

Reazioni prestimolo della frequenza cardiaca: retrocausalità e apprendimento

Antonella Vannini e Ulisse Di Corpo

Abstract

Il disegno sperimentale utilizzato in questo lavoro tenta di distinguere tra effetti di anticipazione imputabili alla retrocausalità ed effetti dovuti ad un processo di apprendimento. Infatti, nel disegno sperimentale utilizzato:

- le differenze nelle frequenze cardiache osservabili nella fase 1, in associazione alla selezione random (impredicibile) del computer (effettuata nella fase 3) possono essere attribuite unicamente ad un effetto retrocausale, considerata appunto l'assoluta *impredicibilità* della selezione operata dal computer nella fase 3;
- le differenze nelle frequenze cardiache osservabili nella fase 1, in associazione alla scelta fortunata/sfortunata operata dal soggetto nella fase 2, possono essere interpretate come effetti di apprendimento.

Nella terza fase dell'esperimento un colore ha una probabilità di estrazione del 35% (colore fortunato), un altro colore ha una probabilità del 15% (colore sfortunato) e gli ultimi due colori hanno una probabilità del 25% (colori neutri). L'obiettivo dei soggetti sperimentali è quello di cercare di indovinare il più possibile la selezione operata dal computer (target). I soggetti non vengono informati del fatto che i colori hanno diverse probabilità di essere estratti.

Introduzione

Le ipotesi di questo esperimento sono le seguenti:

1. *Ipotesi retrocausale*: si ipotizza di osservare differenze statisticamente significative nelle frequenze cardiache misurate nella fase 1, in associazione alle immagini target (estratte in modo random dal computer nella fase 3) rispetto alle immagini non target (le immagini non estratte dal computer nella fase 3). Queste differenze verranno interpretate come effetto retrocausale, considerata l'assoluta *impredicibilità* dell'immagine target estratta dal computer nella fase 3.
2. *Ipotesi dell'apprendimento*: in base a risultati già evidenziati da Damasio e Bechara (1994), ci si aspetta di osservare un effetto apprendimento nella frequenza cardiaca nella forma di differenze statisticamente significative nelle frequenze cardiache misurate nella fase 1 in associazione alla scelta di un colore fortunato, sfortunato o neutro operata dal soggetto in fase 2; queste differenze dovrebbero aumentare in modo marcato con il procedere dell'esperimento.
3. *Ipotesi di interazione tra effetto retrocausale ed effetto apprendimento*: l'effetto retrocausale e l'effetto apprendimento agirebbero entrambi sulla frequenza cardiaca; dalle prime prove effettuate in fase di costruzione e test del software di questo esperimento, ci si attende una interazione nella forma di una iniziale inibizione dell'effetto retrocausale da parte dell'effetto apprendimento.

L'ipotesi circa l'esistenza di un possibile effetto interazione è emersa nella fase di realizzazione e testing del software dell'esperimento. Mentre i soggetti che avevano partecipato agli esperimenti in cui tutti i colori venivano estratti con la stessa probabilità descrivevano (spontaneamente) una sensazione alla bocca dello stomaco in associazione al colore che sarebbe stato poi selezionato dal computer, analogamente al marcatore somatico descritto da Damasio, nei test effettuati prima dell'avvio di questo esperimento la sensazione alla bocca dello stomaco era scomparsa e l'effetto retrocausale si mostrava con una forza nettamente inferiore rispetto a quella osservata nei precedenti esperimenti. Questo nuovo elemento ha di conseguenza suggerito la possibilità di un effetto di interazione tra effetto retrocausale ed effetto apprendimento.

Disegno sperimentale

E' stato utilizzato lo stesso disegno sperimentale utilizzato in precedenti esperimenti, introducendo come unica variante la diversa probabilità di estrazione dei colori: un colore è sbilanciato verso la fortuna, con probabilità di estrazione del 35%, un altro è sbilanciato verso la sfortuna, con probabilità di estrazione del 15% e due colori sono perfettamente random, con probabilità di estrazione del 25% ciascuno.

FASE 1				FASE 2	FASE 3
<i>Presentazione delle immagini e misurazione della frequenza cardiaca</i>				<i>Scelta</i> 	<i>Selezione Random</i> 
Blu	Verde	Rosso	Giallo	Blu/Verde/Rosso/Giallo	Target: Rosso
		<i>Target</i>		—	<i>Target</i>
<i>4 secondi</i>	<i>4 secondi</i>	<i>4 secondi</i>	<i>4 secondi</i>		Punteggio: X
HR01 HR02 HR03 HR04	HR05 HR06 HR07 HR08	HR09 HR10 HR11 HR12	HR13 HR14 HR15 HR16		

Tab. 1 – Sequenza di un trial dell’esperimento. Nella fase 1 vengono registrate 16 frequenze cardiache (HR) ad intervalli di un secondo.

Da un punto di vista strettamente informatico lo “sbilanciamento” si ottiene facendo estrarre in modo random un numero da 1 a 100. Nel caso in cui il numero estratto è compreso:

- tra 1 e 35 viene selezionato il colore fortunato;
- tra 36 e 50 viene selezionato il colore sfortunato;
- tra 51 e 75 viene selezionato il primo colore neutro;
- tra 76 e 100 viene selezionato il secondo colore neutro.

Lo stesso numero può essere selezionato nuovamente, rendendo così ogni estrazione totalmente indipendente dalle precedenti, portando però ad una estrazione dei colori fortunati, sfortunati e random diversa da quella teorica. Nel complesso dei 3.000 trial sperimentali (30 soggetti x 100 trial ciascuno),

il colore fortunato è stato selezionato il 36,15% delle volte, quello sfortunato il 14,13% e i colori neutri il 24,86%.

E' importante ricordare che la percentuale dei successi nell'indovinare lo stimolo target è sempre rimasta attorno alla percentuale prevista dal caso (25%), all'inizio come alla fine dell'esperimento; inoltre, interrogati in merito alla frequenza di estrazione dei target, i soggetti hanno dichiarato in genere di non aver notato l'esistenza di un colore più fortunato rispetto agli altri. In altre parole, nel corso dei 100 trial, i soggetti non sono riusciti a tradurre le diverse probabilità di estrazione dei colori in apprendimenti impliciti o espliciti.

Condizione dell'esperimento e campione

L'esperimento è stato condotto nel periodo marzo/aprile 2009 da una studentessa tirocinante del prof. Enrico Di Pace. Il campione raggiunto è di 30 soggetti. Le istruzioni date alla tirocinante sono state le seguenti:

1. informare il soggetto sperimentale in merito alla durata complessiva dell'esperimento (circa 40 minuti);
2. scegliere una stanza tranquilla e silenziosa dove lasciare da solo il soggetto sperimentale per tutta la durata della procedura;
3. avviare la registrazione della frequenza cardiaca solo dopo che questa si è stabilizzata. Inizialmente, infatti, la frequenza cardiaca è alterata a causa dei movimenti che il soggetto ha dovuto compiere per applicare il cardiofrequenzimetro. In genere la stabilizzazione della frequenza cardiaca richiede meno di un minuto da quando il soggetto si siede avanti al computer per l'esecuzione dell'esperimento;
4. informare il soggetto in merito al compito: cercare di indovinare il maggior numero di colori che verranno estratti dal computer;
5. avviare l'esperimento solo dopo aver iniziato la registrazione della frequenza cardiaca;
6. seguire il soggetto per il primo trial, al fine di accertare che abbia compreso il compito;
7. lasciare il soggetto da solo nella stanza in cui sta conducendo l'esperimento.

Al termine di ciascun esperimento la sperimentatrice inviava per e-mail 2 file:

1. il file con le frequenze cardiache, prodotto dal programma Training Monitor 2.2.0 della SUUNTO. In questo file le frequenze cardiache registrate sono associate al secondo esatto (in millisecondi) della rilevazione;
2. il file prodotto dal software realizzato in Delphi Pascal per la conduzione dell'esperimento. Questo file riporta il momento esatto (in millisecondi) di inizio della presentazione degli stimoli nella fase 1 (stimoli che vengono sincronizzati con l'inizio del secondo), la selezione operata dal soggetto e la selezione operata dal computer. Ad ogni informazione è associato il numero del trial e la composizione degli stimoli (fortunato / sfortunato e random).

