

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione

Corso di laurea triennale in Scienze e Tecniche Psicologiche (L5)

Tesi di Laurea Triennale

Enterocezione e processi decisionali: come la percezione del proprio corpo influenza le nostre scelte.

Relatore:

Prof.ssa Sessa Paola

Università degli Studi di Padova

Laureando:

Benozzo Stefano

Matricola 1123567

Anno Accademico: 2022 – 2023

Un grazie di cuore a Simone che, con la sua pazienza, mi incoraggia,
sOpporta e sUpporta ormai da diversi anni...

“L’ambizione è creare il proprio posto nel mondo”.

Indice

INTRODUZIONE	3
PERCEZIONE ED ENTEROCEZIONE	3
1. REGOLAZIONE ENTEROCETTIVA	7
1.1. I LIVELLI DI ENTEROCEZIONE	7
1.2. TECNICHE DI CONTROLLO ENTEROCETTIVO	11
1.3. ENTEROCEZIONE ED EMOZIONI	12
1.4. ENTEROCEZIONE E ALLOSTASI	15
2. IL CERVELLO PREDITTIVO	17
2.1. MODELLO DI BARBAS	18
2.2. TEORIA DELL'“EMOZIONE COSTRUITA”	22
2.3. <i>DEGENERACY</i> E PREDIZIONI	26
3. ENTEROCEZIONE E PROCESSI DECISIONALI	29
3.1. TEORIE NORMATIVE E TEORIE DESCRITTIVE	30
3.2. L'IPOTESI DEL “MARCATORE SOMATICO”	32
3.3. ENTEROCEZIONE E DECISIONI INTUITIVE	34
3.4. ENTEROCEZIONE E DECISIONI RISCHIOSE	37
3.5. AROUSAL CARDIACO E AVVERSIONE AL RISCHIO	40
CONCLUSIONI	42
LA “COSTRUZIONE” DELLA PROPRIA PERCEZIONE	42
BIBLIOGRAFIA	44

Introduzione

Percezione ed enterocezione

La percezione è uno dei processi cognitivi fondamentali dell'essere umano e consiste nell'interpretazione sensoriale dell'ambiente circostante. In psicologia, viene studiata per comprendere come le persone elaborano le informazioni provenienti dai loro sensi e le trasformano in esperienze significative. Può essere influenzata da diversi fattori, tra cui le caratteristiche fisiche degli stimoli sensoriali, le aspettative, le emozioni e l'esperienza individuale. Per esempio, due persone possono percepire lo stesso oggetto in modo diverso, a seconda della loro esperienza pregressa e delle aspettative che hanno su quell'oggetto.

Le teorie classiche della percezione sostengono che il cervello elabora le informazioni sensoriali in modo lineare, attraverso un processo di elaborazione *bottom-up* che parte dai dati sensoriali per arrivare a una rappresentazione mentale dell'oggetto o dell'evento che viene percepito. Tuttavia, negli ultimi decenni, molte ricerche hanno evidenziato che essa è influenzata anche da processi di elaborazione *top-down*, ovvero dalla conoscenza pregressa e dalle aspettative dell'individuo. Non parliamo, infatti, di un processo isolato, ma strettamente legato ad altre attività cognitive, come l'attenzione, la memoria e il linguaggio.

La percezione può essere studiata attraverso diverse metodologie, tra cui la psicofisica, che si basa sulla misurazione della soglia di rilevazione dei diversi stimoli sensoriali, o la psicologia della forma, che si concentra invece sulla percezione delle figure geometriche e dei contorni. Grazie agli studi sulle neuroscienze si possono anche utilizzare tecniche di *neuroimaging*, come la risonanza magnetica funzionale (fMRI), che consente di osservare l'attivazione cerebrale durante il processo di elaborazione dell'ambiente circostante. La percezione, quindi, è un processo complesso e dinamico, che svolge un ruolo fondamentale nella nostra esperienza del mondo.

Le caratteristiche principali che permettono all'uomo di avere esperienza di ciò che lo circonda sono gli organi di senso. Con il termine enterocezione

intendiamo la capacità di percepire gli stimoli esterni provenienti dall'ambiente che ci circonda con la raccolta di informazioni sensoriali attraverso i nostri organi di senso, come gli occhi, le orecchie, il naso, la pelle e la lingua. Questi esempi di organi di senso convertono gli stimoli ambientali in segnali nervosi che vengono trasmessi al cervello per l'elaborazione e l'interpretazione.

L'elaborazione delle informazioni sensoriali avviene attraverso il sistema nervoso centrale, che include il cervello, il midollo spinale e i nervi periferici. Il cervello riceve e integra le informazioni sensoriali dai nostri organi di senso per generare una rappresentazione completa dell'ambiente che ci circonda. Questa rappresentazione ci consente di comprendere e di interagire con il mondo esterno in modo efficace.

Per secoli la letteratura scientifica ha dibattuto sui vari apparati di senso, dando anche agli stessi un'importanza diversa. Per esempio, nel corso della storia l'olfatto è sempre stato un senso sottovalutato, fortemente legato all'istinto e alla parte più "animalesca" dell'uomo. Non a caso Aristotele lo considerava all'ultimo posto tra i sensi, e per Kant, nel diciottesimo secolo, era il meno utile alla conoscenza e il meno gratificante¹. Anche il gusto per molto tempo è stato sottovalutato, basti pensare all'atteggiamento dei cinici greci che riducevano l'alimentazione all'essenziale; al cristianesimo secondo cui l'eccesso di cibo equivale a dissolutezza e peccato; al noto illuminista Jean-Jacques Rousseau (1712-1778) e la sua critica alla gastronomia come critica al superfluo, all'inutile, al lusso.

Ultimamente si sta dando sempre più importanza a tutti gli organi sensoriali e la percezione viene considerata come un processo multisensoriale suddiviso in parti ugualmente significative. Tuttavia, non è ancora diffusa la consapevolezza che la percezione del mondo che ci circonda coinvolge anche processi di enterocezione, ovvero la capacità del nostro corpo di elaborare informazioni

¹ In *Critica della facoltà di giudizio* (1790), Immanuel Kant sostiene che l'olfatto sia un senso "inferiore" rispetto agli altri in quanto non consente all'uomo di distinguere le proprietà estetiche degli oggetti, o la loro relazione armonica. L'olfatto viene visto come un senso strettamente legato alle esigenze biologiche dell'organismo, utile solamente alla percezione di cibo o pericolo. Già in quest'opera, però, Kant sostenne che questo senso abbia una connessione diretta con l'immaginazione e la memoria.

interne, che permettono all'individuo di avere una comprensione più completa del mondo esterno.

Quest'ultima, infatti, è la capacità di percepire le sensazioni interne del nostro corpo e di usarle per regolare il nostro comportamento e le nostre risposte agli stimoli esterni. Questa capacità si basa sulla raccolta di informazioni sensoriali attraverso il sistema nervoso autonomo, che include i nervi che innervano gli organi interni, come lo stomaco, l'intestino, il fegato, il pancreas e il cuore. Questi organi di senso convertono gli stimoli interni, come la distensione gastrica, la contrazione intestinale, la secrezione di enzimi digestivi e la variazione del battito cardiaco, in segnali nervosi che vengono trasmessi al cervello per l'elaborazione e l'interpretazione.

L'elaborazione delle informazioni sensoriali interne avviene attraverso il sistema nervoso centrale, che include il cervello, il midollo spinale e i nervi periferici. Il cervello riceve e integra le informazioni sensoriali interne per generare una rappresentazione completa dello stato interno del nostro corpo. L'enterocezione inizialmente è stata classificata secondo due componenti, la ricezione dei segnali muscolari e articolari, chiamata propriocezione, e la ricezione dei segnali provenienti dagli organi interni, definita come viscerocezione (Herbert e Pollatos, 2012). Questa rappresentazione "interna" ci consente di comprendere e di regolare le funzioni fisiologiche, come per esempio:

- **la fame:** la sensazione di bisogno di assumere cibo, che si basa sulla concentrazione di diversi ormoni e sostanze chimiche nel sangue, come l'insulina, il glucagone, la grelina e la leptina;
- **la sete:** la sensazione di bisogno di assumere liquidi, che si basa sulla concentrazione di sodio nel sangue e sullo stato di idratazione dei tessuti;
- **la digestione:** percepire la pienezza gastrica e l'avanzamento del cibo nell'intestino, e di regolare la secrezione di enzimi digestivi e di bile per facilitare la digestione e l'assorbimento dei nutrienti;
- **la respirazione:** l'enterocezione ci consente di percepire la sensazione di mancanza d'aria e di regolare la frequenza e la profondità della respirazione per mantenere i livelli di ossigeno e di anidride carbonica nel sangue;

- **la circolazione:** l'enterocezione ci permette anche di percepire la pressione sanguigna e di regolare la frequenza cardiaca per mantenere un adeguato flusso sanguigno ai tessuti.

Oltre agli stati corporei, essa consente anche di distinguere i vari stati emotivi, come rabbia, felicità, tristezza, disgusto, paura, ecc. L'enterocezione pertanto è “un senso” indispensabile per la percezione corporea. Secondo la teoria di Craig, pubblicata nel 2002, le sensazioni interne sono percepite attraverso i recettori sensoriali interni, come quelli presenti nell'apparato gastrointestinale, nei polmoni e nel cuore e l'elaborazione delle informazioni sensoriali interne avviene attraverso un sistema di rappresentazione neurale che comprende diverse regioni cerebrali, tra cui l'insula, il cingolo anteriore e il lobo frontale. Queste regioni cerebrali sono coinvolte nell'elaborazione delle informazioni sensoriali interne e nella generazione di rappresentazioni corporee integrate.

L'importanza dell'enterocezione è dimostrata dal fatto che difficoltà in questo senso sono state correlate a disturbi di integrazione sensoriale, disturbi d'ansia, disturbo da stress post-traumatico, obesità, disturbi della condotta alimentare, ADHD, sindromi dello spettro autistico, depressione, sindrome di tourette, dipendenza dall'uso di alcool o droghe, e altre condizioni².

Questo processo, però, non permette solamente di “sentire” il proprio corpo o le proprie emozioni, ma svolge un ruolo chiave nella percezione dell'ambiente circostante, andando a modificare anche i comportamenti stessi o le scelte che vengono compiute. In questo lavoro esamineremo come l'enterocezione può modificare non solo la nostra percezione del mondo esterno ma anche il nostro comportamento, con un focus particolare sui processi decisionali.

² Esempi: uno studio del 2020 pubblicato sulla rivista *Frontiers in Psychiatry* ha esaminato il ruolo dell'enterocezione nella patogenesi del disturbo d'ansia generalizzato. I risultati hanno mostrato che la sensibilità dell'enterocezione era significativamente associata alla gravità dei sintomi di ansia e alla qualità della vita correlata alla salute mentale nei pazienti con disturbo d'ansia generalizzato; un altro studio pubblicato nel 2020 sulla rivista scientifica *Journal of Clinical Medicine* ha rilevato che i pazienti con sindrome di Tourette avevano una maggiore sensibilità ai segnali del tratto gastrointestinale rispetto ai pazienti senza il disturbo.

1.Regolazione enterocettiva

1.1. I livelli di enterocezione

Come abbiamo visto, il processo enterocettivo permette di conoscere sé stessi, ma anche di conoscere il mondo. L'associazione esterocezione ed enterocezione è fondamentale e produce un processo dinamico. L'ambiente viene modificato attraverso i comportamenti e lo stesso vale per il proprio corpo, che subisce – e agisce – il mondo esterno.

Per analizzare questo processo più nello specifico bisogna introdurre i concetti di accuratezza enterocettiva, sensibilità enterocettiva e consapevolezza enterocettiva. Infatti, questo processo può essere regolato in modo differente a seconda dei soggetti e può essere distinto in più livelli, dal più inconscio, al comportamento conscio, fino all'attribuzione metacognitiva. Di seguito i vari livelli analizzati partendo dal segnale più inconscio a quello più consapevole:

- **Segnale afferente:** un segnale totalmente inconscio e rappresenta la risposta del cervello allo stimolo enterocettivo. Si può misurare attraverso la quantità di energia a potenza che viene trasmessa attraverso il segnale elettrico. Un esempio di segnale biologico che può essere utilizzato per misurare la forza del segnale è il potenziale evocato da battiti cardiaci, definito anche come *heartbeat evoked potential*. Questo segnale è un'onda elettroencefalografica che viene generata dal cervello in risposta ai battiti cardiaci. Misurando la forza di questo segnale, è possibile determinare la capacità del cervello di percepire ed elaborare le informazioni legate ai battiti cardiaci. In generale, la forza del segnale è un parametro importante quando si lavora con dati elettrici o biologici, poiché può influire sulla precisione delle misurazioni. Per esempio, un segnale con una forza troppo debole potrebbe non essere rilevato o potrebbe essere soggetto a interferenze, mentre un segnale troppo forte potrebbe essere distorto o saturato.
- **Impatto pre conscio al segnale afferente:** è l'impatto che il segnale afferente ha sul nostro corpo e nel nostro cervello a livello inconscio. Si

può misurare attraverso il *degree of impact*, o grado di impatto, ossia la quantità di effetto che un determinato fattore o evento ha su un altro. Per esempio, la modulazione cardiaca della paura si riferisce alla risposta del sistema cardiovascolare a uno stato di paura. Il grado di impatto, in questo caso, si riferisce alla misura in cui questa risposta influisce sul corpo e sulla mente dell'individuo che sperimenta la paura. Il grado di impatto indica quindi l'intensità dell'effetto che un evento o un fattore ha sul sistema cardiovascolare, e quindi sulla paura che l'individuo sta sperimentando. Questo concetto è importante in molti contesti, come la ricerca medica, la psicologia e la fisiologia, dove è necessario comprendere l'entità dell'effetto che determinati stimoli hanno sul nostro corpo e sulla nostra mente.

