Università degli Studi di Padova
Dipartimento di Scienze Statistiche
Corso di Laurea Triennale in

Statistica per l'economia e l'impresa

RELAZIONE FINALE

Valutazione della performance generale in test cognitivi rivolti a piloti automobilistici.

Relatore
Prof. Livio Finos
(Dipartimento di Scienze Statistiche)

Laureando
Leonardo Bizzotto
Matricola n. 2067210

Anno Accademico 2024/2025

Abstract

Il Biofeedback è uno strumento versatile, capace di rendere cosciente la persona dei processi fisiologici del proprio corpo. In questo elaborato si esplorano dati di test cognitivi rivolti a piloti automobilistici; durante l'elaborato verranno approfondite le performance generali dei piloti e più nello specifico l'effetto spillover causato da un errore in uno dei tre test selezionati. Si utilizzeranno statistiche descrittive, rappresentazioni grafiche e modelli statistici.

Testa. Cuore. Fame. Sacrificio.

Indice

1 Introduzione al cognitivo nel motorsport **1**

2 Simple Reaction Time e Simon Effect **5**
2.1 Descrizione della struttura e degli obiettivi dei test 5
2.1.1 Simple Reaction Time test 5
2.1.2 Simon Effect test 6
2.2 Descrizione dei due dataset 7
2.3 Preprocessing dei dati 9
2.4 Analisi esplorativa 11
2.4.1 Approfondimento degli errori nei due dataset 12
2.5 Analisi delle componenti principali 13
2.6 Confronto e commento dei due dataset 17

3 GoNoGo test **19**
3.1 Descrizione della struttura e degli obiettivi del test 19
3.2 Descrizione dei due dataset 19
3.3 Analisi esplorativa 20
3.3.1 Relazione tra SOA e Tempo di reazione 21
3.4 Analisi grafica rivolta all'effetto spillover 22
3.4.1 Analisi delle statistiche descrittive 23
3.5 Approccio modellistico per l'analisi dell'effetto spillover 25

4 Conclusioni **28**

Bibliografia **31**

Capitolo 1

Introduzione al cognitivo nel motorsport

Il tempo di reazione è da oltre un secolo uno degli argomenti più studiati dalla psicologia sperimentale, poiché rappresenta un indicatore chiave della rapidità con cui il sistema nervoso elabora uno stimolo e attiva la risposta motoria. Nella vita quotidiana può determinare la prontezza con cui si reagisce a un imprevisto, ma in contesti ad alte prestazioni come il motorsport riveste un'importanza decisiva. Un decimo di secondo può fare la differenza tra evitare un incidente o finire fuori pista, tra vincere una gara o perdere posizioni in partenza.

Gli studi distinguono tre principali categorie di esperimenti sul tempo di reazione[1]. Nel **tempo di reazione semplice** il soggetto risponde a un solo tipo di stimolo con una sola risposta: per esempio, in laboratorio, premere un tasto quando appare un segnale luminoso. Nel motorsport, un caso analogo è la partenza in Formula 1 quando si spengono le luci: l'azione da compiere è unica, rilasciare la frizione e accelerare, ma ogni millisecondo conta. Nel **tempo di reazione di riconoscimento**, alcuni stimoli richiedono una risposta, altri no: il pilota, ad esempio, deve ignorare un cartello non rilevante ma reagire subito a una bandiera gialla o rossa (segnali di pericolo che obbligano i piloti a rallentare). Infine, nel **tempo di reazione a scelta**, ad ogni stimolo corrisponde una risposta diversa: è il caso in cui il pilota deve decidere se sterzare a sinistra o a destra per evitare un ostacolo improvviso, o scegliere tra frenare e scalare una marcia in una situazione di emergenza. In pista, queste decisioni avvengono in frazioni di secondo, e un ritardo minimo può compromettere sicurezza e prestazione.

Storicamente, i tempi medi di reazione semplice per giovani adulti sono di circa 190 millisecondi per stimoli visivi e 160 millisecondi per stimoli uditivi. Tuttavia, studi recenti mostrano valori più elevati quando la misurazione avviene con strumenti computerizzati. Nei piloti professionisti, l'allenamento e la ripetizione continua di scenari critici permettono di

[1] R. D. Luce. *Response Times: Their Role in Inferring Elementary Mental Organization*. Oxford University Press, New York, 1986.

ridurre in modo significativo queste latenze, anche se i limiti fisiologici restano. In contesti come la partenza di una gara, in cui sono presenti fattori ambientali e fisici che possono alterare le prestazioni dei piloti, tempi di reazione attorno ai 200 millisecondi sono considerati eccellenti.[2]

La complessità del compito influenza in modo diretto il tempo di reazione: i test a scelta sono più lenti di quelli semplici o di riconoscimento, perché il cervello impiega più tempo a elaborare le opzioni e selezionare la risposta. In gara, questo si traduce in un vantaggio per i piloti che riescono a mantenere tempi di elaborazione ridotti anche in situazioni caotiche, come nei primi giri o durante condizioni meteo mutevoli.

Altri fattori che possono influenzare la rapidità sono il **numero di possibili stimoli** (fenomeno psicologico formalizzato nella legge di Hick-Hyman): più sono le opzioni da valutare, maggiore sarà il tempo necessario per scegliere.[3] Nel motorsport, questo principio spiega perché le strategie di comunicazione tra pilota e ingegneri tendono a ridurre al minimo la varietà di segnali da interpretare in momenti critici, concentrandosi su comandi chiari e codificati.

Il **tipo di stimolo** ha un peso determinante: in media, la reazione a un suono è più rapida di quella a una luce, poiché l'elaborazione acustica raggiunge il cervello in 8-10 ms, contro i 20-40 ms di quella visiva[4]. Questo è uno dei motivi per cui in pista, oltre ai segnali visivi, spesso si utilizzano allarmi acustici nei sistemi di telemetria o nei simulatori di guida. Gli stimoli tattili (come vibrazioni sul volante) offrono un tempo intermedio e possono essere cruciali per avvisare il pilota di un problema meccanico.

L'**intensità dello stimolo** influisce anch'essa: segnali più forti e chiari riducono il tempo di reazione fino a un certo punto, oltre il quale non si osservano ulteriori miglioramenti[5][6]. Nei team di F1, ciò si traduce nella progettazione di interfacce e segnali che massimizzano la percezione senza sovraccaricare il pilota.

---

[2] J. T. Brebner e A. T. Welford. *Introduction: an historical background sketch*. Academic Press, New York, 1980.

[3] Wikipedia. *Hick's law*. October 2013.

[4] Brebner e Welford, *Introduction: an historical background sketch*.

[5] H. Piéron. «Nouvelles recherches sur l'analyse du temps de latence sensorielle et sur la loi qui relie ce temps a l'intensité de l'excitation». In: *Année Psychologique 22: 58-142* (1920).

[6] Luce, *Response Times: Their Role in Inferring Elementary Mental Organization*.

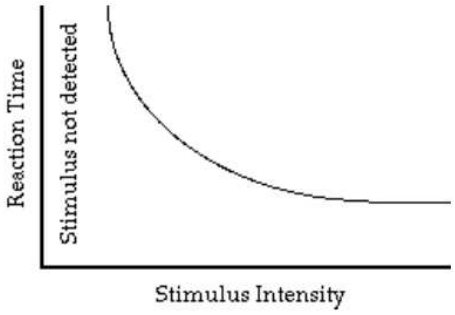


Figura 1.1: *Andamento dei tempi di risposta in funzione dell'intensità del segnale*

Oltre a questi fattori fondamentali, la letteratura evidenzia numerose variabili che possono modulare il tempo di reazione; di seguito si descrivono brevemente le principali:

- Il livello di **arousal**, cioè l'attivazione psicofisica, segue un andamento a "U": reazioni ottimali si ottengono con un'attivazione intermedia, mentre eccesso di tensione o eccessivo rilassamento rallentano le risposte.[7] Nei piloti, la gestione dell'arousal è cruciale: tecniche di respirazione, preparazione mentale e simulazioni di gara mirano a mantenere un livello di attivazione ideale, capace di coniugare velocità decisionale e controllo motorio.

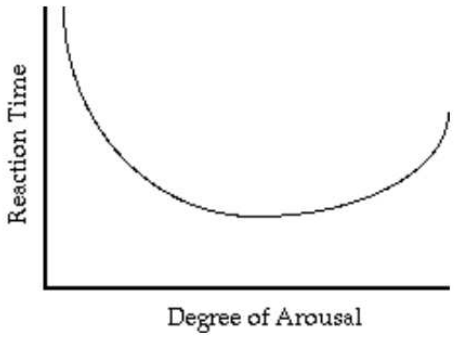


Figura 1.2: *Andamento dei tempi di reazione in funzione dell'attivazione psicofisica*

- La **rilevanza dello stimolo per la sopravvivenza** accelera la risposta: come un odore sgradevole può generare una reazione più rapida per ragioni evolutive, allo stesso modo un pilota reagisce più velocemente a un avviso di guasto ai freni rispetto a un messaggio di strategia.

- L'**età** è un altro fattore chiave: i tempi di reazione migliorano fino ai 20-30 anni, poi tendono ad aumentare con l'invecchiamento, soprattutto nei compiti complessi[8]. Questo

[7]Brebner e Welford, *Introduction: an historical background sketch*.