Appena si ricevevano i file, si effettuava una elaborazione di controllo per fornire un feedback immediato alla sperimentatrice (tabella 2).

Il feedback consisteva in una tabella riassuntiva degli effetti osservati per singolo soggetto. Nella tabella 2 viene riportato l'esempio della tabella riassuntiva calcolata per il soggetto n. 21 e per il soggetto n. 7. Queste tabelle di feedback riportano per ciascun soggetto 16 righe, una per ciascuna delle 16 frequenze cardiache misurate nella fase 1 dell'esperimento. La fase 1 era ripetuta 100 volte. E' quindi possibile calcolare, per ciascuna delle 16 frequenze cardiache, il valore medio delle frequenze cardiache nel caso in cui il colore, indicato in colonna, viene selezionato dal computer (target) o non viene selezionato dal computer (non target). Nella tabella riassuntiva è riportata la differenza di questi valori medi delle frequenze cardiache. Ad esempio, nella prima colonna relativa al soggetto n. 21 si legge che la prima frequenza cardiaca, quando il blu viene selezionato dal computer (target), è mediamente inferiore di 0,671 battiti al minuto rispetto a quando il colore blu non viene selezionato dal computer. La seconda frequenza cardiaca è invece mediamente inferiore di 0,772 battiti al minuto (quando il blu è target) e così via.

L'effetto retrocausale si manifesta come differenza tra i valori medi delle frequenze cardiache misurate nella fase 1, in associazione al colore scelto e mostrato dal computer nella fase 3. Nella tabella 2 vengono considerati solo i valori superiori a 1,5 in quanto questi individuano, in genere, significatività

statistiche con probabilità di errore inferiore a 0,01 ($p < 0,01$). Maggiore è la differenza (sia in negativo come in positivo), maggiore è l'effetto retrocausale. In fondo alla tabella viene riportato un valore riassuntivo che è il totale generale (ottenuto come somma dei valori assoluti) di tutte le differenze osservate nella tabella con valore superiore a 1,5. Operando in questo modo non viene sommato, nel totale generale, il rumore di fondo dovuto alle fluttuazioni casuali. La tabella 2 mostra per il soggetto n. 21 un totale generale di 83,764 mentre per il soggetto n. 7 un totale generale pari a zero.

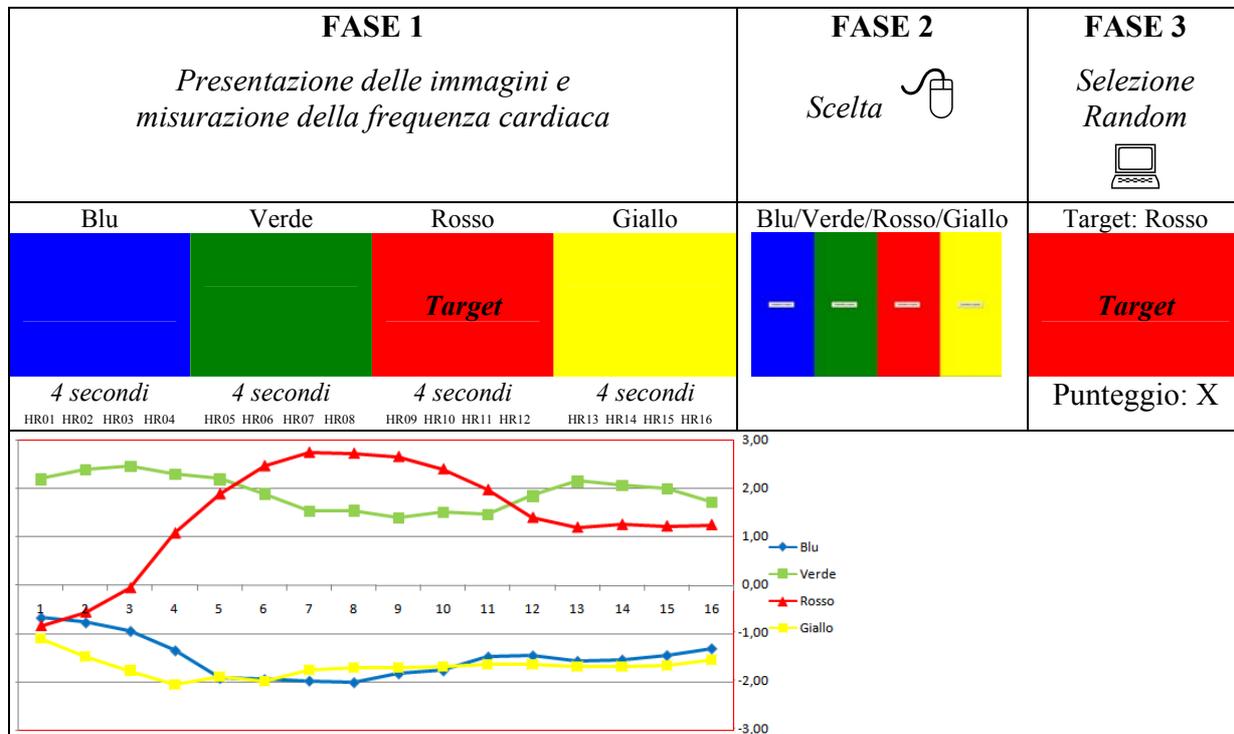
Esempio di tavola di feedback e confronto tra 2 soggetti									
Soggetto 21					Soggetto 7				
	Blu	Verde	Rosso	Giallo		Blu	Verde	Rosso	Giallo
HR 1:	-0,671	2,200	-0,840	-1,103	HR 1:	0,276	-0,775	0,040	0,378
HR 2:	-0,772	2,399	-0,556	-1,471	HR 2:	0,231	-0,750	0,133	0,298
HR 3:	-0,950	2,467	-0,056	-1,766	HR 3:	0,210	-0,862	0,173	0,414
HR 4:	-1,353	2,310	1,080	-2,054	HR 4:	0,150	-0,913	0,187	0,560
HR 5:	-1,928	2,204	1,894	-1,892	HR 5:	0,117	-0,850	0,187	0,545
HR 6:	-1,954	1,897	2,474	-1,993	HR 6:	0,048	-0,875	0,227	0,640
HR 7:	-1,982	1,535	2,752	-1,755	HR 7:	-0,067	-0,688	0,320	0,491
HR 8:	-2,015	1,543	2,733	-1,704	HR 8:	-0,077	-0,763	0,373	0,524
HR 9:	-1,831	1,397	2,665	-1,704	HR 9:	-0,129	-0,712	0,427	0,482
HR 10:	-1,770	1,508	2,407	-1,691	HR 10:	-0,109	-0,700	0,467	0,375
HR 11:	-1,482	1,468	1,981	-1,641	HR 11:	-0,174	-0,625	0,467	0,402
HR 12:	-1,458	1,853	1,404	-1,637	HR 12:	-0,249	-0,650	0,600	0,378
HR 13:	-1,572	2,154	1,199	-1,679	HR 13:	-0,259	-0,625	0,573	0,402
HR 14:	-1,544	2,079	1,260	-1,676	HR 14:	-0,296	-0,525	0,573	0,348
HR 15:	-1,452	1,994	1,226	-1,661	HR 15:	-0,283	-0,513	0,507	0,405
HR 16:	-1,311	1,727	1,255	-1,541	HR 16:	-0,220	-0,525	0,413	0,438
Totale generale: 83,764					Totale generale: 0,000				

Tab. 2 – Tabelle delle differenze medie delle frequenze cardiache (fase 1) per selezione operata dal computer (fase 3).

Le 16 righe contrassegnate da HR (Heart Rate: frequenza cardiaca) indicano le 16 frequenze cardiache rilevate in ciascun trial nella fase 1. Ogni sessione sperimentale comprendeva 100 trial, ci sono perciò per ogni soggetto sperimentale 100 misure per l'HR 1, 100 per l'HR 2 ecc. fino alle 100 misure per l'HR 16. E' possibile, perciò, per ogni HR, calcolare la differenza delle medie quando il blu è target o non target (selezione operata dal computer nella fase 3), quando il verde è target o non target, quando il rosso è target o non target e quando il giallo è target o non target. Valori bassi nelle differenze delle medie indicano assenza di effetto retrocausale, valori alti indicano invece presenza di effetto retrocausale. In questo esempio si osservano valori elevati di differenze delle medie per il soggetto 21 e

valori bassi per il soggetto 7.

