97.

Siepmann, M., Aykac, V., Unterdörfer, J., Petrowski, K., & MueckWeymann, M. (2008). A pilot study on the effects of heart rate variability biofeedback in patients with depression and in healthy subjects. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 33(4): 195–201. 42

Sirigatti, S., & Stefanile, C. (2009). CISS – Coping Inventory for Stressful Situations. Standardizzazione e validazione italiana.

Slavich, G. M., & Irwin, M. R. (2014). From stress to inflammation and major depressive disorder: a social signal transduction theory of depression. *Psychological bulletin*, 140(3), 774–815.

Smith, R., Thayer, J. F., Khalsa, S. S., & Lane, R. D. (2017). The hierarchical basis of neurovisceral integration. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 75, 274–296.

Solarikova, P., Blahunkova, S., Rajcani, J., Turonova, D., & Brezina, I. (2021). The effect of HRV biofeedback, yoga and mindfulness training on autonomic nervous system, perceived stress, and dispositional mindfulness. *Activitas Nervosa Superior Rediviva*, 63(2), 53-62.

Spielberger, C. D., Gorsuch, R. L., & Lushene, R. E. (1970). *Manual for the State–Trait Anxiety Inventory*. Consulting Psychologists Press.

Spielberger, C. D., Gorsuch, R. L., Lushene, R. E., Vagg, P. R., & Jacobs, G. A. (1983). *Manual for the State–Trait Anxiety Inventory (Form Y)*. Consulting Psychologists Press.

Stanley, J., Peake, J. M., & Buchheit, M. (2013). Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: implications for training prescription. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(12), 1259–1277. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0083-4>

Sterling, P., & Eyer, J. (1988). Allostasis: A new paradigm to explain arousal pathology. In S. Fisher & J. Reason (Eds.), *Handbook of life stress, cognition and health* (pp. 629–649). Wiley.

Sterling, P. (2012). Allostasis: A model of predictive regulation. In J. Schulkin (Ed.), *Allostasis, homeostasis, and the costs of physiological adaptation* (pp. 17–64). Cambridge University Press.

Streeter, C. C., Gerbarg, P. L., Saper, R. B., Ciraulo, D. A., & Brown, R. P. (2012). Effects of yoga on the autonomic nervous system, gamma-aminobutyric acid, and allostasis in epilepsy, depression, and post-traumatic stress disorder. *Medical Hypotheses*, 78(5), 571–579.

Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643–662.

Sutarto, Auditya. (2020). Multimodal Stress-Management Intervention Improves Physiological, Psychological, and Productivity of Assembly- Line Workers.

Swanson, K. S., Gevirtz, R. N., Brown, M., Spira, J., Guarneri, E., & Stoletniy, L. (2009). The effect of biofeedback on function in patients with heart failure. *Applied psychophysiology and biofeedback*. 34(2): 71. 45

Talsma, K., Norris, K., & Schüz, B. (2020). First-year students' academic self-efficacy calibration: Differences by task type, domain specificity, student ability, and over time. *Student Success*, 11(2), 109–121.

Tang, Y. Y., Ma, Y., Wang, J., Fan, Y., Feng, S., Lu, Q., Yu, Q., Sui, D., Rothbart, M. K., Fan, M., & Posner, M. I. (2007). Short-term meditation training improves attention and self-regulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(43), 17152–17156.

Tang, Y., Ma, Y., Fan, Y., Feng, H., Wang, J., Feng, S., Lu, Q., Hu, B., Lin, Y., Li, J., Zhang, Y., Wang, Y., Zhou, L., & Fan, M. (2009). Central and autonomic nervous system interaction is altered by short-term meditation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(22), 8865–8870.

Tang, Y. Y., Hölzel, B. K., & Posner, M. I. (2015). The neuroscience of mindfulness meditation. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(4), 213–225.

Thayer, J. F., Åhs, F., Fredrikson, M., Sollers, J. J., & Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart–brain interactions. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(2), 747–756.

Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2000). A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *Journal of Affective Disorders*, 61(3), 201–216.

Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2009). Claude Bernard and the heart–brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33(2), 81–88.

Thayer, J. F., & Sternberg, E. (2006). Beyond heart rate variability: Vagal regulation of allostatic systems. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1088, 361–372.

Theadom, A., Cropley, M., Smith, H. E., Feigin, V. L., & McPherson, K. (2015). Mind and body therapy for fibromyalgia. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2015(4), Article CD001980.

Toan, D., Mendoza, C., Lee, S., Joseph, M. S., & Crocker, G. H. (2024). The effects of a single mindfulness meditation session on perceived stress and heart rate variability in female, first-generation college students. *International Journal of Exercise Science: Conference Proceedings*, 14(4), Article 164.

Tracey K. J. (2002). The inflammatory reflex. *Nature*, 420(6917), 853–859.
<https://doi.org/10.1038/nature01321>

Tsigos, C., & Chrousos, G. P. (2002). Hypothalamic-pituitary-adrenal axis, neuroendocrine factors and stress. *Journal of Psychosomatic Research*, 53(4), 865–871.

Tsuji, H., Larson, M. G., Venditti, F. J., Jr, Manders, E. S., Evans, J. C., Feldman, C. L., & Levy, D. (1996). Impact of reduced heart rate variability on risk for cardiac events. The Framingham Heart Study. *Circulation*, 94(11), 2850–2855.

Ulrich-Lai, Y. M., & Herman, J. P. (2009). Neural regulation of endocrine and autonomic stress responses. *Nature reviews. Neuroscience*, 10(6), 397–409.

Usher, E. L., Li, C. R., Butz, A. R., & Rojas, J. P. (2019). Perseverant grit and self-efficacy: Are both essential for children's academic success? *Journal of Educational Psychology*, 111(5), 877–902.

van der Wel, P., van Steenbergen, H. Pupil dilation as an index of effort in cognitive control tasks: A review. *Psychon Bull Rev* 25, 2005–2015 (2018).

Vaschillo, E. G., Vaschillo, B., & Lehrer, P. M. (2006). Characteristics of resonance in heart rate variability stimulated by biofeedback. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 31(2), 129–142.

Vinkers, C. H., Zorn, J. V., Cornelisse, S., Koot, S., Houtepen, L. C., Olivier, B., Verster, J. C., Kahn, R. S., Boks, M. P., Kalenscher, T., & Joëls, M. (2013). Time-dependent changes in altruistic punishment following stress. *Psychoneuroendocrinology*, 38(9), 1467–1475.

Wayne, P. M., & Kaptchuk, T. J. (2008). Challenges inherent to t'ai chi research: part I--t'ai chi as a complex multicomponent intervention. *Journal of alternative and complementary medicine (New York, N.Y.)*, 14(1), 95–102.

Watford, T. S., & Stafford, J. (2015). The impact of mindfulness on emotion dysregulation and psychophysiological reactivity under emotional provocation. *Psychology of Consciousness: Theory, Research, and Practice*, 2(1), 90–109.

Weber, C. S., Thayer, J. F., Rudat, M., Wirtz, P. H., Zimmermann-Viehoff, F., Thomas, A., Perschel, F. H., Arck, P. C., & Deter, H. C. (2010). Low vagal tone is associated with impaired post-stress recovery of cardiovascular, endocrine, and immune markers. *European Journal of Applied Physiology*, 109(2), 201–211.