- **Accuratezza enterocettiva:** è la capacità di percepire le sensazioni interne al proprio corpo in modo preciso e accurato. Parliamo pertanto di una performance oggettiva e conscia che viene rilevata attraverso alcuni test. Un esempio di test utilizzato è l'*heartbeat detection task*, o test di rilevamento dei battiti cardiaci. Questo test consiste nell'individuare la frequenza cardiaca di un individuo attraverso l'analisi dei segnali elettrici prodotti dal cuore durante il suo normale funzionamento, mediante l'utilizzo di un dispositivo di acquisizione del segnale cardiaco, come un elettrocardiogramma (ECG), che registra le variazioni di tensione generate dalle contrazioni del cuore. Durante il test viene chiesto al partecipante di percepire i propri battiti cardiaci e di segnalare quando li avverte, attraverso per esempio l'*heartbeat tracking* o l'*heartbeat tapping*. La performance in questo test dipende dalla capacità del partecipante di concentrarsi, di percepire le proprie sensazioni fisiche e di comunicare in modo accurato la propria esperienza.
- **Sensibilità enterocettiva:** rappresenta quanto il soggetto percepisce le sensazioni interne del proprio corpo, si tratta pertanto di una percezione soggettiva cosciente. Si può misurare attraverso dei report riportati dal partecipante stesso, per mezzo quindi di questionari individuali. Vengono utilizzati per esempio il MAIA e il BPQ, strumenti psicometrici utilizzati in psicologia per valutare rispettivamente la consapevolezza corporea e la

propensione alle emozioni positive e negative. Il questionario MAIA (*Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness*) è stato sviluppato per valutare la consapevolezza corporea, cioè la capacità di percepire e comprendere le sensazioni interne del proprio corpo, come ad esempio la respirazione, la frequenza cardiaca, la tensione muscolare e la fame. Il MAIA è composto da 32 item che valutano sei dimensioni dell'enterocezione: attenzione, preoccupazione, credenze negative, capacità di regolazione, fiducia e atteggiamento generale. Il questionario BPQ (*Brief Positive and Negative Affect Scale*), invece, è un questionario che valuta la propensione alle emozioni positive e negative. Il BPQ è composto da 10 item che valutano la frequenza delle emozioni positive, come la gioia, l'entusiasmo e la soddisfazione e negative, come la tristezza, la paura e la rabbia.

- **Consapevolezza enterocettiva:** è la consapevolezza metacognitiva dell'accuratezza enterocettiva. Può essere definita anche come "insight sulla performance", ossia la capacità di valutare l'abilità nell'attività enterocettiva e prevedere la capacità di eseguirla con successo. La corrispondenza tra la fiducia nella capacità di eseguire un'attività e l'effettiva abilità di farlo viene definita "corrispondenza fiducia-accuratezza". In altre parole, l'accuratezza si riferisce alla capacità di eseguire un'attività correttamente, mentre la fiducia si riferisce alla nostra percezione di quanta sicurezza abbiamo nella nostra abilità di eseguire l'attività correttamente. La corrispondenza tra queste due cose può essere usata per capire quanto si è bravi nell'autovalutare le capacità. Una bassa corrispondenza tra la fiducia e l'accuratezza può essere sintomo di un'eccessiva sicurezza o insicurezza delle capacità enterocettive.
- **Esecuzione e attribuzione metacognitiva:** è l'attribuzione che il soggetto dà al significato del segnale. Questa caratteristica si può distinguere in due processi, la modulazione dell'attenzione, mediante la quale la mente regola l'attenzione che si presta alle sensazioni corporee, e l'attribuzione dei segnali del corpo, ossia il modo in cui vengono attribuiti determinati stati emotivi o reazioni fisiche a specifici stimoli o eventi. Per esempio, si potrebbe attribuire la sensazione di battito cardiaco accelerato

a una situazione stressante o a un momento di forte emozione. Attraverso la regolazione dell'attenzione e l'attribuzione di queste sensazioni, il corpo attiva forme di auto-regolazione, inclusa la regolazione delle funzioni corporee e la regolazione emotiva.

La finalità dell'enterocezione è regolare l'omeostasi, il processo attraverso il quale l'organismo mantiene costanti le condizioni interne necessarie alla vita, tra cui la temperatura corporea, il livello di idratazione, la pressione sanguigna, i livelli di glucosio nel sangue e molti altri. Questo processo di regolazione avviene attraverso una serie di meccanismi di *feedback* negativo che controllano l'attività di molte funzioni fisiologiche.

Per esempio, la regolazione del glucosio nel sangue è uno dei processi più importanti dell'omeostasi. Quando i livelli di glucosio nel sangue aumentano, il pancreas rilascia insulina, un ormone che stimola l'assorbimento di glucosio dalle cellule e la sua conversione in glicogeno nel fegato e nei muscoli. In questo modo, i livelli di glucosio nel sangue vengono ridotti. D'altra parte, quando i livelli di glucosio nel sangue diminuiscono, il pancreas rilascia il glucagone, un ormone che stimola la conversione del glicogeno in glucosio e la sua liberazione nel sangue, aumentando così i livelli di glucosio.

Altri esempi di omeostasi includono la regolazione della temperatura corporea, che avviene attraverso il controllo dell'attività muscolare e della sudorazione, e la regolazione della pressione sanguigna, che avviene attraverso la regolazione dell'attività dei vasi sanguigni e del cuore.

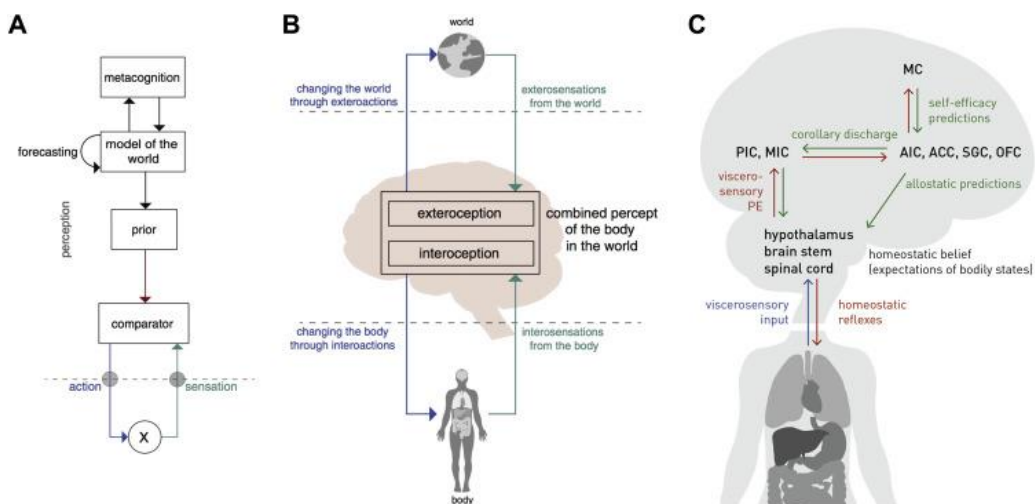


Figura 1 Processo di enterocezione

1.2. Tecniche di controllo enterocettivo

Le strategie per gestire le sensazioni provenienti dall'interno del corpo agiscono in modo diretto sulla modifica dei segnali sensoriali che provengono dall'interno del corpo stesso, aiutando in modo attivo l'aggiornamento dei modelli interni (Michielin, 2018). Questi trattamenti prevedono l'insegnamento al paziente di varie tecniche per favorire stati di rilassamento, come ad esempio il *training* autogeno (Schultz, 1959) e il rilassamento muscolare progressivo di Jacobson (Jacobsen, 1929).

Il *training* autogeno è una pratica di rilassamento utilizzata nelle terapie psicologiche per aiutare le persone a gestire lo stress e le emozioni (Michielin, 2018). Questa tecnica si basa sul principio di guidare l'individuo a concentrare la propria attenzione su diverse parti del proprio corpo, come i muscoli, l'addome o la testa, agendo su vari sistemi fisiologici per raggiungere uno stato di distensione fisica e mentale (Schultz, 1959). L'utilità del *training* autogeno risiede nel fatto che, dopo una fase di apprendimento iniziale, può essere eseguito in autonomia, aiutando a contrastare gli stati di ansia quando necessario. I meccanismi sottostanti l'efficacia di questa tecnica possono essere spiegati dalla *somatic error hypothesis*; infatti, quando l'individuo concentra la propria attenzione sulle sensazioni provenienti dal proprio corpo, i segnali sensoriali diventano più influenti nel guidare l'aggiornamento dei modelli interni (Paulus et al., 2019).

Il rilassamento muscolare progressivo di Jacobson (1929) è una tecnica che mira a insegnare all'individuo a riconoscere e indurre il rilassamento muscolare (Jacobson, 1929). In primo luogo, l'individuo deve sviluppare la capacità di percepire lo stato di tensione muscolare attraverso sequenze di contrazioni muscolari seguite da decontrazioni progressive in diversi distretti (Michielin, 2018; Jacobson, 1929). Ciò consente all'individuo di identificare gli stati di tensione muscolare e di agire su di essi. Questa tecnica si basa sul presupposto che i pazienti con disturbi d'ansia presentino spesso tensioni muscolari, che possono essere affrontate per ridurre lo stato ansioso (Jacobson, 1929; LeDoux, 2016), in linea con la visione enterocettiva dell'ansia. Dato che i modelli interni si basano sulle sensazioni corporee, migliorare queste ultime consente un aggiornamento

più accurato delle predizioni, riducendo gli errori somatici e gli stati d'ansia conseguenti (Khalsa e Feinstein, 2018).

Un'altra procedura è la *floatation-REST*, una tecnica terapeutica innovativa utilizzata per trattare l'ansia. Il suo principio cardine consiste nell'attenuare tutti i possibili stimoli esterocettivi per aumentare la consapevolezza enterocettiva. Questo avviene attraverso l'immersione supina del paziente in una piscina ricca di sali di Epsom, che sembrano promuovere il rilassamento muscolare. Con gli occhi chiusi, le orecchie immerse e la testa radente il livello dell'acqua, i segnali visivi, uditivi, olfattivi, gustativi, propriocettivi e gravitazionali vengono minimizzati per promuovere il rilassamento e il benessere. Studi preliminari hanno dimostrato che la *floatation-REST* può ridurre la sintomatologia ansiosa in pazienti con disturbo di ansia generalizzato cronico e diminuire i dolori muscolari tipicamente associati all'ansia. I meccanismi legati all'efficacia di questa tecnica sembrano essere l'aumento della consapevolezza enterocettiva e l'estinzione di condizionamenti negativi. Inibendo i segnali esterocettivi, si riduce la tensione muscolare e si promuove il rilassamento psicofisiologico, permettendo all'individuo di creare nuovi modelli/schemi associativi tra sensazioni somatiche e stati di rilassamento. Questo trattamento sembra quindi offrire le condizioni ottimali per l'aggiornamento efficace dei modelli interni³.

1.3. Enterocezione ed emozioni

L'enterocezione gioca un ruolo cruciale anche nella regolazione delle emozioni. La comunicazione bidirezionale tra il tratto gastrointestinale e il cervello attraverso il nervo vago offre un meccanismo attraverso il quale le sensazioni viscerali possono influenzare le esperienze emotive.

Questo nervo, noto anche come il decimo nervo cranico, è il principale mezzo di comunicazione tra il tratto gastrointestinale e il cervello. Esso si estende dal cervello attraverso il collo e il torace fino all'addome e trasmette i segnali neurali

³ Obada Al Zoubi, Masaya Misaki, Jerzy Bodurka, Rayus Kuplicki, Colleen Wohrab, William A. Schoenhals, Hazem H. Refai, Sahib S. Khalsa, Murray B. Stein, Martin P. Paulus, Justin S. Feinstein, *Taking the body off the mind: Decreased functional connectivity between somatomotor and default-mode networks following Floatation-REST* (2021)

tra l'intestino e il cervello, consentendo una comunicazione continua tra i due. Attraverso il vago, le sensazioni viscerali provenienti dal tratto gastrointestinale, come la distensione dello stomaco o l'attività intestinale, possono inviare segnali al cervello. Questi ultimi vengono poi interpretati e possono influenzare le esperienze emotive. Per esempio, se il tratto gastrointestinale è irritato o disfunzionale, questo può inviare segnali al cervello ed essere interpretati come disagio o dolore, influenzando così lo stato emotivo.