La tabella di feedback può essere rappresentata anche nel modo seguente:



Tab. 2b – Rappresentazione grafica della tabella di feedback del soggetto n. 21 (vedi tabella 2).

Dopo queste elaborazioni, la tabella di feedback veniva poi inviata alla sperimentatrice. L'interesse era infatti quello di individuare e controllare le variabili che impedivano all'effetto di manifestarsi. Nei primi 7 soggetti il totale generale dell'effetto era quasi nullo: 4 soggetti presentavano un totale generale pari a zero e 3 inferiore a 15. L'esperimento veniva condotto su un vecchio computer portatile con una bassa luminosità dello schermo. Questo problema era stato individuato e discusso già all'avvio del primo esperimento e, vista l'assenza di risultati nei primi soggetti, si è deciso di sostituire il computer con un portatile nuovo con uno schermo più luminoso. Una volta apportati questi cambiamenti, si è osservato immediatamente un drastico aumento dei valori nelle tabelle di feedback. Su 23 soggetti, che hanno eseguito l'esperimento con il nuovo computer, 16 presentavano un totale generale superiore a 15, 3 inferiore a 15 e 5 pari a zero. Si è passati così dal 57% dei soggetti che presentavano il totale generale pari a zero al 21% dei soggetti. Si è cercato a questo punto di capire quali altri elementi potessero bloccare l'emersione dell'effetto. Analizzando le condizioni in cui i 5 soggetti con totale

generale pari a zero hanno condotto l'esperimento, si è notato che, oltre alla luminosità dello schermo, tutte le variabili di disturbo che portano ad abbassare l'attenzione del soggetto abbassano anche gli effetti retrocausali che si osservano nella tabella di feedback.

Nella fase di progettazione dell'esperimento non era stata prevista la realizzazione di controlli sul livello di luminosità dello schermo o sul livello di attenzione del soggetto sperimentale. L'importanza di uno schermo ben illuminato e con colori brillanti e dell'assenza di fonti di disturbo che possano abbassare l'attenzione del soggetto sperimentale sono conclusioni a cui si è giunti in base ad osservazioni non sistematiche effettuate al fine di ottimizzare la conduzione dell'esperimento. Queste osservazioni potrebbero costituire la base di futuri esperimenti volti a specificare meglio le condizioni che si devono soddisfare al fine di osservare l'effetto retrocausale.

Non direzionalità e non additività degli effetti

Quando il totale generale (tabella 2) viene calcolato sommando i valori reali (in cui si tiene conto del segno) e non quelli assoluti (in cui il segno viene tolto e il valore è sempre positivo) il totale tende a zero. Una situazione analoga si era osservata già a partire dal primo esperimento: quando si effettuava il confronto tra target e non target prendendo il complesso delle frequenze cardiache, non si osservavano differenze significative, mentre quando il confronto veniva effettuato all'interno dei singoli colori le differenze diventano forti e significative. Inoltre, i soggetti spesso presentavano effetti simmetrici. Anche se prevaleva il gruppo in cui il target blu provoca un aumento della frequenza cardiaca nella fase 1, in molti soggetti l'effetto si presentava in direzione opposta.

Il fatto che la direzionalità degli effetti possa essere opposta e che quindi gli effetti osservati nei singoli soggetti, pur significativi, si sottraggano e cancellino tra di loro, quando l'analisi viene effettuata su più soggetti, pone gravi problemi nell'utilizzo di tutte quelle tecniche statistiche che utilizzano la somma e che quindi richiedono l'additività degli effetti (ad esempio t di Student, ANOVA e in genere tutte le tecniche di statistica parametrica).

Negli esperimenti sulle reazioni prestimolo non si ipotizza una direzionalità generale dell'effetto, anzi

si ritiene che la direzionalità sia individuale e soggettiva e che possa essere, ad esempio, la conseguenza di fattori legati al vissuto emozionale che ogni singolo soggetto associa ai colori. Effetti non direzionali non sono additivi e, di conseguenza, non è possibile utilizzare tecniche parametriche come la t di Student e l'ANOVA, che richiedono che gli effetti siano additivi. Molto semplicemente, il problema è che operazioni quali la somma e la sottrazione non possono essere effettuate su dati non additivi (non unidirezionali). Per analizzare correttamente i risultati prodotti da questi esperimenti diventa perciò necessario utilizzare tecniche che non richiedano la somma o la sottrazione dei dati. Tecniche di questo tipo sono tutte quelle che si basano sul calcolo delle frequenze. Per questo motivo in questo ultimo esperimento si procederà all'analisi dei dati per mezzo di tecniche di statistica non parametrica, basate sullo studio delle distribuzioni di frequenze. La significatività statistica sarà perciò valutata per mezzo del test del Chi Quadro (χ^2) e del test esatto di Fisher.

Quando l'ipotesi non è unidirezionale, l'utilizzo dell'ANOVA e della t di Student porta a commettere errori di secondo tipo, in cui si rifiuta l'ipotesi alternativa H_1 quando questa è vera. Inoltre, è noto che valori quantitativi estremi possono portare a valori di significatività statistiche accidentali ingenerando errori di primo tipo: accettare l'ipotesi H_1 quando questa è falsa. L'analisi dei dati per mezzo di distribuzioni di frequenze (Chi Quadrato) esclude questo rischio in quanto tutti i valori all'interno delle classi hanno lo stesso peso, fatto che esclude la possibilità che valori estremi possano portare alla determinazione di una significatività statistica accidentale. L'utilizzo del Chi Quadrato riduce in questo modo considerevolmente il rischio di errori di primo e di secondo tipo; inoltre, trattandosi di una tecnica non parametrica, non presuppone condizioni quali la normalità della distribuzione o l'additività degli effetti e può perciò essere utilizzata in qualsiasi circostanza, sia su dati quantitativi come su dati qualitativi.

Base dati

Per l'effetto retrocausale le analisi dei dati sono state condotte studiando come le differenze riportate nelle tabelle di feedback (tabella 2) si distribuiscono. Le tabelle di feedback sono state calcolate per ogni soggetto. Ogni valore all'interno della tabella di feedback è associato al colore, al numero di

frequenza cardiaca (HR), numero del soggetto e gruppo di trial: primi 33 trial (partendo dal secondo trial) successivi 33 e ultimi 33 trial¹.

Per l'effetto apprendimento le analisi dei dati vengono condotte studiando come le differenze dei valori medi delle frequenze cardiache si distribuiscono in associazione alle scelte operate dai soggetti (fase 2). Le tabelle di scelta sono state calcolate per ogni soggetto e per gruppi di trial (primi 33 trial, successivi 33 trial e ultimi 33 trial) e riportano, per ciascuna delle 16 frequenze cardiache misurate nella fase 1, la differenza dei valori medi delle frequenze cardiache a seconda della scelta fortunata, sfortunata o neutra del soggetto operata nella fase 2.