Weippert, M., Behrens, K., Rieger, A., Kumar, M., & Behrens, M. (2010). Heart rate variability and respiration: Effects of different breathing rates. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 30(3), 201–207.

Wen, Y. R., Shi, J., Wang, Y. F., Lin, Y. Y., Hu, Z. Y., Lin, Y. T., Wang, X. Q., & Wang, Y. L. (2022). Are mind–body exercises beneficial for treating pain, function, and quality of life in middle-aged and older people with chronic pain? A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 14, 921069.

Wielgosz, J., Goldberg, S. B., Kral, T. R. A., Dunne, J. D., & Davidson, R. J. (2019). Mindfulness meditation and psychopathology. *Annual Review of Clinical Psychology*, 15, 285–316.

Wisner Fries, A. B., Ziegler, T. E., Kurian, J. R., Jacoris, S., & Pollak, S. D. (2005). Early experience in humans is associated with changes in neuropeptides critical for regulating social behavior. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(47), 17237–17240.

Williams, D. P., Cash, C., Rankin, C., Bernardi, A., Koenig, J., & Thayer, J. F. (2019). Resting heart rate variability predicts self-reported difficulties in emotion regulation: A focus on different facets of emotion regulation. *Frontiers in Psychology*, 10, 896.

World Medical Association. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191–2194.

World Health Organization. (2021). Mental health at work. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240053052>

World mental health report: transforming mental health for all. Geneva: World Health Organization; 2022.

Wu, C., Xu, Y., Guo, H., Tang, C., Chen, D., & Zhu, M. (2021). Effects of aerobic exercise and mind–body exercise in Parkinson’s disease: A mixed-treatment comparison analysis. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 13, 739115.

Yehuda, R., Hoge, C. W., McFarlane, A. C., Vermetten, E., Lanius, R. A., Nievergelt, C. M., Hobfoll, S. E., Koenen, K. C., Neylan, T. C., & Hyman, S. E. (2015). Post-traumatic stress disorder. *Nature reviews. Disease primers*, 1, 15057.

Yoo, H., Lee, S. H., & Kim, J. H. (2021). The effects of a Stroop task on autonomic nervous system responses: A meta-analysis. *Biological Psychology*, 162, 108080.

Yotsidi, V., Nikolatou, E. K., Kourkoutas, E., & Kougioumtzis, G. A. (2023). Mental distress and well-being of university students amid COVID-19 pandemic: Findings from an online integrative intervention for psychology trainees. *Frontiers in Psychology*, 14, 1171225.

You M, Laborde S, Zammit N, Iskra M, Borges U, Dosseville F, Vaughan RS. Emotional Intelligence Training: Influence of a Brief Slow-Paced Breathing Exercise on Psychophysiological Variables Linked to Emotion Regulation. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Jun 20;18(12):6630

Yu, Q., Liu, J., Wang, Y., & Chen, Y. (2018). The effectiveness of heart rate variability biofeedback training on stress and anxiety. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 43(3), 263–271.

Xuan Lin, Jiaxin Zheng, Qian Zhang, Youfa Li, The effects of mind body exercise on anxiety: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials, *Mental Health and Physical Activity*, Volume 26, 2024, 100587, ISSN 1755-2966

Zajacova, A., Lynch, S., & Espenshade, T. (2005). Self-efficacy, stress, and academic success in college. *Research in Higher Education*, 46(6), 677–706.

Zaccaro, A., Piarulli, A., Laurino, M., Garbella, E., Menicucci, D., Neri, B., & Gemignani, A. (2018). How breath-control can change your life: A systematic review on psychophysiological correlates of slow breathing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, Article 353.

Zeidan, F., Johnson, S. K., Diamond, B. J., David, Z., & Goolkasian, P. (2010). Mindfulness meditation improves cognition: Evidence of brief mental training. *Consciousness and Cognition*, 19(2), 597–605.

Zimet, G. D., Dahlem, N. W., Zimet, S. G., & Farley, G. K. (1988). The Multidimensional Scale of Perceived Social Support. *Journal of Personality Assessment*, 52(1), 30–41.

