



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

**Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione - DPSS**

Corso di laurea in Scienze psicologiche dello Sviluppo, della Personalità e delle Relazioni  
Interpersonali

**Elaborato finale**

**L'emozione nelle neuroscienze.**

**L'appraisal: dall'uomo al modello minimale e funzionale  
nell'agente robotico.**

Emotion in neuroscience.

The appraisal: from man to the minimal and functional model in the robotic  
agent.

Relatrice

**Prof.ssa** Paola Sessa

Laureando: Isparsa Lucarelli

Matricola: 1222916

Anno Accademico 2022/2023

## Indice

<i>Prefazione</i> .....	p. 3
<b>Primo capitolo: Le emozioni</b> .....	p. 5
1.1 Dualità tra cognizione ed emozioni.....	p. 5
1.2 Teorie dell'appraisal.....	p. 9
<b>Secondo capitolo: Intelligenza artificiale e processi amigdaloidi</b> .....	p. 16
2.1 Risposte emotive: dove nascono e a chi appartengono.....	p. 16
2.2 Processi emotivi nell'amigdala: un esperimento con il modello EMA.....	p. 17
2.3 Interazione tra robot e uomo.....	p. 20
2.4 La neuroanatomia delle emozioni: l'amigdala e il cervello emozionale.....	p. 22
<b>Terzo capitolo: La Ruota di Ginevra e l'appraisal nella robotica</b> .....	p. 27
3.1 Come misurare e valutare le emozioni.....	p. 27
3.2 Funzionamento e applicazione della Geneve Emotion Wheel.....	p. 28
3.3 L'appraisal nell'agente cibernetico.....	p. 32
3.4 Conclusione: l'appraisal alla base della GEW e del modello minimale.....	p. 37
<i>Conclusione</i> .....	p. 39

## *Prefazione*

Lo scopo del presente lavoro è analizzare e documentare l'evoluzione del concetto di emozione nell'ambito delle neuroscienze.

Inizialmente inteso come un termine distaccato dalla parte più cognitiva e razionale dell'uomo subisce una rapida trasformazione. Scherer definisce la genesi di un'emozione come un processo multi-componenziale, quindi non più considerandola come una unità unica, bensì come caratterizzata da più elementi.

Nel primo capitolo si presenta e studia la teoria dell'*appraisal*, che spiega come l'emozione associata a un evento venga influenzata dalla valutazione di quest'ultimo sulla base di pensieri e motivazioni personali. Si passa quindi in rassegna lo studio condotto da J. Gross dell'Università di Stanford, che testa l'assunto centrale delle teorie di valutazione delle emozioni, constatando come la stessa situazione evochi diverse risposte emotive a seconda di come venga valutata. Nello specifico, vengono dimostrate le ipotesi di necessità e sufficienza, componenti fondamentali della suddetta teoria.

Si spiega infine il concetto di contagio emotivo e come possa essere applicato nel mondo cibernetico a vantaggio del servizio pubblico in un futuro non molto lontano.

Nel secondo capitolo vengono presentate le vie neuroanatomiche del "*cervello emozionale*", incentrandosi sull'amigdala e sui processi che la governano.

Il centro su cui si snoda la dissertazione è lo studio condotto da Satoshi Sonoh, che evidenzia come il modello EMA e il condizionamento di tipo classico influenzino il robot nella propria reazione emotiva e comportamentale in seguito all'esposizione ad uno stimolo.

Il capitolo termina infine evidenziando la centralità dell'amigdala nei processi valutativi, specialmente nella valutazione del giudizio, richiamando il concetto delle teorie dell'*appraisal* presentate nel capitolo precedente.

Il terzo capitolo si apre con una panoramica sugli strumenti di misurazione dell'emozione e dell'esperienza emotiva con un occhio di riguardo alla Geneve Emotion Wheel.

Si prende in rassegna lo studio "*Using the Geneva Emotion Wheel to Measure Perceived Affect in Human-Robot Interaction*" allo scopo di presentare l'interazione tra agente cibernetico e uomo, momento nel quale può essere adoperata la Geneve Emotion Wheel assistita da uno strumento di tipo statistico che ne aumenti la specificità dei dati ricavati.

Il capitolo si chiude con la presentazione e l'analisi del modello minimale applicato all'intelligenza artificiale. Con lo studio analizzato in tale paragrafo, si propone la possibilità di impiantare questa struttura all'interno dell'agente cibernetico al fine di permettere al robot di generare nuovi obiettivi partendo da uno strumento che imita i processi neurofisiologici umani coinvolti nella risposta emotiva, nello specifico a livello del talamo, dell'ipotalamo e dell'amigdala.

La tesi qui esposta si conclude con una riflessione sulle potenziali applicazioni dell'Intelligenza Artificiale nel mondo in continuo movimento ed evoluzione in cui si trova a vivere l'uomo del Terzo Millennio.

Nonostante siano ancora oscure e incerte le opportunità offerte dall'interazione e dall'utilizzo di un robot nel campo dei servizi, del lavoro e della più banale quotidianità, grazie a questi studi è possibile trarre due conclusioni. Da un lato, la tecnologia cibernetica, col suo disarmante e celerissimo sviluppo, può trovare applicazione nell'ambito della ricerca e dell'investigazione scientifica: studiare l'interazione tra uomo e robot permette di formulare ipotesi sempre più accurate, verificarle e comprendere così meglio il funzionamento comportamentale ed emotivo dell'uomo stesso. Il robot diventa mezzo per lo studio dell'uomo e della sua emotività. D'altra parte, la possibilità qui solo intravista di dotare l'agente cibernetico di caratteristiche e capacità da sempre considerate prettamente umane – quali, il porsi obiettivi personali, l'agire secondo priorità soggettive e il provare emozioni distinte – potrebbe rendere tale agente meccanico un ottimo strumento di lavoro e di potenziamento dei servizi. L'implementazione dell'agente cibernetico con tali capacità, l'avvicinarsi a un modello che riproduca e metta in atto i nostri processi cognitivi può risultare funzionale in molti ambiti dell'economia e della società in cui oggi viviamo.

# Capitolo 1: Le emozioni

## 1.1 Dualità tra cognizione ed emozioni

Lo studio dei **processi cognitivi legati alle emozioni** è diventato oggetto di ricerca solo in periodi recenti. Il problema è stato fin da subito dove collocarli, tant'è che la ricerca del corpo e della mente è stata sempre condotta su **piani differenti**.

In principio si dava molta più rilevanza alle **emozioni**, intese come sensazioni biologiche, senza dare conto alla parte razionale che si trova all'apice. Successivamente, l'epoca della ragione ha portato gli scienziati a indagare sulla **mente** e sui suoi **processi cognitivi**, permettendo di indagare e comprendere il lato razionale dell'emozione tanto ignorato in passato.

**Jean Piaget** (Neuchâtel, 9 agosto 1896 – Ginevra, 16 settembre 1980) rappresenta uno dei massimi esponenti della cognizione e della psicologia cognitiva. Lo psicologo svizzero concepiva la cognizione come un processo nel quale attraverso l'assimilazione e lo scambio di informazioni continuo con l'ambiente, l'individuo riusciva ad adattarsi e a produrre degli schemi cognitivi che si ripetono nel tempo.

Si propongono di seguito le teorie che hanno influenzato maggiormente la comunità scientifica in merito ai processi emotivi.

**James** nel 1920 propose la **teoria periferica delle emozioni**, partendo da un'analisi contraria al senso comune che vedeva la sequenza che iniziava con la percezione, a cui seguiva l'emozione e infine questa veniva accompagnata da manifestazione a livello somatico. La manifestazione somatica invece, secondo James, precede e rende possibile l'emozione che diventa consapevolezza dello stato corporeo alterato che si è venuta a creare.

*Esempio esplicativo:*

→ *Vedo un orso, mi emoziono, ho paura e scappo;*

→ *Vedo un orso, prima scappo e poi subentra l'emozione.*

James sottolinea che l'emozione viscerale nasce dal corpo, successivamente viene etichettata e conosciuta a livello psicologico.

D'altra parte, **Cannon e Bard** propongono **la teoria centrale**, in cui lo stimolo emotigeno scatena una immediata risposta emozionale soggettiva a mediazione cerebrale.

La stimolazione di specifici centri nervosi darebbe luogo contemporaneamente alla sensazione soggettiva, all'attivazione del sistema nervoso autonomo e alle manifestazioni espressivo-comportamentali. [24]

Per quanto concerne la definizione dell'emozione, **Scherer** la propone come un processo multi-componenziale dettato da causa ed effetto. Si tratterebbe quindi di un evento che coinvolge la mobilitazione sincronizzata dei sottosistemi dell'organismo in risposta alla valutazione di uno stimolo considerato rilevante per l'individuo. [17]

Si evince dunque che le emozioni affinché possano essere generate necessitano di un evento-stimolo specifico. Per tale motivo possono essere considerate come rilevatore di rilevanza. Nella fattispecie, per l'individuo un evento suscita emozione, che può essere intensa o meno a seconda dell'importanza che gli viene associata.

La valutazione può essere intrinseca o estrinseca.

Nel primo caso la caratteristica di un oggetto o di una persona viene presa in considerazione senza tenere conto dei bisogni attuali dell'individuo ma sulla base delle sue preferenze genetiche o apprese. Nella valutazione transazionale, d'altra parte, l'individuo valuta gli eventi e le loro conseguenze rispetto alla capacità di favorire i propri bisogni, desideri o obiettivi.

In altre parole, l'emozione è caratterizzata da tre componenti: *l'esperienza soggettiva*, una *risposta di tipo psicologico* da cui ne consegue una *risposta di tipo comportamentale*. L'esperienza soggettiva è fondamentale per l'intensità dell'emozione. L'individuo, infatti, a seconda dell'importanza che ha attribuito allo stimolo evento specifico, vive l'esperienza in maniera più o meno intensa.

In tempi recenti la tecnologia sta tentando di progredire e lo sta facendo in maniera molto rapida. Gli scienziati stanno tentando di dotare i robot di emozioni o di almeno espressioni facciali. Una motivazione dietro il loro obiettivo può essere rappresentata dal principio di contagio emotivo. Fondato nella disciplina della psicologia, questo fenomeno è indicato come **contagio emotivo** e riflette il fatto che gli esseri umani, consapevolmente o inconsapevolmente, imitano l'emozione espressa dalle persone intorno a loro.

I neuroscienziati suggeriscono come possibile spiegazione dietro le dinamiche del contagio emotivo l'azione dei neuroni a specchio. Il trasferimento delle emozioni non esiste solo negli esseri umani, bensì si verifica in altri primati non umani, ad esempio i cani. In linea di massima, il processo di contagio emotivo è caratterizzato da tre fasi: *mimica*, *feedback* e *contagio*.

Non appena un'emozione è stata inconsciamente riconosciuta, avviene l'inizio della copia dei gesti e delle espressioni facciali dell'individuo di partenza. Questa nozione di mimetismo è spesso spontanea e aiuta gli esseri umani a empatizzare con gli altri simulandone i sentimenti. Successivamente, inizia la fase di feedback, ovvero quando si inizia a capire veramente il sentimento prodotto dall'altro. Come risultato di questo feedback, l'emozione degli altri viene quindi trasferita nella propria esperienza e tale sentimento diventa prominente.

Risulta dunque evidente come l'utilizzo dei robot possa rivelarsi un'arma vincente come possibile innesco per un benessere generale. Difatti il focus si è incentrato sugli agenti robotici umanoidi in grado di antropomorfizzare il comportamento umano nel modo più efficiente possibile.

Recenti studi hanno infatti indagato come la loro voce, aspetto ed espressione facciale agiscano sui consumatori influenzando la percezione della qualità del servizio offerto. Uno studio di Yu e Ngan nel 2019 ha avviato una ricerca sperimentale manipolando il comportamento sorridente dei robot antropomorfi presso l'hotel Henn-na. In particolare, le manifestazioni emotive positive hanno portato a un livello più elevato di qualità del servizio percepito da cui ne deriva la soddisfazione del cliente. [3]

Sebbene risulti difficile catturare il pieno potenziale dei robot con le emozioni data la mancanza di interazione reale, i consumatori generalmente si aspettano che l'intelligenza artificiale sia in grado di elaborare le emozioni umane in modo da fornire offerte personalizzate durante le esperienze e quindi maggiormente soddisfacenti per il cliente.

Il robot, dunque, non prova alcuna esperienza soggettiva, piuttosto un'esperienza "quasi soggettiva" che deriva dal meccanismo che gli è stato inculcato all'interno dall'ingegnere.

Sebbene non sia dotato di un'esperienza soggettiva vera e propria, l'agente cibernetico, fornitigli gli strumenti adatti (apprendimento di dinamiche sociali e comportamentali nel contesto), potrà essere capace di rispondere attraverso un comportamento come possibile osservare negli esperimenti successivi nel capitolo secondo.