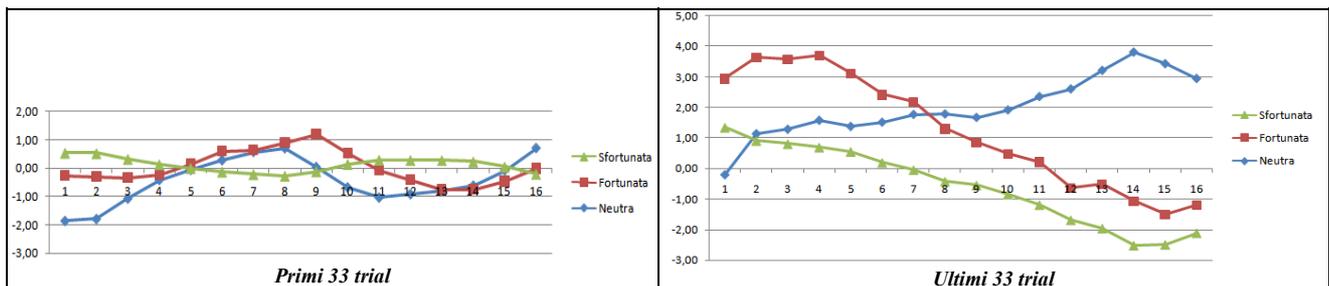
Differenza delle frequenze cardiache (fase 1) a seconda della scelta del soggetto (fase 2)							
Soggetto 20 - nei primi 33 trial				Soggetto 20 - negli ultimi 33 trial			
Scelta:	Neutra	Fortunata	Sfortunata	Scelta:	Neutra	Fortunata	Sfortunata
HR 1:	-1,857	1,597	0,800	HR 1:	-0,202	3,143	-1,591
HR 2:	-1,790	1,472	0,845	HR 2:	1,136	2,507	-2,727
HR 3:	-1,070	0,722	0,675	HR 3:	1,283	2,300	-2,773
HR 4:	-0,412	0,167	0,380	HR 4:	1,577	2,121	-3,000
HR 5:	-0,055	0,181	-0,120	HR 5:	1,375	1,729	-2,545
HR 6:	0,283	0,306	-0,715	HR 6:	1,515	0,907	-2,227
HR 7:	0,577	0,056	-0,845	HR 7:	1,768	0,414	-2,227
HR 8:	0,706	0,194	-1,170	HR 8:	1,783	-0,479	-1,727
HR 9:	0,044	1,139	-1,290	HR 9:	1,669	-0,807	-1,409
HR 10:	-0,673	1,194	-0,375	HR 10:	1,915	-1,443	-1,318
HR 11:	-1,033	0,958	0,370	HR 11:	2,353	-2,136	-1,409
HR 12:	-0,912	0,500	0,700	HR 12:	2,599	-3,243	-1,045
HR 13:	-0,790	0,042	1,030	HR 13:	3,206	-3,714	-1,455
HR 14:	-0,614	-0,139	0,985	HR 14:	3,801	-4,871	-1,455
HR 15:	-0,070	-0,403	0,530	HR 15:	3,423	-4,921	-1,000
HR 16:	0,713	-0,736	-0,175	HR 16:	2,941	-4,143	-0,909
Totale generale:	5,244			Totale generale:	128,018		

Tab. 3 – Differenze medie delle frequenze cardiache (fase 1) per scelta del soggetto (fase 2).

Anche nella tabella 13 le 16 righe contrassegnate con HR (Heart Rate: frequenza cardiaca) indicano le 16 frequenze cardiache rilevate in ciascun trial nella fase 1. Ogni sessione sperimentale comprendeva

¹ Dall'analisi dei dati è stato escluso il primo trial, a causa della presenza dello sperimentatore che spiegava al soggetto il compito dell'esperimento. Quindi le analisi dei dati vengono effettuate su 99 trial: dal 2° trial al 100°.

100 trial, ci sono perciò per ogni soggetto sperimentale 100 misure per l'HR 1, 100 per l'HR 2... e 100 per l'HR 16. E' possibile perciò, per ogni HR, calcolare la differenza delle medie a seconda della scelta che il soggetto opera nella fase 2: neutra, fortunata e sfortunata. Valori bassi nelle differenze delle medie indicano assenza di effetto apprendimento, valori alti indicano invece presenza di effetto apprendimento. In questo esempio viene confrontato lo stesso soggetto nella prima (primi 33 trial) e ultima parte (ultimi 33 trial) dell'esperimento.



Tab. 3b – Rappresentazione grafica della tabella di feedback del soggetto n. 20 (vedi tabella 3).

Leggendo le tabelle associate alla scelta del soggetto si osservano configurazioni nettamente diverse tra i soggetti ed emerge chiaramente la non additività degli effetti. Viene così riconfermato il fatto che l'analisi dei dati deve essere condotta utilizzando tecniche basate sullo studio delle distribuzioni di frequenza e che l'uso di tecniche quali la t di Student e l'ANOVA è improprio.

L'esempio riportato nella tabella 3 mostra (per il soggetto n. 20) il netto aumento della differenza tra le medie delle frequenze cardiache (fase 1) quando si passa dalla prima parte dell'esperimento (primi 33 trial) all'ultima parte dell'esperimento (ultimi 33 trial).

Effetto retrocausale

La tecnica statistica del Chi Quadrato calcola la significatività statistica confrontando le frequenze osservate con quelle attese. A tal proposito è importante premettere che avendo scomposto le tabelle di feedback in sottogruppi (primi 33 trial, successivi 33 trial e ultimi 33 trial), il valore di differenza delle medie di 1,5 non corrisponde più ad una frequenza attesa dell'1% ($p < 0,01$), in quanto le differenze tra medie vengono calcolate su un numero più piccolo di trial (33). Per questo motivo non si è potuto

procedere all'uso del valore teorico dell'1% per il calcolo del Chi Quadro, in quanto questo valore avrebbe portato a sovrastimare le significatività statistiche. Per avere un valore realistico delle frequenze attese si è dovuto operare in modo "empirico" producendo distribuzioni di frequenza, in assenza di correlazione con la selezione operata dal computer nella fase 3 dell'esperimento. A tal fine sono stati utilizzati *target non correlati* (Target NC) con la selezione operata dal computer. Target non correlati possono essere prodotti utilizzando un loop "iterativo", non casuale, dei 4 colori, ripetuto per tutti e 100 i trial. Questo in quanto:

- Target generati *casualmente* (e non iterativamente, come invece è stato fatto in questa analisi dei dati) portano a distribuzioni di riferimento variabili che obbligano ad operare una scelta, soggettiva, tra le varie distribuzioni casuali prodotte. Lo sperimentatore potrebbe a questo punto orientare i risultati scegliendo la distribuzione di frequenze più conveniente al fine di ottenere valori di significatività statistica. Ciò si previene, appunto, scegliendo di utilizzare sequenze iterative di target non correlati.
- La selezione random dei target operata dal computer nella fase 3 non è correlata, per definizione, con una qualsiasi sequenza regolare di colori.
- Utilizzando un loop iterativo ogni colore viene estratto esattamente il 25% delle volte, che è la percentuale attesa di estrazione in assenza di effetto.
- Come si è visto nel capitolo 5, il computer utilizza sempre la stessa sequenza random (che, per questo fatto, è da considerarsi *pseudorandom*). Questa sequenza viene resa random interrogando il clock del computer in base ad intervalli imprevedibili, rappresentati in questi esperimenti dai tempi di reazione dei soggetti sperimentali. Ne consegue che utilizzare la sequenza random del computer per la creazione di un riferimento sulla cui base calcolare le frequenze attese, può creare un *bias* rappresentato da una potenziale correlazione (anche se solo teorica) con la sequenza utilizzata dal computer durante l'esecuzione dell'esperimento, anch'essa random.

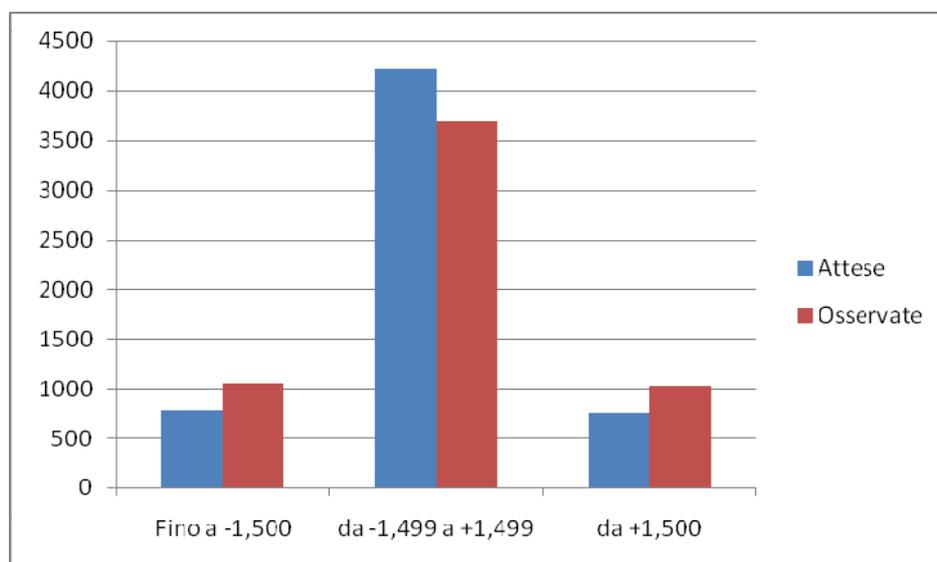
Utilizzando, come riferimento per il calcolo delle frequenze attese, il criterio appena descritto dei Target Non Correlati si ottiene la tabella 4.