Allo stesso modo, le emozioni possono influenzare il tratto gastrointestinale attraverso il nervo stesso. Situazioni di stress o ansia possono innescare una risposta di "lotta o fuga" nel corpo, che coinvolge anche il tratto gastrointestinale. Questa risposta può causare cambiamenti nell'attività intestinale, come la contrazione o la riduzione della motilità, che possono manifestarsi come sintomi gastrointestinali durante periodi di stress emotivo.

Uno studio del 2016 pubblicato sulla rivista *NeuroImage* ha evidenziato una correlazione tra l'attività dell'enterocezione e le risposte emotive. I ricercatori hanno utilizzato l'*imaging* cerebrale per esaminare come le persone rispondono emotivamente a immagini positive e negative. Hanno scoperto che i partecipanti che erano più consapevoli delle sensazioni viscerali mostravano una maggiore attivazione nell'amigdala, coinvolta nelle risposte emotive, rispetto a quelli meno consapevoli.

La corteccia cingolata si occupa del coordinamento tra afferenze sensitive ed elaborazioni emozionali e, se stimolata, produce varie combinazioni di effetti vegetativi e somatici. Tra i primi troviamo alterazioni respiratorie e circolatorie, ovvero riduzione della frequenza respiratoria, cardiaca e della pressione arteriosa, o gastrointestinali e pupillari.

Esistono anche diversi studi più recenti, che via via stanno diventando sempre più importanti, sul collegamento tra il cervello e l'intestino. Essi si concentrano sulle complesse interazioni tra il sistema nervoso enterico (SNE) o "secondo cervello", che si trova nell'apparato digerente, e il sistema nervoso centrale (SNC), che comprende il cervello e il midollo spinale.

Il sistema nervoso enterico è una rete di neuroni che si estende lungo tutto il tratto gastrointestinale. Questo sistema svolge un ruolo cruciale nel controllo delle funzioni digestive, come la motilità intestinale e la secrezione di enzimi. È in grado di operare autonomamente, ma anche di comunicare con il sistema nervoso centrale attraverso una serie di segnali neurali, compreso il nervo vago, cruciale per la regolazione delle funzioni digestive e per la modulazione delle emozioni.

Gli studi sull'asse intestino-cervello hanno rilevato che le condizioni gastrointestinali, come la sindrome dell'intestino irritabile (IBS) e la malattia infiammatoria intestinale (IBD), possono influenzare lo stato emotivo delle persone. Ad esempio, il disagio fisico associato a queste condizioni può contribuire allo sviluppo di ansia e depressione. Ciò ha portato all'interesse per approcci terapeutici che tengono conto di questo collegamento, come la gestione della dieta e la terapia psicologica.

Anche la composizione del microbiota intestinale, ossia i batteri presenti nell'intestino, può influenzare sia la salute gastrointestinale che il benessere mentale. Gli studi hanno suggerito che la salute dei batteri intestinali può avere effetti a cascata sulla funzione cerebrale e sulle emozioni attraverso l'asse intestino-cervello. Essi sono, infatti, in costante comunicazione con il cervello attraverso il sistema nervoso enterico, il sistema immunitario e la produzione di molecole bioattive come i neurotrasmettitori. Questa comunicazione può influenzare il funzionamento del cervello e il sistema nervoso centrale.

Il microbiota intestinale può sintetizzare e rilasciare neurotrasmettitori, sostanze chimiche che trasmettono segnali tra le cellule nervose nel cervello. Per esempio, può produrre serotonina, il neurotrasmettitore legato al benessere e all'umore. Cambiamenti nella composizione del microbiota possono influenzare la produzione di questi neurotrasmettitori, che a loro volta possono condizionare il processo emotivo. Un microbiota equilibrato può aiutare a mantenere un sistema immunitario sano e a ridurre l'infiammazione cronica nell'organismo. Alcuni ceppi di batteri intestinali possono produrre sostanze che alterano direttamente il sistema nervoso e possono ridurre o aumentare la reattività allo stress⁴.

⁴ John Chulhoon Park, Sin-Hyeog Im, *The gut-immune-brain axis in neurodevelopment and neurological disorders*, Microbiome Res Rep (2022)

1.4. Enterocezione e allostasi

Un altro concetto da introdurre quando si parla di enterocezione è l'allostasi. Con questo termine intendiamo il processo attraverso il quale il corpo adatta la sua fisiologia per mantenere l'omeostasi in risposta alle sfide dell'ambiente esterno o ai cambiamenti interni. Il termine è stato coniato dallo psicologo John Schulkin nel 1996 e rappresenta un approccio dinamico alla regolazione del corpo rispetto alla più tradizionale idea di omeostasi, che si basa sulla stabilità statica. Può essere visto come il processo evolutivo che ha permesso ai mammiferi, compresi gli esseri umani, di adattarsi a una vasta gamma di ambienti e condizioni. È il risultato di milioni di anni di evoluzione e rappresenta un'importante capacità di sopravvivenza.

Mentre l'omeostasi si riferisce al processo che ha come obiettivo la regolazione delle condizioni interne per mantenerle il più possibile costanti, l'allostasi rappresenta un approccio dinamico alla regolazione, concentrandosi su un adattamento continuo del corpo alle sfide ambientali, alle richieste energetiche e agli stress, attraverso variazioni fisiologiche attive.

Quest'ultima è finalizzata a mantenere la stabilità interna ottimale del corpo in condizioni mutevoli. Questo significa che il corpo regola continuamente variabili come la temperatura corporea, la glicemia, la pressione sanguigna e altre funzioni vitali per adattarsi alle sfide ambientali, alle richieste energetiche e agli stress fisici e psicologici. Il processo coinvolge sia il sistema nervoso che il sistema endocrino (ormonale). Ad esempio, quando il corpo percepisce uno stress, il sistema nervoso simpatico può aumentare la frequenza cardiaca e la pressione sanguigna per far fronte alla situazione. Allo stesso tempo, il sistema endocrino può rilasciare ormoni come il cortisolo per aumentare i livelli di energia.

Sebbene l'allostasi sia fondamentale per l'adattamento, il suo funzionamento eccessivo o prolungato può avere un costo per la salute a lungo termine. Questo concetto è noto come "carico allostatico" e si riferisce all'accumulo di danni fisiologici derivanti dalla continua attivazione di risposte allostatiche. Esso può contribuire a problemi di salute come malattie cardiache, diabete, disturbi psicologici e altri disturbi cronici. Le persone differiscono nella loro capacità di

adattarsi alle sfide e di recuperare dall'attivazione allostatica. La resilienza è la capacità di una persona di recuperare rapidamente dopo uno stress e di tornare allo stato di omeostasi. La vulnerabilità, d'altra parte, indica una maggiore difficoltà nel ripristinare l'equilibrio dopo uno stress.

Il corpo cerca di regolare l'allostasi per minimizzare il proprio carico allostatico. Il processo coinvolge il controllo delle risposte allostatiche attraverso la regolazione dei livelli di ormoni, la modulazione delle risposte neurali e altre strategie per affrontare lo stress in modo efficace e senza causare danni eccessivi al corpo.

Le sensazioni viscerali percepite attraverso l'enterocezione possono influenzare l'allostasi. Per mantenere l'omeostasi, il corpo deve infatti valutare costantemente lo stato interno attraverso l'enterocezione e altre forme di segnalazione interna. L'enterocezione gioca un ruolo cruciale, per esempio, nella valutazione di come il tratto gastrointestinale sta funzionando e nell'invio di segnali al cervello riguardo allo stato dell'apparato digerente. Se una persona percepisce un disagio gastrointestinale, questo può attivare risposte allostatiche, come l'aumento dello stress o dell'ansia, in un tentativo del corpo di affrontare o mitigare il problema gastrointestinale.

L'interazione tra enterocezione e allostasi è complessa e riflette il modo in cui il corpo integra segnali interni per adattarsi a cambiamenti esterni ed interni. Questo processo può influenzare lo stato emotivo, la risposta allo stress e il benessere generale di una persona.

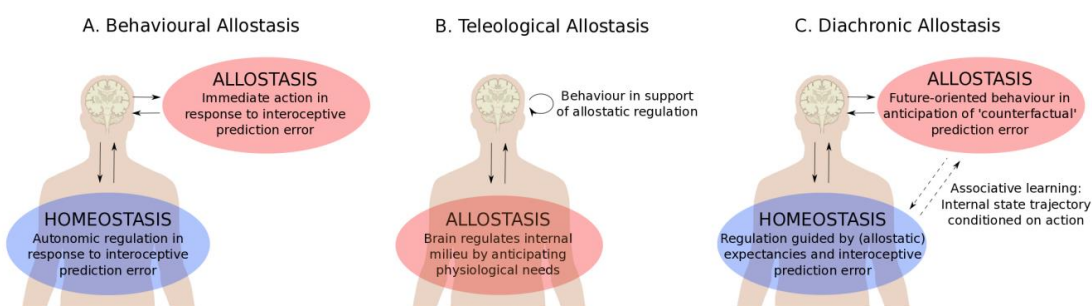


Figura 2 Riepilogo schematico delle principali distinzioni concettuali tra (A) approcci comportamentali, (B) teleologici e (C) diacronici alla regolazione allostatica

2. Il Cervello predittivo

Per molti decenni, nelle neuroscienze cognitive, il cervello è stato concepito come un organo reattivo, ossia composto da neuroni capaci di generare risposte esclusivamente in risposta agli stimoli che riceve. In questa visione del cervello, tutti i processi cognitivi fondamentali, come la percezione, il movimento e le emozioni, sono stati considerati come il risultato di un'elaborazione *bottom-up* dei segnali sensoriali che giungono al cervello. Inoltre, secondo questo approccio, il ruolo dell'apprendimento e dell'esperienza è stato visto come limitato alla semplice modulazione dei processi di elaborazione dei segnali, influenzando l'attività neurale elettrica principalmente guidata dagli stimoli in ingresso.

Tuttavia, negli ultimi anni, sempre più evidenze scientifiche hanno supportato una prospettiva "predittiva" del cervello, che rappresenta un cambiamento radicale rispetto ai paradigmi che concepiscono il funzionamento cerebrale in termini di stimolo e risposta. Questa nuova visione del cervello ridefinisce anche il ruolo cruciale dell'esperienza e dell'apprendimento (Barrett e Simmons, 2015; Clark, 2013; Friston, 2010).

L'idea che il cervello elabori le informazioni tramite meccanismi di predizione, noti come *predictive coding*, affonda le sue radici nelle intuizioni di Hermann von Helmholtz, medico, fisico e fisiologo tedesco del 1860. La sua teoria suggerisce che, per attribuire significato agli stimoli ambientali e costruire una rappresentazione interna della realtà, l'encefalo generi previsioni basate modelli interni, dinamicamente confrontate con gli stimoli sensoriali in ingresso, rivelando un "errore di previsione", ossia la discrepanza tra i segnali sensoriali e le previsioni.

Nel contesto del "cervello predittivo", l'errore di previsione assume un ruolo cruciale. La sua diffusione attraverso la corteccia cerebrale regola le previsioni per ridurre la discrepanza con il segnale in ingresso, facilitando l'aggiornamento dei modelli interni. Questo processo migliora l'efficienza nel prevedere eventi, attribuire loro significato e mobilitare risorse per adattarsi e sopravvivere. L'importanza della costruzione e dell'aggiornamento dei modelli nel rappresentare il mondo circostante è sottolineata dal fenomeno della "cecità esperienziale", descritto da Barrett nel 2016.

Sono numerosi gli indizi che confermano l'importante interazione tra reti neurali nella creazione e nell'assegnazione di significato. In questa prospettiva, la ricerca nel campo delle neuroscienze si è concentrata sull'indagine dei correlati neuroanatomici e neurofisiologici del processo di *predictive coding* al fine di comprendere come i segnali vengano elaborati all'interno della struttura gerarchica del cervello (Barbas, 2015; Barbas e Rempel-Clower, 1997; Clark, 2013; Friston, 2010).

2.1. Modello di Barbas

Le basi neurali del *predictive coding* sono ben spiegate nel modello delle connessioni cortico-corticali di Barbas (2015). Questo modello è stato sviluppato dalla neuroscienziata Patricia S. Goldman-Rakic e dai suoi collaboratori, inclusa Helen Barbas, e ha contribuito in modo significativo alla nostra comprensione delle connessioni cortico-corticali nel cervello umano e in quello di altri primati.