[8]F. Galton. «On instruments for (1) testing percepition of differences of tint and for (2) determining reaction time». In: *Journal of the Anthropological Institute 19: 27-29* (1899).

spiega perché la maggior parte dei piloti di alta classifica si trovi entro una certa fascia di età, pur con eccezioni rese possibili dall'esperienza e dalla capacità di compensare tempi leggermente più lunghi con anticipazione e strategia.

- Anche **genere**[9] e **mano dominante** possono avere effetti, seppur meno marcati in contesti altamente allenati: ad esempio, l'uso prevalente della mano dominante nei cambi di marcia o nei controlli può offrire vantaggi in situazioni di reazione rapida. L'allenamento su stimoli periferici in generale, può migliorare la capacità di individuare e reagire a eventi che si presentano al margine del campo visivo, come un sorpasso improvviso. Diversi studi mostrano come in quasi tutte le fasce d'età i maschi hanno tempi di reazione più rapidi delle femmine e questo svantaggio femminile non sembra ridursi con la pratica.

- **Pratica**,[10] **allenamento** e **gestione della fatica** giocano un ruolo decisivo. Nel motorsport, la preparazione comprende esercizi specifici per ridurre i tempi di reazione sotto stress fisico e mentale, simulando condizioni di gara con distrazioni, vibrazioni e rumore elevato. La fatica, soprattutto mentale, è uno dei principali nemici: turni di guida prolungati, temperature elevate e disidratazione possono rallentare i tempi di risposta, motivo per cui l'idratazione e il condizionamento fisico sono parte integrante della strategia di gara.

- Infine, fattori come **distrazioni**, **avvisi di stimolo**, **uso di sostanze** (stimolanti o depressivi) e **condizioni mediche** possono influire in maniera significativa. Nel motorsport, questo si traduce in protocolli di sicurezza rigorosi per evitare cali di attenzione dovuti a farmaci, stanchezza o condizioni di salute non ottimali. I simulatori di guida professionali integrano anche imprevisti e stimoli contraddittori per allenare il pilota a mantenere la prontezza decisionale in scenari complessi.

In sintesi, il tempo di reazione è un indicatore multifattoriale che unisce componenti fisiologiche, cognitive e contestuali. Nel motorsport, rappresenta un elemento strategico tanto quanto le componenti meccaniche dell'automobile: dalla partenza alla gestione di situazioni d'emergenza, la rapidità di elaborazione e risposta può determinare l'esito di una gara. Comprendere e ottimizzare i fattori che lo influenzano è quindi essenziale, sia in ambito scientifico sia nelle applicazioni pratiche in pista.

[9] Brebner e Welford, *Introduction: an historical background sketch*.

[10] A. F. Sanders. *Elements of Human Performance: Reaction Processes and Attention in Human Skill*. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Mahwah, New Jersey., 1998.

Capitolo 2

Simple Reaction Time e Simon Effect

In questo capitolo verranno trattati due diversi test cognitivi utilizzati per testare ed allenare i tempi di reazione dei piloti. L'obiettivo è quello di esplorare e analizzare i due dataset a disposizione, evidenziando le differenze tra i due test.

Per il momento prendiamo in esame due soli test, il *Simple Reaction Time* (tempo di reazione semplice) e il *Simon Effect* (tempo di reazione a scelta), entrambi vengono utilizzati per misurare alcune abilità cognitive dei pazienti (in particolare il tempo di reazione a uno stimolo).

***Nota**: In questa analisi i pazienti in esame sono piloti automobilistici dai 14 ai 30 anni che sono quindi in diverse fasi delle loro abilità cognitive.*

Ogni test svolto da un pilota verrà definito "trial", ognuno di essi ha la durata di 5 minuti e il numero di stimoli proposti in questo intervallo di tempo varia in base alla velocità con cui vengono presentati gli stimoli e dai tempi di risposta del pilota; generalmente vengono presentati dai 60 agli 85 stimoli.

2.1 Descrizione della struttura e degli obiettivi dei test

2.1.1 Simple Reaction Time test

Il *Simple Reaction Time* (SRT) è una misura fondamentale nella psicologia sperimentale, utilizzata per valutare la velocità di elaborazione delle informazioni. Si riferisce all'intervallo di tempo che intercorre tra la comparsa di un singolo stimolo e la risposta dell'individuo. È la forma più basilare di compito di reazione, poiché prevede un solo stimolo e un'unica risposta.

In assenza di distrattori, le risposte sono spesso inferiori ai 200 millisecondi e riflettono il tempo necessario per percepire lo stimolo, avviare la risposta motoria ed eseguire l'azione.

Si distingue dal tempo di reazione di scelta, il quale prevede stimoli e risposte multiple, risultando più complesso e lento. Nel motorsport, il SRT misura la rapidità con cui un pilota percepisce un segnale (come luci di partenza o allarmi sul volante) e lo traduce in un'azione immediata, fornendo un indicatore della prontezza mentale e fisica con impatti diretti su sicurezza, strategia e performance.

Il *Simple Reaction Time* è un test relativamente semplice: il pilota affronta un trial, composto da una serie di stimoli di lunghezza casuale (generalmente dai 50 ai 70); lo stimolo presentato è una semplice luce (interna a un semaforo) posta al centro del campo visivo del pilota. Non è presente nessun disturbo cognitivo e l'obiettivo è quello di reagire il più velocemente possibile all'impulso premendo un pulsante. La risposta del pilota viene considerata sbagliata se è stata emessa più velocemente di 100 ms (umanamente impossibile e considerata come un'anticipazione) e al di sopra di 1000 ms (considerata come omissione).

2.1.2 Simon Effect test

Il *Simon Effect* (SE) è un noto paradigma sperimentale della psicologia cognitiva utilizzato per studiare come informazioni spaziali irrilevanti possano interferire con l'elaborazione cognitiva e con il comportamento di risposta. Viene impiegato principalmente per indagare la compatibilità stimolo-risposta e funzioni cognitive come l'attenzione, il controllo cognitivo e la pianificazione motoria.

Nel compito di Simon, i partecipanti devono rispondere a una caratteristica non spaziale dello stimolo, come il colore o la forma, premendo un tasto o un pulsante corrispondente a quella caratteristica. Lo stimolo viene presentato lateralmente, a sinistra o a destra dello schermo, ma la sua posizione spaziale è irrilevante per il compito.

La manipolazione chiave consiste nel fatto che in alcune prove, la posizione dello stimolo coincide spazialmente con la posizione della risposta (queste prove sono definite congruenti) in altre, stimolo e risposta si trovano in posizioni opposte (definite come prove incongruenti).

In genere, i partecipanti reagiscono più velocemente e con maggiore precisione nelle prove congruenti, mentre nelle prove incongruenti i tempi di reazione si allungano e aumenta la frequenza degli errori. Questo rallentamento, accompagnato da un incremento degli errori,

è noto come *effetto Simon* e si verifica perché la posizione spaziale dello stimolo attiva automaticamente una risposta corrispondente sul piano spaziale. Quando questa risposta "automatica" non coincide con quella richiesta dal compito, si genera un conflitto cognitivo.

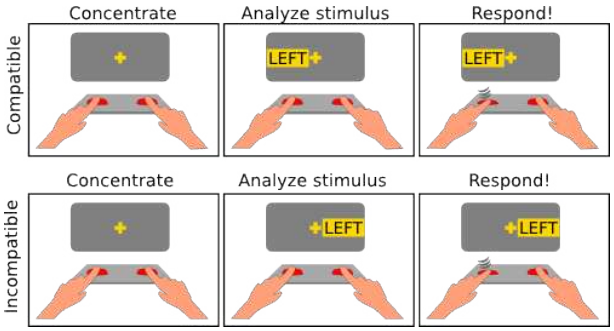


Figura 2.1: *Esempio pratico dello svolgimento del test*

Secondo i modelli a doppio percorso (*dual-route models*),[1] il fenomeno deriva dall'interazione di due percorsi distinti: un percorso rapido e automatico, attivato dalla posizione dello stimolo e un percorso più lento e controllato, basato sulle regole del compito. Il sistema di controllo cognitivo deve risolvere questo conflitto per produrre la risposta corretta, operazione che richiede più tempo e risorse nelle prove incongruenti.

Il compito di Simon, adattato al motorsport, permette di valutare come segnali visivi o acustici non perfettamente coerenti con l'azione richiesta possano influenzare la risposta del pilota. Modificando caratteristiche come colori, forme o suoni, è possibile misurare attenzione, controllo cognitivo e rapidità decisionale, competenze fondamentali per ridurre errori e mantenere alte prestazioni in gara.

2.2 Descrizione dei due dataset

Il primo dataset contiene 414 trial svolti da piloti differenti, raccogliendo informazioni attraverso 16 variabili tra cui: variabili descrittive del trial, riassuntive delle prestazioni del pilota e alcune di supporto utilizzate per calcolare indici di valutazione della performance nel trial in esame. Nella seguente tabella verranno descritte, specificandone il tipo (categoriale, dummy o numeriche).