Frequenze	Differenze			Totale
	Fino a -1,500	-1,499 a +1,499	+1,500 e oltre	
Osservate	1053 (17,83%)	3680 (63,89%)	1027 (18,28%)	5760 (100%)
Attese	781 (13,56%)	4225 (73,35%)	754 (13,09%)	5760 (100%)

Tab. 4 – Frequenze osservate e frequenze attese nella distribuzione delle differenze tra medie delle frequenze cardiache rilevate nella fase 1 dell'esperimento in base alla selezione del computer effettuata nella fase 3 (vedi tabella 2). Chi Quadro = 263,86. Valori del Chi Quadro (gdl 2) superiori a 13,81 corrispondono a $p < 0,001$

Il grafico in tabella 5 visualizza le frequenze osservate e attese riportate nella tabella 4. Nella prima classe a sinistra, cioè valori di differenza minori di -1,5, si ha una frequenza osservata di 17,83% contro il 13,56% atteso; nella classe centrale (da -1,499 a +1,499) la frequenza osservata è 63,89% contro il 73,35% atteso; nella classe di destra la frequenza osservata è 18,28% contro il 13,09% atteso.

La differenza tra frequenze attese e osservate porta ad un valore del Chi Quadro pari a 263,86 che, confrontato al valore di riferimento pari a 13,81 per $p < 0,001$, risulta essere estremamente significativo. Non si è potuto utilizzare il test per il calcolo della probabilità esatta di Fisher in quanto questo test richiede tabelle 2x2.



Tab. 5 – Frequenze attese e osservate nella distribuzione delle differenze tra medie delle frequenze cardiache rilevate nella fase 1 dell'esperimento in base alla selezione del computer effettuata nella fase 3 (vedi tabella 2). Chi Quadro = 263,86*** ($p < 0,001$ da valori del Chi Quadro di 13,81 – gdl 2)

Come l'effetto retrocausale si distribuisce sui colori

E' importante ricordare che, tra i punti non chiari emersi dai primi esperimenti, vi era il fatto che l'effetto retrocausale sembrava manifestarsi in modo privilegiato su determinati colori piuttosto che altri, e che tale effetto addirittura mutava al mutare della sequenza di presentazione dei colori. Per verificare l'ipotesi che tutto ciò potesse nascere in realtà da limiti presenti nell'analisi dei dati, in questo quarto ed ultimo esperimento si è proceduto all'analisi dei dati per mezzo del test del Chi Quadro. L'analisi per mezzo del Chi Quadro mostra l'effetto retrocausale su tutti i colori.

Il motivo per il quale non si osservavano effetti su determinati colori è dovuto al fatto che in alcuni colori (ad esempio i colori giallo e rosso nel primo esperimento) la parte positiva tendeva ad eguagliare quella negativa. Di conseguenza, l'effetto non si poteva evidenziare in quanto la parte a segno negativo e la parte a segno positivo dell'effetto, con la somma, si annullavano a vicenda.

La tabella 6 consente di valutare come si differenzia l'effetto retrocausale tra i colori e, in modo particolare, consente di valutare se lo sbilanciamento osservato per i colori blu e verde è statisticamente significativo. Ad esempio, per il colore blu si osserva il 14% di valori superiori a 1,5, contro il 13,09% atteso in base al target non correlato (Target NC).

Differenze	Colori				Totale tabella	Target N.C.
	Blu	Verde	Rosso	Giallo		
+ 1,500 e oltre	14,0%	22,0%	19,6%	15,7%	17,8%	13,09%
da -1,499 a +1,499	60,7%	64,9%	64,6%	65,3%	63,9%	73,35%
fino a -1,500	25,3%	13,1%	15,8%	19,0%	18,3%	13,56%
	100% (n=1.440)	100% (n=1.440)	100% (n=1.440)	100% (n=1.440)	100% (n=5.760)	100,00%

Tab. 6 – Distribuzione delle differenze delle medie delle frequenze cardiache (fase 1) per colore selezionato dal computer (fase 3).

Confrontando la distribuzione associata al colore blu con la distribuzione in assenza di effetto (Target NC) si ottiene la tabella 7 che consente di calcolare la significatività statistica dell'effetto retrocausale sul colore blu. La tabella 7 porta ad un Chi Quadro pari a 176,41, $p < 1/10^{27}$, dove $1/10^{27}$ indica che prima

dell'1 vanno inseriti 27 zeri. Si ricorda che per tabelle con due gradi di libertà, valori del Chi quadro superiori a 13,81 sono significativi all'1/1000.

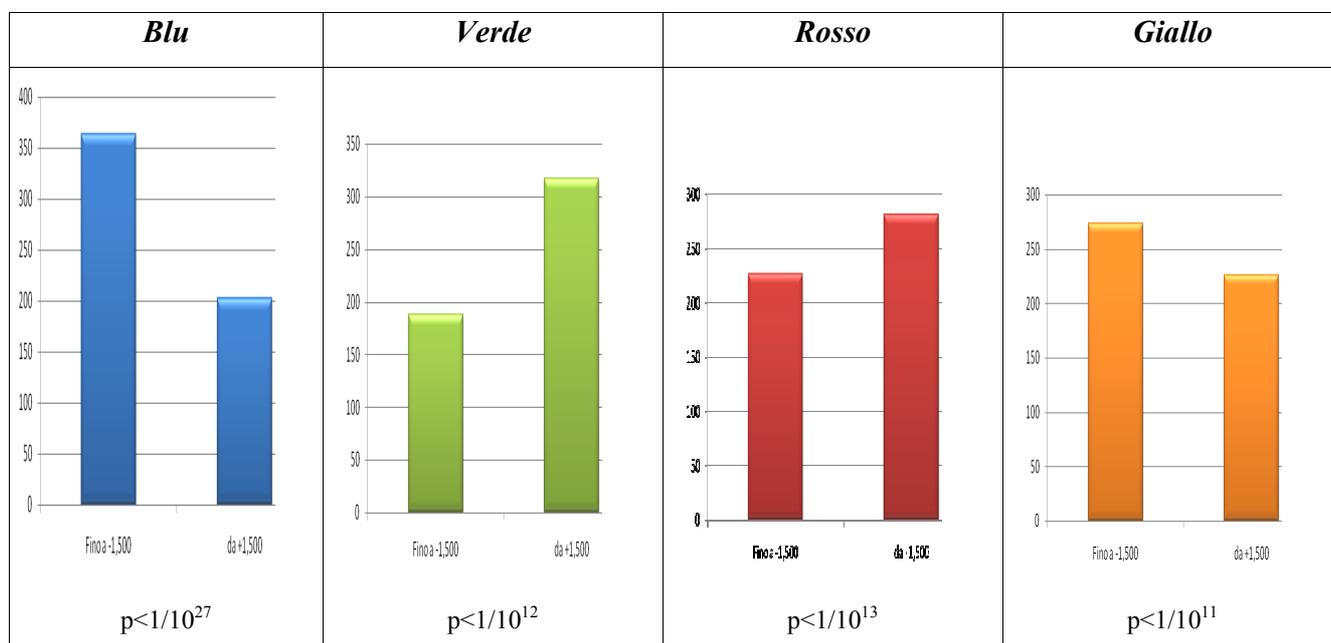
Frequenze	Differenze per il colore blu			Totale
	Fino a -1,500	Da -1,499 a +1,499	Oltre 1,500	
Osservate	364 (25,3%)	874 (60,7%)	202 (14,0%)	1440 (100%)
Attese	196 (13,6%)	1056 (73,3%)	188 (13,1%)	1440 (100%)

Tab. 7 – Frequenze osservate e frequenze attese nella distribuzione delle differenze tra medie degli HR nella fase 1 dell'esperimento in base alla selezione del computer del colore blu nella fase 3 (vedi tavola 2). Chi Quadro = 176,41. Valori del Chi Quadro (gdl 2) superiori a 13,81 corrispondono a $p < 0,001$. Il valore del Chi Quadro di 176,41 corrisponde ad una stima di $p < 1/10^{27}$, dove 10^{27} indica che prima dell'1 vanno inseriti 27 zeri.

Sul verde l'effetto retrocausale è stimato con un valore del Chi Quadro pari a 102,7.