Il modello di Barbas identifica diverse classi di connessioni cortico-corticali e fornisce una mappa delle principali vie di comunicazione tra le diverse regioni della corteccia cerebrale. Queste connessioni possono essere suddivise in quattro categorie principali:

1. **Connessioni *feedforward* (inoltrate):** connessioni che trasmettono informazioni da regioni corticali inferiori a regioni corticali superiori. Sono responsabili di portare informazioni sensoriali dai primi stadi di elaborazione sensoriale alle regioni che eseguono elaborazioni cognitive più complesse. Per esempio, quando vediamo un oggetto, le informazioni visive vengono inoltrate dalle regioni visive primarie a quelle coinvolte nella percezione e nel riconoscimento degli oggetti.
2. **Connessioni *feedback* (di ritorno):** connessioni che trasportano informazioni dalle regioni superiori a quelle inferiori, completando un ciclo di *feedback*. Sono importanti per la regolazione e il controllo delle informazioni in arrivo. Per esempio, durante il processo di riconoscimento di un oggetto, le regioni superiori possono inviare

segnali alle regioni inferiori per modulare l'elaborazione delle informazioni.

3. **Conessioni laterali (orizzontali):** connessioni che collegano regioni corticali adiacenti o vicine all'interno della stessa lamina corticale. Sono importanti per il rafforzamento delle rappresentazioni neurali e per il coordinamento delle attività corticali locali. Queste connessioni possono facilitare la cooperazione tra regioni corticali che lavorano insieme per eseguire compiti specifici.
4. **Conessioni associative a lungo raggio:** connessioni che collegano regioni corticali distanti tra loro, spesso attraverso fasci di fibre neuronali noti come fasce associative. Queste connessioni sono cruciali per l'integrazione di informazioni provenienti da diverse parti del cervello e per supportare funzioni cognitive complesse, come il pensiero astratto e la pianificazione.

Il modello di Barbas sottolinea l'importanza delle connessioni cortico-corticali nella costruzione e nell'elaborazione delle informazioni neurali. Queste connessioni consentono al cervello di coordinare attività neurali in diverse regioni per eseguire compiti complessi e per integrare informazioni provenienti da diverse fonti sensoriali. Un aspetto fondamentale di questo modello è l'idea che le connessioni cortico-corticali non siano statiche, ma dinamiche e modulabili in risposta alle esigenze cognitive. Questo significa che il cervello può adattare le sue connessioni in base alle circostanze e all'apprendimento, consentendo una maggiore flessibilità nell'elaborazione delle informazioni.

Le previsioni sembra abbiano origine dalle regioni corticali con una struttura laminare meno sviluppata, conosciute come "agranulari", e si dirigano verso le regioni corticali con una maggiore differenziazione degli strati, chiamate "granulari" e "disgranulari". Le regioni con una struttura agranulare presentano una caratteristica citoarchitettura, in cui manca lo strato IV e gli strati superficiali II e III sono poco differenziati tra di loro.

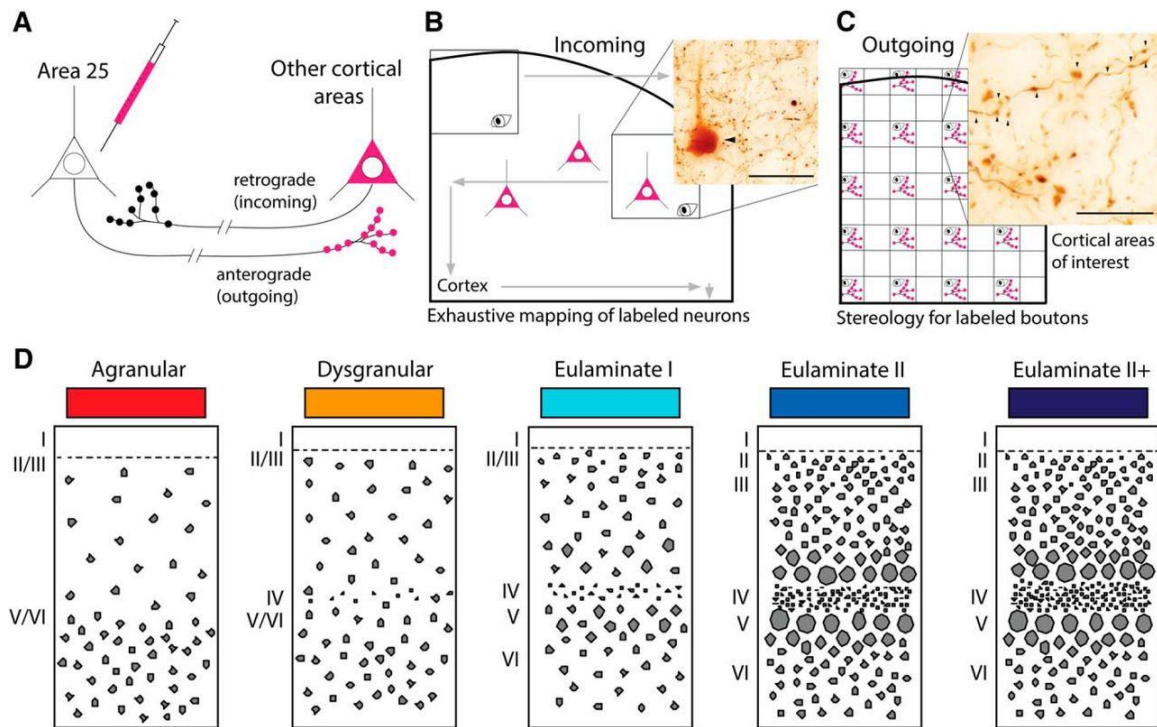


Figura 3 Differenza tra le varie regioni corticali analizzate da Barbas

Questa configurazione consente loro di inviare informazioni sotto forma di previsioni ma non di riceverle. Al contrario, le regioni con una struttura granulare possiedono sei strati laminari chiaramente differenziati e possono ricevere previsioni ma non inviarle. Le regioni disgranulari, invece, si collocano a metà strada tra queste due categorie, con una citoarchitettura che si trova tra quella delle regioni "agranulari" e "granulari". Anche se conservano tutti e sei gli strati corticali differenziati, lo strato IV è più sottile e meno sviluppato.

Un'analisi della circolazione delle informazioni all'interno dei diversi strati corticali rivela un percorso distintivo, dove le previsioni hanno origine negli strati più profondi (V e VI) delle cortecce agranulari e vengono poi proiettate nei livelli superficiali (I, II e III) delle regioni granulari, soprattutto nelle cortecce sensoriali primarie e nelle regioni disgranulari. Questi strati fungono da luogo in cui le previsioni esercitano un controllo sull'attività neurale, anticipando gli input sensoriali provenienti dal talamo. In tal modo, il cervello si impegna in un processo di elaborazione degli stimoli guidato dalle previsioni originarie delle cortecce agranulari, consentendo la formazione di una rappresentazione interna dello stimolo.

Anche il segnale sensoriale può influenzare la previsione tramite il meccanismo di propagazione dell'errore. All'interno degli strati I, II e III delle cortecce sensoriali (e, in misura minore, delle regioni disgranulari), vi sono neuroni specializzati nell'analizzare la discrepanza tra la previsione e il segnale in arrivo (Barrett e Simmons, 2015). Quando il segnale concorda con la previsione, non si verifica alcun errore, e di conseguenza, la rappresentazione interna (e la previsione stessa) rimane invariata. Al contrario, se c'è una discrepanza tra la previsione e il segnale, si genera un errore di previsione. Secondo i principi del *predictive coding*, la minimizzazione di questo errore è un processo fondamentale per consentire all'intero modello interno di adattarsi e di generare previsioni sempre più accurate per formulare una risposta adeguata e dare significato agli eventi (Clark, 2013; Friston, 2010).

La minimizzazione dell'errore può essere realizzata attraverso due modalità (Seth, 2013). La prima prevede che l'errore di previsione si propaghi "all'indietro", ovvero in senso contrario al flusso delle informazioni (dalle regioni più complesse a quelle meno complesse), influenzando le previsioni nelle regioni corticali coinvolte nel sistema limbico, come l'ippocampo, l'amigdala, il talamo e la corteccia orbitofrontale. La seconda modalità attraverso cui è possibile minimizzare l'errore è tramite l'azione stessa del soggetto. Infatti, i segnali sensoriali provenienti dalle regioni talamiche possono subire influenze attraverso i movimenti corporei nell'ambiente circostante, modificando così la percezione degli stimoli sensoriali. Questo processo viene attuato nel cervello mediante l'interazione tra le cortecce sensoriali primarie e le aree motorie primarie, conosciute come M1.

Secondo Friston e i suoi colleghi (Shipp et al., 2013), la corteccia M1 presenta una struttura laminare agranulare, il che le consente di generare previsioni relative ai movimenti corporei che guidano le azioni motorie. Contemporaneamente, la corteccia M1 sembra inviare copie afferenti di tali previsioni alle cortecce sensoriali primarie, in modo da ottenere un *feedback* sulle conseguenze dei movimenti nell'ambiente circostante. Attraverso questo processo di *feedback*, espresso come errore di previsione, le previsioni riguardo i movimenti corporei nella corteccia M1 vengono adattate per tener conto delle percezioni riguardo all'ambiente esterno e interno.

Questi due processi di correzione dell'errore, che avvengono in modo continuo e simultaneo, sottolineano l'importanza dei meccanismi coinvolti e l'integrazione dinamica nell'elaborazione neurale tra diverse attività mentali. In questa prospettiva, la percezione e l'azione possono essere considerate come fasi interconnesse che condividono gli stessi meccanismi neurali, interagendo costantemente tra di loro (Seth, 2013). Il processo di costruzione delle predizioni segue tre fasi ben definite:

1. Nella prima fase, conosciuta come **generazione della predizione**, il cervello confronta le informazioni sensoriali provenienti dall'ambiente interno (enterocezione) e dall'ambiente circostante con i modelli di esperienza precedentemente memorizzati all'interno della struttura gerarchica della corteccia cerebrale.
2. Nell'**implementazione della predizione**, il cervello assegna significato alle variazioni osservate nei diversi sistemi fisiologici, in relazione all'informazione proveniente dalle enterocezioni. In questa fase, vengono elaborati i programmi d'azione più appropriati per affrontare gli eventi imminenti.
3. Nell'ultima fase, denominata **aggiornamento della predizione**, le predizioni e i piani d'azione correlati vengono confrontati con i segnali sensoriali in arrivo. Qualora si riscontri una discrepanza tra le previsioni e l'input sensoriale, si genera un errore di previsione, che si propaga attraverso i diversi strati laminari della corteccia cerebrale, consentendo al modello interno di essere aggiornato e migliorato. Questa correzione permette al cervello di rappresentare in modo più efficace situazioni simili in futuro.

2.2. Teoria dell'“emozione costruita”

Il modello di Barbas dimostra come il nostro cervello non elabora il mondo per come è realmente, ma continua a creare predizioni di quello che potrebbe essere, costruendo ciò che percepiamo. Anche la teoria dell'“emozione costruita”

di Lisa Feldman Barrett è fondamentale nella spiegazione del rapporto tra cervello predittivo e rappresentazione delle emozioni.

Invece di considerare le emozioni come fenomeni predefiniti e facilmente riconoscibili, questa teoria sostiene che le emozioni siano costruite attivamente dal cervello in risposta a una vasta gamma di fattori, compresi i segnali sensoriali, le percezioni enterocettive, le esperienze passate, gli aspetti socio-culturali e le interpretazioni cognitive. La teoria di Barrett offre un nuovo modo di comprendere le emozioni umane, mettendo in evidenza la loro complessità, flessibilità e varietà individuale.

Uno dei concetti chiave della teoria dell'“emozione costruita” è che le emozioni non esistono come entità predefinite nel cervello, ma sono piuttosto costruite attraverso processi neurali complessi. Questo significa che le emozioni non sono elaborazioni reali, ma piuttosto il risultato di come il cervello interpreta e attribuisce significato a una serie di segnali neurali e sensoriali. Le emozioni pertanto sono il prodotto di un'elaborazione cerebrale attiva. Parallelamente, le sensazioni fisiche, come il battito cardiaco accelerato, la sudorazione o la tensione muscolare, giocano un ruolo cruciale nella costruzione delle emozioni. Il cervello interpreta queste sensazioni come parte integrante dell'esperienza emotiva. Per esempio, la sensazione di un cuore che batte velocemente può essere interpretata come paura o eccitazione a seconda del contesto.

Il cervello elabora costantemente segnali sensoriali provenienti dall'ambiente circostante, che, insieme alle sensazioni corporee, vengono utilizzati per creare un'esperienza emotiva. Inoltre, le aspettative culturali e sociali giocano un ruolo significativo nella costruzione delle emozioni. Le norme sociali e culturali influenzano come le persone interpretano ed esprimono le emozioni. Ciò significa che ci sono differenze culturali nelle modalità di espressione emotiva e nell'interpretazione degli stati emotivi.