[1] D. Didino et al. «Probing the Dual-Route Model of the SNARC Effect by Orthogonalizing Processing Speed and Depth». In: *Experimental Psychology: Vol. 70, No. 1* (April 2023).

#	Nome	Tipo	Descrizione
1	*Driver*	categoriale	Nome del pilota in esame
2	*Date*	numerica	Data in cui è stato svolto il trial
3	*Readiness*	numerica	Tempo di reazione medio del trial, espresso in millisecondi
4	*Stddev*	numerica	Deviazione standard del trial
5	*RT_min*	numerica	Il miglior tempo di reazione fatto registrare, espresso in millisecondi
6	*RT_max*	numerica	Il peggior tempo di reazione fatto registrare, espresso in millisecondi
7	*Accuracy*	numerica	Tasso di risposte corrette sul totale di impulsi proposti
8	*Anticipation Rate*	numerica	Tasso di risposte classificate come anticipazioni (Reaction Time < 100 ms)
9	*Omission rate*	numerica	Tasso di risposte classificate come omissioni (Reaction Time > 1000 ms)
10	*IES*	numerica	Indice di valutazione complessiva del trial, considera la consistenza e il tempo di reazione medio del pilota
11	*ICE*	numerica	Indice di valutazione molto simile all'*IES*, considerà però anche l'accuratezza dell'atleta
12	*P_rank*	numerica	Rango percentilico delle osservazioni basato sull'indice ICE
13	*Readiness norm*	numerica	Versione standardizzata della variabile *Readiness*
14	*Stddev norm*	numerica	Versione standardizzata della variabile *StdDev*
15	*Accuracy norm*	numerica	Versione standardizzata della variabile *Accuracy*
16	*Score*	numerica	Trasformazione lineare che combina i valori delle variabili *Readiness, StdDev* e *Accuracy* per ottenere una valutazione della performance del pilota nel trial in esame con scala 1-10

Tabella 2.1: *Descrizione delle variabili del dataset Simple Reaction Time test*

Il secondo dataset in esame invece, è composto da 182 osservazioni differenti e condivide una struttura molto simile con quella vista in precedenza; di seguito si descrivono le variabili aggiuntive utilizzando la modalità vista in precedenza, da cui:

#	Nome	Tipo	Descrizione
1	*Simon*	numerica	Rappresenta una valutazione dell'effetto Simon misurato nel trial in esame; viene ottenuto facendo la media delle differenze tra i tempi di reazione congrui e quelli incongrui
2	*Error rate*	numerica	Tasso che indica la percentuale di stimoli errati

Tabella 2.2: *Descrizione delle variabili del dataset Simon Effect test*

2.3 Preprocessing dei dati

I due dataset in questione erano già resi disponibili in formato xlsx e con una struttura ben definita. Il preprocessing è stato contenuto e utilizzato solo per aggiustare le codifiche di alcune variabili e trattare i dati mancanti (causati da alcuni errori di trascrizione e mancanze del software che gestisce le prove).

In ogni caso, si è scelto di escludere le prove con valori mancanti, senza utilizzare stime o valori standard per mantenere validi i dati interessati.

Concentrandoci sul *Simple Reaction Time task*, si nota che sono stati registrati dati riguardanti 132 diversi piloti; tuttavia, molti di loro hanno eseguito il test un'unica volta, mentre altri piloti come ZHO, FUO e MAR superano le 15 prove ciascuno. Di seguito si prendono come riferimento le tre principali variabili (*Readiness, Accuracy e StdDev*) e si analizzano le loro variazioni (medie per pilota) in base al numero di prove eseguite:

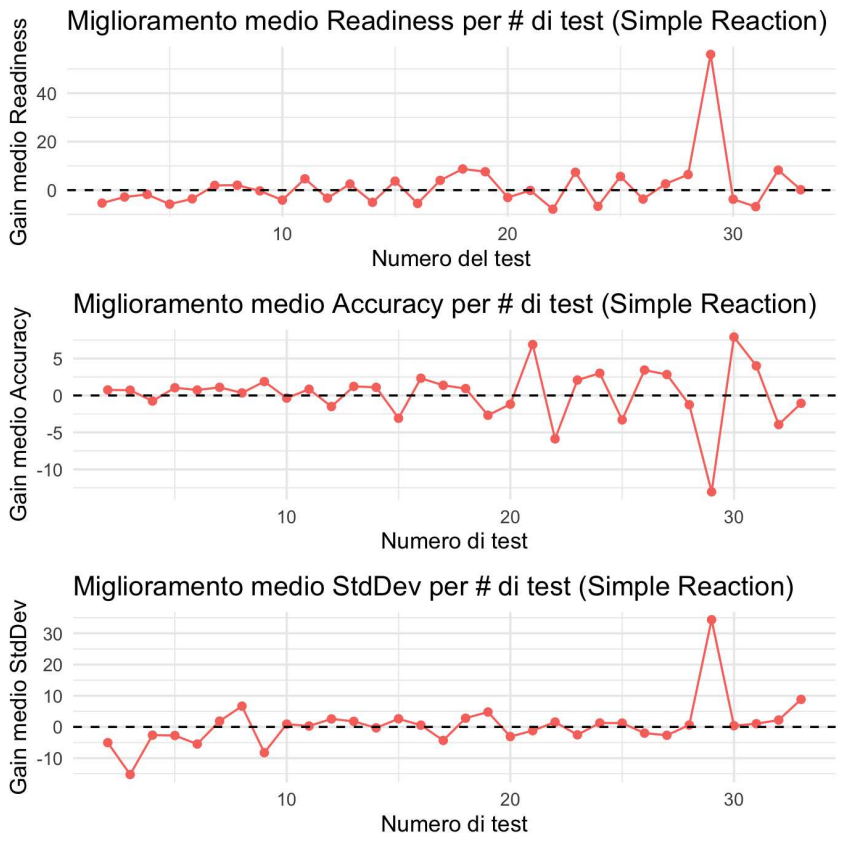


Figura 2.2: *Andamento dei miglioramenti in base al numero di trial eseguiti (SRT)*

Il test somministrato è relativamente semplice; è normale aspettarsi che non ci siano differenze evidenti all'aumentare dei tentativi, specialmente nei primi momenti; tuttavia, presentano valori negativi, ad indicare un pattern di miglioramento generale all'aumentare del numero di prove eseguite.

***Nota**: In precedenza è stato sottolineato il fatto che solo 3 piloti hanno eseguito il test per più di 15 volte; questo si rispecchia sull'andamento poco lineare delle tre serie. Dopo tale soglia, il valore rappresentato nella serie è quindi frutto di una media tra pochissime osservazioni (lo stesso concetto vale anche per il secondo test, nel quale però, la soglia è più bassa).*

I test hanno modalità di somministrazione diversa, il SRT test viene generalmente somministrato durante la valutazione generale del profilo del pilota (eseguita una o due volte l'anno), ma per alcuni piloti, viene somministrato anche in altre occasioni, utilizzandolo come fattore allenante. Per rimuovere questo fattore, cercando di trattare i piloti il più equamente possibile, d'ora in poi si considera la 2° prova per ciascun pilota.

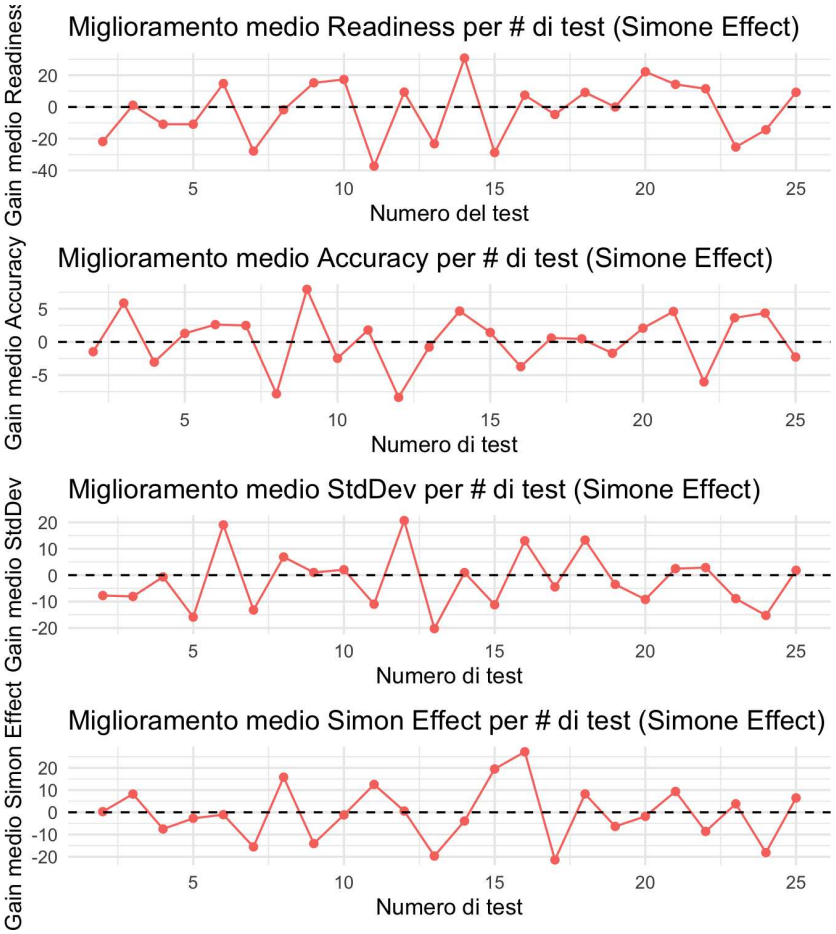


Figura 2.3: *Andamento dei miglioramenti in base al numero di trial eseguiti (SE)*

Il test SE invece, viene somministrato esclusivamente durante la valutazione generale del profilo del pilota, questo annulla il fattore allenante (a meno di alcuni piloti specifici). Considerando l'aumento della difficoltà del compito e la minor somministrazione di tale task, anche

in questo caso consideriamo la seconda prova per ogni pilota, in modo da eliminare il fattore ”prima volta” del test.