Nella psicologia moderna, le emozioni si possono suddividere in due categorie: **estetiche** e **utili**.

Le emozioni utili sono quelle studiate maggiormente dalla ricerca scientifica (quali rabbia, paura, tristezza, vergogna). D'altra parte, sono adattive, sono quelle a cui l'individuo fa ricorso per sopravvivere, come le risposte a un evento pericoloso. Sono emozioni che servono a pianificare una risposta o un comportamento (fight or flight response), quelle usate per la creazione di connessioni sociali (riparazione), oppure per il recupero del proprio status quo (il lutto, il lavoro eccessivo). [30]

Le emozioni estetiche, al contrario, non sono dotate della componente di "pianificazione" per un dato comportamento in una circostanza specifica. Sono generate dall'apprezzamento della natura nella sua forma più intrinseca, dalla vista di un'opera d'arte o dal sentire una canzone. Tali emozioni sono state definite da Kant come "disinteressate", dove per interesse s'intende la predisposizione a un fine o scopo specifico.

Pertanto, le emozioni estetiche vengono provate in quanto si apprezza l'oggetto in sé e non l'esperienza sensoriale data da tale oggetto.

Dal punto di vista **neurobiologico**, le differenti **aree nervose funzionali** sono state inizialmente associate in maniera specifica e univoca ai due grandi domini della cognizione o dell'emozione, senza contemplare la possibilità di una duplice attribuzione. [25]

Da esempio sono l'area di **Broca** e quella di **Wernicke**, unite l'una all'altra dal fascicolo arcuato. La prima è situata nella parte occipitale del cervello ed è adibita all'elaborazione del linguaggio, funzione che viene catalogata come prettamente cognitiva. La seconda, invece, localizzata in sede temporale, è necessaria alla comprensione del linguaggio.

Nel corso degli anni, ricerche, studi, ipotesi e teorie più o meno validate hanno portato all'affermazione di una nuova visione. Oggi non è più così netta la distinzione tra i concetti di cognizione ed emozione e si è arrivati a dimostrare come, tanto dal punto di vista psicologico, quanto neurobiologico, sia possibile una **contaminazione reciproca** e una **compartecipazione** delle diverse strutture nervose nel realizzare tanto le funzioni tradizionalmente considerate "cognitive" quanto quelle "emotive".

Nei recenti anni si sono sviluppati diversi strumenti, anche tecnologici (come la risonanza magnetica funzionale, o **fMRI**) che permettono di visualizzare aree del corpo e del cervello prima inaccessibili.



La fMRI trova molteplici campi di applicazione, dallo studio di sviluppo, funzione ed invecchiamento cerebrale fisiologici, al monitoraggio pre-chirurgico, alla pianificazione neurochirurgica preoperatoria per localizzare funzioni cerebrali proprie di aree di tessuto comprese o contigue alle regioni sede di lesioni tumorali. È in fase di sperimentazione anche per lo studio di malattie neurodegenerative, patologie psichiatriche, dipendenze e abuso di sostanze, nonché localizzazione di focus epilettogeni. [8]

Si viene quindi a costituire una concezione del funzionamento dell'uomo "in toto", un insieme di processi che cooperano all'unisono per un fine, in tal caso un'azione che porti a compimento l'obiettivo dell'individuo in quel dato momento.

Si osserva dunque che alcune zone cerebrali non sono adibite a un'unica funzione. Ad esempio, l'**amigdala**, un organo a forma di mandorla, situato nella parte dorso-mediale del cervello, non viene considerata importante solo in seguito alla sua attivazione in risposta a un evento stressante o pauroso ma bensì viene "considerata" come rilevatore di emozioni. [1]

Evidenze hanno mostrato che nei recenti anni il focus si è incentrato sulla collaborazione dei processi cognitivi all'emozione in risposta a un evento.

## 1.2 Teorie dell'appraisal

Le teorie che più rispecchiano l'interdipendenza tra la cognizione e l'emozione sono le costruttiviste e quelle dell'appraisal.

In questa tesi si pone un focus sulle seconde, la cui concezione delle emozioni rende chiaro il perché di questa scelta. Secondo le teorie dell'appraisal, le emozioni sono **risposte adattive** in merito a ciò che l'individuo ritiene più importante per sé stesso e per il suo benessere. La sensazione viscerale, biologica, dovuta nell'affrontare un evento è una componente fondamentale per la risposta conscia dei cambiamenti in alcuni o tutte le componenti dell'organismo di un individuo. [18]

**Scherer** esplica che la **risposta valutativa**, ovvero l'appraisal, risulta da un processo valutativo (in base ai valori più o meno importanti per una persona).

Questa risposta è spesso inconscia, sebbene alcune volte possa diventare conscia e pertanto divenire parte costituente della sensazione. Il processo valutativo difatti, rappresenta il motore nella motivazione, nei cambiamenti corporei o motori (tradotti in azione), in seguito a un evento. [12]

Le teorie dell'appraisal considerano processi inerenti al contesto individuale, culturale e di sviluppo, per questa ragione l'appraisal è per lo più **soggettivo**: dipende dall'evento e dalla valutazione da parte della persona di quest'ultimo. [19]

L'individuo, dinanzi a un evento, può rispondere in maniera **specificata** o **generalizzata** a seconda di quanti e quali componenti abbia valutato. Se sono pochi e dunque l'evento risulta di poca importanza, la risposta sarà generalizzata, mentre dall'altra parte se vengono presi in considerazione diversi elementi, i quali rappresentano grande importanza per il soggetto, egli vivrà l'esperienza emotiva in maniera più intensa.

Questa disamina può spiegare perché individui diversi posti nei medesimi contesti e dinanzi agli stessi eventi reagiscano in maniera totalmente differente.

Da esempio, dal punto di vista culturale, un americano o un giapponese risponderanno in maniera diversa a un fallimento: dove i primi cercheranno la causa del fallimento negli altri riversando la propria rabbia su questi, i secondi incolperanno loro stessi sperando un grande senso di vergogna. [16]

L'assunto di queste teorie è che esista una **relazione variabile tra lo stimolo e l'emozione**, mentre risulta stabile la relazione tra il processo valutativo e le emozioni. Pertanto, il medesimo processo valutativo conduce allo stesso tipo di emozioni.

Dal punto di vista empirico, sono stati condotti diversi esperimenti in merito alla tematica dell'appraisal. L'argomento di maggior discussione negli studi recenti in codesto ambito è stato in passato la possibilità di prevedere l'emozione in base al profilo di valutazione di un singolo individuo.

Lo studio che pongo in rassegna è quello che maggiormente evidenzia la possibilità che a diversi profili di risposta emotiva siano associati diversi profili di valutazione. Inoltre, è uno dei pochi studi che permette di testare le ipotesi di sufficienza e necessità, componenti l'assunto centrale delle teorie di valutazione delle emozioni. L'esperimento è stato condotto da James J. Gross nell'Università di Stanford, pubblicato nel 2007.

Tale assunto stabilisce che la stessa situazione evoca diverse risposte emotive a seconda di come venga valutata. Le componenti di tale assunto sono, come già citato in precedenza, la teoria di sufficienza e la teoria di necessità. La prima stabilisce che le valutazioni siano cause sufficienti della qualità e dell'intensità di una risposta emotiva. Di conseguenza una diversa valutazione del contesto dello stesso evento è sufficiente per produrre diverse risposte emotive. Mentre la seconda teoria sancisce che le valutazioni sono cause necessarie delle emozioni. Di conseguenza, quando la stessa situazione provoca risposte emotive diverse significa che tale situazione è stata valutata in maniera diversa.

L'esperimento è stato condotto in numerose fasi temporali.

In un primo momento, degli elettrodi sono stati applicati al soggetto in esame, il quale successivamente veniva sottoposto alla visione di un filmato di cinque minuti costituito da immagini che non suscitasse emozioni, in tal senso "neutre" affinché potessero "calmare" lo stato emotivo del soggetto.

In un secondo momento al soggetto viene chiesto di contare al contrario in multipli di 7 o 13 numeri a partire da un numero molto grande. Tale task viene considerato come compito cognitivo di medio livello che richiede dunque risorse cognitive.

In risposta lo sperimentatore indirizza feedback negativi in merito all'esecuzione del task, dimostrandosi rude e impaziente per indurre il soggetto a provare emozioni negative per la durata totale del compito.

Al termine dell'esecuzione cognitiva, al soggetto viene dato il compito di compilare un questionario in cui valuta se le emozioni provate in seguito al feedback negativo ricevuto dallo sperimentatore siano simili, e quanto lo siano in intensità, in confronto alle emozioni descritte su tale questionario. Vengono valutate su 11 livelli attraverso la scala Likert dove lo 0 rappresenta il totale dissenso e 11 la totale concordanza con l'emozione sul questionario.

Una scala Likert è una scala ordinata dalla quale gli intervistati scelgono l'opzione che meglio corrisponde alla loro opinione. Viene spesso utilizzata per misurare il gradimento degli intervistati, chiedendo loro in che misura sono d'accordo o in disaccordo con una particolare domanda o affermazione.

Gli item sono i seguenti: colpevolezza, vergogna, tristezza, rabbia, curiosità, piacevolezza.

Table 1  
Means and Standard Deviations of Emotion-Ratings Before and After Emotion Induction

Emotion	Time				<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>d</i> <sup>a</sup>
	Before induction		After induction					
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>				
Anger	.49	1.12	2.04	2.19	7.31	107	<.001	1.38
Guilt	.51	1.13	2.01	2.58	6.42	107	<.001	1.33
Shame	.55	1.31	2.87	2.9	8.32	107	<.001	1.77
Sadness	.89	1.46	1.52	1.52	3.27	107	.001	.43
Amusement	3.91	2.56	2.41	2.46	-5.88	107	<.001	-.59
Pleasure	4.04	2.43	1.78	1.8	-9.14	107	<.001	-.93

<sup>a</sup> Mean difference standardized by *SD* before induction.

*Tabella 1. L'induzione da parte dello sperimentatore ha prodotto diverse risposte emotive. L'esperimento ha incrementato i valori delle risposte emotive di colpevolezza, vergogna, rabbia e tristezza. Diminuiscono i valori di piacevolezza e divertimento.*

*La discrepanza media in valore assoluto è di 1.07, considerata sopra la norma di 0.8 (Cohen, 1992)*

Un seguente questionario, relativo alle dimensioni principali delle teorie dell'appraisal, viene sottoposto al soggetto, sempre su scala Likert, da 0 a 10.

Vengono valutate le seguenti dimensioni: controllo, importanza soggettiva del compito, sorpresa, propria e altrui responsabilità attribuita al compito.

### Correlations Among Appraisal- and Emotion-Ratings

Table 2  
Correlations Among Appraisal- and Emotion-Ratings

Appraisal	Emotion					
	Anger	Guilt	Shame	Sadness	Amusement	Pleasure
Unexpectedness	.228*	.307**	.343**	.280**		
Control		-.276**	-.309**	-.265**		.276**
Other-responsibility	.295**					
Self-responsibility				.305**	-.245*	
Self-importance		.284**	.275**			

\* *p* (two-tailed) < .05. \*\* *p* (two-tailed) < .01.

*Tabella 2. Correlazione tra le diverse component di appraisal e le risposte emotive.*

*Le risposte emotive presentano tutte diverse combinazioni di componenti, ad avvalorare la tesi per la quale il processo valutativo si differenzia in diverse risposte emotive.*

### Risultati

La tabella 2 mostra le correlazioni tra le dimensioni di valutazione separate e ciascuna emozione.

Nel complesso, nessuna coppia di emozioni mostra un modello identico di correlazioni significative in tutte le dimensioni di valutazione: supporta l'assunzione che i profili di valutazione sono distinti per diverse emozioni.

L'imprevisto era associato a emozioni negative.

Il grado di controllo personale giudicato sulla situazione era associato negativamente al senso di colpa, alla vergogna e alla tristezza (ma non alla rabbia) e positivamente associato all'emozione positiva del piacere.

La valutazione della responsabilità altrui (cioè, incolpare lo sperimentatore per la performance) era positivamente associata alla rabbia (ma non a qualsiasi altra emozione negativa).

Al contrario, mentre la valutazione dell'auto-responsabilità era positivamente associata alla tristezza e marginalmente alla vergogna, l'auto-responsabilità era negativamente associata al divertimento.

Infine, la valutazione dell'importanza personale era positivamente associata alla vergogna e al senso di colpa. Successivamente, per identificare l'insieme di valutazioni che meglio predicevano le emozioni individuali, sono state condotte più analisi di regressione per ciascuna emozione e la sua intensità.