Anche le esperienze emotive passate influenzano la costruzione delle emozioni attuali. Le persone utilizzano le loro esperienze precedenti per interpretare e dare significato alle emozioni che stanno vivendo. Gli aspetti cognitivi, come le interpretazioni cognitive e le rappresentazioni mentali, sono parte

integrante del processo di costruzione emotiva. Le persone attribuiscono significato alle loro esperienze emotive attraverso processi di pensiero complessi.

Contrariamente alla credenza comune che esistano espressioni facciali innate che corrispondono a emozioni specifiche (per esempio, un sorriso per la felicità o una fronte corrugata per la rabbia)⁵, Barrett suggerisce che le espressioni facciali siano altamente influenzate dal contesto e dalla cultura. Le persone possono modulare le loro espressioni facciali in base alle aspettative sociali e culturali, e ciò può portare a una diversità di espressioni emotive.

Dato che l'organismo è costantemente immerso in un ambiente composto da una varietà di stimoli provenienti sia dall'ambiente esterno che da quello interno, la sua capacità di attribuire significato a tali stimoli e anticipare i bisogni metabolici diventa di cruciale importanza per lo sviluppo, la sopravvivenza e la crescita dell'individuo. Secondo il modello di Barrett questa abilità è supportata da meccanismi di base che sono condivisi da vari processi psicologici e che operano in conformità ai principi del *predictive coding*.

Secondo questo concetto, l'emozione, come qualsiasi altro processo mentale, si origina dal tentativo del cervello di interpretare e dare significato ai segnali sensoriali, e favorisce l'allostasi all'interno dell'organismo. Abbiamo già visto come questa regolazione può implicare l'allocazione di risorse metaboliche da un sistema all'altro per soddisfare le richieste fisiologiche, la previsione anticipata dei bisogni prima che l'organismo si trovi in situazioni problematiche o la preparazione dell'organismo a rispondere a eventi esterni.

Per garantire che questo processo avvenga in modo efficiente e funzionale, il cervello deve costruire modelli interni dei bisogni fisiologici dell'organismo. Quest'ultimi consentono al cervello di generare previsioni in anticipo. Nel processo di costruzione delle predizioni, pertanto, un elemento fondamentale è l'enterocezione, che rappresenta la raccolta di tutte le informazioni provenienti dall'organismo, tra cui gli organi, i tessuti, il sistema endocrino e immunitario. Attraverso questa percezione, il cervello è in grado di monitorare in tempo reale le modificazioni necessarie per mantenere l'allostasi. Inoltre, il processo enterocettivo

⁵ Secondo alcuni studi di Paul Ekman e Wallace V. Friesen le espressioni facciali avrebbero radici biologiche universali, che non necessitano quindi di essere apprese per manifestarsi.

consente al cervello di avere una rappresentazione dettagliata dello stato psicofisiologico dell'organismo.

Dall'interpretazione delle modificazioni corporee, emerge ciò che Lisa Feldman Barrett definisce come *affect*, che rappresenta la sensazione generale sperimentata dall'individuo in risposta ai cambiamenti somatici. Esso non va confuso con l'emozione in sé e si caratterizza attraverso due dimensioni fondamentali: la valenza e l'*arousal*. La valenza riguarda il grado di piacevolezza o spiacevolezza associato a una sensazione o esperienza, mentre l'*arousal* si riferisce al livello di attivazione energetica percepito dall'individuo in relazione a una data esperienza.

Secondo la teoria dell'emozione costruita di Barrett, questi due parametri rappresentano proprietà condivise con qualsiasi altro processo mentale che contribuisce a un cambiamento favorevole all'allostasi. Questa prospettiva si discosta nettamente dalla visione classica delle emozioni, che le considera categorie mentali distinte caratterizzate da specifici modelli di risposta psicofisiologica e comportamentale che le differenziano l'una dall'altra.

La teoria dell'"emozione costruita" si basa su principi dell'approccio costruttivista allo studio delle emozioni, incorporando concetti provenienti da diverse aree. Dalla prospettiva socio-costruttivista, si riconosce il ruolo centrale della cultura e del linguaggio nella modulazione dell'esperienza emotiva. Dal punto di vista neuro-costruttivista, troviamo l'importanza dell'idea che l'esperienza contribuisca a modellare la morfologia e la fisiologia cerebrale, oltre all'ereditarietà genetica. Infine, dal costruttivismo psicologico, prende l'idea chiave che emozioni, percezioni, pensieri e azioni si sviluppino attraverso l'interazione di meccanismi di base e reti neurali diffuse con funzioni dominio-general.

La teoria di Barret, inoltre, sottolinea l'importanza di due reti neurali distribuite: il *default mode network* (DMN) e il *salience network*, strettamente coinvolti nella creazione dei modelli interni, dell'enterocezione e dell'allostasi. Il DMN è responsabile dell'avvio della cascata di attivazioni neurali, che permette l'attribuzione di significato agli input sensoriali in arrivo e la pianificazione di azioni appropriate. Il *salience network*, invece, facilita l'aggiornamento dei modelli interni identificando gli errori di previsione più rilevanti dal punto di vista statistico, in

relazione all'allostasi. Un terzo sistema, noto come sistema di controllo e mediato dai circuiti fronto-parietali, mantiene attive le previsioni nel tempo, estendendo l'elaborazione e l'implementazione degli errori di previsione. In questo modo, favorisce l'attività delle previsioni congruenti con i segnali in ingresso e l'inibizione di quelle incongruenti.

La teoria dell'“emozione costruita” suggerisce che l'allostasi venga raggiunta attraverso la previsione dei segnali provenienti dall'ambiente interno e che sia supportata da processi di generazione, implementazione e aggiornamento continui. Questi processi consentono al cervello di dare significato ai segnali sensoriali e di pianificare efficacemente le risposte appropriate per affrontare gli eventi imminenti.

2.3. *Degeneracy* e previsioni

Per comprenderne le basi neurali implicate nell'“emozione costruita” è utile introdurre il concetto di *degeneracy*, ossia la capacità di un sistema complesso di utilizzare diverse strutture o elementi per svolgere la stessa funzione o ottenere lo stesso risultato. Questo meccanismo consente al cervello di rappresentare una vasta gamma di eventi, riorganizzando la sua struttura interna, migliorando la sua capacità di rappresentare eventi e di adattarsi all'ambiente in modo più efficace.

Nel contesto dello studio delle emozioni, secondo Barrett, il concetto di un'emozione, come ad esempio la felicità, può essere generato da diversi modelli di attivazione neurale. L'emozione, poiché è una parte essenziale del processo allostatico, non può essere concepita come una risposta discreta con pattern psicofisiologici e comportamentali rigidi, come suggerito dai paradigmi classici. Essa emerge in risposta ai bisogni fisiologici e si adatta alle richieste dell'ambiente circostante. Da ciò deduciamo che la rappresentazione interna di un'emozione può essere considerata come una categoria che la mente crea per raggruppare insieme tutte le previsioni relative all'allostasi che condividono somiglianze statistiche.

Un altro aspetto della teoria che deriva dal concetto di degeneracy è la concezione del cervello come un sistema dominio-generale. Il cervello ospita reti, chiamate core system, che contribuiscono alla realizzazione di vari processi psicologici. Un singolo core system può partecipare in operazioni di ragionamento, memoria, percezione e emozione. Il tradizionale concetto di modularità cerebrale, in cui ogni processo ha una corrispondenza uno-a-uno con una struttura neurale specifica, viene rivisto a favore di un modello dominio-generale.

L'interazione tra la rete DMN, il *salience network* e il sistema di controllo fronto-parietale costituisce un fondamentale processo di generazione, implementazione e aggiornamento delle previsioni. In particolare, la corteccia prefrontale ventro-mediale (vmPFC) e la corteccia cingolata posteriore (PCC), componenti della DMN, svolgono un ruolo cruciale nella fase di generazione delle previsioni. La vmPFC guida i segnali sensoriali ed enterocezioni provenienti dall'ambiente e dall'organismo verso strutture sottocorticali, tra cui l'ipotalamo, l'amigdala e la sostanza grigia periacqueduttale (PAG). Allo stesso tempo, la PCC contribuisce al richiamo di ricordi di esperienze passate attraverso le sue connessioni con il network ippocampo-parietale (Raichle, 2015).

La corteccia orbito-frontale e il lobo temporale sono coinvolti nell'analisi dei segnali enterocettivi, identificando stimoli rilevanti tra le molteplici informazioni in ingresso e integrandoli con i segnali provenienti dall'ambiente interno e dal sistema nervoso autonomo. Le previsioni generate dal cervello costituiscono la base per il processo di costruzione del significato e giocano un ruolo fondamentale nel mantenere l'allostasi. Queste previsioni rappresentano segnali elettrici prodotti dalle cortecce limbiche, che vengono proiettati verso le cortecce granulari, svolgendo un ruolo di filtro per i segnali sensoriali in arrivo. In questo modo, le previsioni consentono al cervello di anticipare i bisogni dei sistemi fisiologici e di formulare ipotesi sulle azioni necessarie per soddisfarli.

Parallelamente alla diffusione delle previsioni nelle diverse strutture corticali, i segnali sensoriali provenienti dall'organismo e dall'ambiente raggiungono il cervello. Attraverso il confronto tra questi due tipi di segnali, secondo i principi del *predictive coding*, viene calcolato l'errore di previsione, che consente di aggiornare i modelli interni correggendo le discrepanze. Le previsioni, inviate anche alla M1 e

alle aree sensoriali primarie, generano diversi errori di previsione durante il confronto con i segnali in arrivo, generando modifiche a livello motorio, visceromotorio e nella percezione sensoriale.

Secondo l'ipotesi di Barrett, l'amigdala comunica il grado di incertezza relativo alla previsione del prossimo stimolo, contribuendo così a regolare anticipatamente l'allostasi. Analogamente, l'errore segnalato dallo striato ventrale avverte la corteccia che un input sensoriale potrebbe avere un impatto maggiore sull'allostasi rispetto a quanto previsto. Infine, l'errore calcolato nel cervelletto gioca un ruolo cruciale nella modulazione delle risposte motorie e visceromotorie in relazione all'allostasi, tenendo conto delle esigenze fisiologiche dell'organismo attraverso le connessioni precedentemente delineate.

3. Enterocezione e processi decisionali

In questo capitolo analizzeremo come l'enterocezione, attraverso i processi di predizione, influenza i processi decisionali. Possiamo parlare di processo decisionale quando sussistono almeno queste tre caratteristiche principali:

- 1) si hanno almeno due scelte possibili;
- 2) si può prevedere un potenziale risultato di ciascuna scelta;
- 3) si può stimare in qualche misura il valore dei potenziali risultati.

I processi decisionali coinvolgono una vasta gamma di processi neurali complessi e interconnessi che si verificano nel cervello. Questi processi neurali sono ampiamente studiati nell'ambito delle neuroscienze cognitive e dell'analisi delle decisioni. La percezione delle informazioni provenienti dall'ambiente coinvolge l'attività di regioni del cervello come il lobo parietale e il lobo occipitale, che elaborano informazioni visive, uditive e tattili sensoriali. Anche la memoria a breve e lungo termine gioca un ruolo fondamentale nella raccolta e nell'accesso alle informazioni rilevanti per la decisione.

Il cervello elabora le informazioni percepite attraverso reti neurali complesse: il lobo frontale, coinvolto nell'elaborazione delle informazioni, nel riconoscimento di schemi e nell'allocazione dell'attenzione; Il nucleo accumbens e il sistema dopaminergico, coinvolti nella valutazione delle opzioni in termini di piacere e soddisfazione; il sistema limbico, coinvolto nell'elaborazione delle emozioni e nella generazione delle esperienze soggettive associate alle decisioni; etc.

Le emozioni, come abbiamo visto, possono influenzare notevolmente il processo decisionale. Inoltre, Il cervello è in grado di apprendere da esperienze passate e adattare i processi decisionali in base a risultati precedenti (vedi processo di previsione).

Secondo le teorie classiche esistono due approcci differenti nell'analisi del processo decisionale che possiamo identificare nelle teorie normative e teorie descrittive.

3.1. Teorie normative e teorie descrittive

Le teorie normative si concentrano su come le persone dovrebbero prendere decisioni in base a standard di razionalità. Queste teorie cercano di definire quale sia il modo “corretto” di prendere decisioni, spesso rifacendosi al concetto di utilità.