2.4 Analisi esplorativa

L’analisi esplorativa inizia valutando forme di correlazione tra le variabili, di seguito si mostra la matrice di correlazione:

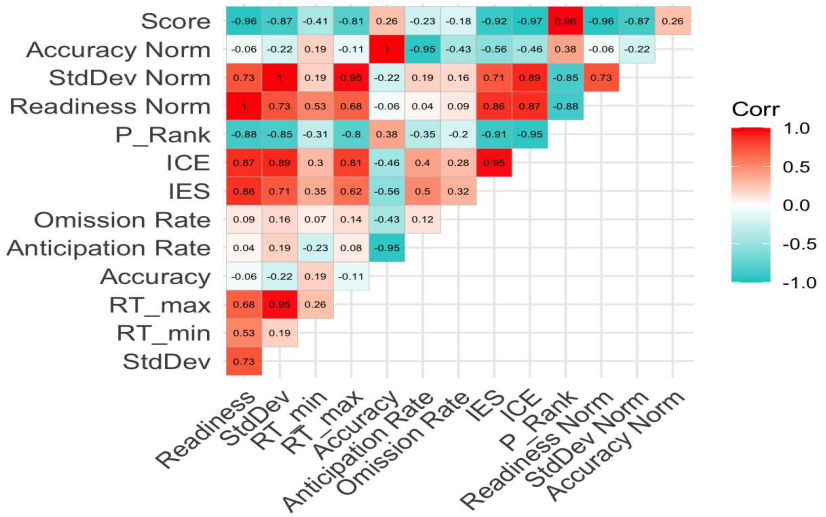


Figura 2.4: *Matrice di correlazione (Simple Reaction Time)*

- le variabili *Readiness, StdDev e Accuracy* sono presenti anche in versione normalizzata standard, presentano quindi correlazione perfetta;
- si considerano inoltre diversi indici di valutazione della performance della prova, ovvero *Score, P_rank, ICE e IES*, basati sul rango percentilico oppure su diverse trasformazioni lineari delle tre variabili citate nel punto precedente.

Soffermiamoci sui 3 indici di valutazione, relazionati con lo score (indice di performance in base 10) ottenuti in ciascuna prova. Tutti e 4 gli indici non vengono calcolati in automatico dal software di somministrazione dei test, bensì calcolati manualmente post svolgimento, da cui:

- *IES*: è dato dalla somma tra il tempo di reazione medio e la deviazione standard;
- *ICE*: coincide con il rapporto tra l’indice precedente e l’accuratezza;
- *P_rank*: è il rango percentilico delle prove basato sulla metrica *ICE*;
- *Score*: è una combinazione lineare delle variabili *Readiness, Accuracy e StdDev*.

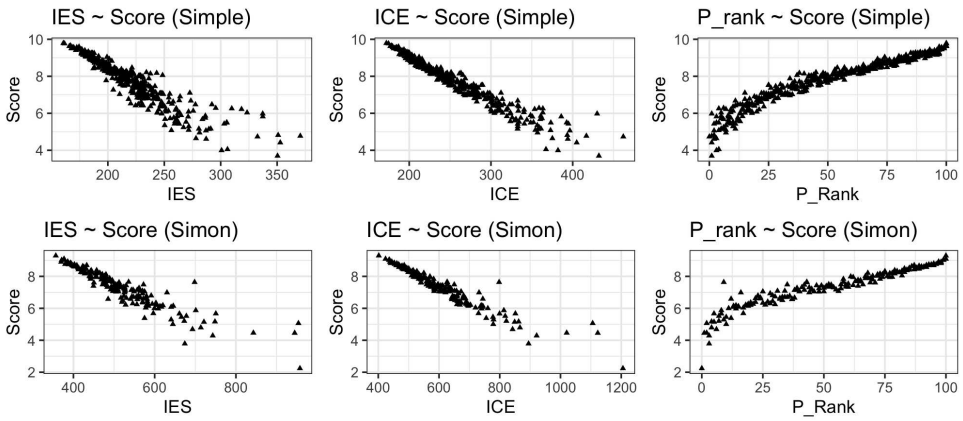


Figura 2.5: *Rappresentazione grafiche delle relazioni tra i vari indici di valutazione*

Data la natura degli indici, le relazioni sono molto forti e si notano anche dal punto di vista grafico tramite scatter plot; si evidenziano le direzioni opposte delle scale.

2.4.1 Approfondimento degli errori nei due dataset

I due test hanno una struttura e degli obiettivi diversi tra loro; questo porta a delle conseguenze significative sui pattern dei dati raccolti per i vari piloti.

Il compito SRT è pensato per testare i tempi di risposta in una condizione ideale, l'impulso è semplice, non sono presenti disturbi cognitivi e l'obiettivo è chiaro: rispondere il più velocemente possibile.

Una prima conseguenza è la quasi totale assenza di "omissioni" (tempi di risposta maggiori di 1 secondo) a causa del fatto che, data la semplicità del test, i tempi di risposta sono molto più bassi (media delle 414 prove, pari a 202.19 ms). Risulta più comune invece l'anticipazione (tempi di risposta minori di 100 ms); di fatto mediamente si osserva un tasso di omissione pari allo 0.52% e un tasso di anticipazione ben più alto e pari al 6.98%.

Nel secondo test invece (SE), si introducono dei disturbi cognitivi e si aggiunge un nuovo obiettivo, discriminare correttamente la provenienza dell'impulso e il "lato di risposta". Per prima cosa i tempi di reazione registrati sono nettamente superiori (media delle 182 prove, pari a 426.94 ms), inoltre si aggiunge una nuova forma di errore, che tiene conto degli impulsi in cui il "lato di risposta" è incongruo al "lato dell'impulso"; questo errore è molto più elevato dei precedenti ed è mediamente pari al 16.95%.

La gestione di "omissioni" e "anticipazioni" rimane la stessa, facendo registrare un tasso medio di omissione pari allo 0.32% e un tasso medio di anticipazione molto basso e pari a

0.22%, dovuto principalmente al fatto che i tempi di risposta sono generalmente più distanti dalla soglia di anticipazione.

2.5 Analisi delle componenti principali

In questa sezione verranno discusse due analisi delle componenti principali, una per ogni dataset, con l'obiettivo di comprendere la struttura dei dati, evidenziare eventuali pattern non ancora noti e interpretare eventuali variabili latenti significative.

A causa della grande differenza tra le variabili che costituiscono i dataset, si preferisce standardizzare; prima si affronta il *Simple Reaction Time task* per poi passare al *Simon Effect task*.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
Standard deviation	**1.984**	**1.411**	**0.964**	0.896	0.561	0.165	0.012	0.000
Proportion of Variance	0.492	0.249	0.116	0.100	0.039	0.003	0.000	0.000
Cumulative Proportion	**0.492**	**0.741**	**0.857**	**0.957**	0.997	0.999	1.000	1.000

Tabella 2.3: *Importanza delle Componenti Principali (SRT)*

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
Readiness	**0.449**	-0.189	0.093	0.062	0.624	0.179	-0.044	0.572
StdDev	**0.460**	-0.095	-0.304	-0.169	-0.298	-0.721	-0.023	0.224
RT_min	0.196	-0.293	**0.575**	**0.641**	-0.356	-0.081	-0.001	0.000
RT_max	**0.445**	-0.137	-0.299	-0.122	-0.494	0.660	0.003	0.000
Accuracy	-0.208	**-0.637**	-0.059	-0.156	0.038	-0.015	-0.714	-0.112
Anticipation Rate	0.173	**0.626**	-0.114	0.334	-0.006	0.022	-0.673	0.000
Omission Rate	0.191	0.220	**0.680**	**-0.637**	-0.126	0.013	-0.176	0.000
Score	**-0.490**	0.074	0.010	-0.019	-0.366	0.073	-0.064	0.781

Tabella 2.4: *Loadings delle Variabili Originali sulle Componenti Principali (SRT)*

L'output di R mostrato sopra, indica che per rappresentare in modo adeguato il dataset sarebbero sufficienti le prime tre o quattro componenti, in quanto contribuiscono a spiegare dall'86% al 96% della variabilità presente.

Passando invece all'interpretazione delle componenti principali, si evidenziano in grassetto i loadings maggiormente significativi, da cui possiamo affermare:

- PC1: rappresenta un indice di valutazione generale del trial, considera maggiormente il tempo di reazione medio, la standard deviation, il singolo tempo di reazione peggiore e lo score (con direzione opposta);

- PC2: si può interpretare come una misura di impulsività omettendo l'*omission rate*; valori alti di questa componente indicano piloti poco accurati che commettono molti errori di anticipazione, segnale di impulsività.