Appendice

Figura 1

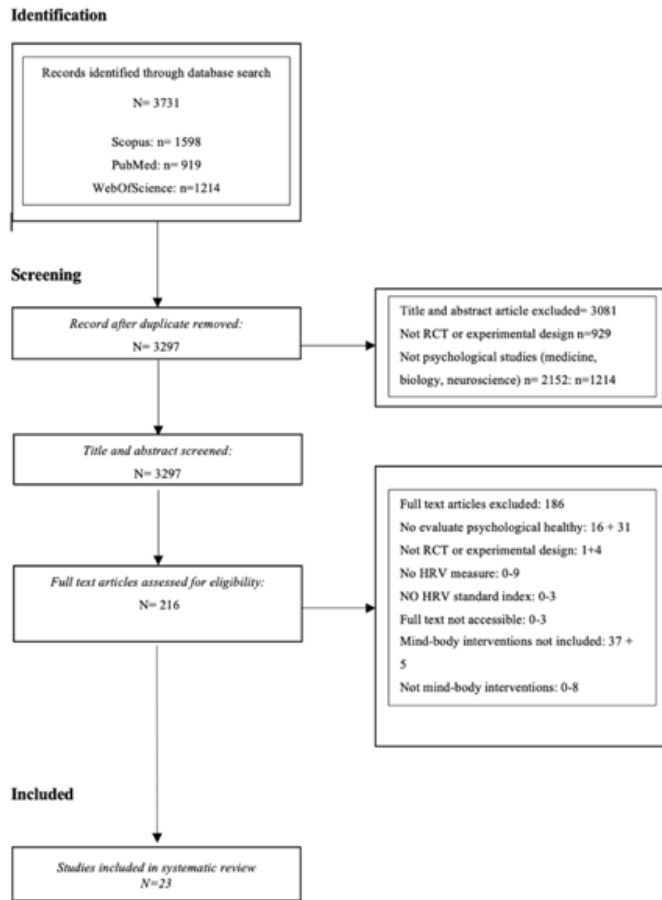


Tabella 1

Author	Country	Study design	Population sample size/ Population	Participant demographics (Gender, Age)
(32) Min (2003)	South Korea	CTR	92 Healthy Worker	73 female-19 male, 38,76
(26) Kirk (2023)	Denmark	CTR	163 No specific category	80 female-83 male 25,4
(10) Castro Ribeiro (2023)	Spain	Pilot Study	21 Healthy Worker	21 female, 37,7
(4) Beuschel (2023)	Germany	Quasi experimental design	42 School worker	28 female-15 male 28,6
(16) de Souza (2022)	Brazil	Pilot Study	32 No specific category	21 female-9 male 70,80
(15) Compton (2022)	United Kingdom	Mixed model	67 Athletes	40 female-27 male 20,17
(14) Chung (2021)	USA	Pilot Study	14 No specific category	9 female-5 male 33
(31) Laborde (2022)	France	CTR	112 No specific category	60 female-52 male 21,6
(41) Saito (2021)	Japan	CTR	45 Students	45 male 22,07
(48) You Min (2021)	France	CTR	61 Athletes	25 female-36 male 22,1
(44) Solariškova (2021)	Slovakia	CTR	33 Students	25 female-8 male 22
(13) Chelidoni (2020)	United Kingdom	CTR	75 No specific category	48 female-27 male 32,32
(37) Plans (2019)	United Kingdom	CTR /pilot study	75 No specific category	44 female-31 male 23,5
(17) Deschodt-Arsac (2018)	France	CTR	18 Students	5 female-13 male 20,5
(6) Bortolli (2022)	Italy	Quasi experimental design	28 No specific category	28 female, 24,4
(7) Brinkmann (2020)	Germany	CTR	69 Worker	54 female, 43
(27) Kirk (2020)	Denmark	CTR/	90 Students	63 female-27 male 36,4
(29) Koestler (2019)	USA	CTR	120 Students	89 female-31 male 19
(21) Gomsubutra (2022)	Thailand	Randomized, crossover clinical trial	40 Healthy worker	40 female, 23,5
(23) Kirk 2023	Colombia	Exploratory study	68 Students	68 male 26,10
(35) Noh (2020)	South Korea	CTR	38 Students	22 female-16 male 21,55
(11) Chaitanya (2022)	India	CTR	50 Students	50 male 24
(18) Deschodt-Arsac (2020)	France	CTR	19 Worker	7 female-12 male 42,5

Tabella 2

(17) Deschad et al. (2018)	HRV biofeedback,	MDQ, HRV: URGOTECH, URGOfeed.	Laboratory and home practice	5 weeks 28 sessions twice a day	5 minutes for session	Individual	pNN50 and rMSSD Significant difference in rMSSD and HF
(6) Borolla (2022)	Mindfulness biofeedback,	PANAS, ARSQ, MODQ, MAAS, FFMQ, HRV: BiTalingo.	Laboratory	1 session	10 minutes for session	Individual	Significant difference in rMSSD and SDNN
(7) Benkaya et al. (2020)	HRV biofeedback, Mindfulness	TICS, SVF-120, POS, NEG, BDI-II, HEALTH-49, FFA-14, SCS, HRV: BioSigno GmbH, Qiu Mobile	Home practice	6 weeks 42 sessions, 1 for day	15 minutes for session	Individual	Significant difference in SDNN in HRV biofeedback condition
(27) Kirk (2020)	Mindfulness	PSS, MAAS, D3SQI, HRV: Firstbeat Bodyguard II	Home practice	10 days, 10 sessions 1 for day	20/30 minutes for session	Individual	Significant difference in rMSSD
(29) Koetso (2019)	Mindfulness	PCI, Failure work task, HRV: Biopac.	Laboratory	1 session	10 minutes for session	Individual	Significant difference in HF and pNN50
(21) Gouath, et al. (2022)	Mindfulness	VAS-A, PHQ-9, PHQI, MoCA, MARS vs 7 HRV: SEER Light Holter	Laboratory	4 weeks 4 sessions one for week	120 minutes for session	Group	No significant difference in rMSSD
(23) Epsk, 2023	Mindful Loving Kindness Compassion	STAI, CNS, MAAS, TMS, HRV: Polar h10	Laboratory	1 session	24 minutes for session	Individual	Significant difference in rMSSD and SDNN
(35) Noh (2020)	Mindful Loving Kindness Compassion	FSCRS, SMS, LCS, ISS, DASS 21, FC-Self, SWLS, HRV: STD-1000K	Home practice and laboratory	6 weeks 8 sessions in group + individual practice	100/200 minutes for session	Mixed (Group/Individual)	Significant difference in SDNN and HF
(11) Cloisley, et al. (2022)	RSA BREATHING	PSS, TMA-A, TMT-B, HRV: PowerLab	Home practice and laboratory	4 weeks 8 sessions 2 for week	20 minutes for session	Individual	Significant difference in SDNN and pNN50
(18) Deschad et al. (2020)	HRV biofeedback,	STAI, NASA-TLX, HRV: Polar H10, URGOTECH, URGOfeed.	Laboratory	5 weeks, 10 sessions 2 for day	5 minutes for session	Individual	Significant difference in rMSSD e HF
Author	Mind-body intervention	Psychological test / HRV measurement	Intervention Setting	Intervention Duration of sessions/ Frequency	Intervention Duration of each session	Format Group/Individual/Virtual	Results related to HRV
(32) Min (2003)	Mindfulness MBSR	MINI, PSS, BRS, Korean version of MAAS, Korean ELS, Korean SOSS, Athens Insomnia Scale, 9-item Patient Health Questionnaire HRV: (neuroBios FC2; Lax)	Hospital and home practice	4 weeks 2 sessions for week	30 minutes for session	Mixed (Group/Individual)	NO significant difference in LF
(26) Kirk (2023)	Mindfulness MBSR	Perceived Stress Scale, PSQI, MAAS, CPT TASK CONSORT HRV: eHealth	Home practice	4 weeks 1 session for day	30 minutes for session	Individual	Significant difference in rMSSD
(10) Castro Ribeiro (2023)	HRV-Biofeedback	PSS, VASS, STAI, PHQ9, HRV: Nexus 10 MKII,	Hospital	5 sessions 1 session for week	45/60 minutes for session	Individual	Significant difference in SDNN
(4) Beuchel (2023)	Mindfulness (MBSR adaptation)	PSS, HRV: Polar RS800CX	School and Home	2 months 22 sessions biweekly practice in group + Daily practice at home	22 hours in group + 30 minutes for session at home	Mixed (Group/Individual)	Significant difference in rMSSD and HF
(16) de Souza (2022)	HRV-Biofeedback	HHQ, PARQ, STS, UCLALS, GDS, HRV: Nexus 10	Hospital	4 weeks 14 sessions 3 sessions for a week	15 minutes for session	Individual	Significant difference in rMSSD and SNDD
(15) Conlon (2022)	Slow diaphragmatic Breathing intervention.	Anxiety measurement scale, STAI, Cognitive appraisal ratio, PSS HRV: Bitrium 180° Ecos. electrocardiogram	Laboratory	1 session	10 minutes for session	Individual	No significant difference in rMSSD and pnn50
(14) Chung (2021)	HRV-Biofeedback	GAD-2, PHQ-2, HRV: Lief Smart Patch	Home practice	8 weeks 40 sessions	10 minutes for session	Individual/Remote	Significant difference in rMSSD
(31) Laborda (2022)	Slow-paced breathing six cycle per minute with or without HRV biofeedback	VAS, SAM, ECG Faros 180, HRV: Polar H7	Laboratory	1 session	7 minutes for session	Individual	Significant in rMSSD, SDNN, LF, HF
(41) Saito (2021)	HRV-Biofeedback	STAI-JYZ, HRV: emWave Pro, Check My Heart	Laboratory	1 session	30 minutes for session	Individual	No significant difference in rMSSD
(48) Jou, Min (2021)	Slow Breathing intervention.	VAS, Self-Assessment Manikin HRV: Faros 180°	Laboratory	1 session	15 minutes for session	Individual	No significant difference in rMSSD
(44) Solariya (2021)	HRV biofeedback	PSS, MAAS, HRV: NeXus-4	Laboratory	1 session	20 minutes for session	Individual	No significant difference in rMSSD
(13) Chelidoni (2020)	Brief biofeedback breathing or Mindfulness	FFMQ, Sanna, Berlin Fatigue Checklist, The Stanford Sleepiness Scale, VAS, HRV: Polar V800, Polar H7	Laboratory	1 session	5 minutes for session	Individual	Significant difference in rMSSD, pNN50 and HF in HRV Biofeedback condition
(37) Plans (2019)	Breathing Biofeedback	Thoughts Questionnaire, VAS, HRV: Biopac ECG100C	Laboratory	1 session	6 minutes for session	Individual	Significant difference in