Table 3

*Standardized Regression Weights and Explained Variance of Multiple Regressions Predicting Emotion-Ratings by Appraisal-Ratings*

Appraisal	Emotion					
	Anger	Guilt	Shame	Sadness	Amusement	Pleasure
Control		-.21*	-.27**	-.24*		.28**
Self-importance		.27**	.27**			
Unexpectedness			.20*			
Other-responsibility	.27**				.23*	
Self-responsibility			.18*	.32**	-.28**	
R <sup>2</sup>	.14**	.24***	.25***	.23***	.13*	.25**

\*  $p$  (two-tailed) < .05. \*\*  $p$  (two-tailed) < .01. \*\*\*  $p$  (two-tailed) < .001.

La tabella 3 mostra i seguenti risultati.

L'intensità della rabbia è correlata dalla valutazione della responsabilità altrui e in modo marginalmente significativo dall'imprevisto. Ciò è in linea con l'idea che l'attribuzione della colpa a un'altra persona sia centrale per la rabbia.

La vergogna e il senso di colpa erano entrambi correlati all'imprevisto, bassi livelli di controllo sperimentato e alti livelli di importanza personale dell'evento.

La tristezza era correlata agli imprevisti, bassi livelli di controllo e alti livelli di responsabilità personale. Contrariamente alla vergogna e al senso di colpa, l'importanza personale non era correlata alla tristezza.

Il divertimento era correlato alla responsabilità verso gli altri, così come la rabbia) e anche da bassi livelli di auto-responsabilità e marginalmente da alti livelli di controllo.

L'intensità del piacere era correlata ad alti livelli di controllo e dall'importanza personale (come senso di colpa e vergogna).

In sintesi, sebbene ciascuna dimensione di valutazione fosse coinvolta nella previsione di più di un'emozione, nessuna emozione era prevista dallo stesso sottoinsieme di dimensioni di valutazione, suggerendo dunque che le emozioni individuali fossero associate a modelli di valutazione unici.

Per soddisfare l'ipotesi di necessità, sono stati identificati diversi gruppi di persone che hanno risposto con processi emotivi simili all'interno del medesimo contesto. È stata utilizzata una suddivisione in cluster gerarchici in base all'intensità della risposta emotiva per identificare i sottogruppi con emozioni simili.

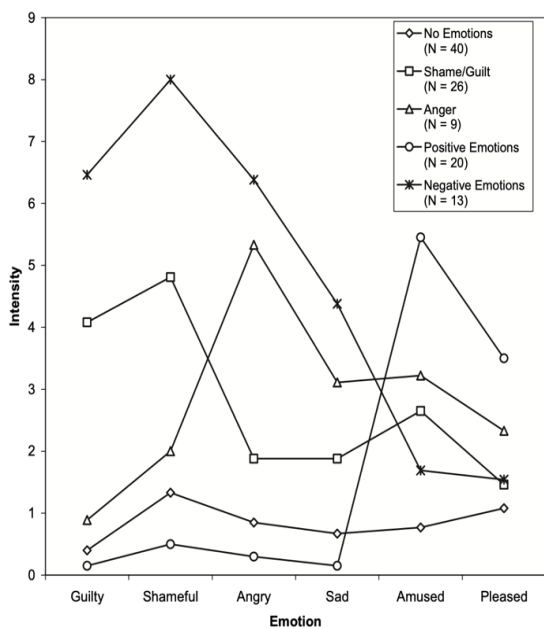


Figure 1. Ns and means of the emotion-ratings in five clusters obtained by a ward hierarchical cluster analysis of the squared euclidean distance matrix of the emotion-ratings.

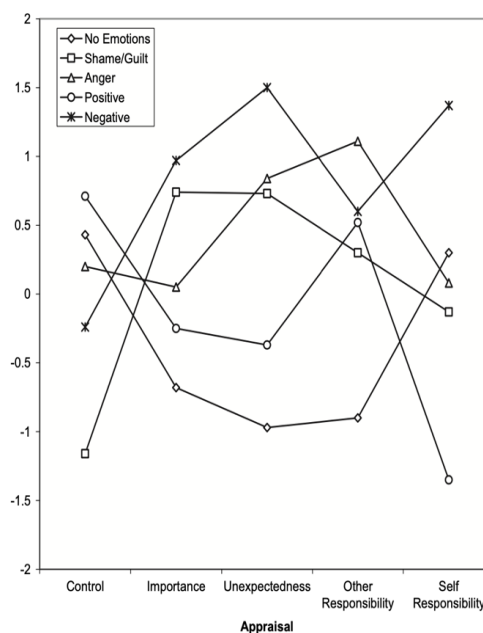


Figure 2. Ns and means of the appraisal-rating mean-deviation scores in the five clusters obtained by a ward hierarchical cluster analysis of the squared euclidean distance matrix of the emotion-ratings.

Per analizzare quanto i processi valutativi si possono discriminare statisticamente dalle diverse risposte emotive, è stata realizzata un'analisi secondo il metodo della regressione multinomiale, dove i componenti dell'appraisal fungono da predittori e le risposte emotive dei partecipanti come variabili dipendenti.

Table 4  
*Results of Likelihood Ratio Tests for Predictors in a  
 Multinomial Logistic Regression Predicting Subject-Cluster by  
 Appraisal-Ratings*

Appraisal	Likelihood-ratio (-2 log likelihood)	$\chi^2$	df	p
Control	281.435	12.054	4	.017
Self-importance	277.558	8.177	4	.085
Unexpectedness	278.346	8.965	4	.062
Other-responsibility	280.379	10.998	4	.027
Self-responsibility	280.054	10.673	4	.030

*Note.* Model fit information: Likelihood ratio = 269.38,  $\chi^2(20, N = 108) = 51.36, p < .001$ ; Cox and Snell pseudo  $R^2 = .378$ .

Successivamente, per identificare l'insieme di valutazioni che meglio prevedevano le emozioni individuali, sono state condotte più analisi di regressione per ciascuna emozione che prevedeva l'intensità dell'emozione con le cinque dimensioni di valutazione. [31]

Per concludere, l'assunto centrale delle teorie di valutazione delle emozioni sostiene che è il modo in cui una persona interpreta una situazione, piuttosto che la situazione stessa, a originare un'emozione piuttosto che un'altra.

Nel presente studio, i partecipanti hanno risposto a una situazione di laboratorio standardizzata che ha provocato una varietà di emozioni differenti. Le valutazioni hanno predetto le reazioni emotive tra i partecipanti, supportando l'ipotesi che le valutazioni siano cause sufficienti di diverse reazioni emotive.

Successivamente i sottogruppi di partecipanti con profili di risposta emotiva simili hanno effettuato valutazioni comparabili, avvalorando l'idea che le valutazioni siano cause necessarie di emozioni diverse.

In sintesi, il presente studio ha testato la teoria di sufficienza e la teoria di necessità che sono state oggetto di studio in pochissimi esperimenti, motivo per il quale è stato scelto codesto esperimento.

## Capitolo 2: Intelligenza artificiale e processi amigdaloidei

### 2.1 Risposte emotive: dove nascono e a chi appartengono

Le **risposte emotive** che quotidianamente generiamo in maniera apparentemente spontanea o in seguito ad un chiaro stimolo esterno, di tipo ambientale, animato o inanimato, sono risposte complesse tanto da descrivere quanto da analizzare.

Nel gergo comune, emozioni e sentimenti sono simbolicamente rappresentati dal cuore, visto come la sede dell'animo umano. Si ha però la certezza scientifica che per quanto il cuore sia fondamentale per la funzione biologica della sopravvivenza, non sia autonomo e sufficiente nella fisiologia delle emozioni. È al **Sistema Nervoso** che spetta il compito di percepire il mondo circostante, apprendere, controllare comportamenti, movimenti, pensieri e, appunto, le emozioni.

Per secoli il mondo della scienza e della ricerca si è chiesto cosa stesse alla radice delle nostre emozioni, da dove provenissero e come si generassero. Dopo decenni di studi, oggi sembra chiaro che la risposta vada principalmente ricercata nel mondo della **neurofisiologia** e della **neuroanatomia**. Lo studio del nostro Sistema Nervoso, delle sue componenti e delle loro intricatissime connessioni ha portato alla scoperta di quello che possiamo oggi definire il "**cervello emozionale**", alla cui base si trovano strutture tanto piccole quanto laboriose quali l'amigdala e l'ippocampo.

D'altra parte, è doveroso evidenziare come nella convinzione popolare le emozioni siano da sempre considerate qualcosa di prettamente umano, quasi fossero un livello superiore di interpretazione e reazione all'ambiente esterno che non può appartenere totalmente ad altre specie viventi. Sicuramente il mondo della filosofia prima, e quelli dell'etologia e della psicologia dopo, hanno progressivamente iniziato a riconoscere una **emotività degli animali**, non più concepita come un comportamento irrazionale ma come reazione intelligente a una determinata azione. Per cui, anche nel mondo biologico extra-umano si comincia a riconoscere l'esistenza di un pensiero razionale che scavalca il mero istinto animalesco. Tuttavia, ci si chiede se questa emotività sia infine riferibile anche al mondo in rapida evoluzione della **cibernetica** e dell'**intelligenza artificiale**.

In questo capitolo si cercherà di analizzare la neurofisiologia delle emozioni e di rispondere ad alcuni degli interrogativi qui proposti, servendosi di recenti esperimenti. [2] [5]



## 2.2 Processi emotivi nell'amigdala: un esperimento con il modello EMA

L'amigdala viene considerata non tanto un rivelatore di paura oppure legata solamente a tale emozione ma bensì un **rivelatore di uno stimolo valutato come importante, in base alle proprie priorità, come obiettivi personali, bisogni e valori.** [27]

Di fatto, nelle teorie dell'*appraisal* l'emozione viene collegata a un complesso processo valutativo che è base e tramite della genesi e del riconoscimento dell'emozione stessa, relativa a uno stimolo ambientale e a un'azione. In base a come si valuta l'ambiente circostante, si prova o meno una data emozione.

Si prende in rassegna un esperimento condotto da Satoshi Sonoh, pubblicato nel 2008 ("*An implementation of intrinsic emotions on an autonomous robot with the emotional expression model of amygdala*") che analizza la genesi e l'estrinsecazione di una reazione emotiva in un robot autonomo in seguito a una stimolazione ambientale.

È innanzitutto bene evidenziare una sostanziale differenza tra ciò che accade nell'essere umano e ciò che invece avviene nel sistema cibernetico di un robot in termini di creazione e conseguente espressione delle emozioni. Mentre per l'uomo il processo di esternazione delle proprie personali emozioni risulta non verbale e intuitivo, per l'organismo robotico diviene necessario ricorrere all'espressione esplicita per comunicare il proprio stato interno.

Nell'esperimento succitato, il metodo usato per la dimostrazione è il **modello EMA** (*Emotional Model of Amygdala*), considerato un valido modello artificiale delle reti neurali dell'amigdala. Tale modello si basa sul riconoscimento e sul riconoscimento dei segnali provenienti dall'ambiente, a cui consegue una loro successiva rielaborazione e la processazione di una risposta.

Sono stati inoltre utilizzati, al fine di rendere l'esecuzione dell'esperimento più facile possibile, svariati sensori e un dispositivo destinato ad accelerare il processo di EMA (si parla nel complesso di *EMA hardware*).

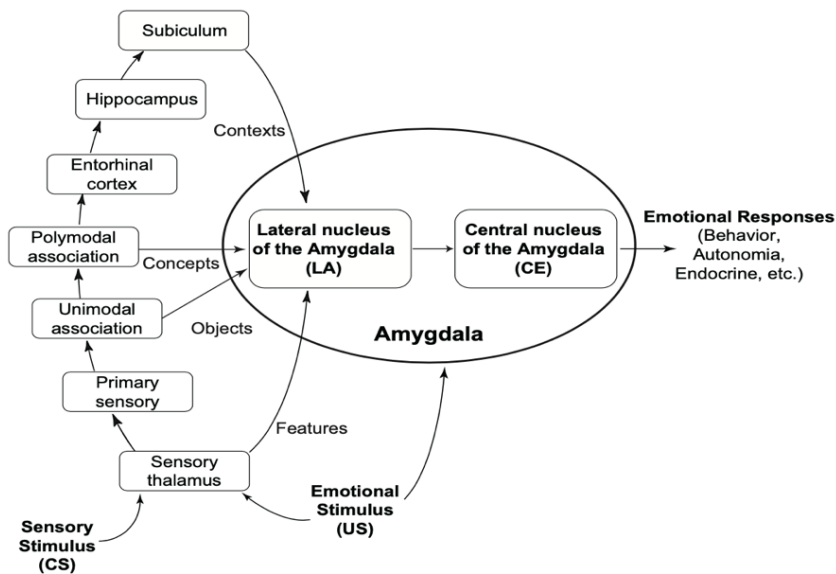


Figura 1.

Il sistema limbico riceve le informazioni associate a memoria ed emozioni, potendole immagazzinare e rievocare tramite connessioni afferenti ed efferenti.