Sono un insieme di approcci che forniscono una struttura per definire come le decisioni dovrebbero essere prese in modo razionale ed efficiente, stabiliscono standard e principi ideali per il processo decisionale. Le teorie normative costituiscono un importante punto di riferimento per valutare il comportamento decisionale e identificare deviazioni dalla razionalità. Alcune famose teorie economiche classiche che appartengono a questa tipologia sono:

- **La teoria dell'utilità attesa (*Expected utility theory*):** il modello decisionale normativo più noto e ampiamente utilizzato. Secondo questa teoria le persone dovrebbero prendere decisioni razionali massimizzando l'utilità attesa, che tiene conto dei risultati possibili e delle probabilità associate a ciascun risultato. Una decisione razionale dovrebbe massimizzare il valore atteso, ponderando i guadagni e le perdite in base alle loro probabilità.
- **La teoria della massimizzazione del valore atteso (*Expected value maximization theory*):** si concentra specificamente sulla massimizzazione del valore monetario atteso. Le decisioni dovrebbero essere prese in modo che il valore atteso dei guadagni sia massimo, considerando le probabilità di ciascun risultato.
- **La teoria dell'approccio normativo (*Normative approach theory*):** si focalizza sulla presa di decisioni basata su criteri normativi o etici. Le decisioni dovrebbero essere prese alla luce di principi morali o etici che definiscono cosa è giusto o sbagliato.
- **La teoria della probabilità bayesiana (*Bayesian probability theory*):** basata sulla statistica bayesiana, consente di aggiornare le probabilità delle diverse opzioni in base alle nuove informazioni disponibili, migliorando così la qualità delle decisioni.

- **La teoria dell'ottimizzazione (*Optimization theory*):** questa teoria postula che le decisioni dovrebbero essere prese in modo da massimizzare un determinato obiettivo o criterio, come il profitto o l'utilità, in base alle informazioni disponibili.

Al contrario delle teorie normative, le teorie descrittive cercano di spiegare come le persone effettivamente prendono decisioni nella realtà, anziché come dovrebbero teoricamente prenderle in una modalità di decisione ideale e razionale.

Queste teorie forniscono una comprensione più realistica del comportamento umano nei processi decisionali, riconoscendo che le decisioni spesso deviano dalla razionalità perfetta e possono essere influenzate da bias cognitivi, emozioni, limiti di tempo e altre variabili psicologiche ed emotive. Di seguito alcune delle principali teorie descrittive delle decisioni:

- **La teoria della prospettiva (*Prospect theory*):** La *Prospect Theory* è una delle teorie descrittive più influenti sviluppate da Daniel Kahneman e Amos Tversky. Essa suggerisce che le persone valutino le decisioni in termini di guadagni e perdite relativamente a un punto di riferimento, anziché in termini di valore assoluto. Le persone sono più sensibili alle perdite che ai guadagni, e ciò può portare a comportamenti di evitamento del rischio quando si tratta di guadagni e a comportamenti più audaci quando si tratta di perdite.
- **La teoria delle euristiche e *bias* (*Heuristics and Biases*):** si basa sul lavoro di Kahneman e Tversky ed evidenzia come le persone spesso utilizzino euristiche⁶ per semplificare il processo decisionale. Ciò può portare a errori sistematici noti come *bias* cognitivi. Alcuni esempi includono l'ancoraggio, la conferma e l'ottimismo. Questa teoria è connessa alla Teoria della razionalità limitata di Herbert Simon.

⁶ Secondo Kahneman le euristiche sono regole generali che consentono di prendere decisioni rapide e convenienti in situazioni complesse, spesso basate su informazioni limitate o incerte. Il nostro cervello, per ottimizzare l'economia cognitiva utilizza "scorciatoie" di pensiero. Tuttavia, le euristiche possono portare a errori sistematici o distorsioni cognitive in alcune circostanze definite come *bias* cognitivi.

- **La teoria del comportamento del consumatore (*Consumer behavior theory*):** essa esplora come le emozioni, le aspettative, le influenze sociali e altre variabili influenzano le decisioni di acquisto dei consumatori.
- **La teoria del bilanciamento delle opzioni (*Option congruity theory*):** sostiene che le persone cercano di bilanciare le opzioni decisionali in modo da ridurre il conflitto e aumentare la coerenza tra le opzioni. Questo può portare a scelte basate su equilibrio e coerenza, piuttosto che sulla massimizzazione dell'utilità o sulla minimizzazione delle perdite.
- **La teoria della dissonanza cognitiva (*Cognitive dissonance theory*):** secondo cui le persone cercano di ridurre la discrepanza tra le loro convinzioni e le loro azioni. Quando si verificano conflitti cognitivi, le persone possono modificare le loro convinzioni o comportamenti per raggiungere una maggiore coerenza. Questo può influenzare le decisioni e il processo di giudizio.

Parallelamente a queste teorie analizzeremo la teoria formulata da Antonio Damasio, neuroscienziato e neurologo portoghese, che propone una spiegazione sulla base biologica del processo decisionale e dell'emozione umana.

3.2. L'ipotesi del “marcatore somatico”

L'ipotesi del "marcatore somatico" è una teoria sviluppata nel contesto della ricerca sulla neuroscienza cognitiva e ha avuto un impatto significativo sul nostro modo di comprendere il rapporto tra emozioni e decisioni. La teoria di Damasio parte dal presupposto che le emozioni svolgano un ruolo cruciale nei processi decisionali. Il neuroscienziato ha sottolineato che le emozioni non sono semplici epifenomeni psicologici, ma svolgono una funzione chiave nell'aiutare le persone a prendere decisioni razionali e adattive. Esse svolgono un vero e proprio ruolo di "marcatore somatico" che influenza e guida il processo decisionale.

Con il termine “marcatore somatico” intendiamo una rappresentazione fisica delle esperienze passate legate a situazioni simili. Queste rappresentazioni sono memorizzate nel cervello e sono associate a emozioni. Quando ci troviamo di fronte a una decisione, il cervello richiama questi marcatori somatici per influenzare il processo decisionale. Le emozioni, d'altra parte, svolgono un ruolo chiave nel processo decisionale, segnalando al cervello l'importanza e la rilevanza di una situazione o di un'opzione decisionale.

Quando una persona affronta una decisione, il cervello valuta automaticamente le possibili opzioni richiamando i marcatori somatici associati a esperienze passate simili. Le emozioni vengono coinvolte nel processo decisionale fornendo un *feedback* emotivo legato a ciascuna opzione. I marcatori somatici possono influenzare sia il processo di ragionamento che quello intuitivo. Ciò significa che le emozioni possono guidare le decisioni sia in modo conscio che inconscio.

Questa ipotesi è stata supportata da diverse ricerche empiriche condotte da Damasio e altri scienziati. Uno degli studi più noti coinvolgeva pazienti con lesioni cerebrali, in particolare nel lobo prefrontale, che è una parte chiave del cervello coinvolta nei processi decisionali. Questi pazienti mostravano difficoltà significative nel prendere decisioni anche nelle situazioni più semplici, nonostante avessero intatte le loro capacità intellettuali generali. Ciò ha portato a una comprensione più approfondita del ruolo del cervello nella generazione e nell'uso dei marcatori somatici nelle decisioni.

Nonostante il suo impatto significativo nella comprensione delle decisioni umane, l'ipotesi del “marcatore somatico” è stata oggetto di alcune critiche. Alcuni punti di discussione includono:

1. **Interpretazione delle emozioni:** la teoria assume che le emozioni siano rappresentate in modo uniforme e coerente nei “marcatori somatici”, tuttavia, l'interpretazione delle emozioni può variare notevolmente tra le persone.
2. **Ruolo delle emozioni negative:** l'ipotesi mette l'accento sull'influenza delle emozioni negative, come la paura e la tristezza, nelle decisioni. In realtà anche le emozioni positive, come la gioia o l'entusiasmo,

possono anch'esse influenzare le decisioni. Questo aspetto potrebbe non essere completamente integrato nella teoria.

3. **Processo decisionale complesso:** semplifica il processo decisionale e può non coprire adeguatamente la complessità delle decisioni umane. Spesso, le decisioni coinvolgono un equilibrio complesso tra emozioni, cognizioni, informazioni e contesto.
4. **Contesto culturale:** la teoria è stata sviluppata principalmente sulla base di dati empirici raccolti in occidente e può non tener conto delle differenze culturali nella percezione delle emozioni e delle decisioni.
5. **Ruolo delle intuizioni:** tende a porre un'enfasi significativa sulla razionalità e sulla riflessione cosciente nelle decisioni. Tuttavia, molte decisioni, soprattutto in situazioni complesse e ambigue, coinvolgono anche intuizioni e processi inconsci che questa teoria potrebbe non spiegare completamente.

Nonostante queste critiche, abbiamo analizzato nel precedente capitolo le prove fisiologiche della teoria del cervello predittivo, e, anche se alcuni studi di Damasio possono essere criticati, possiamo affermare con certezza che le emozioni hanno un ruolo cruciale nel processo decisionale e che, attraverso i processi di *predictive coding*, il nostro cervello ci fornisce continuamente dei *feedback* sulla base delle percezioni, sia interne che esterne. L'enterocezione, pertanto, può avere un ruolo fondamentale anche nelle scelte e nel comportamento, come vedremo nei prossimi studi scientifici.

3.3. Enterocezione e decisioni intuitive

Lo studio scientifico *Listening to your heart: how interoception shapes emotion experience and intuitive decision making* (2010) di Barnaby D. Dunn e colleghi ha dimostrato che l'enterocezione gioca un ruolo fondamentale nel processo decisionale che riguarda scelte intuitive.

Nel primo studio dell'esperimento, è stato analizzato in che misura la consapevolezza enterocettiva influisce sulla relazione tra le risposte fisiche del

corpo e diverse esperienze emotive. Per fare questo è stato utilizzato il modello circolare dell'affetto di Russell del 1980. Questo modello classifica le esperienze emotive in base a due dimensioni: la valenza, che indica quanto un'emozione sia piacevole o spiacevole, e l'*arousal*, o intensità emotiva.

I partecipanti hanno osservato 25 immagini emotive (5 positive, 5 neutre, 5 tristi, 5 disgustose e 5 spaventose), principalmente selezionate dal Sistema Internazionale delle Immagini Affective (IAPS; Lang, Greenwald, Bradley e Hamm, 1993). Ciascuna immagine è stata presentata per 6 secondi, con un intervallo di 5 secondi tra un'immagine e l'altra. I soggetti hanno poi valutato il grado di *arousal* (ad esempio, quanto si sentivano eccitati, svegli e all'erta rispetto a quanto fossero svogliati, apatici e sonnolenti) per ciascuna immagine, utilizzando una scala analogica visiva da 9 punti che andava da 1 (nessun *arousal*) a 9 (molto *arousing*). Hanno anche valutato il livello di valenza (gradevolezza) per ciascuna immagine su una scala analoga visiva da 9 punti che andava da 1 (molto sgradevole) a 5 (neutrale) a 9 (molto gradevole).

Le immagini sono state presentate in una sequenza pseudo-casuale, con un'immagine di ciascun tipo mostrata casualmente in ogni blocco di cinque prove. Come misura della risposta corporea, è stata registrata la variazione del battito cardiaco (HR, registrato in battiti al minuto o BPM) per ciascuna immagine. Questa variazione è stata calcolata sottraendo l'attività media durante un periodo di 2 secondi precedente dalla media durante il periodo di visione dell'immagine. La risposta mediana di ciascun partecipante a ciascun tipo di immagine è stata quindi calcolata.

Sono state utilizzate due elettrocardiografie (ECG) e l'enterocezione è stata successivamente valutata separatamente attraverso il test di percezione dei battiti cardiaci di Schandry (Ehlers & Breuer, 1992; Schandry, 1982). In sei prove, i partecipanti hanno contato quanti battiti cardiaci hanno percepito in intervalli di tempo variabili (due prove da 25 secondi, due prove da 35 secondi, due prove da 40 secondi); le risposte sono state quindi confrontate con il numero di battiti cardiaci misurati dall'ECG.

Questo studio ha dimostrato che più accuratamente i partecipanti potevano monitorare il loro battito cardiaco, più forte era il legame osservato tra le reazioni

della frequenza cardiaca e le valutazioni soggettive dell'*arousal* (ma non della valenza) di immagini emotive.

Nel secondo studio ai partecipanti veniva proposto un task dove avrebbero dovuto scegliere un mazzo tra quattro, posti nella fila superiore, e poi indovinare se la carta pescata sarebbe stata dello stesso colore della carta scoperta posta nella fila inferiore. In base alla correttezza della previsione veniva vinta una somma di denaro.