Figura 2

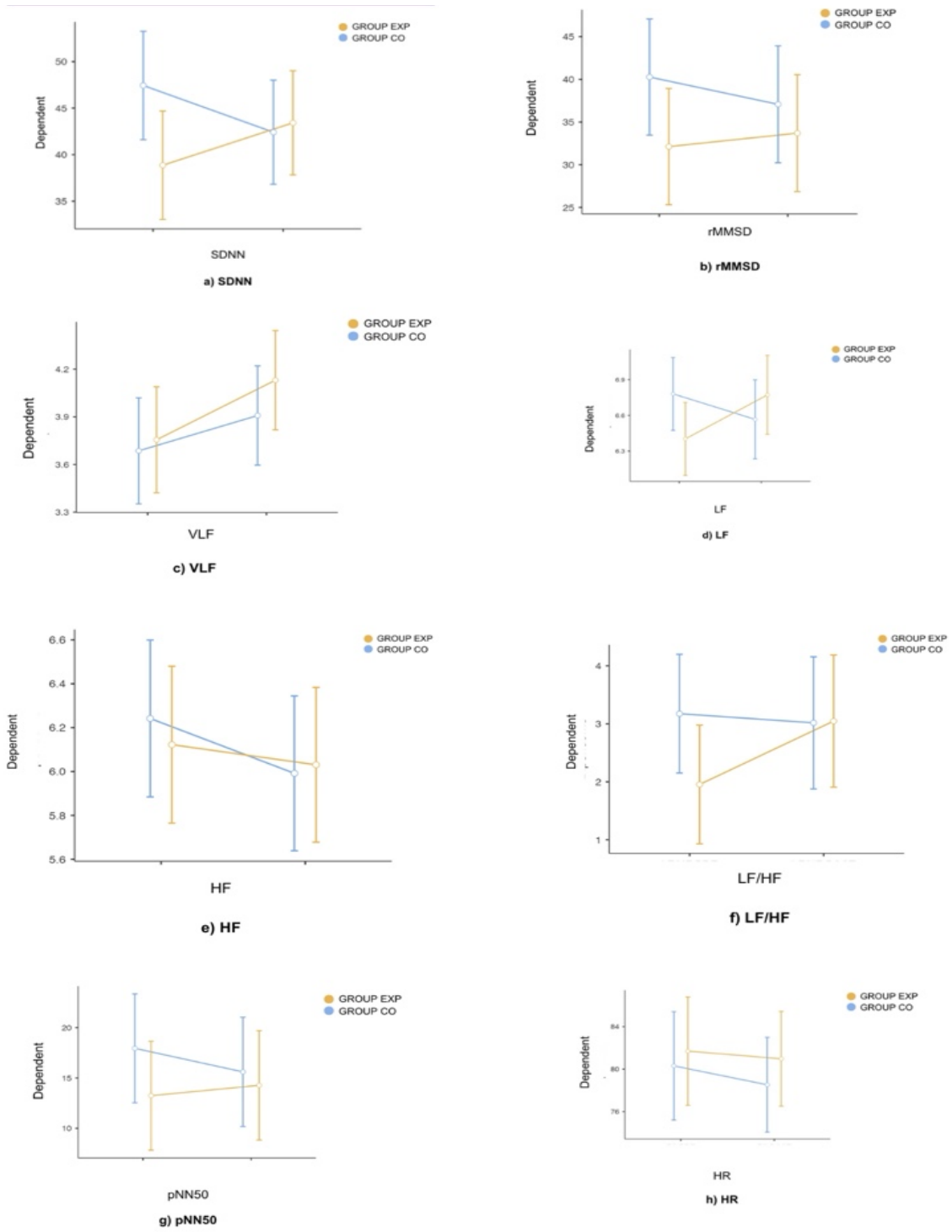


Tabella 3

	<i>SS</i>	<i>DF</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
SDNN					
TIME	1.94	1	1.94	0.0335	0.855
TIME*GROUP	827.04	1	827.04	142.985	<.001
Residuals	4048.88	70	57.84		
rMSSD					
TIME	23.7	1	23.7	0.976	0.327
TIME*GROUP	205	1	205	8.442	0.005
Residuals	1699.5	70	24.3		
VLF					
TIME	3.210	1	3.210	8.208	0.006
TIME*GROUP	0.210	1	0.210	0.537	0.466
Residuals	27.375	70	0.391		
LF					
TIME	0.218	1	0.218	0.695	0.407
TIME*GROUP	3.063	1	3.063	9.767	0.003
Residuals	21.950	70	0.314		
HF					
TIME	1.051	1	1.051	5.31	0.024
TIME*GROUP	0.226	1	0.226	1.14	0.289
Residuals	13.849	70	0.198		
LF/HF					
TIME	7.86	1	7.86	2.86	0.095
TIME*GROUP	14.09	1	14.09	5.13	0.027
Residuals	192.16	70	2.75		
pNN50					
TIME	15.5	1	15.5	1.20	0.278
TIME*GROUP	102.2	1	102.2	7.87	0.007
Residuals	909.0	70	13.0		
HR					
TIME	56,2	1	56,2	4.168	0.045
TIME*GROUP	10	1	10	0.743	0.392
Residuals	944,7	70	13,5		

Figura 3

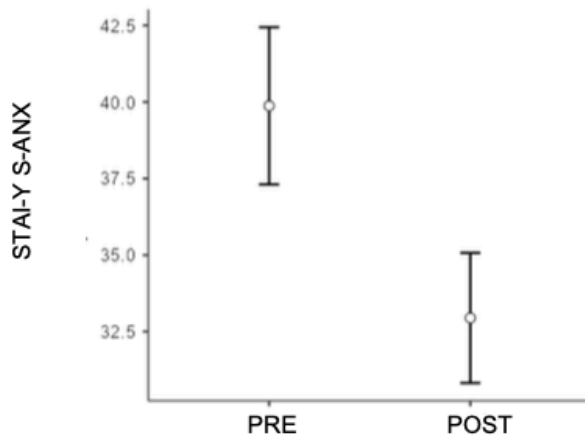


Figura 4

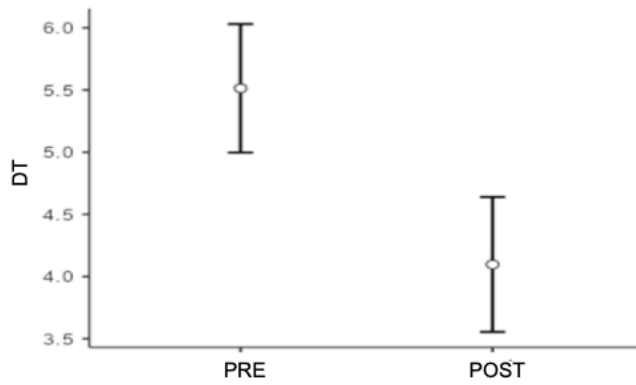


Tabella 4

	<i>SS</i>	<i>DF</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
STAI Y - S-ANX					
TIME	1729.2	1	1729.2	45.99	<.001
TIME*GROUP	45.6	1	45.6	1.21	0.275
Residuals	2631.8	70	37.6		
DT					
TIME	72.250	1	72.250	45.268	<.001
TIME*GROUP	0.0278	1	0.0278	0.0174	0.895
Residuals	111.722	70	1.596		