L'amigdala riceve gli stimoli sensoriali dall'ambiente esterno e interno attraverso i nuclei talamici sensoriali. Lo stimolo sensoriale attraversa il nucleo laterale dell'amigdala (LA) e viene processato affinché possa essere prodotta una corrispondente risposta emotiva nel nucleo centrale dell'amigdala (CE).

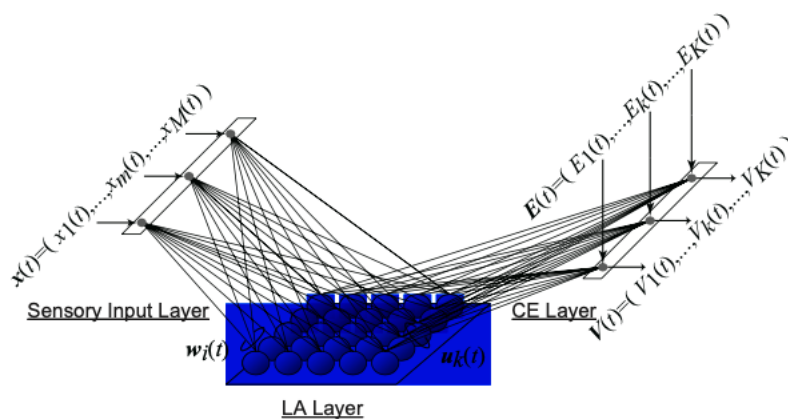


Figura 2.

L'architettura di EMA consiste di tre strati: lo strato sensoriale, lo strato laterale (LA) e lo strato centrale (CE). EMA riceve lo stimolo sensoriale e lo stimolo emotivo, genera successivamente il valore emotivo dello stimolo sensoriale.

L'EMA hardware permette di processare la risposta emotiva in maniera molto più rapida in seguito ad uno stimolo sensoriale e uno emotivo. [32]

### 2.2.1 EMA e il condizionamento di tipo classico

La relazione tra lo stimolo sensoriale e la risposta emotiva si instaura grazie a un processo di **condizionamento di tipo classico**.

Nel 1904 Pavlov riceve il Premio Nobel in fisiologia per il suo lavoro sulla salivazione dei cani. Pavlov studiò il processo digestivo in animali di laboratorio impiantando fiale nelle guance dei cani per misurare le loro risposte di salivazione di fronte a vari tipi di cibo. Con una buona dose di fortuna, tuttavia, la sua esplorazione di salive e bave rivelò i meccanismi della forma di apprendimento che ancora oggi chiamiamo condizionamento classico.

Nella celeberrima teoria elaborata da Pavlov sono due gli stimoli necessari alla finalizzazione del processo stesso di condizionamento: lo **stimolo condizionato** e quello **incondizionato**. Il primo viene presentato al soggetto (un cane in quel dato esperimento) e non provoca inizialmente risposte di alcun tipo. Lo stimolo incondizionato, invece, viene presentato secondariamente e genera per sua “natura” una risposta emotivo-comportamentale.

Nell’esperimento di Pavlov “suonare la campanellina” rappresenta lo stimolo condizionato, mentre “dare da mangiare” lo stimolo incondizionato. Dopo aver presentato i due stimoli, il soggetto dell’esperimento – ovvero il cane – riceve il cibo. La ripetizione metodica di questa sequenza di stimoli e azioni condiziona il cane a salivare quando viene suonata la campanella, anche in assenza di cibo. Ciò avviene poiché l’animale associa il primo stimolo a ciò che ha visto accadere in seguito in maniera ripetitiva e ormai considerata routinaria, ovvero la ricezione di cibo. La relazione dunque porta a generare una risposta emotiva alla presentazione dello stimolo condizionato iniziale.

Il condizionamento classico può pertanto definirsi come ciò che si verifica *quando uno stimolo neutro evoca una risposta dopo essere stato associato ad uno stimolo che suscita di per sé una risposta spontanea*.

[14] [28] [32]

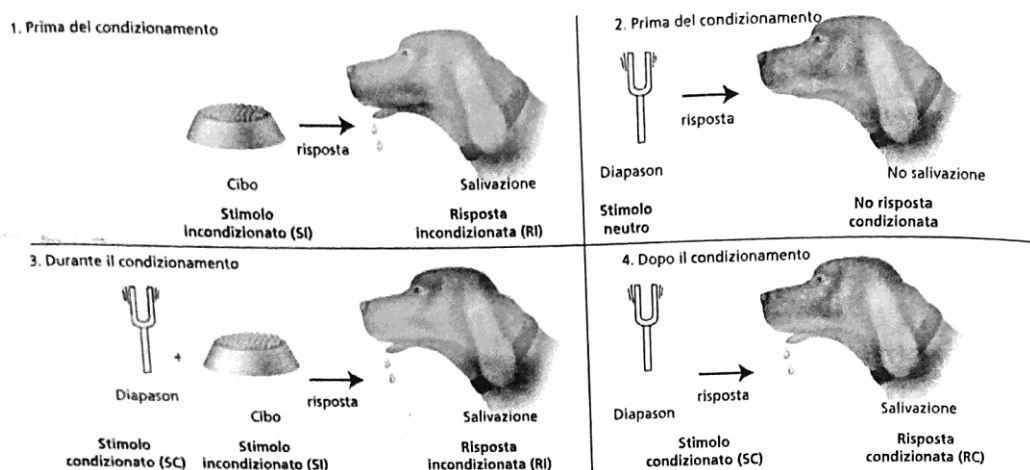


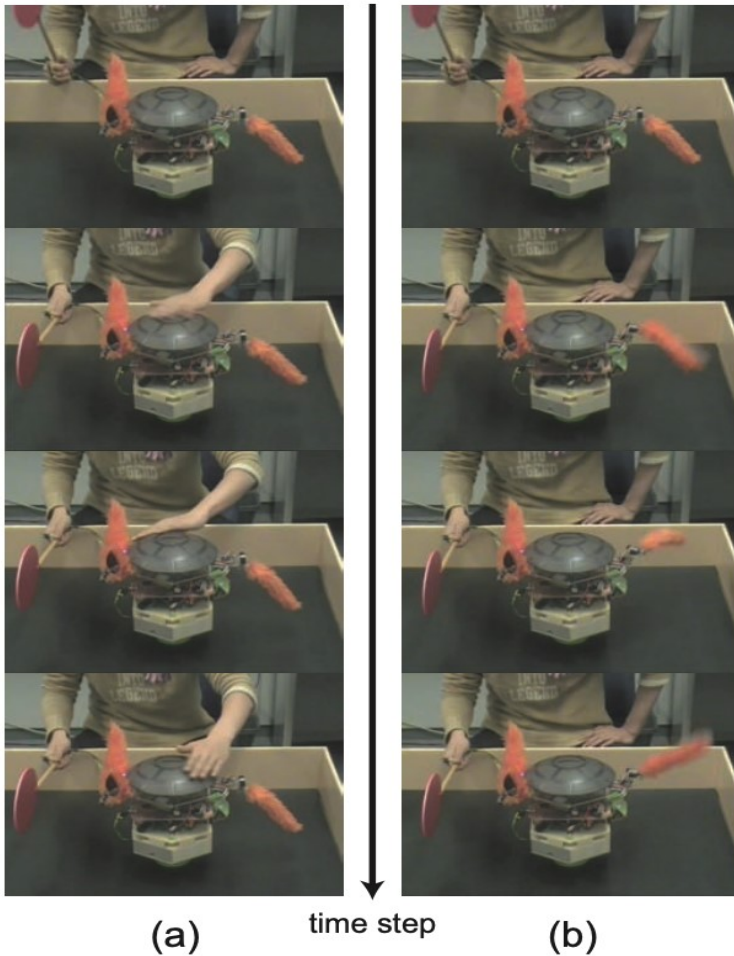
Figura 3.

*Nel condizionamento classico uno stimolo che in precedenza era neutro (come il suono d'un campanello o di un diapason) viene abbinato ad uno stimolo incondizionato (come la presentazione del cibo). Dopo diverse prove ripetute in cui si associano le due cose, lo stimolo condizionato (il suono) riesce da solo a produrre una risposta condizionata. [27]*

La maggior parte degli studi incentrati sull'amigdala sfruttano proprio compiti di condizionamento classici o strumentali, in cui i soggetti apprendono l'associazione tra stimoli condizionati (CS) e stimoli incondizionati appetitivi o, soprattutto, avversivi (US). Il meccanismo di apprendimento dimostrato da Pavlov funziona in maniera spettacolare nel circuito limbico e nel complesso amigdaloideo: considerevoli prove indicano che i neuroni dell'amigdala codificano informazioni sul significato affettivo o motivazionale complessivo degli US associati ai CS. Pertanto, l'amigdala funziona innanzitutto come "sistema di allarme" che associa a uno stimolo ambientale preciso una conseguenza dannosa per l'organismo, fisicamente o emotivamente, e genera come segnale di allerta proprio l'emozione della paura, quella che più tradizionalmente vediamo essere correlata al complesso amigdaloideo. D'altra parte, si dimostrerà oltre come non solo gli stimoli avversivi, bensì anche quelli appetitivi, possano attivare tale meccanismo di funzionamento condizionato dell'amigdala e come quest'ultima non sia banalmente riducibile a un semplice "sistema di allarme". [21]

### 2.3 Interazione tra robot e uomo

Il sistema di espressione emotiva (EMA) viene impiantato nel robot sperimentale per fungere da amigdala. Il robot, dunque, riesce a individuare gli stimoli sensoriali ed emotivi provenienti dall'ambiente e a produrre una risposta emotiva e comportamentale.



*Figura 4.*

*Lo stimolo condizionato iniziale da parte dell'uomo è rappresentato dalla presentazione di una paletta con un colore rosso "davanti al robot".*

*Lo stimolo incondizionato è rappresentato dalla carezza sulla testa del robot.*

*La risposta emotivo-comportamentale da parte del robot è rappresentata dal movimento del proprio arto di colore rosso. In seguito al condizionamento da parte dell'uomo, il robot risponde con felicità (ovvero muovendo l'arto colorato) all'esposizione della paletta di colore rosso.*

Per comprendere la risposta emotivo-comportamentale del robot usato in questo esperimento, si ricordi che il modello EMA si ispira, al pari di altri sistemi di espressione emotiva, al **modello minimale** di funzionamento amigdaloidale di animali esaustivamente studiati, quali i cani.

I dispositivi di espressione emotiva sono sviluppati simulando la mimica di orecchie e coda utilizzata dai cani per esprimere le proprie emozioni in modo facilmente comprensibile. Le espressioni emotive dei cani sono state studiate in dettaglio. Le emozioni generate sono espresse da vari movimenti dei dispositivi di espressione emozionale. Per esempio, l'orecchio è disteso e la coda è agitata in piccoli movimenti, se l'emozione è paura. Allo stesso modo sono state codificate anche le reazioni esprimenti piacere, confusione e le emozioni di attenzione. Nell'esperimento, la "felicità" del robot si esprime attraverso il movimento dell'arto colorato.

Questo esperimento dimostra che la via delle risposte emotive non è esclusivamente umana e animale, bensì potrebbe diventare in un futuro non troppo lontano propria anche degli

organismi cibernetici artificiali, come il robot di questo studio. Ciò che da sempre abbiamo considerato come caratterizzante la nostra specie, le emozioni che ci paiono così spontanee e naturali, risultano invece essere frutto di un calibratissimo e complesso processo di percezione, comprensione, rielaborazione e genesi di risposte comportamentali. Il tutto appare riproducibile artificialmente, attraverso modelli che si ispirano proprio al funzionamento di una nostra struttura cerebrale: l'amigdala. Ciò che accade nel nostro sistema nervoso può essere analizzato, scomposto e riprodotto in un essere inanimato. D'altra parte, l'esperimento di Satoshi Sonoh rappresenta un valido, seppur piccolo, passo in avanti per raggiungere una più completa **somiglianza e interazione** tra l'uomo e l'agente cibernetico. "Il modello EMA sembra rendere possibile **l'implementazione delle emozioni in un macchinario artificiale**" [32]

#### **2.4 La neuroanatomia delle emozioni: l'amigdala e il cervello emozionale**

Si passa dunque ad analizzare la **neuroanatomia** delle emozioni, concentrandosi sulle piccole e profonde strutture già citate nei paragrafi precedenti.

Il sistema limbico o circuito neurale delle emozioni è il principale sistema responsabile della "vita emotiva" di ciascun individuo. Tale sistema è associato a un altro sistema molto importante, ovvero quello olfattivo. Il motivo del legame è da ricercare nello sviluppo filogenetico dell'essere umano, in quanto il sistema limbico si è venuto a creare in associazione con il primo.