- PC3: in questo caso invece, la componente misura quanto l'atleta è "controllato" e lento, valori alti della componente indicano piloti con un pessimo miglior tempo di reazione e un tasso di omissione alto (impulsi in cui la risposta è più lenta di 1 secondo).

- PC4: simile alla componente precedente, sembra focalizzarsi maggiormente sugli stimoli classificati come omissione. Teniamo a mente che data la natura dei soggetti in esame, un tempo di risposta superiore al secondo è molto alto.

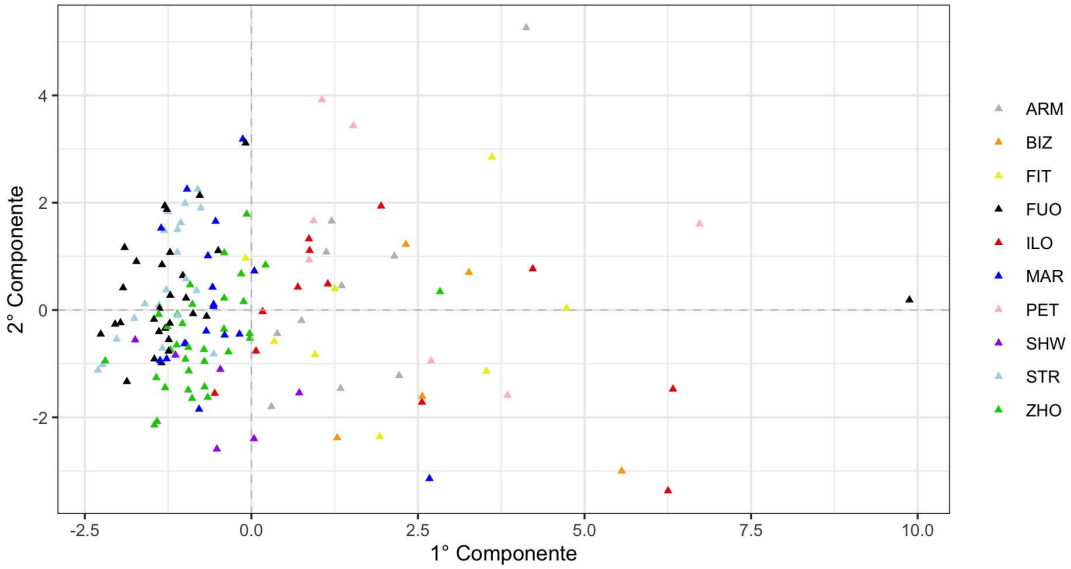


Figura 2.6: *Rappresentazione grafica bidimensionale del dataset "Simple Reaction Time"*

Dalla precedente rappresentazione grafica si evidenziano alcuni pattern evidenti dei piloti selezionati (ovvero i piloti più rappresentativi). I piloti ILO, FUO, STR, MAR e ZHO tendono ad avere delle fasce di valutazione (1° componente) abbastanza definite per tutti i loro trial e livelli di accuratezza più variabili (2° componente).

Tuttavia è possibile individuare anche una correlazione positiva tra le due variabili; di fatto, all'aumentare dell'accuratezza aumenta di conseguenza anche la valutazione del trial, a meno di tempi di reazione elevati. Alla fine quello che si ottiene sono diverse nuvole di dati (una per pilota) allungate lungo le ordinate e tendenti ad allontanarsi dall'origine lungo entrambi gli assi.

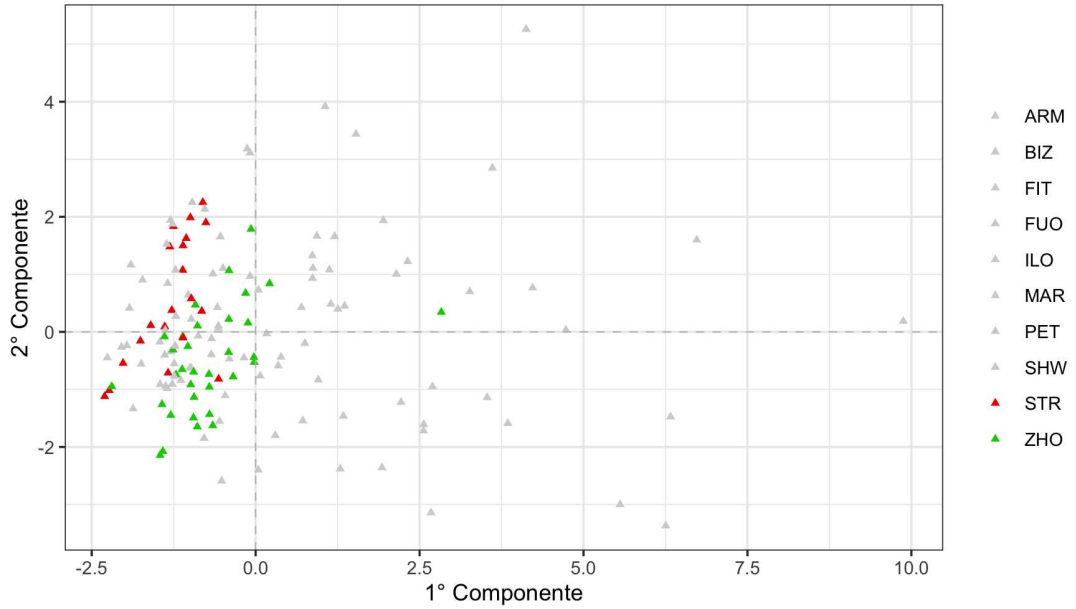


Figura 2.7: *Pattern evidenziato delle nuvole dei dati (SRT)*

Di seguito si mostrano i risultati dell'analisi nel secondo dataset in esame, ovvero quello relativo al *Simon Effect test*:

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
Standard deviation	**1.921**	**1.737**	**1.151**	**0.919**	0.793	0.460	0.449	0.286
Proportion of Variance	0.369	0.302	0.133	0.085	0.063	0.021	0.020	0.008
Cumulative Proportion	**0.369**	**0.671**	**0.803**	**0.888**	0.951	0.972	0.992	1.000

Tabella 2.5: *Importanza delle Componenti Principali (SE)*

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
Readiness	**-0.497**	-0.045	0.112	0.070	-0.170	-0.329	-0.205	-0.392
StdDev	**-0.337**	**-0.350**	-0.210	0.000	0.414	-0.155	-0.080	0.696
Simon	-0.146	0.045	**-0.566**	**0.706**	-0.293	0.261	0.063	0.021
RT_min	**-0.348**	0.116	**0.423**	-0.125	-0.593	0.304	0.143	0.454
RT_max	**-0.411**	-0.219	-0.058	-0.227	0.334	0.617	0.338	-0.349
Accuracy	-0.207	**0.487**	0.166	0.190	0.306	-0.003	-0.039	0.031
Anticipation Rate	0.169	**-0.400**	**0.400**	0.320	0.078	0.403	-0.611	-0.029
Omission Rate	0.126	**-0.400**	**0.398**	**0.425**	0.041	-0.252	0.636	-0.032
Error Rate	0.191	**-0.432**	-0.308	-0.332	-0.364	0.006	0.004	-0.026
Score	**0.452**	0.261	0.002	-0.007	0.128	0.319	0.184	0.171

Tabella 2.6: *Loadings delle Variabili Originali sulle Componenti Principali (SE)*

Applicando l'analisi delle componenti principali nel secondo dataset, possiamo affermare che le prime quattro componenti sarebbero sufficienti a rappresentare arbitrariamente bene i dati.

Dal punto di vista dell'interpretazione delle nuove variabili aleatorie, si ritrovano molti concetti visti nell'analisi precedente, prestando più attenzione però alle nuove variabili, *Simon* e *Error rate*, da cui:

- PC1: Indice di valutazione delle performance; pur essendo irrilevante ai fini dell'analisi si evidenzia il cambio di direzione delle variabili rispetto al caso precedente.
- PC2: Semplice misura di accuratezza del pilota durante il trial, di fatto si considerano significative solo le variabili rivolte agli errori commessi.
- PC3: Valori negativi di questa componente sono caratteristici di piloti con un *Effetto Simon* ridotto (rispondono equamente a stimoli congrui e incongrui), dall'altro lato invece, valori alti della componente indicano piloti impulsivi (singolo tempo di reazione molto veloce e *Anticipation rate* alto) ma non in grado di discriminare la tipologia di impulso (congruo o incongruo) in tempo, poichè sono caratterizzati da *Omission rate* alti.