Figura 5

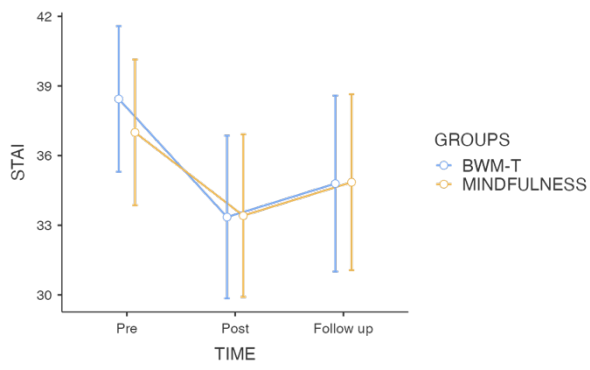


Figura 6

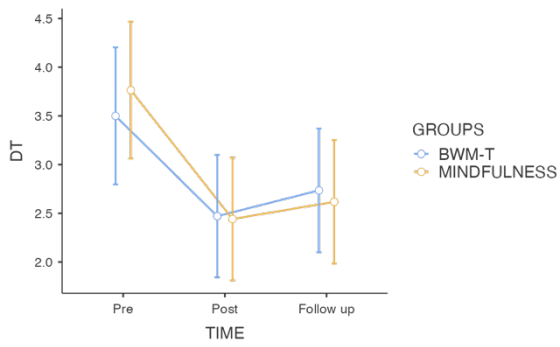


Figura 7

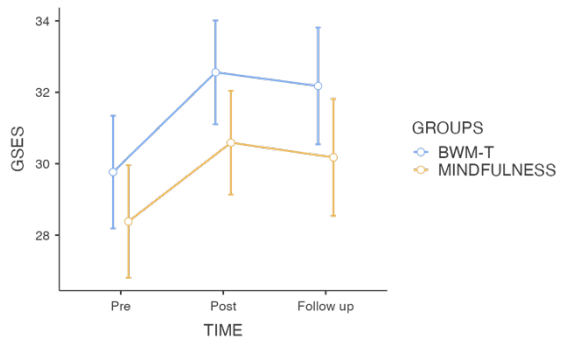


Figura 8

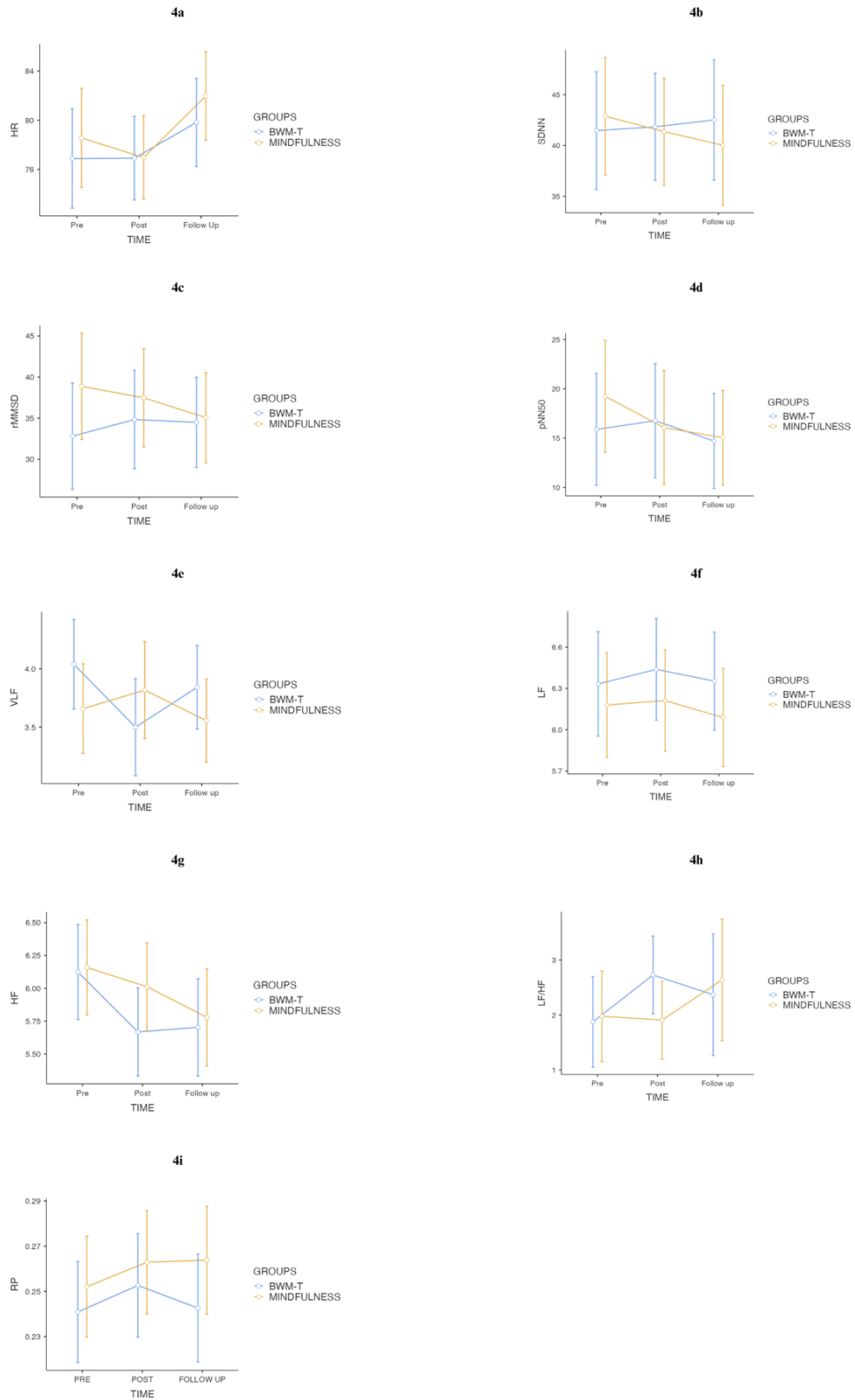


Tabella 6

Group	N	Age, M (SD)	Female, n (%)
BWM-T	34	27.35 (6.84)	20 (58.8)
Brief Mindfulness induction	34	25.94 (5.67)	27 (79.4)
Total	68	26.65 (6.28)	47 (69.1)