Frequenze	Differenze per il colore verde			Totale
	Fino a -1,500	Da -1,499 a +1,499	Oltre 1,500	
Osservate	188 (13,1%)	935 (64,9%)	317 (22,0%)	1440 (100%)
Attese	196 (13,6%)	1056 (73,3%)	188 (13,1%)	1440 (100%)

Tab. 8 – Frequenze osservate e frequenze attese nella distribuzione delle differenze tra medie degli HR nella fase 1 dell'esperimento in base alla selezione del computer del colore verde nella fase 3 (vedi tavola 2). Chi Quadro = 102,70. Valori del Chi Quadro (gdl 2) superiori a 13,81 corrispondono a $p < 0,001$.



Tab. 9 – Effetti retrocausali, negativi e positivi, per colore. Mentre per il colore blu è marcato l'effetto con un aumento dei valori delle frequenze cardiache (HR) e nel verde con una diminuzione dei valori, per i colori rosso e giallo l'effetto si distribuisce, in modo più uniforme, sulla parte positiva (aumento dell'HR) e negativa (diminuzione dell'HR) diventando perciò invisibile per la t di Student e l'ANOVA.

La tabella 9 mostra che per i colori blu e verde l'effetto risulta fortemente sbilanciato o sul versante positivo (aumento dell'HR quando il blu è target) o su quello negativo (diminuzione dell'HR quando il verde è target). Questo sbilanciamento fa sì che, sommando assieme le due componenti dell'effetto questo non si annulli completamente, rimanendo perciò visibile anche con tecniche come la t di Student e l'ANOVA. Nel caso dei colori rosso e giallo, la parte negativa dell'effetto e quella positiva tendono ad eguagliarsi. Sommando assieme queste due componenti gli effetti si annullano quindi tra di loro, diventando invisibili a tecniche quali t di Student e ANOVA.

Da ciò discende che l'assenza dell'effetto su determinati colori, osservata nei primi esperimenti, non è altro che una conseguenza della tecnica statistica utilizzata e non di una effettiva assenza dell'effetto.

Analizzando le frequenze attese e quelle osservate delle differenze delle medie degli HR, per il colore rosso e giallo si vede, in tabella 10, un effetto retrocausale marcato per il colore rosso, con un Chi Quadro pari a 60,62, contro il 13,81 da cui parte la significatività statistica dello 0,001, e un Chi Quadro pari a 56,67 per il colore giallo (tabella 11).

<i>Frequenze</i>	<i>Differenze per il colore rosso</i>			<i>Totale</i>
	<i>Fino a -1,500</i>	<i>Da -1,499 a +1,499</i>	<i>Oltre 1,500</i>	
Osservate	282 (15,8%)	931 (64,6%)	227(19,6%)	1440 (100%)
Attese	196 (13,6%)	1056 (73,3%)	188 (13,1%)	1440 (100%)

Tab. 10 – Frequenze osservate e frequenze attese nella distribuzione delle differenze tra medie degli HR nella fase 1 dell'esperimento in base alla selezione del computer del colore rosso nella fase 3 (vedi tavola 2). Chi Quadro = 60,62. Valori del Chi Quadro (gdl 2) superiori a 13,81 corrispondono a $p < 0,001$.

<i>Frequenze</i>	<i>Differenze per il colore giallo</i>			<i>Totale</i>
	<i>Fino a -1,500</i>	<i>Da -1,499 a +1,499</i>	<i>Oltre 1,500</i>	
Osservate	274 (19,0%)	940 (65,3%)	226 (15,7%)	1440 (100%)
Attese	196 (13,6%)	1056 (73,3%)	188 (13,1%)	1440 (100%)

Tab. 11 – Frequenze osservate e frequenze attese nella distribuzione delle differenze tra medie degli HR nella fase 1 dell'esperimento in base alla selezione del computer del colore giallo nella fase 3 (vedi tavola 2). Chi Quadro = 56,67. Valori del Chi Quadro (gdl 2) superiori a 13,81 corrispondono a $p < 0,001$.

Tornando alla tabella generale dei colori (tabella 6) si legge nella colonna relativa al colore blu che il 25,3% delle differenze si hanno nel versante negativo, contro il 13,1% per il verde, il 15,8% per il

rosso, il 19,0% per il giallo e il 18,3% atteso nella colonna dei totali ed il 13,56 atteso in base al target non correlato. Al fine di utilizzare il test esatto di Fischer le analisi, laddove possibile, vengono effettuate convertendo le tabelle in tabelle 2x2 (vedi tabella 12) dove una cella viene confrontata con tutto il resto. Ad esempio, nella tabella 12 la classe “fino a -1,500” per il colore blu viene confrontata con tutto il resto.

Differenze	Blu	Altri colori	Totale
Fino a -1,500	364 (25,3%)	689 (15,9%)	1053 (18,3%)
Altro	1076 (74,7%)	3631 (84,1%)	4707 (81,7%)
Total	1440 (100%)	4320 (100%)	5760 (100%)

Tab. 12 – Le differenze negative delle medie per il colore blu vengono qui confrontate, per mezzo di una tabella 2x2, con la distribuzione di tutti gli altri dati. L'uso di tabelle 2x2 consente il calcolo del test esatto di Fisher. Per questa tabella il valore del Chi Quadro è pari a 62,91 e del test esatto di Fisher di $p=0,40/10^{14}$.

Lo scostamento tra il valore osservato per il colore blu (per differenze negative delle medie dell'HR) e il valore atteso (tabella 12) si traduce in un valore del Chi Quadro pari a 62,91 che corrisponde in base al test esatto di Fischer a una $p=0,4/10^{14}$, cioè una probabilità di errore di $p=0,0000000000000004$. E' quindi possibile affermare, accettando un rischio di errore praticamente nullo, che nel momento in cui il target è blu (colore selezionato dal computer nella fase 3 dell'esperimento), le frequenze cardiache osservate nella fase 1 sono nettamente inferiori. Al contrario, il colore verde presenta il 22% delle differenze nel versante positivo (sopra il valore 1,5). La differenza tra questo valore e quello atteso porta ad un Chi Quadrato di 22,94 ($p=0,55/10^6$, 1gdl, corrispondente a $p=0,00000055$).

Quando si utilizzano tabelle 2 x 2 i gradi di libertà sono pari a 1. Nel caso del Chi Quadrato con gdl=1 la significatività statistica del 5% inizia con valori uguali o superiori a 3,84, quella dell'1% con valori pari a 6,64, quella dell'1/mille con valori uguali o superiori a 10,83.

E' interessante notare che nonostante il blu ottenga valori fortemente significativi per differenze con segno negativo e il verde per differenze con segno positivo, in entrambi i casi sono presenti soggetti che mostrano l'effetto contrario. Ciò sottolinea di nuovo il fatto che l'effetto studiato non è additivo (tra i soggetti). Utilizzando la t di Student e l'ANOVA si ottengono perciò valori di significatività statistica nettamente inferiore o nulli, rischiando così di commettere un errore di secondo tipo.

Effetto apprendimento

Secondo l'ipotesi dell'apprendimento, la scelta del soggetto viene preceduta dall'attivazione di parametri psicofisiologici come la conduttanza cutanea (Damasio, 1994) e la frequenza cardiaca. In questo esperimento si ipotizza di osservare un'attivazione della frequenza cardiaca negli ultimi trial piuttosto che nei primi, trattandosi appunto di un effetto apprendimento che necessita di un certo numero di trial per manifestarsi.

In questa sezione l'analisi dei dati viene effettuata sulle tabelle di scelta, cioè quelle tabelle legate alla scelta che il soggetto fa nella fase 2. Un esempio di queste tabelle è riportato all'inizio del capitolo, nella tabella 3. Le tabelle di scelta riportano le differenze medie delle frequenze cardiache (fase 1) per scelta operata dal soggetto (fase 2).

Differenze	Colore scelto dal soggetto			Totale tabella	Target N.C.
	Neutro	Fortunato	Sfortunato		
+ 1,500 e oltre	14,0%	16,6%	17,2%	16,0%	13,1%
da - 1,499 a +1,499	73,5%	66,0%	66,0%	68,5%	73,3%
fino a -1,500	12,5%	17,4%	16,8%	15,5%	13,6%
	100% (n=1.440)	100% (n=1.440)	100% (n=1.440)	100% (n=4.320)	100,0%

Tab. 13 – Distribuzione delle differenze medie delle frequenze cardiache (fase 1) per caratteristica del colore scelto dal soggetto (fase 2) - Tabella calcolata sul totale dei trial e dei soggetti.