Col termine "sistema limbico" si indicano quelle strutture cerebrali implicate nella vita emotiva. Viene definito anche cervello emotivo poiché formato da strutture corticali e sottocorticali che risultano estremamente importanti nei mammiferi, essendo strettamente correlate con i meccanismi di attacco o difesa, procreazione e alimentazione.

Le strutture implicate sono numerose.

Il **talamo** è una struttura estremamente importante e funge da centro portuale attraverso il quale le informazioni circolano in una direzione bidirezionale, verso il cervello o verso il resto del corpo.

L'**ipotalamo** è collocato al di sotto del talamo ed è collegato attraverso una via preferenziale all'ipofisi. Rappresenta il motore d'azione del sistema endocrino e della produzione di ormoni destinati a seconda della tipologia in diversi organi dell'organismo.

L'**ippocampo** è una delle strutture cerebrali filologicamente più antiche, la cui forma a cavalluccio marino ne giustifica la denominazione. È implicato nei meccanismi mnestici e di apprendimento. Si connette con le strutture circostanti creando una fitta rete di informazioni in entrata e in uscita che alimentano il magazzino della memoria con cui si identifica l'ippocampo stesso.

Queste tre strutture svolgono tre ruoli importanti nell'esperienza emotiva. Mentre il talamo si occupa di smistare le informazioni emotive in maniera bidirezionale, l'ipotalamo attiva determinati ormoni a seconda dell'emozione provata e l'ippocampo si occupa dell'attivazione del magazzino di memoria.

Infine, centro nevralgico del cosiddetto cervello emozionale nonché protagonista del modello EMA e dell'esperimento condotto da Satoshi Sonoh, pubblicato nel 2008 è l'**amigdala**. [32]

#### 2.4.1 Il sistema limbico e le connessioni afferenti-efferenti dell'amigdala

L'amigdala costituisce una parte fondamentale del **circuito neurale per le emozioni**. Tale sistema rappresenta la porzione più profonda e antica del telencefalo: avvolge il diencefalo ed è responsabile del controllo dei bisogni fisiologici essenziali (fame, sete, impulsi istintivi, pulsione sessuale) e della percezione di determinate sensazioni, come la paura. È formato da diverse strutture, corticali e sottocorticali, che partecipano all'integrazione emotiva, istintiva e comportamentale: il *lobo limbico* propriamente detto, che è quella porzione di corteccia cerebrale localizzata sulla faccia mediale degli emisferi, a ridosso del tronco cerebrale e intorno al corpo calloso; l'*ippocampo*, formazione nervosa presente nella profondità del lobo temporale; il *complesso amigdaloide*; i *nuclei settali* e vari *nuclei talamici*. In generale, il sistema limbico interviene nella modulazione dello stato affettivo di base e dell'ansia, nelle reazioni di paura e in quelle aggressive, nei comportamenti alimentare e sessuale; inoltre, agendo sui neuroni ipotalamici che secernono il fattore di rilascio della corticotropina, attiva la liberazione ipofisaria ACTH che, tramite il sistema autonomo, influenza lo stato funzionale di vari organi, quali il cuore, i vasi sanguiferi, la colecisti, l'intestino e la vescica.

L'**amigdala** è situata nella parte dorso mediale del lobo temporale, dove le connessioni con le strutture circostanti danno vita al cosiddetto cervello emozionale.

Si illustrano nelle seguenti tavole anatomiche le principali connessioni afferenti ed efferenti dei nuclei amigdaloidei. [510]

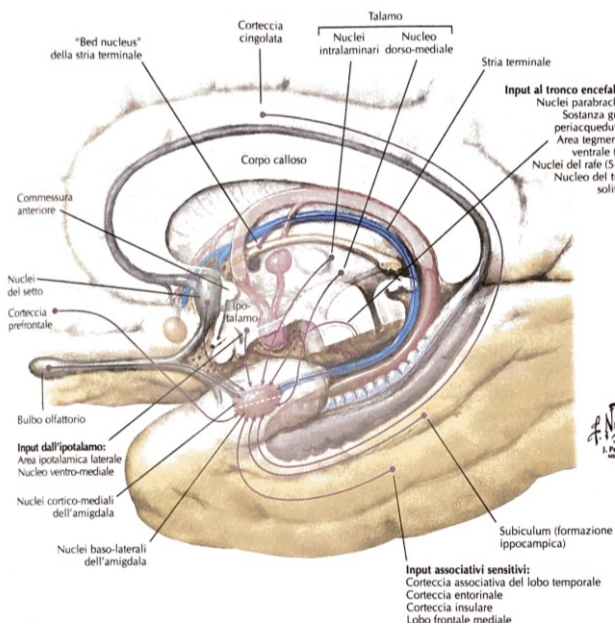
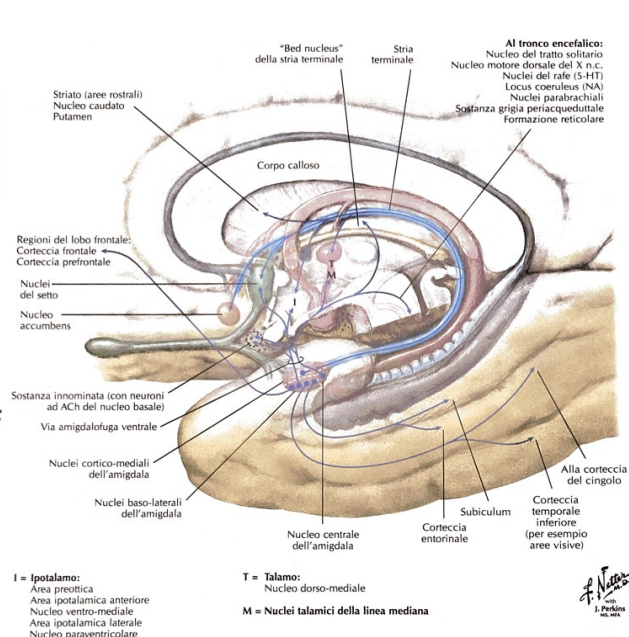


Figura 5.

Connessioni afferenti dell'amigdala.

Afferenze ai nuclei cortico-mediali dell'amigdala arrivano principalmente da fonti limbiche subcorticali, tra cui il bulbo olfattorio, i nuclei del setto, alcuni nuclei ipotalamici, il talamo, la stria terminale e grandi quantità di nuclei del tronco encefalico.

Afferenze ai nuclei baso-laterali arrivano principalmente dalle aree corticali, tra cui ampie zone di corteccie associative e sensitive, dalla corteccia prefrontale, dalla corteccia del cingolo e dalla formazione ippocampica del subiculum.



I = ipotalamo:

- Area preottica
- Area ipotalamica anteriore
- Nucleo ventro-mediale
- Area ipotalamica laterale
- Nucleo paraventricolare

T = Talamo:

- Nucleo dorso-mediale

M = Nuclei talamici della linea mediana

Figura 6.

Connessioni efferenti dell'amigdala.

Efferenze dai nuclei cortico-mediali proiettano attraverso la stria terminale e sono dirette principalmente ai nuclei sottocorticali.

Efferenze dai nuclei baso-laterali proiettano a regioni corticali, tra cui la corteccia frontale, la corteccia del cingolo, la corteccia temporale inferiore, il subiculum e la corteccia entorinale, oltre che alle regioni limbiche subcorticali, tra cui i nuclei ipotalamici, settali e il nucleo basale colinergico nella sostanza innominata.

2.4.2 L'amigdala in psicologia: applicazione del condizionamento classico

Gli psicologi si sono da sempre interessati a questa porzione di cervello che è spesso stata associata al processo di apprendimento o rimozione delle emozioni, nello specifico della paura. [7]

Il metodo del condizionamento classico è efficacemente applicabile proprio in questa regione specifica, come precedentemente spiegato. L'amigdala, dunque, è da sempre associata a condizionamenti che coinvolgono l'emozione della paura.

Tale concezione si è radicata nel pensiero scientifico-psicologico grazie a numerosi esperimenti eseguiti su roditori, principalmente topi da laboratorio, condizionati a esprimere paura dinanzi a uno stimolo che è normalmente neutro e non provoca di per sé paura.

A rinforzare quel giudizio, sono stati anche numerosi studi neuroscientifici condotti esclusivamente su roditori che hanno evidenziato come i neuroni presenti nella porzione basolaterale dell'amigdala si attivino in maniera rapida - ossia con elevati firing rates - in



seguito all'esposizione ad eventi avversivi e terrorizzanti, che generano paura negli animali sperimentali. [26]

#### 2.4.3 I nuovi ruoli dell'amigdala: la possibilità di scelta

D'altra parte, in tempi recenti, la concezione dell'amigdala come struttura funzionale attivandosi solo di fronte a eventi che generino paura non viene più universalmente accettata: la **complessità funzionale** dell'amigdala è ad oggi chiara e il suo ruolo nella genesi di comportamenti emotivo-reattivi è sempre più totalitario.

A sostenere questa nuova visione dell'amigdala sono studi di tipo anatomico che hanno potuto individuare la posizione e dunque le numerose interconnessioni tra l'amigdala e le altre regioni nel cervello. Nel cervello dell'uomo, a differenza dei roditori quali i ratti e topi, la corteccia prefrontale risulta più complessa e alcune aree (mediale e orbitale) sono connesse con l'amigdala in maniera bidirezionale. [13]

La corteccia prefrontale svolge infatti funzioni deputate alla decisione, alla pianificazione e all'adattamento a nuove situazioni. In particolare, la prova che la corteccia orbitofrontale giochi un ruolo cruciale nei comportamenti emozionali è fornita dall'osservazione degli effetti provocati da una lesione in questa regione.

Altre aree con le quali l'amigdala stabilisce dei legami sono l'ippocampo, i gangli basali, la corteccia peririnale e quella entorinale, il prosencefalo e altre strutture sottocorticali quali l'ipotalamo. [6]

Questa intricata struttura anatomica fa pensare che l'amigdala non possa essere più considerata come sola rivelatrice di paura.

Studi recenti infatti hanno dimostrato quanto il ruolo dell'amigdala sia importante per determinare la **scelta della ricompensa**, in particolare successivamente a un processo di svalutazione di un dato item. [21]

Nell'esperimento condotto da Christopher J. Machado, pubblicato nel 2007 le scimmie di controllo sazie di un particolare item (in questo caso le noccioline), si sono dimostrate meno propense a scegliere nuovamente l'item stesso, grazie al controllo negativo operato dal sistema di valutazione. Le scimmie la cui amigdala invece ha subito una lesione o è stata temporaneamente inattivata, non distinguono l'item per il quale sono sazie da quello che le ha appunto saziato, scegliendo quindi con lo stesso entusiasmo tale item, senza il processo di svalutazione, guidato da un'amigdala funzionante, delle scimmie di controllo.

Si evidenzia pertanto come l'amigdala abbia un ruolo centrale nell'esecuzione di una **scelta**, nella valutazione di ciò che è rilevante e dunque nel dare un **giudizio di valore**, che potrà essere positivo o negativo. [20]

Si dimostra infine come neurofisiologicamente l'amigdala abbia un ruolo centrale proprio nell'attribuzione di un valore, in quel processo valutativo che sta alla base delle teorie dell'*appraisal*. L'amigdala riconosce gli stimoli già identificati come rilevanti e guida, mediante le sue molteplici connessioni, il Sistema Nervoso all'associazione dello stimolo con una specifica emozione.

## Capitolo 3: La Ruota di Ginevra e l'appraisal nella robotica

### 3.1 Come misurare e valutare le emozioni

Nei precedenti capitoli si è analizzata l'evoluzione del concetto di emozione e la sua vicendevole contrapposizione o sovrapposizione con quello di cognizione nella storia degli studi psicologici. Si è inoltre discusso delle vie neuroanatomiche e dei processi neurofisiologici che stanno alla base delle risposte emotive, comparando ciò che accade nel Sistema Nervoso umano a come reagiscono altre specie animali o addirittura agenti cibernetici dotati di Intelligenza Artificiale. Si è in particolare evidenziato il ruolo cruciale dell'amigdala, la sua mis-interpretazione nel corso dei decenni e la sua attuale rivalutazione.

Le emozioni, come più volte esplicitato, possono essere considerate il frutto di un processo valutativo complesso che, secondo le teorie dell'appraisal, parte da uno stimolo esogeno o endogeno e arriva ad una associazione variabile da individuo a individuo, sulla base di distinti sistemi di giudizio, bisogni e priorità personali.

Le emozioni, come qualunque altro concetto più o meno astratto che sia oggetto di studio della Psicologia, necessitano di un sistema di misurazione e valutazione. Data la complessità della definizione delle stesse, l'evoluzione storica e la ancora irrisolvibile indefinitezza del concetto, tale sistema non è semplice da trovare. Negli anni si sono usati differenti criteri di categorizzazioni e distinte tecniche di misurazione delle emozioni, servendosi di **metodi di autovalutazione**, di **valutazione del comportamento manifesto** e metodi **neuropsicologici di attivazione fisiologica**.