Tabella 7

Outcome	Group	Pre (T0)	Post (T1)	Follow-up (T2)
STAI-X1	BWM-T	38.0 ± 9.50	33.2 ± 11.1	35.2 ± 12.5
	Brief Mindfulness induction	37.4 ± 8.87	33.6 ± 9.32	34.5 ± 9.38
DT	BWM-T	3.35 ± 2.07	2.47 ± 1.85	2.76 ± 2.00
	Brief Mindfulness induction	3.91 ± 2.01	2.44 ± 1.83	2.59 ± 2.00
GSES	BWM-T	29.8 ± 4.86	32.4 ± 4.25	32.0 ± 5.23
	Brief Mindfulness induction	28.4 ± 4.33	30.8 ± 4.33	30.0 ± 4.35
HR	BWM-T	76.9 ± 9.90	76.9 ± 9.35	79.8 ± 9.56
	Brief Mindfulness induction	78.6 ± 13.4	77.0 ± 10.5	82.0 ± 11.3
SDNN	BWM-T	41.4 ± 15.8	41.4 ± 14.1	42.3 ± 17.7
	Brief Mindfulness induction	43.0 ± 18.0	41.8 ± 16.5	40.2 ± 16.8
rMSSD	BWM-T	32.8 ± 13.8	34.5 ± 15.8	34.9 ± 15.4
	Brief Mindfulness induction	38.9 ± 22.8	37.8 ± 19.0	34.7 ± 16.6
pNN50	BWM-T	16.0 ± 15.1	16.8 ± 17.5	14.8 ± 14.4
	Brief Mindfulness induction	19.1 ± 17.9	16.1 ± 16.3	15.0 ± 13.7
VLF	BWM-T	4.04 ± 1.15	3.50 ± 1.17	3.84 ± 1.05
	Brief Mindfulness induction	3.66 ± 1.09	3.82 ± 1.26	3.56 ± 1.03
LF	BWM-T	6.35 ± 1.02	6.31 ± 1.14	6.35 ± 1.01
	Brief Mindfulness induction	6.16 ± 1.19	6.23 ± 1.21	6.09 ± 1.07
HF	BWM-T	6.18 ± 1.02	5.69 ± 0.935	5.81 ± 0.995
	Brief Mindfulness induction	6.10 ± 1.09	5.99 ± 1.03	5.68 ± 1.16
LF/HF	BWM-T	1.75 ± 1.37	2.67 ± 2.24	2.15 ± 1.92
	Brief Mindfulness induction	2.11 ± 3.09	1.96 ± 1.90	2.86 ± 4.11
RP (Hz)	BWM-T	0.24 ± 0.05	0.25 ± 0.06	0.24 ± 0.26
	Brief Mindfulness induction	0.25 ± 0.07	0.26 ± 0.06	0.26 ± 0.07

Tabella 8

Outcome	Effect	F(df)	p-value	η^2p
STAI-X1	Time	F(2,132) = 15.88	< .001	.19
	Group	F(1, 66) = 0.04	.848	.00
	Time × Group	F(2, 132) = 0.61	.545	.01
DT	Time	F(2, 132) = 20.78	< .001	.24
	Group	F(1, 66) = 0.01	.924	.00
	Time × Group	F(2, 132) = 0.53	.589	.01
GSES	Time	F(2, 132) = 16.74	< .001	.20
	Group	F(1, 66) = 3.43	.69	.05
	Time × Group	F(2, 132) = 0.28	.755	.00
HR	Time	F(2,132) = 9.76	< .001	.13
	Group	F(1, 66) = 0.30	.586	.00
	Time × Group	F(2, 132) = 0.67	.515	.01
SDNN	Time	F(2, 132) = 0.14	.867	.00
	Group	F(1, 66) = 0.02	.883	.00
	Time × Group	F(2, 132) = 0.64	.527	.01
rMSSD	Time	F(2, 132) = 0.29	.750	.00
	Group	F(1, 66) = 0.72	.398	.01
	Time × Group	F(2, 132) = 1.06	.348	.02
pNN50	Time	F(2, 132) = 1.29	.279	.02
	Group	F(1, 66) = 0.09	.765	.00
	Time × Group	F(2, 132) = 0.79	.455	.01
VLF	Time	F(2, 132) = 3.36	.038	.05
	Group	F(1, 66) = 0.94	.393	.01
	Time × Group	F(2, 132) = 0.29	.593	.00
LF	Time	F(2, 132) = 0.34	.693	.01
	Group	F(1, 66) = 1.01	.319	.02
	Time × Group	F(2, 132) = 0.10	.890	.00
HF	Time	F(2, 132) = 0.34	.693	.01
	Group	F(1, 66) = 0.54	.466	.01
	Time × Group	F(2, 132) = 0.10	.890	.00
LF/HF	Time	F(2, 132) = 2.15	.121	.03
	Group	F(1, 66) = 0.09	.772	.00
	Time × Group	F(2, 132) = 0.94	.394	.01
RP	Time	F(2, 132) = 1.72	.184	.03
	Group	F(1, 66) = 0.94	.337	.01
	Time × Group	F(2, 132) = 0.48	.618	.01

Tabella 9

Outcome	Group	Comparison	t(33)	p
VLF	BWM-T	T0 – T1	2.38	.023
VLF	BWM-T	T0 – T2	0.75	.461
VLF	BWM-T	T1 – T2	-1.39	.174
VLF	Brief Mindfulness induction	T0 – T1	-1.20	.238
VLF	Brief Mindfulness induction	T0 – T2	0.61	.547
VLF	Brief Mindfulness induction	T1 – T2	1.55	.130

Tabella 10

Variable	Experimental M (SD)	Control M (SD)
Psychological		
STAI-X1	32.6 (6.96)	31.3 (7.16)
CISS-TOC	22.6 (3.63)	21.1 (3.33)
CISS-EOC	23.9 (2.91)	21.5 (3.50)
CISS-AOC	21.0 (3.57)	17.8 (5.31)
Physiological		
SDNN (ms)	53.5 (12.1)	51.9 (11.8)
rMSSD (ms)	45.8 (10.3)	44.2 (9.8)
pNN50 (%)	12.4 (4.2)	11.8 (4.0)
LF (ms ²)	2.10 (0.32)	2.05 (0.29)
HF (ms ²)	1.95 (0.28)	1.88 (0.27)
LF/HF ratio	1.35 (0.41)	1.30 (0.38)

Tabella 11

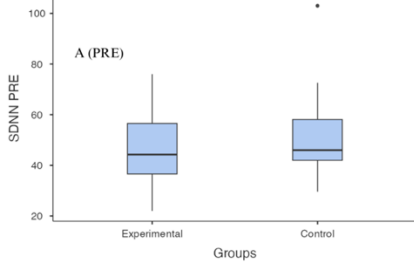
Variable	Effect	df	F	p	η^2p
SDNN	Time	(3,63)	8.423	<.001	.29
	Group	(1,21)	2.49	.130	.11
	Time × Group	(3,63)	0.993	.402	.04
rMSSD	Time	(3,63)	8.423	<.001	.28
	Group	(1,21)	0.679	.419	.03
	Time × Group	(3,63)	0.993	.402	.04
pNN50	Time	(3,63)	5.17	.003	.20
	Group	(1,21)	0.0375	.848	.00
	Time × Group	(3,63)	1.34	.268	.05
VLF	Time	(3,63)	0.495	.687	.00
	Group	(1,21)	0.654	.428	.03
	Time × Group	(3,63)	1.466	.232	.06
LF	Time	(3,63)	39.098	<.001	.65
	Group	(1,21)	2.08	.164	.09
	Time × Group	(3,63)	0.272	.846	.01
HF	Time	(3,63)	20.71	<.001	.50
	Group	(1,21)	0.174	.680	.01
	Time × Group	(3,63)	1.68	.181	.07
LF/HF	Time	(3,63)	1.70	.175	.07
	Group	(1,21)	0.00648	.937	.00
	Time × Group	(3,63)	1.24	.302	.05