In tabella 13 si prendono in considerazione le differenze delle medie degli HR nella fase 1 in associazione alla tipologia di scelta che il soggetto opera nella fase 2: neutra, fortunata e sfortunata. La classe “+1,5 e oltre” individua la presenza di differenze di tipo positivo, la classe “fino a -1,500” individua la presenza di differenze di tipo negativo, mentre la classe intermedia individua l'assenza di differenze. Le frequenze vengono riportate come percentuali di colonna.

Prima della scelta di colori neutri la distribuzione coincide quasi esattamente con quella attesa in assenza di relazioni (73,5% contro il 73,3% atteso in base al target non correlato), mentre per i colori fortunati e sfortunati si osserva un distanziamento dalla distribuzione attesa in assenza di relazioni, con un Chi Quadro pari a 39,15 ($p < 1/10^9$) che mostra l'esistenza di un effetto apprendimento.

Si ricorda che il soggetto può scegliere tra 4 colori di cui 2 sono perfettamente random e vengono perciò indicati come colori neutri, 1 è fortunato e 1 è sfortunato. All'inizio dell'esperimento i soggetti vengono informati che l'estrazione dei colori è casuale. Nel corso dell'esperimento dovrebbero, secondo l'ipotesi sperimentale, apprendere la diversa probabilità di estrazione e ciò si manifesterebbe con una diversa attivazione delle frequenze cardiache nella fase 1 che precede la scelta (fase 2). Il computer seleziona qual è il colore fortunato, quello sfortunato e quelli neutri secondo una procedura random all'avvio dell'esperimento. Nessuno prima o durante l'esecuzione dell'esperimento è a conoscenza di quale sia il colore fortunato e quale il colore sfortunato, solo al termine dell'esperimento queste informazioni vengono salvate nel file dati e possono essere conosciute. *L'ipotesi è che l'effetto debba aumentare al progredire dell'esperimento e che, quindi, debba essere particolarmente forte negli ultimi trial.*

Differenze <i>(in valori assoluti)</i>	Trial			Totale tabella	Target N.C.
	2-34	35-67	68-100		
Fino a 1,499	69,4%	73,8%	62,3%	68,5%	73,3%
Da 1,500 in poi	30,6%	26,2%	37,7%	31,5%	26,7%
	100% (n=1.440)	100% (n=1.440)	100% (n=1.440)	100% (n=4.320)	100,0%

Tab. 14 – Distribuzioni delle differenze medie delle frequenze cardiache (fase 1) per scelta operata dal soggetto (fase 2) divisa per gruppi di trial.

Confrontando le colonne della tabella 14 con la distribuzione attesa in assenza di relazione si osserva la presenza di un effetto apprendimento già nei primi 33 trial, che si discostano dalla distribuzione attesa in assenza di relazione (in base al criterio del target non correlato); in questo caso il Chi Quadro è pari a 11,53 significativo appena all'1/mille. Nella parte intermedia, invece la distribuzione non si discosta da quella attesa, mostrando l'assenza di un effetto apprendimento nella parte intermedia dell'esperimento. Negli ultimi 33 trial la distribuzione si discosta in modo notevole, con un Chi Quadro pari a 89,77 che corrisponde ad un valore di probabilità $p < 1/10^{22}$. In altre parole, è soprattutto nell'ultima parte dell'esperimento che l'effetto apprendimento risulta essere fortemente significativo.

Le differenze significative delle frequenze cardiache passano dal 30,6% nei primi 33 trial, per scendere al 26,2% e risalire al 37,7% negli ultimi trial. Le frequenze attese in assenza di affetto sono il 26,7%. E'

importante notare che quando si confrontano le frequenze osservate degli ultimi 33 trial con il metodo del target non correlato, si ottiene un valore del Chi Quadro di 89,77 pari ad una significatività statistica di $p < 1/10^{22}$; quando si confrontano le frequenze osservate con le frequenze attese calcolate tramite i totali della tabella si ottiene un Chi Quadrato di 44,01 ($p < 0,23/10^9$, 1 gdl, uguale a $p = 0,00000000023$). In definitiva, comunque si analizzano i dati (usando come riferimento i totali della tabella o la distribuzione prodotta dai target non correlati), emerge un forte e significativo incremento delle differenze delle frequenze cardiache negli ultimi trial, in perfetto accordo con l'ipotesi dell'apprendimento. Questo effetto si manifesta come attivazione delle frequenze cardiache prima di operare la scelta del colore fortunato o sfortunato rispetto ai colori neutri.

La tabella 15 è una copia della tabella 13, ma tratta unicamente gli ultimi 33 trial dell'esperimento. Si nota che l'effetto, prima della scelta del colore fortunato e del colore sfortunato è nettamente aumentato, rispetto alla tabella 13, passando nel primo caso dal 17,4% al 23,1% e nel secondo caso dal 17,2 al 24%.

Differenze	Colore scelto dal soggetto			Totale tabella	Target N.C.
	Neutro	Fortunato	Sfortunato		
+ 1,500 e oltre	15,8%	19,2%	24,0%	19,6%	13,1%
da - 1,499 a +1,499	68,4%	57,7%	60,8%	62,3%	73,3%
fino a -1,500	15,8%	23,1%	15,2%	18,1%	13,6%
	100% (n=480)	100% (n=480)	100% (n=480)	100% (n=1.440)	100,0%

Tab. 15 – Distribuzione delle differenze medie delle frequenze cardiache (fase 1) per caratteristica del colore scelto dal soggetto (fase 2). Tabella calcolata rispetto all'ultimo gruppo di 33 trial, per il complesso dei soggetti.

Si osserva una polarizzazione degli effetti con frequenze cardiache più basse prima di scegliere il colore fortunato e frequenze cardiache più elevate prima di scegliere il colore sfortunato. Questo dato è coerente con le evidenze riportate da Damasio (1994)

Anche qui vale la considerazione fatta in precedenza: i soggetti mostrano spesso effetti tra loro simmetrici che, seppure coerenti all'interno del singolo soggetto, sono spesso opposti tra i vari soggetti. Quando questi effetti vengono sommati assieme, come accade nel caso di analisi effettuate con la t di Student o l'ANOVA, gli effetti simmetrici invece di sommarsi si sottraggono tra loro portando ad annullare il risultato generale e impedendo così di vedere l'effetto.

Interazione tra effetto retrocausale ed effetto apprendimento

In questa sezione l'analisi dei dati viene effettuata nuovamente sulle tabelle di feedback di cui un esempio è riportato in tabella 2. La tabella 16 è suddivisa per gruppi di trial: primi 33 trial, successivi 33 trial e ultimi 33 trial.

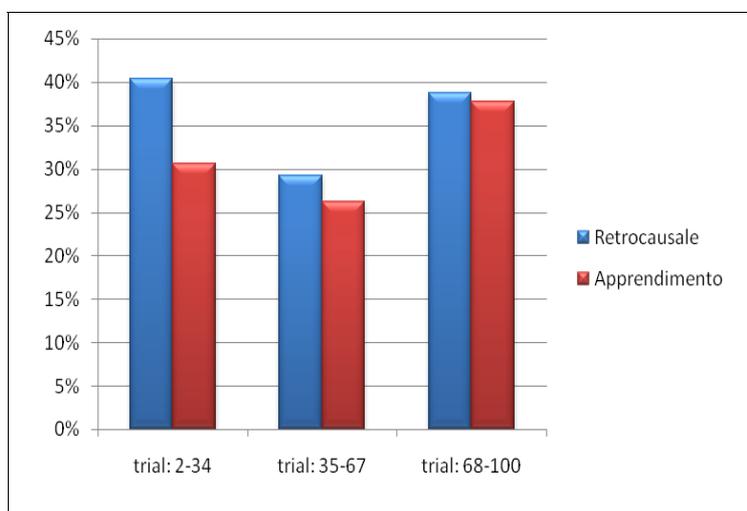
Nei primi 33 trial il 59,6% delle differenze nelle medie delle frequenze cardiache tra target e non target sono inferiori a 1,5 contro il 63,9% atteso in base alla colonna del totale, o 73,3% in base al metodo dei target non correlati, mentre nei successivi 33 trial si osserva il 70,8% di differenze inferiori a 1,5 contro il 63,9% atteso (o 73,3%). In modo speculare, nei primi 33 trial il 40,4% di differenze delle medie delle frequenze cardiache sono superiori a 1,5 contro il 36,1% atteso in base al totale della tabella (o il 26,7% atteso in base ai target non correlati), nei 33 trial intermedi si osserva il 29,2% contro il 36,1% (o 26,7%) atteso e negli ultimi 33 trial si osserva il 38,8% contro il 36,1% (o 26,7%) atteso.