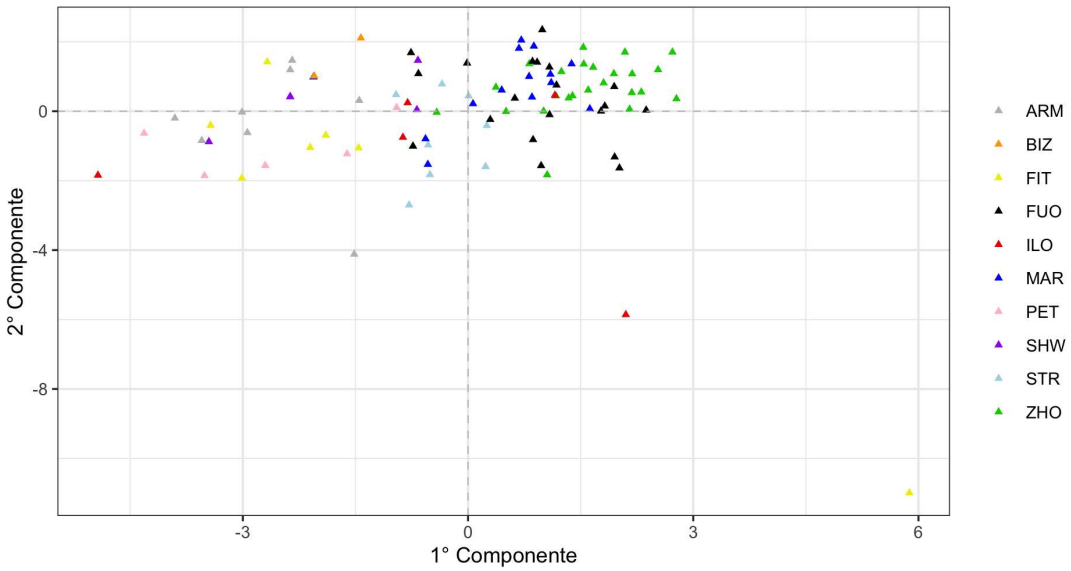


Figura 2.8: *Rappresentazione grafica bidimensionale del dataset "Simon Effect"*

Dalla rappresentazione non emergono pattern chiari; tuttavia si possono notare dei piccoli cluster per quanto riguarda i piloti ZHO e MAR, ad evidenziare quindi delle caratteristiche dei piloti che li distinguono tra loro.

Il pilota ZHO (in verde) assume mediamente valori più alti della prima componente, indicando quindi prestazioni complessive migliori rispetto a MAR. Teniamo a mente che la valutazione finale del trial è determinata dal tempo di reazione medio, dall'accuratezza delle risposte e dal tempo medio dell'*effetto Simon* (differenza tra i tempi di risposta degli stimoli congrui e quelli incongrui).

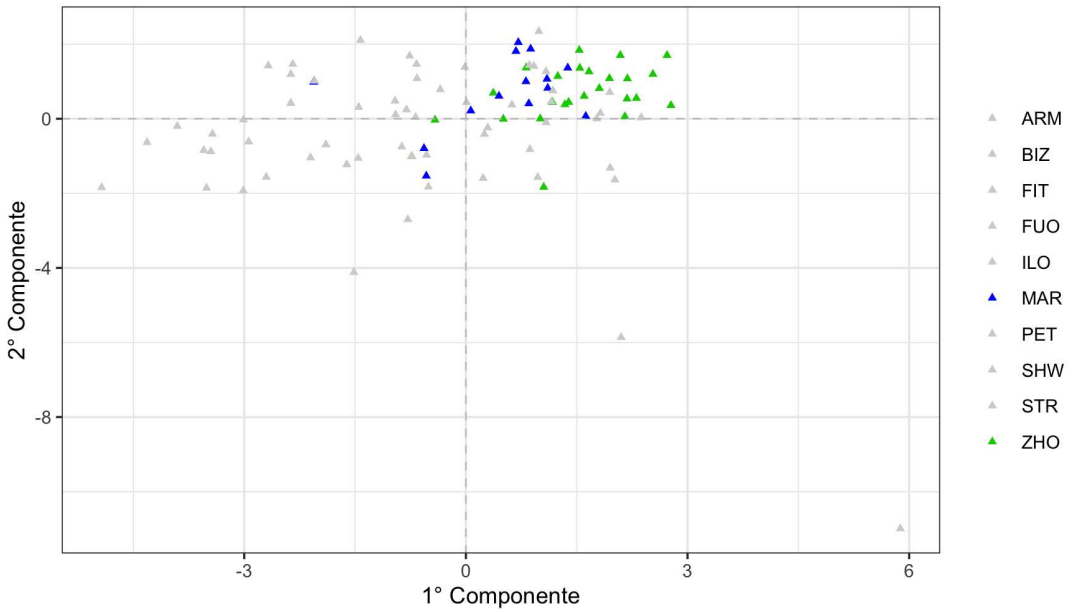


Figura 2.9: *Pattern evidenziato dalle nuvole dei dati (SE)*

2.6 Confronto e commento dei due dataset

Di seguito si mostra il confronto delle principali variabili (*Readiness, StdDev e Accuracy*) per i due test; per fare ciò vengono selezionati i 10 piloti più rappresentativi all'interno di entrambi i dataset e se ne confrontano le medie aritmetiche.

***Nota**: le analisi precedenti sono state svolte selezionando un unico trial (il secondo) per ogni pilota presente nel dataset, ora invece si selezionano i 10 piloti con il numero maggiore di trial eseguiti in congruenti in entrambi i test e si considerano tutte le loro prove, in modo da avere delle medie più robuste.*

La principale differenza tra i due test sta nel conflitto stimolo-risposta del *Simon Effect task*, che introduce un carico cognitivo aggiuntivo legato al controllo inibitorio o all'interferenza cognitiva. Il peggioramento delle prestazioni in tutte e tre le variabili selezionate è evidente ed era già stato accennato all'inizio del capitolo. I tempi di reazione in molti casi si sono mediamente

raddoppiati, la deviazione standard dei trial triplicata, l'accuratezza invece sembra peggiorare solo di qualche punto percentuale.

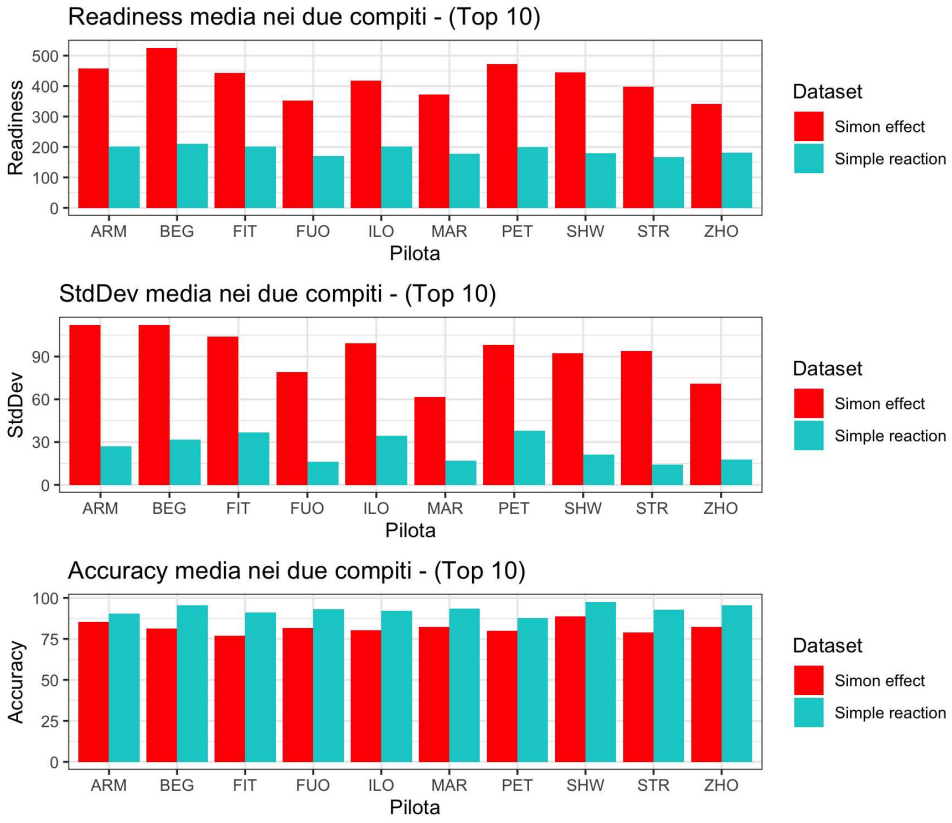


Figura 2.10: *Confronto delle prestazioni nei due test analizzati*

Nel *Simon Effect Task*, la posizione dello stimolo, anche se irrilevante, tende a far partire automaticamente una risposta nella stessa direzione. Quando questa non coincide con quella richiesta dal compito, il cervello deve "frenare" l'impulso iniziale e scegliere l'azione corretta. Questo passaggio extra richiede più tempo e attenzione, facendo sì che le risposte siano in media più lente e con un numero maggiore di errori rispetto a un *Simple Reaction Task*, dove la risposta è sempre la stessa e non c'è conflitto da risolvere.

Capitolo 3

GoNoGo test

3.1 Descrizione della struttura e degli obiettivi del test

Il compito Go/No-Go può essere applicato al motorsport come strumento di valutazione e allenamento per migliorare la prontezza di risposta e, soprattutto, la capacità di inibire azioni impulsive in situazioni critiche.

In un contesto simulato, il pilota può essere istruito a reagire rapidamente (ad esempio, premendo un pulsante o azionando un comando) quando compare un determinato segnale visivo o acustico "Go" (come un'icona verde sul display o un allarme di via libera) e, al contrario, a non reagire quando appare un segnale "No-Go" (ad esempio, una spia rossa, un segnale di bandiera gialla o un avviso di pericolo).