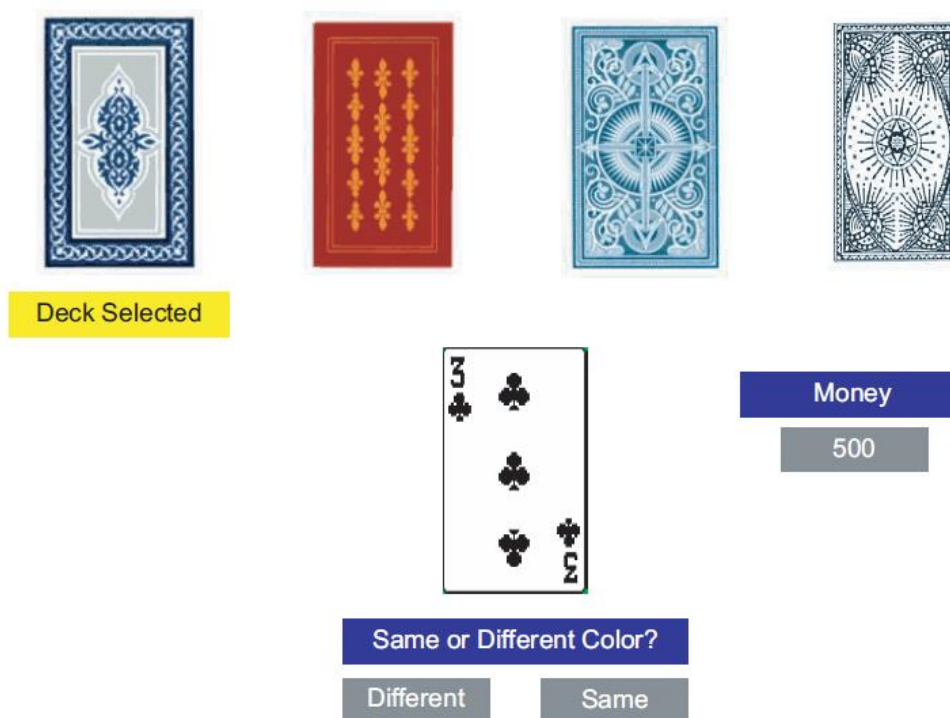


Figura 4 Esempio di Task Studio 2

I partecipanti dovevano imparare, nel corso di 100 prove, a scegliere tra due mazzi di carte redditizi ed evitare due mazzi di carte non redditizi. I primi due mazzi classificavano le scelte dei partecipanti come corrette in 6 prove su 10, quindi la scelta di questi mazzi portava a un profitto nel tempo. Il terzo e il quarto mazzo classificavano le scelte come corrette solo in 4 prove su 10, quindi la scelta di questi mazzi portava a una perdita netta nel tempo. Il primo e il terzo mazzo offrivano vincite e perdite di piccola entità, mentre gli altri due offrivano vincite e perdite di entità maggiori. Tuttavia, non c'era alcun vantaggio nel selezionare più spesso il mazzo di piccola entità rispetto a quello di grande entità, o viceversa. Ogni prova è stata seguita da un intervallo inter-prova di tre secondi.

Chiedendo ai partecipanti di selezionare un mazzo e successivamente di indovinare il colore della carta da scoprire, è stato possibile isolare l'attività fisiologica anticipatoria della presa di decisione dall'attività fisiologica anticipatoria del feedback successivo a una decisione. I parametri analizzati sono stati la variazione massima anticipatoria dell'elettroderma (EDA) e la variazione media del battito cardiaco anticipatorio (HR) in battiti al minuto (BPM).

Lo studio ha dimostrato che aumentare la consapevolezza enterocettiva aiutava o ostacolava la presa di decisioni intuitive adattive, a seconda che i segnali corporei anticipatori generati favorissero scelte vantaggiose o svantaggiose. Questa ricerca è coerente con l'idea che siano presenti sistemi multipli a supporto della presa di decisioni e dell'esperienza emotiva e che nessuno di questi sistemi abbia più importanza dell'altro (Frijda, 2007; Knutson & Bossaerts, 2007; Laird, 2007).

Il secondo esperimento inoltre supporta i modelli del "cervello predittivo", infatti, i soggetti presentavano già alterazioni enterocettive nel momento precedente al feedback successivo alla decisione. L'interazione tra le differenze individuali nella generazione di marcatori somatici e nella capacità di percepire sottili cambiamenti degli stessi (enterocezione) può spiegare una significativa porzione della variabilità nell'intuizione umana. Di conseguenza, la percezione accurata delle informazioni corporee può aiutare o ostacolare il processo decisionale adattivo a seconda che i segnali corporei anticipatori generati favoriscano scelte vantaggiose o svantaggiose.

3.4. Enterocezione e decisioni rischiose

Anche lo studio *Interoceptive ability predicts survival on a London trading floor* (2016) di Narayanan Kandasamy e colleghi ha dimostrato che l'enterocezione svolge un ruolo importante nei processi di elaborazione anche delle decisioni rischiose.

Diversi studi hanno dimostrato che punteggi più alti nella percezione dei battiti cardiaci predicono una performance superiore in alcuni compiti di gioco d'azzardo

di laboratorio⁷. Tuttavia, sono stati condotti pochi studi di campo per determinare se i benefici della consapevolezza enterocettiva previsti dall'ipotesi dell'indicatore somatico abbiano implicazioni “reali” per esempio nel mondo lavorativo. Lo studio in questione ha quindi condotto le analisi in un reparto di trading di un *hedge fund* di medie dimensioni a Londra per testare l'ipotesi che i traders con una maggiore capacità di percepire i segnali provenienti dal proprio corpo guadagnassero effettivamente di più.

Sono stati reclutati 18 *traders* maschi impegnati nel *trading* ad alta frequenza. I soggetti compravano e vendevano contratti futuri, ma mantenevano le loro posizioni di *trading* solo per un breve periodo di tempo, secondi o minuti, al massimo qualche ora. Questo tipo di *trading* richiede la capacità di assimilare grandi quantità di informazioni provenienti dai feed di notizie, riconoscere rapidamente i modelli dei prezzi e prendere decisioni importanti e rischiose con tempistiche frazionarie.

Ciascun *trader* aveva pari accesso alle informazioni e al capitale, pertanto, la loro performance era determinata esclusivamente dalla loro abilità. Nessuno di essi riceveva alcun bonus annuale basato sulle prestazioni dell'azienda nel suo complesso e la loro compensazione individuale consisteva interamente in una parte dei profitti del loro *trading*. Questa nicchia dei mercati finanziari è particolarmente impervia e mentre i *traders* di successo possono guadagnare più di £10 milioni all'anno, quelli non redditizi non sopravvivono a lungo.

Sono state misurate le differenze individuali nella capacità di ciascun soggetto di rilevare segnali enterocettivi mediante due compiti di rilevazione dei battiti cardiaci, che quantificavano quanto accuratamente una persona, quando è a riposo, può percepire i battiti del suo cuore.

⁷ Crone, E. A., Somsen, R. J., Beek, B. V. & Van Der Molen, M. W. *Heart rate and skin conductance analysis of antecedents and consequences of decision making. Psychophysiology* 41, 531–540 (2004).

Dunn, B. D. et al. *Listening to your heart how interoception shapes emotion experience and intuitive decision making. Psychol. Sci.* (2010).

Sokol-Hessner, P., Hartley, C. A., Hamilton, J. R. & Phelps, E. A. *Interoceptive ability predicts aversion to losses. Cogn. Emot.* 29, 695–701 (2015).

Werner, N. S., Jung, K., Duschek, S. & Schandry, R. *Enhanced cardiac perception is associated with benefits in decision-making. Psychophysiology* 46, 1123–1129 (2009).

Inizialmente, ogni partecipante ha eseguito un compito di conteggio dei battiti cardiaci, in cui veniva dato l'incarico di contare silenziosamente, senza toccare il petto o un qualsiasi punto del polso, quanti battiti cardiaci avvertisse durante brevi intervalli di tempo. Questo conteggio è stato ripetuto sei volte, utilizzando periodi di tempo casuali di 25, 30, 35, 40, 45 e 50 secondi. Il numero di battiti cardiaci percepiti dal *trader* in ciascun periodo di tempo è stato confrontato con il numero effettivo di battiti cardiaci. Dopo ciascuna prova del compito di conteggio, i soggetti hanno valutato la loro fiducia nella rilevazione dei battiti cardiaci utilizzando una scala analogica visiva.

Nel secondo compito di rilevazione dei battiti cardiaci, ai *traders* è stato chiesto di giudicare se una serie di dieci toni uditivi veniva riprodotta sincronicamente o in ritardo rispetto ai loro stessi battiti cardiaci. Nelle prove sincrone, i dieci suoni avvenivano sul bordo crescente dell'onda di pressione del polso del dito; nelle prove di ritardo seguivano 300 ms dopo. Alla fine di ciascuna prova, il partecipante indicava se i toni erano sincronizzati o no. Ciascun *trader* ha eseguito 15 prove di questo compito.

Questo studio ha dimostrato in primo luogo che le persone che professionalmente fanno *trading* hanno un punteggio enterocettivo significativamente più alto dei "non trader"⁸. È stato dimostrato anche che l'accuratezza enterocettiva influenza le prestazioni del *trading*, cosa che non vale per la consapevolezza.

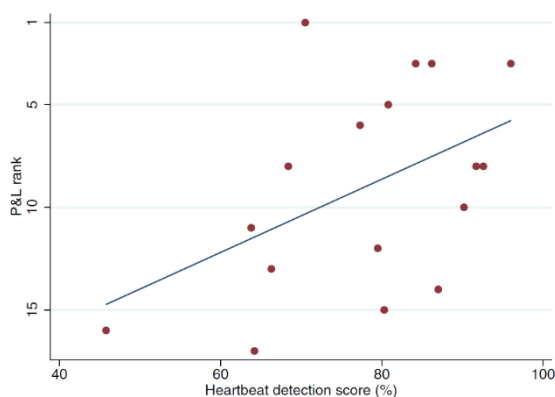


Figura 5 Grafico della regressione che mette in relazione il punteggio ottenuto nel compito di conteggio dei battiti cardiaci con il P&L (profitto e perdita) dei *traders* classificati in ordine di rango (da 1 più redditizio a 17 meno redditizio)

⁸ Punteggio medio di accuratezza enterocettiva dei *traders*: 78.2; punteggio medio di accuratezza enterocettiva dei "non traders": 66.9.

Come si può vedere nella *Figura 5*, infatti, i *traders* con un'accuratezza enterocettiva maggiore avevano punteggi di P&L (profitti e perdite) maggiori. Inoltre, la rilevazione dei battiti cardiaci e la fisiologia hanno previsto congiuntamente il P&L e gli anni di sopravvivenza del trader sul mercato. Nello specifico, il P&L è stato previsto da un modello che includeva la rilevazione dei battiti cardiaci e la variabilità della frequenza cardiaca.

Questo studio dimostra come l'accuratezza enterocettiva ha risvolti pratici nell'influenza su chi compie scelte rischiose anche a livello professionale, ed è abituato ad "ascoltare il proprio istinto".

3.5. Arousal cardiaco e avversione al rischio

Oltre all'accuratezza enterocettiva, anche l'*arousal* cardiaco stesso ha un ruolo nelle scelte decisionali. In ambito fisiologico il ciclo cardiaco si divide in due fasi fondamentali: sistole e diastole. Esse possono per esempio contribuire in modo diverso ai processi decisionali. La sistole è la fase del ciclo cardiaco in cui il cuore si contrae per espellere il sangue nelle arterie. Questa è la fase in cui il sangue viene pompato nelle arterie a causa della contrazione dei ventricoli, le camere inferiori del cuore. La diastole invece è la fase in cui il cuore si rilassa e si riempie di sangue. Durante questa fase, il sangue fluisce dai vasi sanguigni verso gli atri del cuore.

In *Cardiac cycle affects risky decision-making* (2022) di Kenta Kimura e colleghi, è stato dimostrato che in fase di sistole il punteggio di avversione al rischio è inferiore rispetto a quello di diastole. La maggiore propensione a correre rischi nel trial di sistole rispetto a quello di diastole è stata associata al *bias* del gioco proposto nei confronti dell'utilità delle opzioni rischiose, piuttosto che a un cambiamento nell'atteggiamento verso il rischio.

L'*arousal* cardiaco è stato analizzato anche nello studio *Body in the face of uncertainty: The role of autonomic arousal and interoception in decision-making*

under risk and ambiguity (2020) di Aleksandra M. Herman e colleghi. In questa analisi sono state studiate le risposte di conduttanza cutanea e le variazioni della frequenza cardiaca a 40 soggetti, che dovevano prendere decisioni di gioco nel contesto di lotterie rischiose e ambigue.

I risultati rivelano che la fase di anticipazione ha prodotto le risposte di *arousal* più significative, suggerendo che l'anticipazione è un contributo importante all'*arousal* durante il comportamento di gioco, indipendentemente dal tipo di incertezza. Inoltre, le risposte fisiologiche erano più alte dopo esiti positivi rispetto a esiti negativi. Lo studio non ha evidenziato alcuna relazione diretta tra le dimensioni enterocettive e le attitudini verso il rischio e l'ambiguità. Tuttavia, nelle persone con una maggiore accuratezza enterocettiva, le risposte di conduttanza cutanea differenziavano le risposte fisiologiche tra rischio e ambiguità, così come tra le fasi del gioco (decisione, anticipazione e risultato).

Infatti, una maggiore accuratezza enterocettiva era correlata a SCRs (risposte di conduttanza cutanea) elevate durante la fase di anticipazione e SCRs più basse durante le fasi di "Decisione" ed "Esito", indipendentemente dal tipo di incertezza. C'era anche un'interazione tra accuratezza enterocettiva e "Tipo di incertezza", in cui una maggiore precisione enterocettiva era correlata a SCRs più elevate nelle prove di ambiguità, ma le SCRs rimanevano stabili nelle prove rischiose.