Tabella 12

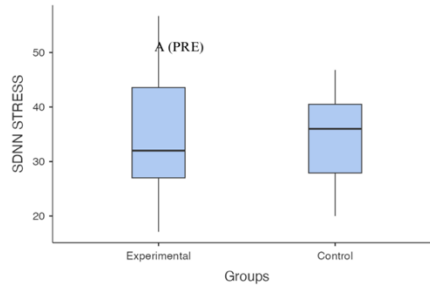
Variable	Effect	df	F	p	η^2p
STAI	Time	(1,21)	0.175	.680	.01
	Group	(1,21)	0.947	.342	.04
	Time × Group	(1,21)	6.602	.018	.24
CISS-TOC	Time	(1,21)	0.445	.512	.02
	Group	(1,21)	0.958	.339	.04
	Time × Group	(1,21)	0.183	.673	.01
CISS-EOC	Time	(1,21)	0.0004	.984	.00
	Group	(1,21)	1.66	.211	.07
	Time × Group	(1,21)	1.73	.203	.07
CISS-AOC	Time	(1,21)	0.576	.456	.03
	Group	(1,21)	3.90	.062	.16
	Time × Group	(1,21)	0.003	.959	.00

Figura 9

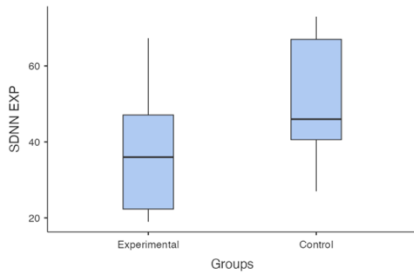
A (PRE)



B (EXP)



C (STRESS)



D (POST)

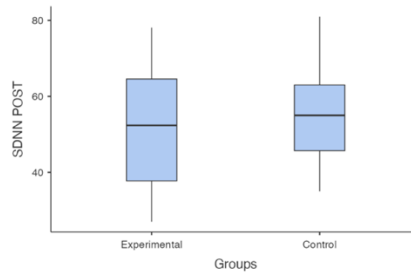
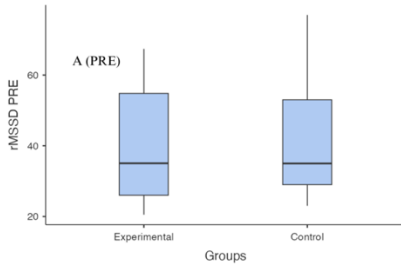
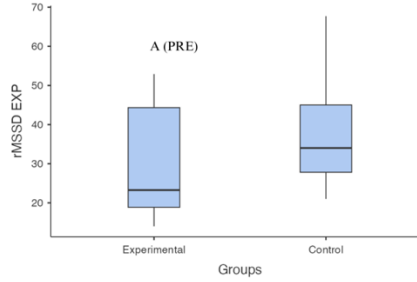


Figura 10

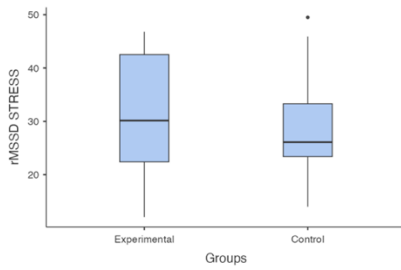
A (PRE)



B (EXP)



C (STRESS)



D (POST)