Differenze <i>(in valori assoluti)</i>	Trial			Totale	Target N.C.
	2-34	35-67	68-100		
Fino a 1,499	59,6%	70,8%	61,2%	63,9%	73,3%
Da 1,500 in poi	40,4%	29,2%	38,8%	36,1%	26,7%
	100% (n=1.920)	100% (n=1.920)	100% (n=1.920)	100% (n=5.760)	100,0%

Tab. 16 – Distribuzione delle differenze delle medie delle frequenze cardiache (fase 1), per colore selezionato dal computer (fase 3), divise per gruppi di trial.

Considerando solo le prime due colonne della tabella, il passaggio dal 40,4% di differenze delle frequenze cardiache (primi 33 trial) al 29,2% (successivi 33 trial), è associato ad un valore del Chi Quadrato di 53,55 ($p < 0,76/10^{13}$, 1 gdl, uguale a $p = 0,000000000000076$), utilizzando come riferimento il totale della tabella. Questo dato consente di affermare, accettando un rischio praticamente nullo, che nei trial intermedi diminuisce l'effetto retrocausale, cioè la differenza osservata tra frequenze cardiache medie quando il colore è target e rispetto a quando non è target. Negli ultimi 33 trial si osserva poi un aumento dell'effetto retrocausale con il 38,8% di differenze significative. Per quest'ultimo passaggio il Chi Quadrato è pari a 39,31 ($p = 0,95/10^{10}$, 1 gdl, che corrisponde ad una probabilità

$p=0,000000000095$). In modo analogo si osserva un annullamento dell'effetto apprendimento nei 33 trial intermedi in tabella 14, relativa all'effetto apprendimento.



*Tab. 17 – Interazione tra effetto retrocausale e apprendimento
La significatività statistica dell'1% inizia con valori di
frequenza superiori al 29%*

Sia nelle tabelle relative all'effetto apprendimento come nelle tabelle appena riportate, relative all'effetto retrocausale, si osserva la presenza degli effetti retrocausale e apprendimento nei primi trial. Si osserva poi un abbassamento dei due effetti nella fascia intermedia (trial 35-67) e un forte innalzamento di entrambi gli effetti negli ultimi 33 trial. L'effetto apprendimento raggiungeva una significatività di appena l'1 per mille nel primo blocco, nella parte intermedia questa

significatività dell'effetto si annulla per coincidere con la frequenza attesa in assenza di relazione per poi risalire negli ultimi 33 trial. L'effetto retrocausale è fortemente significativo nei primi 33 trial, si abbassa nei trial intermedi, ma non si annulla del tutto, per poi risalire negli ultimi 33 trial. Negli ultimi 33 trial sia l'effetto apprendimento, come quello retrocausale risalgono in modo fortemente significativo ($p=0,95/10^{10}$ per l'effetto retrocausale e $p<1/10^{22}$ per l'effetto apprendimento).

Questo andamento suggerisce che nei primi 33 trial inizia ad attivarsi l'effetto apprendimento che però entra in conflitto con quello retrocausale portando entrambi gli effetti ad inibirsi (rimane solo quello retrocausale in modo appena significativo). La diminuzione dell'effetto retrocausale nella fase centrale dell'esperimento non era stata osservata negli esperimenti precedenti e viene, perciò in questo esperimento, attribuita all'introduzione dell'effetto apprendimento che è l'unico elemento di novità. Negli ultimi 33 trial si osserva un aumento fortemente significativo (rispetto ai trial intermedi) sia dell'effetto apprendimento come di quello retrocausale. Ciò suggerisce l'esistenza di una interazione tra l'effetto apprendimento e l'effetto retrocausale. Probabilmente i due effetti manifestano una reciproca inibizione nella fase intermedia dell'esperimento.

La tabella 18 riporta i dati relativi al soggetto con il punteggio di differenza generale più marcato. In questo esempio l'effetto retrocausale è estremamente forte già dall'inizio dell'esperimento (73% contro il 26% atteso utilizzando il metodo dei target non correlati e 56% utilizzando come riferimento il totale della tabella), ma si abbassa drasticamente nella parte intermedia dell'esperimento per poi risalire nella parte finale.

Differenze <i>(in valori assoluti)</i>	Trial			Totale	Target N.C.
	2-34	35-67	68-100		
Fino a 1,499	26,6%	67,2%	29,7%	44,0%	73,3%
Da 1,500 in poi	73,4%	32,8%	70,3%	56,0%	26,7%
	100% (n=64)	100% (n=64)	100% (n=64)	100% (n=192)	100,0%

Tab. 17 – Distribuzione delle differenze delle medie delle frequenze cardiache (fase 1), per colore selezionato dal computer (fase 3), divise per gruppi di trial. Tabella realizzata prendendo in considerazione unicamente il soggetto con il totale generale delle differenze più marcato.

E' importante ricordare che l'effetto apprendimento che si osserva a livello di frequenze cardiache, non si traduce in un aumento delle vincite da parte del soggetto. Teoricamente, nel momento in cui il soggetto scopre l'esistenza di un colore più fortunato potrebbe scegliere sempre il colore fortunato, aumentando in questo modo la probabilità delle vincite dal 25% (random) al 35% della scelta fortunata. Ciò, invece, non accade. Se si studia la distribuzione delle vincite, nei primi 33 trial abbiamo il 24,75% delle vincite, nei trial intermedi, nei quali è in corso l'apprendimento, le vincite rimangono praticamente invariate al 24,65%, mentre negli ultimi trial salgono al 25,47%; questo aumento non è statisticamente significativo ed è quindi possibile assimilarlo agli altri valori. E' possibile quindi affermare che nelle tre parti dell'esperimento i soggetti tendono ad indovinare sempre il 25% delle volte. Ciò porta a concludere che l'apprendimento, pur manifestandosi con forti differenze delle frequenze cardiache nell'ultima fase dell'esperimento, non si traduce a livello cognitivo neppure sottoforma di un apprendimento implicito.

Sintesi dei risultati

Essendo l'analisi dei dati che segue molto dettagliata, si riportano subito i risultati emersi e le relative conclusioni alle quali si è giunti.

I risultati di questo esperimento mostrano:

1. un forte effetto retrocausale sul colore blu con $p < 1/10^{27}$, sul colore verde con $p < 1/10^{12}$, sul rosso con $p < 1/10^{13}$ e sul giallo con $p < 1/10^{11}$;
2. uno sbilanciamento dell'effetto retrocausale associato al colore blu ($p = 0,0000000000000040$) e verde ($p = 0,00000055$);
3. l'effetto retrocausale sin dai primi 33 trial, come atteso dall'ipotesi retrocausale;
4. un effetto apprendimento della frequenza cardiaca ($p = 0,000000000023$). L'effetto è stato valutato confrontando le frequenze cardiache prima della scelta di un colore fortunato e di un colore sfortunato (scelta operata dal soggetto nella fase 2). E' importante sottolineare che questo effetto si osserva in modo estremamente forte nel terzo e ultimo blocco dell'esperimento, come era atteso, trattandosi di un effetto apprendimento che necessita di un certo numero di trial per manifestarsi;
5. un'interazione tra i due effetti nella fase centrale dell'esperimento in cui l'effetto retrocausale e l'effetto apprendimento si annullano per poi risalire nell'ultima fase dell'esperimento ($p = 0,0000000000000076$).

E' importante sottolineare nuovamente che nonostante si osservi un forte effetto apprendimento associato alla frequenza cardiaca questo non si traduce in una strategia vincente da parte dei soggetti sperimentali. In tutti i blocchi di 33 trial i soggetti indovinano mediamente il 25% delle volte (quindi a caso). Il forte apprendimento che si osserva nella misura della frequenza cardiaca non sembra tradursi in alcuna risposta comportamentale osservabile.