È stata riscontrata una correlazione tra la fase decisionale e la frequenza cardiaca maggiore durante la fase di anticipazione, osservando anche l'interazione tra la fase decisionale e la scelta, in cui la frequenza cardiaca aumentava durante la fase decisionale per le scelte di lotteria rispetto alle scelte fisse, per poi diminuire durante le prove di lotteria rispetto alle scelte fisse durante le fasi di anticipazione.

Lo studio ha dimostrato come la presa di decisioni in situazioni di incertezza è associata alle differenze individuali nella capacità sia di generare sia di percepire con precisione sottili cambiamenti nell'*arousal* corporeo durante il processo decisionale. Ma questi cambiamenti sembrano essere moderatamente correlati al tipo di incertezza (rischio o ambiguità).

Conclusioni

La “costruzione” della propria percezione

Il presente lavoro ha approfondito il ruolo dell'enterocezione nei processi decisionali, esaminando tre aspetti chiave distinti. Nel primo capitolo, ci siamo concentrati sulla regolazione enterocettiva, esplorando i livelli di percezione interna del corpo e le tecniche di controllo enterocettivo. Abbiamo evidenziato come l'enterocezione sia strettamente connessa alle emozioni e all'allostasi, sottolineando il suo impatto sulla nostra esperienza quotidiana.

Nel secondo capitolo, abbiamo esaminato il concetto di cervello predittivo, compresi i modelli di Barbas e la teoria dell'“emozione costruita” proposta da Barrett. Abbiamo discusso l'importanza delle previsioni neurali nel contesto dell'enterocezione, evidenziando come il cervello predittivo sia una chiave di lettura per comprendere come il nostro corpo e il cervello cooperino nella presa di decisioni.

Nel terzo capitolo, ci siamo concentrati sul rapporto tra il processo enterocettivo e le scelte. Abbiamo esplorato teorie normative e descrittive, nonché l'ipotesi del “marcatore somatico”, che collega strettamente la percezione del proprio corpo alle decisioni intuitive. Analizzando alcuni studi scientifici, che hanno dimostrato come i segnali provenienti dal corpo influenzano i processi decisionali, è stata sottolineata l'importanza dell'enterocezione nei processi decisionali, rivelando una connessione intricata tra il corpo, la mente e le scelte che facciamo ogni giorno.

Attraverso l'analisi di ricerche scientifiche e di varie teorie psicologiche è emerso chiaramente che l'enterocezione è un elemento chiave nella comprensione del nostro corpo, del mondo che ci circonda e del nostro comportamento. Il processo enterocettivo gioca un ruolo fondamentale nell'auto-regolazione delle emozioni, nell'attribuzione di significato alle sensazioni corporee e nell'orientamento verso scelte che soddisfano esigenze fisiologiche e psicologiche.

La ricerca scientifica si sta muovendo negli ultimi anni verso questi argomenti, cercando di approfondire l'importanza dell'enterocezione anche nella gestione di disturbi psicopatologici, come ansia, depressione, disturbi alimentari, ecc. Attraverso terapie che mirano a migliorare la percezione e la regolazione enterocettiva, infatti, si potrebbero avere dei benefici importanti (Barrett e Simmons, 2015; Michielin, 2016).

Abbiamo analizzato come è stata rivalutata la concezione del funzionamento cerebrale in termini più predittivi e orientati al dominio generale (Clark, 2013; Friston, 2010). In particolare, la teoria dell'"emozione costruita" presentata da Barrett ha introdotto concetti innovativi basati su prove scientifiche e sul *predictive coding* (Barrett e Simmons, 2015), sottolineando l'importanza delle diversità individuali nella "costruzione" della percezione e di un proprio mondo interno-esterno.

Alcuni spunti che potrebbero essere utili per futuri studi scientifici potrebbero consistere nella ricerca di strumenti utili ad adattare le terapie basate sull'enterocezione per il trattamento dei disturbi mentali; sviluppare l'indagine sulle basi neurali che influenzano la percezione del proprio corpo nei processi decisionali, utilizzando metodologie di *neuroimaging* avanzate, esplorando per esempio le differenze individuali e culturali; analizzare l'influenza di questo processo in contesti specifici della vita quotidiana o professionale.

Bibliografia

- Allsop, J., & Gray, R., *Flying under pressure: Effects of anxiety on attention and gaze behavior in aviation*, *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 3(2), 63–71 (2014)
- Alonso, J., Angermeyer, M. C., Bernert, S., Bruffaerts, R., Brugha, T. S., Bryson, H., de Girolamo, G., de Graaf, R., & Demyttenaere, K., *12-month comorbidity patterns and associated factors in Europe: Results from the European Study of the Epidemiology of Mental Disorders (ESEMeD) project*, *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 109, 28–37 (2004)
- American Psychiatric Association, D., & Association, A. P., *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5 (Vol. 5, Numero 5)*, American psychiatric association Washington, DC. (2013)
- Arthur C. Guyton e John E. Hall, *Principi di fisiologia medica*, Edra (2017)
- Bandura, A., *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*, Prentice-Hall, Inc. (1986)
- Bar, M., Aminoff, E., Mason, M., & Fenske, M., *The units of thought. Hippocampus*, 17(6), 420–428 (2007)
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/hipo.20287>
- Barbas, H., & Rempel-Clower, N., *Cortical structure predicts the pattern of corticocortical connections*, *Cerebral Cortex*, 7(7), 635–646 (1997)
<https://doi.org/10.1093/cercor/7.7.635>
- Barbas, H., *General Cortical and Special Prefrontal Connections: Principles from Structure to Function*, *Annual Review of Neuroscience*, 38(1), 269–289 (2015) <https://doi.org/10.1146/annurevneuro-071714-033936>
- Bar-Haim, Y., Lamy, D., Pergamin, L., Bakermans-Kranenburg, M. J., & van Ijzendoorn, M. H., *Threat-related attentional bias in anxious and nonanxious individuals: a meta-analytic study*, *Psychological bulletin*, 133(1), 1 (2007)

- Barrett, L. F. *Navigating the Science of Emotion*, In *Emotion Measurement* (pagg. 31–63). Elsevier Inc. (2016) <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100508-8.00002-3>
- Barrett, L. F., & Simmons, W. K., *Interoceptive predictions in the brain*, In *Nature Reviews Neuroscience* (Vol. 16, Numero 7, pagg. 419–429). Nature Publishing Group. (2015) <https://doi.org/10.1038/nrn3950>
- Barrett, L. F., *The theory of constructed emotion: an active inference account of interoception and categorization*, *Social cognitive and affective neuroscience*, 12(1), 1–23. (2017) <https://doi.org/10.1093/scan/nsw154>
- Craig, A. D., *How do you feel--now? The anterior insula and human awareness*, *Nature Reviews Neuroscience*, 10(1), 59-70 (2009)
- Craig, A. D., *Interoception: the sense of the physiological condition of the body*, *Nature Reviews Neuroscience*, 3(8), 655-666. (2002)
- Crawford, J. R., & Henry, J. D., *The Positive and Negative Affect Schedule (PANAS): Construct validity, measurement properties and normative data in a large non-clinical sample*, *British Journal of Clinical Psychology*, 43(3), 245-265 (2004) <https://doi.org/10.1348/0144665031752934>
- Critchley, H. D., & Harrison, N. A., *Visceral influences on brain and behavior*, *Neuron*, 77(4), 624-638 (2013)
- De Sousa, H. D., da Silva, T. A., de Souza, I. C. W., & Gurgel, L. A. S., *Mindfulness-based interventions and the importance of interoception in addiction recovery*, *Journal of Addiction Medicine*, 14(5), e120-e124 (2020)
- Dunn, B. D., Galton, H. C., Morgan, R., Evans, D., Oliver, C., Meyer, M., ... & Dalgleish, T., *Listening to your heart: How interoception shapes emotion experience and intuitive decision making*, *Psychological Science*, 21(12), 1835-1844 (2010)
- Dunn, L., Gant, N., & Hinton, P., *Interoceptive sensitivity and physical effort: implications for fatigue and motivation*, *Psychophysiology*, 56(9), e13415 (2019)

- Feinstein, J. S., Khalsa, S. S., Yeh, H., Al Zoubi, O., Arevian, A. C., Wohlrab, C., ... & Roy-Byrne, P., *The Efficacy of Floatation-REST for Anxiety, Depression, and Fluctuations in Symptomatology in the Context of Life Stressors*, *Clinical Psychology & Psychotherapy*, 25(3), e101-e115 (2018)
- Ferentzi, F., Bogdány, T., Szabolcs, K., & Köteles, F., *Interoceptive accuracy and self-awareness: a metacognitive approach*, *Consciousness and Cognition*, 60, 31-39 (2018)
- Garfinkel, S. N., & Critchley, H. D., *Interoception, emotion and brain: new insights link internal physiology to social behaviour. Commentary on: "Anterior insular cortex mediates bodily sensibility and social anxiety" by Terasawa et al. (2012)*, *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 8(3), 231-234 (2013)
- Herman AM, Esposito G, Tsakiris M., *Body in the face of uncertainty: The role of autonomic arousal and interoception in decisionmaking under risk and ambiguity*. *Psychophysiology*;00:e13840 (2021)
- J.A. Fagius e H. Wallin, *The Hypothalamus and the Autonomic Nervous System*
- Jacobsen, E., *Progressive relaxation*, University of Chicago Press (1929)
- Khalsa, S. S., & Feinstein, D., *The enteric nervous system: a portal into the physical and emotional state of the body*, In *Biofeedback* (pp. 87-102). Springer, Cham (2018)
- Khalsa, S. S., & Feinstein, J. S., *Optimal healing environments*, *The Oxford Handbook of Social Neuroscience*, 911-925 (2018)
- Khalsa, S. S., Adolphs, R., Cameron, O. G., Critchley, H. D., Davenport, P. W., Feinstein, J. S., ... & Meuret, A. E., *Interoception and mental health: a roadmap*, *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, 3(6), 501-513 (2018)
- Khoury, J. A., Gonzalez, A., Stonerock, G. L., & Johnson, B. D., *Interoceptive accuracy in anxiety and depression: an update*, *Current Opinion in Psychiatry*, 31(4), 277-282 (2018)

- Kjellgren, A., & Westman, J., *Beneficial effects of treatment with sensory isolation in flotation-tank as a preventive health-care intervention—a randomized controlled pilot trial*, BMC complementary and alternative medicine, 14(1), 417 (2014)
- Kruger, J., & Dunning, D., *Unskilled and unaware of it: how difficulties in recognizing one's own incompetence lead to inflated self-assessments*, Journal of personality and social psychology, 77(6), 1121-1134 (1999)
- Kruger, J., & Mueller, R. A., *Unskilled, unaware, or both? The better-than-average heuristic and statistical regression predict errors in estimates of own performance*, Journal of personality and social psychology, 82(2), 180-188 (2002)
- LeDoux, J., *Anxious: Using the Brain to Understand and Treat Fear and Anxiety*, Penguin Books (2016)
- Michael S. Fee e William B. Hockfield, *The Physiological Control of Mammalian Vocalization*, Newman (1988)
- Michael Schemann e Klaus Bielefeldt, *The Enteric Nervous System: 30 Years Later*, Costa (2016)
- Michielin, P., *Il Rilassamento Muscolare Progressivo di Jacobson. Una tecnica di rilassamento per il trattamento dello stress e dell'ansia*. FrancoAngeli (2018)
- Michielin, P., *La neurobiologia dell'introspezione. In Introspezione: Prospettive filosofiche e scientifiche* (pp. 187-202). Mimesis (2018)
- Moore, D. A., & Healy, P. J., *The trouble with overconfidence*, Psychological review, 115(2), 502-517 (2008)
- Nitschke, J. B., Sarinopoulos, I., Oathes, D. J., Johnstone, T., Whalen, P. J., Davidson, R. J., & Kalin, N. H., *Anticipatory Activation in the Amygdala and Anterior Cingulate in Generalized Anxiety Disorder and Prediction of Treatment Response*, American Journal of Psychiatry, 166(3), 302–310 (2009) <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2008.07101682>

Paulus, M. P., Stein, M. B., & Nitschke, J. P., *Interoception in anxiety and depression*, *Brain structure and function*, 224(2), 525-535 (2019)

Questionario MAIA: Mehling, W. E., Price, C., Daubenmier, J. J., Acree, M., Bartmess, E., & Stewart, A., *The Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness (MAIA)*. *PloS one*, 7(11), e48230 (2012)
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048230>

Schultz, J. H., *Autogenic training*. Grune & Stratton (1959)

Shipp, S., Adams, R. A., & Friston, K. J., *Reflections on agranular architecture: Predictive coding in the motor cortex*, In *Trends in Neurosciences* (Vol. 36, Numero 12, pagg. 706–716) (2013)
<https://doi.org/10.1016/j.tins.2013.09.004>