Proprio come nella versione classica, le situazioni "Go" possono essere rese più frequenti per simulare l'abitudine a eseguire rapidamente determinate azioni (come accelerare in uscita di curva), rendendo più difficile trattenere la risposta quando improvvisamente si presenta una condizione "No-Go" (come un ostacolo in pista o un ordine di rallentare via radio).

Applicato all'ambito del motorsport, questo tipo di esercizio permette di allenare diverse aree, tra cui il tempo di reazione in condizioni di alta velocità e pressione, il controllo inibitorio (fondamentale per evitare manovre rischiose in condizioni variabili) e la gestione dell'impulsività in situazioni di sorpasso, safety car (standby della gara) o meteo variabile.

3.2 Descrizione dei due dataset

In questa analisi non vengono più forniti dati generali dei test svolti da un numero elevato di piloti, bensì vengono messi a disposizione i dati di più trial di due piloti nello specifico.

I piloti in esame sono ALD e LEV, per ognuno sono stati riportati rispettivamente 3 e 4 trial (i trial in esame sono stati svolti tutti durante la stessa seduta di allenamento per entrambi i piloti e per le successive analisi, verranno trattati come un'unica serie per pilota).

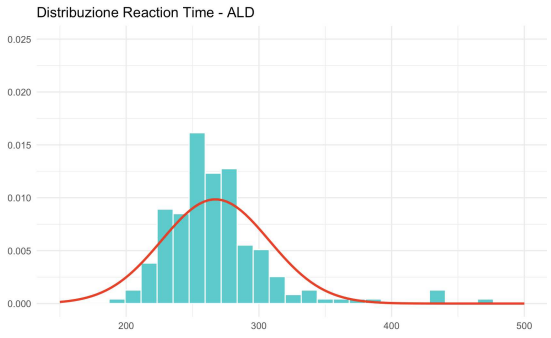
I due dataset condividono la struttura, composta da 10 variabili; il primo presenta un totale di 336 osservazioni mentre il secondo ne ha 419. Le variabili presenti sono descrittive del trial, indicative dell'impulso e delle prestazioni del pilota. Nella seguente tabella verranno descritte, specificandone il tipo (categoriale, dummy o numeriche).

#	Nome	Tipo	Descrizione
1	*Name*	categoriale	Nome del pilota in esame
2	*Trial*	numerica	Numero del trial a cui appartiene l'osservazione
3	*SubTrial*	numerica	Numero dell'impulso appartenente al trial in esame
4	*ListSample*	numerica	Numero dell'impulso rispetto al dataset in analisi
5	*Type*	categoriale	Indica la tipologia di impulso presentato e può assumere due valori: *Go* (richiede risposta) e *NoGo* (richiede di non rispondere)
6	*SOA*	numerica	Indica il tempo espresso in millisecondi che passa da un impulso al successivo, viene specificato perchè è randomico
7	*Error*	dummy	Variabile binaria che indica la presenza di un errore o meno da parte del pilota
8	*ReacTime*	numerica	Indica il tempo di risposta del pilota espresso in millisecondi
10	*ICE*	numerica	Indice di valutazione complessiva del trial, considera la consistenza, il tempo di reazione medio e l'accuratezza del pilota.

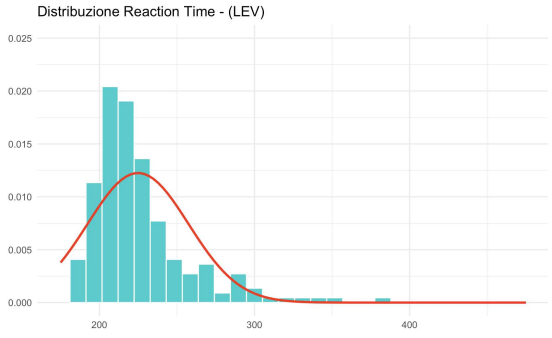
Tabella 3.1: *Descrizione delle variabili del dataset "Simple Reaction Time"*

3.3 Analisi esplorativa

Iniziamo analizzando la distribuzione dei tempi di reazione nelle due serie in esame, confrontandole con due classiche distribuzioni gaussiane:



(a) *Distribuzione dei tempi di risposta per ALD*



(b) *Distribuzione dei tempi di risposta per LEV*

La distribuzione di sinistra è asimmetrica verso destra e sembra presentare una moda attorno ai 250 ms, le code sono lunghe, soprattutto quella di destra, ad indicare singoli tempi di reazione lenti, frutto di distrazioni o errori cognitivi occasionali.

La distribuzione di destra invece è molto meno regolare rispetto alla precedente, la moda attorno ai 200 ms indica che il pilota LEV è mediamente più veloce di ALD, presentando però una coda di destra molto più lunga, indice di una maggiore variabilità dei tempi di risposta.

3.3.1 Relazione tra SOA e Tempo di reazione

Si è dimostrato che in periodi lunghi di attività (superiori ai 20 minuti) i tempi di reazione generali aumentano (segno di minore efficienza cognitiva), sembrano esserci anche dei peggioramenti specifici negli stimoli in cui il foreperiod (intervallo tra segnale e stimolo, nel nostro caso *SOA*) è maggiore.[1]

Si cerca quindi di individuare un'eventuale relazione diretta tra il tempo antecedente allo stimolo (variabile *SOA*) e il tempo di risposta *ReacTime*, evidenziando eventuali tempi di reazione maggiori all'aumentare del foreperiod (FP).

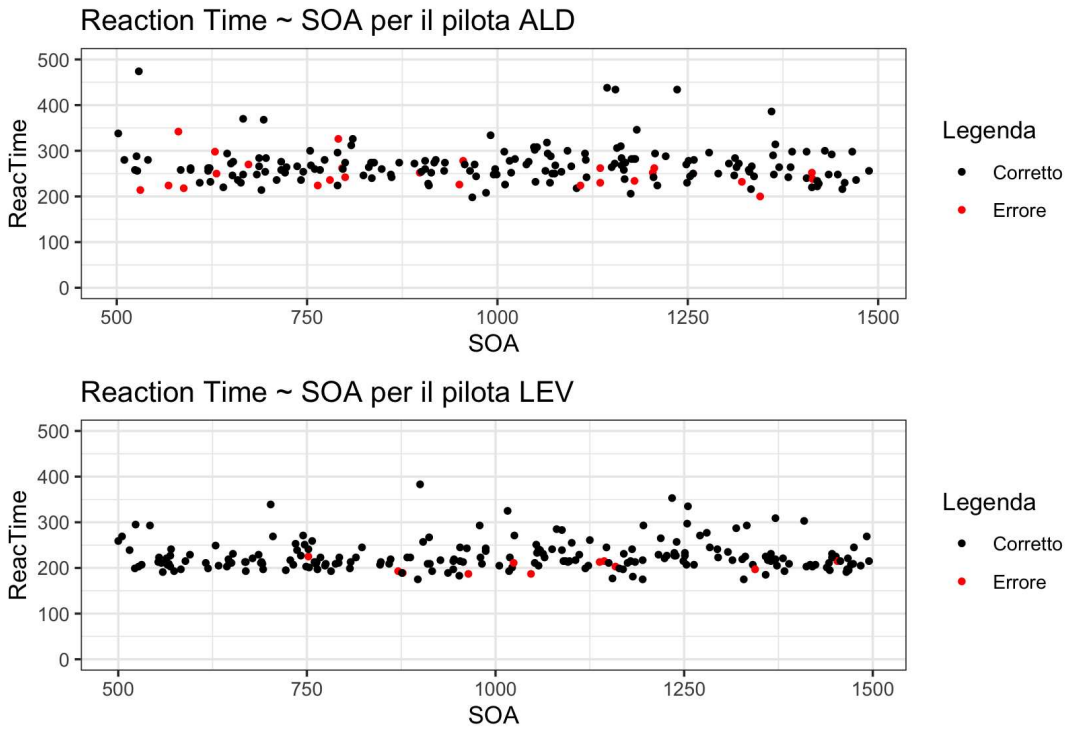


Figura 3.2: *Relazione tra SOA e Reaction Time per le due serie*

In turchese viene evidenziata la relazione teorica di fondo che si cercava; tuttavia, tramite

[1] R. Langner et al. «Mental fatigue and temporal preparation in simple reaction-time performance». In: *Acta Psychologica 133(1): 64-72* (January 2010).

visualizzazione grafica e calcolo della correlazione, non c'è nessuna evidenza a favore della relazione tra le due variabili.

***Nota**: è stata calcolata la correlazione di entrambe le serie, in nessuno dei due casi il valore calcolato è risultato maggiore di* $\pm 0{,}05$ *ad indicare un'incorrelazione quasi perfetta.*

3.4 Analisi grafica rivolta all'effetto spillover

Da qui in poi approfondiremo l'effetto spillover nelle due serie in esame, si cercherà quindi di individuare se gli errori commessi dai piloti durante i trial sono eventi isolati o portano a ripercussioni cognitive e comportamentali negli impulsi immediatamente successivi.