Gli strumenti **self-report** hanno sicuramente il vantaggio di essere veloci e facili, tuttavia la loro precisione è limitata. Sono suscettibili di notevoli bias e dipendono dalla soggettività del paziente.

L'osservazione **comportamentale**, invece, prevede che si possa dedurre l'emozione provata dal comportamento delle persone e dal contesto in cui l'emozione ha luogo. Nell'osservazione comportamentale, prestiamo particolare attenzione alle espressioni facciali. A volte controlliamo le nostre espressioni volontariamente. Tuttavia, ci sono esempi molto brevi di improvvise espressioni emotive, ossia le **microespressioni**, che sono più difficili da controllare volontariamente. Ad esempio, quando si finge di essere calmi si possono mostrare brevi e occasionali segni di rabbia, paura o tristezza. Con la pratica o con

una registrazione che viene riprodotta lentamente, gli psicologi possono dedurre le emozioni che le persone nascondono. Tuttavia, le microespressioni sono poco frequenti e pertanto non possono essere una fonte importante di informazioni.

Infine, per quanto riguarda la misurazione **fisiologica**, si può effettivamente misurare l'eccitazione del sistema nervoso simpatico monitorando ad esempio la frequenza cardiaca, la frequenza respiratoria e i cambiamenti momentanei della conduttività elettrica attraverso la pelle. Gli stati emotivi sono accompagnati da risposte fisiche complesse e interagenti, che coinvolgono il sistema nervoso autonomo e le altre strutture cerebrali precedentemente discusse. Alcune misure della funzione autonoma, tra cui frequenza cardiaca, temperatura delle dita, conduttanza della pelle e attività muscolare, possono produrre schemi distinti durante diversi stati emotivi. Tuttavia, il grado della loro affidabilità rimane in discussione, dato che queste misurazioni non possono specificare quale emozione provi un individuo.

Tutti questi strumenti e metodi di misurazione e valutazione hanno i propri vantaggi e i propri svantaggi. Tra questi, qui ricordiamo e analizziamo la **Geneve Emotion Wheel (GEW)** o **Ruota di Ginevra**, uno strumento derivato teoricamente e testato empiricamente per misurare le risposte emotive a oggetti, eventi e situazioni. Per quanto concerne il suo funzionamento, più avanti meglio esplicitato, all'intervistato viene chiesto di indicare l'emozione che ha provato in una data situazione scegliendo l'intensità per una singola emozione o una combinazione di più emozioni tra venti distinte famiglie di emozioni. Le famiglie di emozioni sono disposte a forma di ruota con gli assi definiti da due dimensioni principali dell'esperienza emotiva.

La Ruota di Ginevra è uno strumento multifunzionale e poliedrico, che trova sempre più ambiti di applicazione e di cui si continuano a studiare le potenzialità, integrandola anche nella ricerca sull'Intelligenza Artificiale e sulla risposta emotiva cibernetica.

[14] [29]

### **3.2 Funzionamento e applicazione della Geneve Emotion Wheel**

La Geneve Emotion Wheel è stata ideata per rispondere e contrastare le criticità degli strumenti precedenti.

È definibile come un ibrido, caratterizzato da due approcci: uno di tipo **dimensionale** e uno di tipo **categoriale**. Lo strumento è infatti costituito da diverse etichette che rappresentano le distinte tipologie di emozioni e, proprio grazie alla sua peculiare natura ibrida, permette di

identificare le emozioni attraverso i termini derivati dal linguaggio colloquiale, quotidiano, riuscendo in questa maniera ad essere riconosciute con più facilità e acquisendo una maggiore specificità. L'aspetto dimensionale permette inoltre di poter collocare le emozioni all'interno di un grafico, conferendo così una maggiore fruibilità e immediatezza di utilizzo allo strumento nella pratica di ricerca e investigazione clinica.

Il piano cartesiano che funge da impianto per la ruota è caratterizzato da due assi, che rappresentano uno la **valenza** e l'altro il **controllo**, all'estremo dei quali si trovano valori positivi/negativi e il grado alto/basso. La GEW ha subito diverse revisioni nel corso degli anni, portando il numero determinato di emozioni ad essere quaranta dalle iniziali venti. Le tradizionali venti emozioni vengono quindi disposte sul piano cartesiano, in maniera tale che ogni quadrante del grafico sia occupato da cinque di esse.

L'altra caratteristica degna di nota della GEW, oltre ad essere un ibrido, caratterizzato da un aspetto di tipo dimensionale e uno di tipo categoriale, è il presentare un elemento a risposta libera che permette all'intervistato, nel caso in cui non riesca a rispecchiare il proprio stato emotivo con nessuna delle opzioni offerte dalla GEW, di scegliere la risposta "*no emotions felt*".

La criticità della ruota delle emozioni di Ginevra, come nella maggior parte degli strumenti caratterizzati da un approccio di tipo dimensionale, è l'assenza di un metodo statistico complementare. Per tale motivo lo strumento ha ricevuto poca attenzione nella ricerca robotica, venendo utilizzato maggiormente come risorsa per documentare l'emozione e l'intensità percepita nell'interazione tra partecipante umano e agente cibernetico.

Lo studio "*Using the Geneva Emotion Wheel to Measure Perceived Affect in Human-Robot Interaction*" di Adam K. Coyne pubblicato nel 2020 dall'Università di Cambridge mette in risalto come la Geneve Emotion Wheel possa essere utilizzata come strumento di documentazione dell'emozione e, se affiancato dall'elemento statistico, in questo caso rappresentato dal metodo del "Vettore di Mardia", possa risultare ancora più specifica l'interpretazione dei suoi dati.

L'aspetto statistico nello studio si riconduce all'analisi di determinate componenti vettoriali, misurando l'angolo corrispondente alla posizione di ogni emozione attraverso le componenti trigonometriche - seno, coseno e tangente.

$$X_e = \frac{1}{n_e} \sum (I_i \cdot \cos \theta_i) \quad (1)$$

$$Y_e = \frac{1}{n_e} \sum (I_i \cdot \sin \theta_i) \quad (2)$$

Vengono ricavate la valenza media e il valore medio del controllo ( $X_e$ ) e ( $Y_e$ ), i quali espressi in forma vettoriale consentono di ottenere le coordinate ortogonali della direzione angolare e l'intensità del profilo emozionale.

$$\theta_e = \tan^{-1} \left( \frac{Y_e}{X_e} \right) \quad (3)$$

$$I_e = \sqrt{X_e^2 + Y_e^2} \quad (4)$$

Il primo valore corrisponde alla direzione, sulla quale “punta” l'emozione maggiormente percepita. Il secondo invece rappresenta l'intensità media percepita. Si ricava in seguito la varianza della distribuzione, attraverso le versioni non ponderate delle equazioni sopra.

$$V'_e = 1 - \frac{\sum \cos(\theta'_e - \theta_i)}{n_e} \quad (5)$$

Utilizzando la seguente formula si ricava il valore della varianza ponderata all'intensità.

$$V_e = 1 - \frac{\sum (I_i \cos(\theta_e - \theta_i))}{\sum (I_i)} \quad (6)$$

Infine, per ottenere la varianza delle emozioni attraverso l'ottenimento dell'angolo espresso dalla varianza precedente, viene tutto diviso per il numero di emozioni presente nella Ruota di Ginevra, in questo caso 20.

Dal punto di vista dell'analisi e della visualizzazione dei dati, vengono utilizzati un istogramma circolare e delle mappe di temperatura (*heatmaps*). Sono stati adoperati questi due strumenti in modo da poter osservare con più chiarezza le emozioni individuali (i partecipanti non hanno fatto fatica a identificarla) e l'intensità di queste.

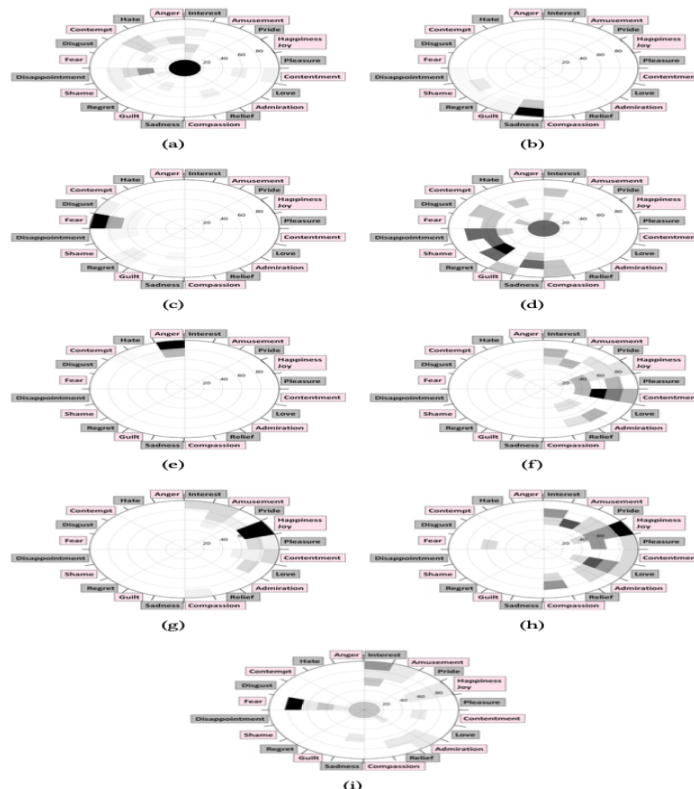
I partecipanti hanno dovuto quindi giudicare le emozioni del robot, in successione l'una all'altra con un periodo intermedio di neutralità, ossia una breve pausa.

I risultati ottenuti sono stati i seguenti.

Emotion	$n_e$	$\theta_e$	Closest label	$I_e$	$V_e^e$	$V_e^{e'}$
$e_1$	33	2.69	"Disgust"	1.35	4.19	3.48
$e_2$	34	4.54	"Guilt"	5.35	1.14	1.13
$e_3$	34	3.26	"Fear"	4.98	1.39	1.35
$e_4$	27	3.84	"Amusement"	2.63	3.20	2.71
$e_5$	34	1.91	"Anger"	5.67	0.37	0.37
$e_6$	34	0.29	"Pleasure"	3.23	2.25	2.22
$e_7$	34	0.60	"Joy"	4.62	1.72	1.74
$e_8$	34	0.33	"Pleasure"	3.17	2.67	2.61
$e_9$	29	1.85	"Anger"	1.21	4.35	4.10

Si può osservare dalla tabella come l'intervallo di risultati della varianza sia molto ampio, da 0.37 come valore minimo a 4,35 come massima per quanto concerne la varianza ponderata, indicata dal simbolo Vee.

Si nota inoltre che esiste una relazione inversamente proporzionale tra l'intensità e la varianza. Un valore alto della prima correlata con un valore basso della seconda indicano un'emozione distinta, facilmente riconoscibile e distinguibile dai partecipanti all'esperimento, come accade nel caso di  $e_2$  ed  $e_5$ .



Il valore alto dell'intensità è rappresentativo del valore medio costituito dal giudizio di tutti i partecipanti. Il risultato di questo giudizio dato dai partecipanti si può osservare nella "heat map", dove il "colore" è maggiormente concentrato in una singola area, invece di risultare disperso come in altre emozioni ambigue, il cui valore di varianza è alto, rappresentativo del fatto che i partecipanti hanno espresso giudizi diversi l'uno dall'altro.

L'emozione della rabbia rappresentata da e5 è caratterizzata dal valore più basso di varianza, indicando appunto che la maggior parte dei partecipanti sono d'accordo sullo stesso giudizio.

Questo studio è dunque riuscito a documentare le emozioni percepite dai partecipanti nell'interazione con l'agente cibernetico. Servendosi inoltre di uno strumento statistico è risultato possibile descrivere ed elaborare i dati in maniera più specifica e precisa.

[4]

### **3.3 L'appraisal nell'agente cibernetico**

#### **3.3.1 Neuro attività e neuro modulazione**

L'assunto principale delle teorie della valutazione o dell'appraisal è che l'emozione sia un processo multi-componenziale in cui la parte cognitiva e motivazionale risultano di massima importanza.

Ciò che distingue l'uomo da un animale o da un oggetto è il possedere emozioni, essere dotato di emozioni e motivazioni che lo portano a compiere un obiettivo. D'altra parte, sull'agente cibernetico si dibatte ancora se realmente esso possa possedere sia la parte emozionale che cognitiva, analogamente all'uomo. Affinché si possa giungere a una risposta non soddisfacente ma "necessaria" bisogna dunque differenziare il concetto di **neuro attività e neuro modulazione**.