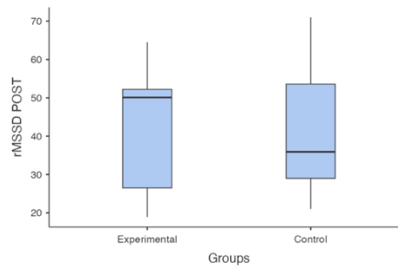


Figura 11

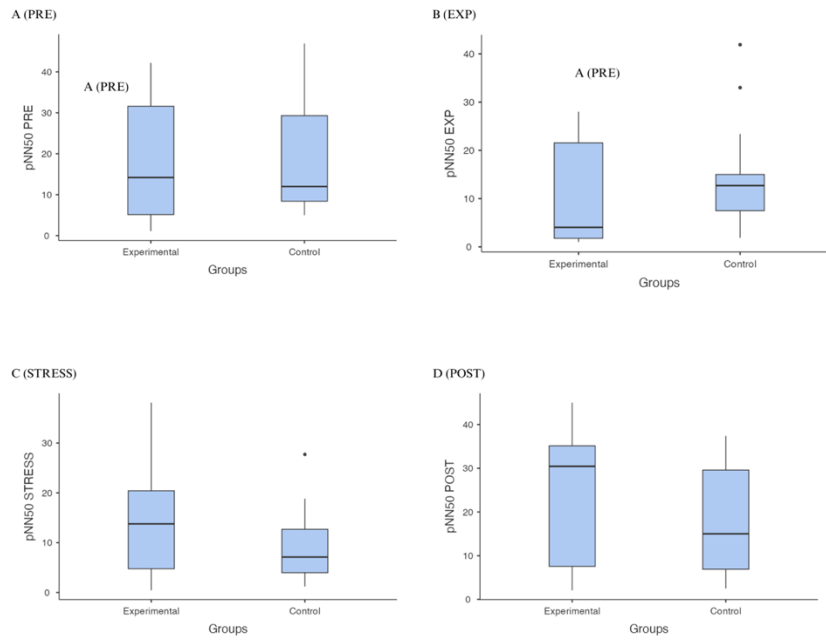


Figura 12

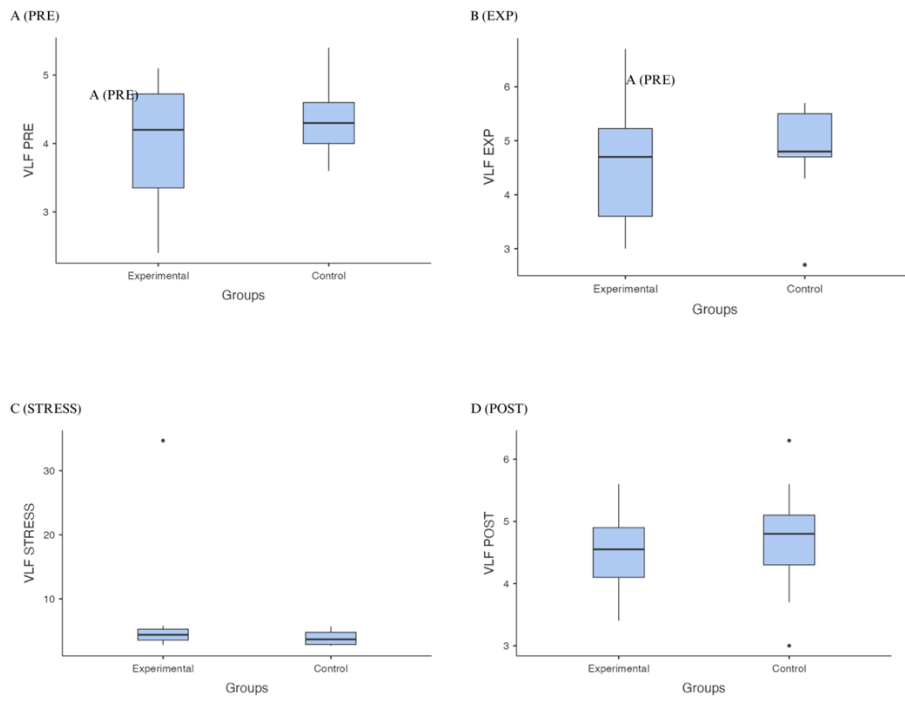


Figure 13

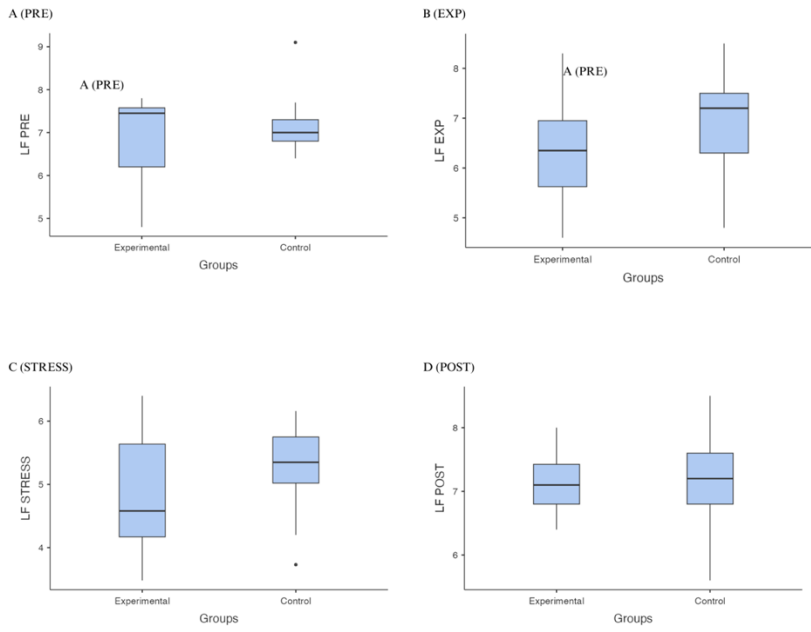


Figure 14

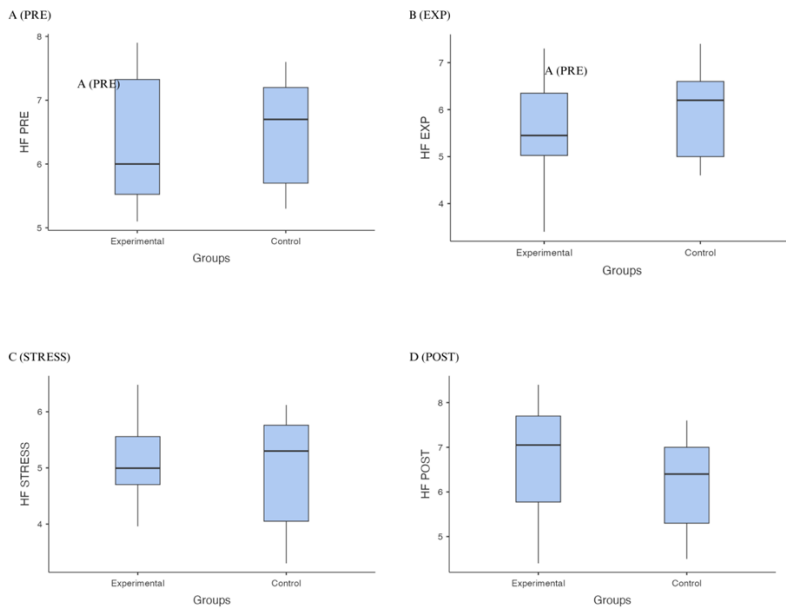


Figure 15

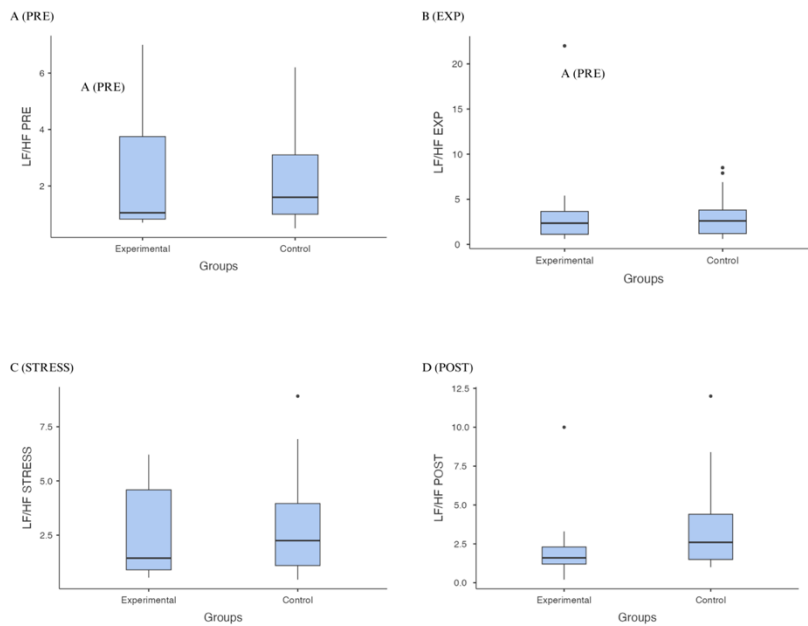


Figure 16

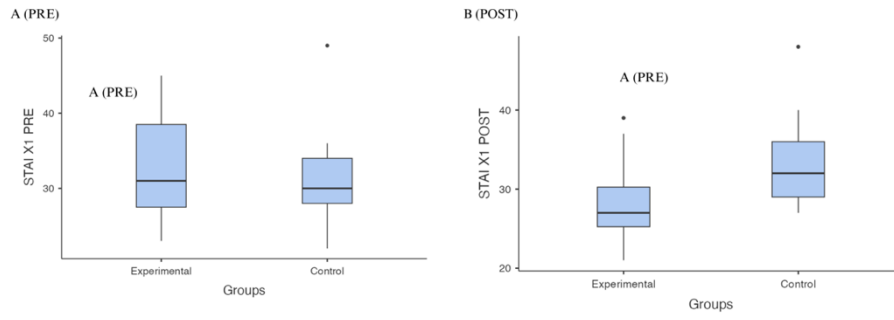


Figure 17