Con il termine neuro modulazione ci riferisce all'attività delle cellule nervose produttrici di sostanze endogene chiamate **neuromodulatori**, tra i quali i più conosciuti sono la dopamina, la norepinefrina e la serotonina. Queste sostanze vengono secrete da aree specializzate che si trovano nel cervello in risposta a stimoli esterni o interni.

Pertanto, ogni neuromodulatore attiva specifici gruppi di recettori che si trovano all'interno di membrane neuronali e ognuno dei quali influenza il neurone in una determinata e

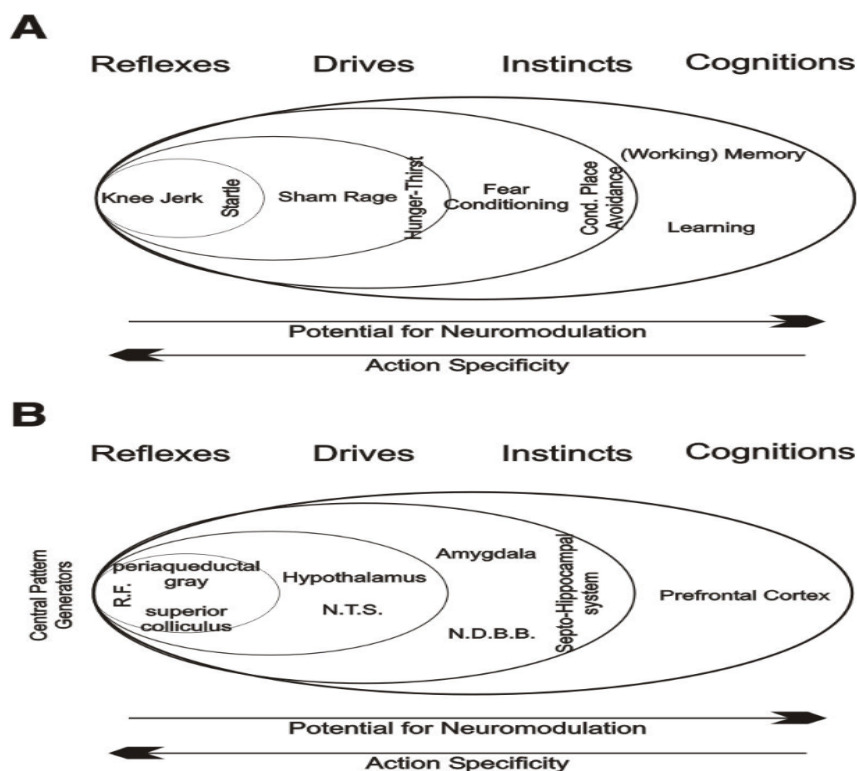


specifica maniera. L'attività e l'attivazione dei neuroni si può osservare attraverso i metodi neuropsicologici di attivazione fisiologica citati all'inizio del capitolo.

D'altra parte, l'attività neuronale è caratterizzata da potenziali di azione che vengono captati e recepiti dai neuroni attraverso le strutture sinaptiche.

L'attività neuromodulatoria può anche essere definita come l'attivazione di tutti i recettori (della dopamina, della serotonina o qualsiasi altra sostanza). Pertanto, a differenza dell'attività neurale, l'attività neuromodulatoria è dotata di un aspetto multidimensionale dove ogni dimensione è caratterizzata dallo specifico recettore. Ci si potrebbe dunque riferire alle emozioni non come un pattern di attività neurale ma bensì come un pattern dinamico di neuromodulazioni che influenzano ogni area dell'organismo determinandone il funzionamento.

I modelli neuromodulatori sono disposti su più livelli, dai riflessi alla cognizione, a seconda della natura delle informazioni inviate dai centri cerebrali ai centri neuromodulatori.



**Fig 1: A: Organization of behavior with respect to potential for neuromodulation and action specificity. Reflexes are fixed motor patterns, the neural substrate of which undergoes few neuromodulations, while 'cognitions' are unspecific with respect to sensory stimuli and are heavily susceptible to neuromodulation. Ellipses represent zone of direct influence and neural recruitment during emotional expression and experience. B: Mapping of brain structures to Reflexes, Drives, Instincts, and Cognitions. Abbreviations: NDBB (nucleus of the diagonal band of Broca), RF (reticular formation), NTS (nucleus of the solitary tract). Details can be found in (Fellous 1999).**

Osservando la figura è evidente che un processo puramente cognitivo possa influenzare un pattern di neuromodulazione in maniera molto intensa, poiché la corteccia influenza numerosi centri neuromodulatori. I pattern di neuromodulazione possono inoltre essere influenzati da stimoli esogeni farmacologici, quali sostanza di abuso, Prozac, etc. [2]

### 3.3.2 L'applicazione della neuro modulazione nella robotica: il modello minimale

Sulla base di questi concetti, si potrebbero dunque implementare nel robot elementi a livello di sistema operativo che rispecchino i processi dinamici di neuromodulazione che avvengono negli umani quando ci si riferisce alle emozioni.

Precisamente in questo contesto si inserisce lo studio *“Towards the integration of neural mechanisms and cognition in biologically inspired robots”*, riportato Da Flavio Mutti del Dipartimento di Elettronica e Informazione del Politecnico di Milano. Tale studio ha evidenziato la possibilità di aggiungere un tassello a questo obiettivo con lo scopo, dunque, di creare un modello robotico bio-ispirato basato sui processi che agiscono nel cervello umano. L'obiettivo finale è rendere consapevole l'agente cibernetico dell'ambiente circostante, sviluppando autonomamente nuovi obiettivi attraverso comportamenti coerenti con la finalizzazione di tali obiettivi.

Questo modello minimale si ispira al cervello umano, in particolare alla comunicazione che s'instaura tra le tre aree del cervello adibite a un ruolo fondamentale sia nell'aspetto cognitivo che in quello emotivo: la corteccia, il talamo e l'amigdala.

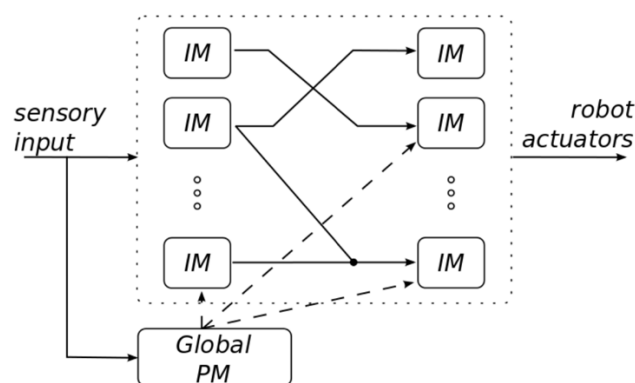


Figure 7.1: The overall IDRA architecture. It is composed by a set of Intentional Modules (IM) and by a Global Phylogenetic Module (PM). It receives in input a set of sensory information and produces in output the motor commands for the controlled robot.

Il modello in studio presenta un'architettura robotica distribuita intenzionale (IDRA). Questa è un insieme di unità elementari, denominate Moduli Intenzionali (IM), le quali permettono

lo sviluppo di nuovi obiettivi. Inoltre, è presente anche un Modulo Filogenetico (PM), contenente l'obiettivo impiantato composto cioè dagli "istinti innati" simile a quello che accade all'interno dell'amigdala. Attraverso l'aiuto del PM, viene emesso un segnale tanto maggiore quanto aumenta il grado di successo nel raggiungimento dell'obiettivo nell'agente cibernetico.

Ogni IM è composto da due moduli interni: Categorizzazione (CM) e Ontogenetico (OM). Il Modulo di Categorizzazione svolge la funzione della corteccia cerebrale, restituisce dunque un vettore che codifica l'attivazione neurale della corteccia in risposta all'input proveniente. Il Modulo Ontogenetico, d'altra parte, ricevuto il vettore delle attivazioni neurali dal Modulo di Categorizzazione, rappresenta la base di partenza dello sviluppo di nuovi obiettivi. Viene infine restituito un segnale che indica se lo stato corrente soddisfa i nuovi obiettivi generati.

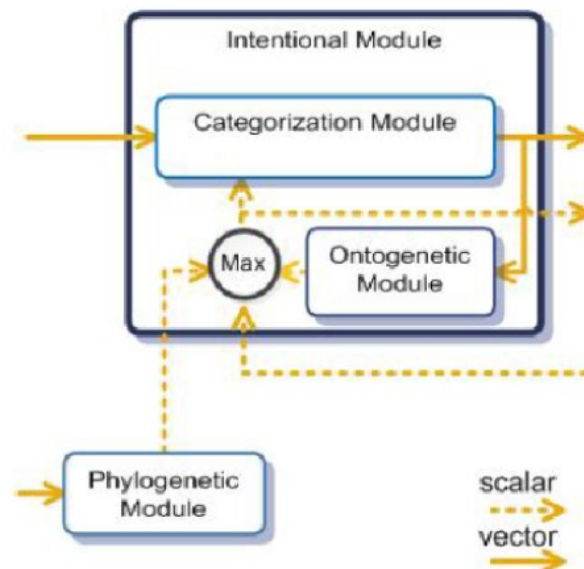


Figure 7.3: Intentional Module (IM)

Si osserva nella figura sovrastante come i segnali PM e OM vengono "indagati" e viene restituito il più rilevante dei due. Il risultato è chiamato segnale rilevante. Esso guida la fase di autoapprendimento di ogni IM.

L'input sensoriale proveniente dall'ambiente viene acquisito, filtrato e inviato alla rete dei IM e ciascun modulo restituisce un vettore contenente informazioni sullo stato e un segnale che indica quanto lo stato attuale sia in linea con gli obiettivi del robot.

Il vettore delle attivazioni neurali generato precedentemente viene quindi utilizzato da un sistema motorio (MS) per produrre movimenti coerenti con gli obiettivi dell'agente.

Ogni movimento è composto da numerose unità complementari dette primitive motorie, che rappresentano le attivazioni muscolari nel tempo. L'insieme di queste (cioè la sinergia muscolare) porta all'esecuzione del complesso di movimenti.

L'informazione proveniente da IDRA viene utilizzata per produrre i comportamenti atti all'acquisizione e raggiungimento degli obiettivi dell'agente robotico mentre MS consente al robot di muoversi e compiere azioni in ordine per raggiungere questi obiettivi come appena citato precedentemente.

In un primo esperimento l'agente (un robot NAO, un umanoide prodotto da Aldebaran Robotics) apprende un nuovo obiettivo da un'impostazione impiantata. Partendo dunque da un istinto innato per un gradimento di figure ad alta saturazione di colori, l'agente sviluppa autonomamente un interesse per una particolare forma delle figure. [15] [22] [23] [33]

### 3.3.3 Il funzionamento del modello minimale

L'invio di un input sensoriale viene acquisito da una videocamera installata sull'agente cibernetico e l'IM lo filtra riuscendo successivamente a sviluppare nuovi obiettivi.

Il Modulo Intenzionale è, come già visto, composto da due strutture: il Modulo di Categorizzazione e il Modulo Ontogenetico, che rispettivamente eseguono una categorizzazione e permettono di sviluppare nuovi obiettivi. All'inizio entrambi i moduli sono vuoti. I dati provenienti dall'esterno, quindi, vengono da prima categorizzati e poi l'informazione viene inviata al Modulo Ontogenetico, che riesce a sviluppare nuovi obiettivi e restituisce un segnale in base a quanto questi nuovi obiettivi siano coerenti. Questo segnale è chiamato segnale ontogenetico; ad alto valore di segnale ontogenetico corrisponde alta soddisfazione degli obiettivi sviluppati, come evidenzia la figura sottostante.

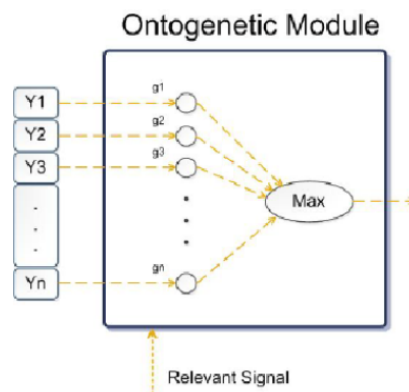


Figure 7.4: Ontogenetic Module (OM)

L'IM riceve in ingresso anche il segnale dal PM, e restituisce il valore maggiore tra i segnali del PM e del Modulo Ontogenetico, detto segnale rilevante. L'IM invia anche le categorie create dal Modulo di Categorizzazione. [23]

### 3.3.4 L'esperimento con il modello minimale

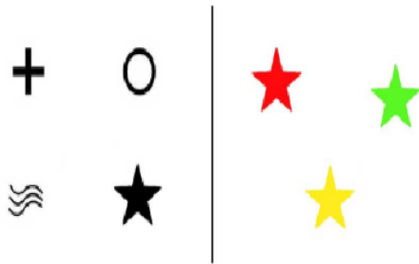


Figure 7.6: The 2 boards for the experiment

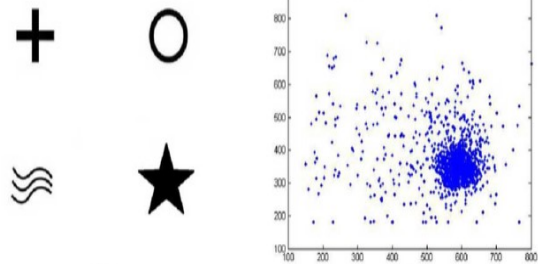


Figure 7.8: The gaze is concentrated on the star object

Sulla base della teoria precedentemente descritta, è stato condotto un esperimento con un agente robotico, al cui interno è stato installato un network composto da un singolo IM. L'obiettivo dell'esperimento è il raggiungimento della preferenza di un particolare tipo di forma a partire da un istinto innato, ovvero la preferenza di oggetti con un alto grado di saturazione. L'agente cibernetico utilizzato nell'esperimento è un NAO, il quale possiede una camera frontale e due strutture che controllano il movimento della testa.

L'esperimento si divide in tre fasi, nelle quali vengono proposti diversi scenari. Nel primo scenario NAO si trova sul suo campo visivo diverse forme tutte senza colore, evidenziate di nero. Si osserva che l'agente robotico non "ha" alcuna preferenza. Successivamente, viene proposto uno scenario in cui sono presenti figure saturate a forma di stella. L'interesse di NAO è concentrato su tutte le figure. Infine, viene riprodotto il primo scenario e questa volta l'agente cibernetico riversa la totale attenzione sulla figura a forma di stella, come evidente nella figura sovrastante (figura 7.8).

L'istinto innato per la preferenza di colori molto saturati ha generato nel robot un nuovo obiettivo, ovvero la preferenza per un determinato tipo di forma. Il processo di preferenza viene generato dal modulo ontogenetico descritto in precedenza. [23]

### **3.4 Conclusione: l'appraisal alla base della GEW e del modello minimale**

In conclusione, la Geneva Emotion Wheel è uno dei possibili strumenti applicabili nella misurazione e nella valutazione delle emozioni nell'ambito della ricerca psicologica e

neurofisiologica. In particolare, l'attuale principale applicazione della GWE si identifica nell'assessment dell'effetto emotivo generato dall'interazione uomo-agente cibernetico. Secondo la teoria dell'appraisal, uno stimolo esterno - in questo caso un robot che possieda mimiche e modalità di comunicazione comprensibili e valutabili dall'interlocutore - può innescare un processo neurocognitivo di attribuzione di valore e percezione di un'emozione associata. Tale processo è interpretabile attraverso la GWE, strumento le cui applicazioni future sono ancora un potenziale da mettere in atto.

Infine, si evidenzia come la teoria dell'appraisal potrebbe in futuro verificarsi ed essere applicabile anche nella controparte di questa interazione emotiva, ossia l'agente cibernetico. Attraverso il modello minimale, ispirato alle principali strutture del "cervello emozionale" umano, anche l'essere robotico potrebbe essere in grado di determinare obiettivi e perseguirli, valutare sulla base delle proprie priorità un eventuale stimolo esterno e catalogarne infine l'effetto emotivo. Da questo punto di vista, sono ancora tanti i passi in avanti che la ricerca può fare.

## *Conclusione*

Il presente lavoro ha voluto dimostrare come si siano fatti passi avanti per un futuro in cui uomo ed agente cibernetico possano coesistere e persino collaborare.

Il primo capitolo ha offerto una panoramica del concetto del contagio emotivo e ha spiegato come questo possa risultare un elemento fondamentale allo scopo di utilizzare il robot per aiutare l'uomo nella quotidianità o nel servizio specifico in una mansione particolare. È stata inoltre dimostrato l'assunto centrale delle teorie della valutazione dell'emozione, ovvero si è visto come nello stesso contesto l'esperienza emotiva sia diversa per ciascuna persona in base alla maniera in cui essa viene valutata dal "cervello emotivo" e dalle vie neuroanatomiche che ne costituiscono l'impianto.

Nel secondo capitolo si sono analizzati i processi mentali e cognitivi legati all'amigdala, struttura centrale per la processazione di informazioni e genesi di fenomeni emotivo-reattivi. Attraverso l'esperimento di Christopher J. Machado si è dimostrata l'importanza dell'amigdala nella valutazione di giudizio e nella scelta per determinare la ricompensa. Riconosciuto il valore di questa struttura nervosa, si può a ragione ipotizzare che in futuro la ricerca nell'ambito della cibernetica si concentrerà nello sviluppare strutture di intelligenza artificiale che riproducano le connessioni e la funzionalità dell'amigdala umana e che l'investigazione scientifica si impegnerà nella preservazione di questo elemento fondamentale tanto per i meccanismi cognitivi quanto per quelli emotivi.

L'ultimo capitolo ha proposto l'utilizzo del modello minimale nell'agente robotico ed evidenziato quanto siano realmente efficaci i suoi effetti. Si è discusso della possibilità di considerare l'emozione non più come una reazione causata da reti neurali ma bensì come un pattern dinamico di neuromodulazioni, dove ciascuna emozione è causata da una costituzione specifica e diversa dalle altre. Si è dunque evidenziato quanto sia ancora complesso e inesplorato questo mondo. L'implementazione dell'agente cibernetico con strutture, processi e modalità di comunicazione umani sembra essere l'obiettivo a cui tenderà la ricerca scientifica nell'ambito delle neuroscienze e dell'intelligenza artificiale nei prossimi anni.

Infine, si è dimostrato quanto sia utile la misurazione delle emozioni e nello specifico l'utilizzo della Geneva Emotion Wheel nella documentazione dell'effetto percepito nell'interazione tra agente robotico e umano. La GEW è sicuramente uno strumento che faciliterà la comprensione dei processi emotivi umani, permettendo di studiarne a fondo i fini meccanismi regolatori e le molteplici sfumature. D'altra parte, lo studio sempre più approfondito e consapevole della neurofisiologia emotiva umana potrà permettere, in un futuro probabilmente non troppo lontano, la riproduzione di quest'ultima in agenti umanoidi, allo scopo di potenziarne l'applicazione nell'ambito dei servizi economico-sociali e dell'assistenza quotidiana.



## Bibliografia

1. Aggleton, J. ed. *The amygdala: A functional analysis* (Oxford University Press, Oxford, 2000).
2. Andreozzi M., Castignone S., Massaro, A. (2014). *Emotività Animali: Ricerche e discipline a confronto*. LED Edizioni Universitarie.
3. Chuah, Stephanie Hui-Wen & Yu, Joanne, 2021. *The future of service: The power of emotion in human-robot interaction*. Journal of Retailing and Consumer Services. Elsevier, vol. 61(C.) ISSN 0969-6989
4. Coyne, A. K., Murtagh, A., & McGinn, C. (2020). *Using the Geneva emotion wheel to measure perceived affect in human-robot interaction*. Proceedings of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction.
5. Darwin C. (1916). *The expression of the emotions in man and animals*. New York: D. Appleton and Co.
6. Davis, M. *The role of the amygdala in conditioned and unconditioned fear and anxiety*. In: Aggleton, J., editor. *The Amygdala: A Functional Analysis*. Oxford University Press; 2000. p. 213-287.
7. Delgado MR, Nearing KI, Ledoux JE, Phelps EA. *Neural circuitry underlying the regulation of conditioned fear and its relation to extinction*. Neuron 2008;59:829–838. [PubMed: 18786365]
8. *Diagnostic Testing in Neurologic Disease*. In: Ropper AH, Samuels MA, Klein JP, Prasad S. eds. *Adams and Victor's Principles of Neurology*, 11e. McGraw Hill; 2019. Accessed December 30, 2022.
9. Fellous, J.-M. (2004). *From Human Emotions to Robot Emotions*. [https://www.researchgate.net/publication/229059921\\_From\\_Human\\_Emotions\\_to\\_Robot\\_Emotions/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/229059921_From_Human_Emotions_to_Robot_Emotions/citation/download)
10. Felten David L, Kerry O'Banion, Maida Mary Summo. (2017). *Atlante di neuroscienze di Netter* (3a ed.). Milano: Edra S.p.A.
11. Frank H. Netter, Susan Standring. (2018) Netter Gray. *L'anatomia: Anatomia del Gray-Atlante di anatomia umana di Netter* (3° ed.). Milano: Edra S.p.A.
12. Frijda, N. H., Kuipers, P., & ter Schure, E. (1989). *Relations among emotion, appraisal, and emotional action readiness*. Journal of Personality and Social Psychology, 57, 212-228.
13. Ghashghaei HT, Hilgetag CC, Barbas H. *Sequence of information processing for emotions based on the anatomic dialogue between prefrontal cortex and amygdala*. Neuroimage 2007;34:905–923. [PubMed: 17126037]
14. Girotto V., Zorzi M. (2016). *Manuale di psicologia generale*. Bologna: Il Mulino.
15. Hart, C. B., & Giszter, S. F. (2004). *Modular premotor drives and unit bursts as primitives for frog motor behaviors*. The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience, 24(22), 5269–5282. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5626-03.2004>
16. Imada, T., & Ellsworth, P. C. (2011). *Proud Americans and lucky Japanese: Cultural differences in appraisal and corresponding emotion*. Emotion, 11, 329-345.

17. Klaus R. *Ways to study the nature and frequency of our daily emotions: reply to the commentaries on "Emotions in everyday life"*. In: Social Science Information, 2004, vol. 43, n° 4, p. 667-689
18. Lambie, J. A. & Marcel, A. (2002). *Consciousness and emotion experience: A theoretical framework*. Psychological Review. 109,219-259.
19. Lazarus, R. S. (1991). *Emotion and adaptation*. New York: Oxford University Press.
20. Machado CJ, Bachevalier J. *The effects of selective amygdala, orbital frontal cortex or hippocampal formation lesions on reward assessment in nonhuman primates*. Eur J Neurosci 2007;25:2885–2904. [PubMed: 17561849]
21. Morrison, S. E., & Salzman, C. D. (2010). *Re-valuing the amygdala*. Current opinion in neurobiology, 20(2), 221–230. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2010.02.007>
22. Mussa-Ivaldi, F. A., & Bizzi, E. (2000). *Motor learning through the combination of primitives*. Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences, 355(1404), 1755–1769. <https://doi.org/10.1098/rstb.2000.0733>
23. Mutti, F. *Towards the integration of neural mechanisms and cognition in biologically inspired robots*. Polimi.It. Retrieved February 13, 2023, from [https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/74605/1/2013\\_02\\_PhD\\_Mutti.pdf](https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/74605/1/2013_02_PhD_Mutti.pdf)
24. Nickerson, C. (2021, Dec 02). *Cannon-Bard Theory of Emotion*. Simply Psychology. [www.simplypsychology.org/what-is-the-cannon-bard-theory.html](http://www.simplypsychology.org/what-is-the-cannon-bard-theory.html)
25. Pessoa L. *On the relationship between emotion and cognition*. Nat Rev Neurosci. 2008 Feb;9(2):148-58. doi: 10.1038/nrn2317. PMID: 18209732.
26. Quirk GJ, Repa C, LeDoux JE. *Fear conditioning enhances short-latency auditory responses of lateral amygdala neurons: parallel recordings in the freely behaving rat*. Neuron 1995;15:1029–1039. [PubMed: 7576647]
27. Sander D. *The role of the amygdala in the appraising brain*. Behav Brain Sci. 2012 Jun;35(3):161. doi: 10.1017/S0140525X11001592. PMID: 22617669.
28. Schacter DL, Gilbert DT, Wegner DM (2016). *L'apprendimento*. In Psicologia Generale (pp. 189–201). Bologna: Zanichelli.
29. Scherer, K. R. (2005). *What are emotions? And how can they be measured?* Social Science Information, 44(4), 695–729. <https://doi.org/10.1177/0539018405058216>
30. Scherer, K.R. (2004c) *Which Emotions Can be Induced by Music? What Are the Underlying Mechanisms? And How Can We Measure Them?*, Journal of New Music Research, 33:3, 239-251, DOI: 10.1080/0929821042000317822
31. Siemer M, Mauss I, Gross JJ. *Same situation--different emotions: how appraisals shape our emotions*. Emotion. 2007 Aug;7(3):592-600. doi: 10.1037/1528-3542.7.3.592. PMID: 17683215

32. Sonoh, S., Aou, S., Horio, K., Tamukoh, H., Koga, T., Shimo, N., & Yamakawa, T. (2008). *An implementation of intrinsic emotions on an autonomous robot with the emotional expression model of amygdala.*
33. Stein P. S. (2005). *Neuronal control of turtle hindlimb motor rhythms.* *Journal of comparative physiology. A, Neuroethology, sensory, neural, and behavioral physiology*, 191(3), 213–229. <https://doi.org/10.1007/s00359-004-0568-6>