Negli ultimi 30 anni sono state affrontate molte ricerche simili in Europa, tutte mirate a evidenziare come un errore influenzi maggiormente le decisioni successive rispetto a un successo; di fatto, una risposta negativa rallenta il processo decisionale dello stimolo successivo, in quanto il soggetto sarà automaticamente più cauto.[2][3]

Di seguito si mostrano due grafici raffiguranti le serie dei tempi di reazione dei piloti, in rosso si evidenziano gli errori commessi, in turchese il tempo di reazione medio globale di ciascun pilota e in grigio chiaro i trial interni delle serie.

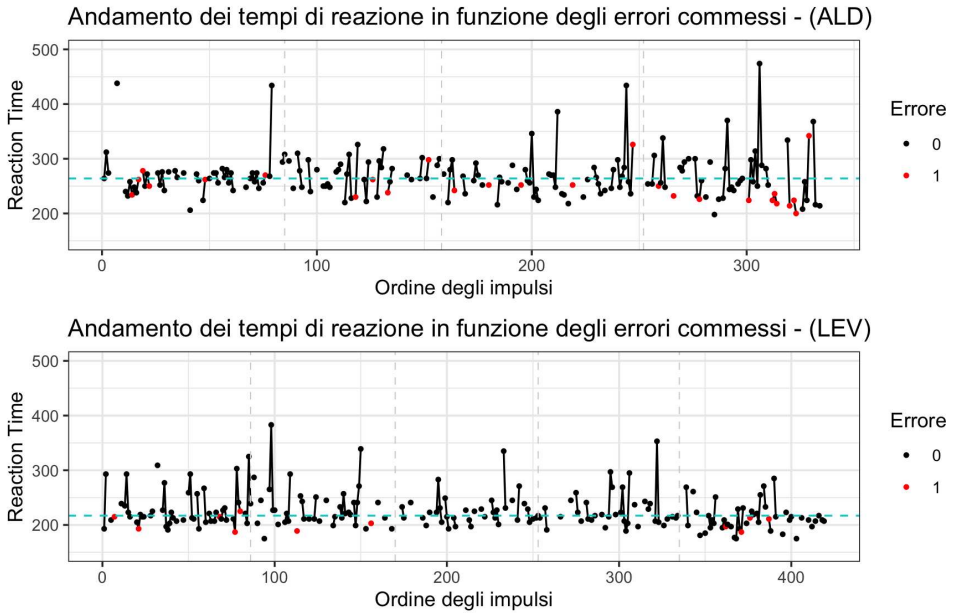


Figura 3.3: *Serie storiche dei tempi di risposta*

Nelle rappresentazioni grafiche successive invece, si evidenziano in verde gli errori che potrebbero essere dovuti all'effetto in analisi. Gli errori evidenziati sono impulsi successivi

[2] J. D. Koehn, J. Dickenson e D. Goodman. *Cognitive demands of error processing*. Psychological Reports 102(2): 532-539, 2008.

[3] Sanders, *Elements of Human Performance: Reaction Processes and Attention in Human Skill*.

all'errore che presentano un tempo di reazione alto rispetto alla media oppure serie di errori ravvicinati.

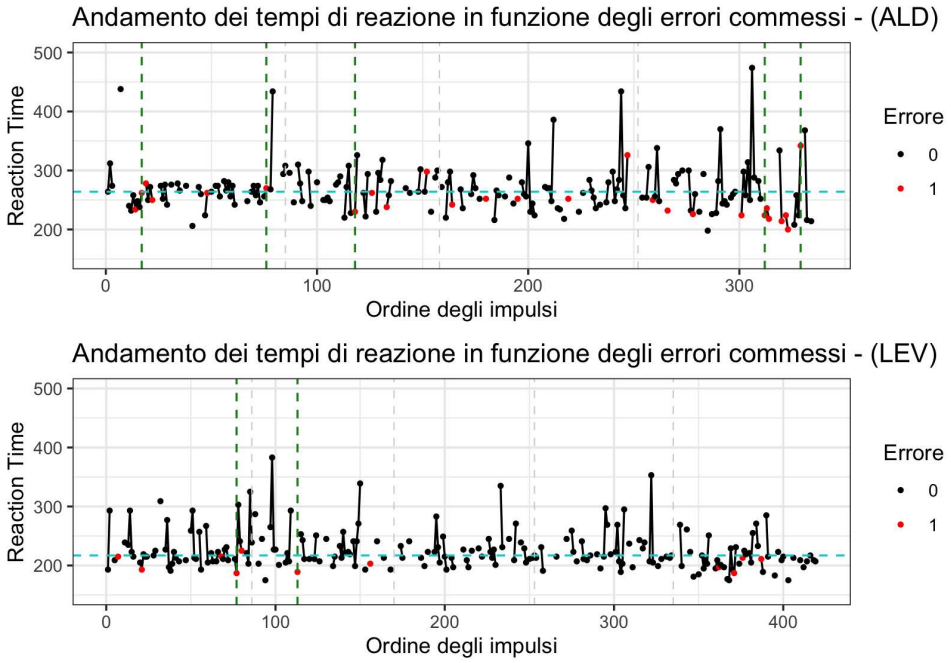


Figura 3.4: *Serie storiche dei tempi di risposta*

Si nota che il pilota ALD commette molti più errori rispetto a LEV (ALD ha risposto a circa 100 impulsi in meno rispetto a LEV) e molti di questi potrebbero essere dovuti a un calo di concentrazione da parte del pilota; di fatto, soprattutto nella parte finale, notiamo una lunga serie di errori e di tempi di risposta relativamente alti.

Procediamo evidenziando il rapporto tra alcune metriche di riferimento e la distanza dall'impulso classificato come errato; inizialmente mostriamo il tempo di reazione per poi passare alla probabilità di commettere un ulteriore errore.

3.4.1 Analisi delle statistiche descrittive

Si esegue un confronto tra alcune statistiche descrittive dei due piloti al variare della distanza dall'errore, suddividiamo quindi gli impulsi in base alla distanza dell'impulso errato in esame e ricaviamo sia la probabilità di errore che il tempo di reazione medio per ogni gruppo individuato.

Abbiamo scelto di considerare gli impulsi fino a un lag pari a 4; il valore scelto non è frutto di una procedura metodologica o teoria affermata, tuttavia si tenga a mente che durante questi esercizi cognitivi si ha comunque un innalzamento del carico fisiologico (battito cardiaco,

strain fisico) aumentando quindi la fatica sensoriale e cognitiva.[4]

Dopo un errore puntuale e improvviso (come quello simulato nel test), ci si aspetta che il pilota recuperi parte dell'attenzione già dopo un paio di secondi, essendo abituato a situazioni di stress e carico cognitivo ben più elevate quando è in pista.[5]

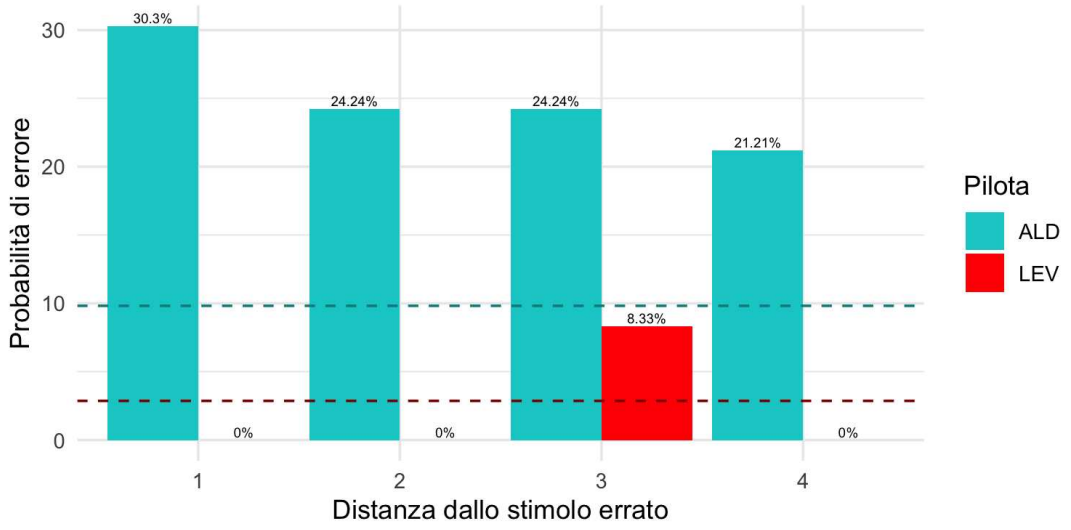


Figura 3.5: *Probabilità di errore per diverse distanze dall'errore*

***Nota**: le due linee tratteggiate corrispondono alla probabilità globale di commettere un errore per i due piloti (i colori scelti rispettano le tonalità usate per ciascun pilota).*

Confrontando i due atleti, notiamo che ALD ha una probabilità globale di commettere un errore molto più alta rispetto a LEV, ma questo era già stato notato in precedenza, poiché ALD commette molti più errori. Come ci aspettavamo, la probabilità di errore più alta di ALD è stata registrata negli stimoli a una distanza (stimoli successivi all'errore); la probabilità tende a diminuire, mantenendo comunque valori alti (possibile indicazione di persistenza dell'errore negli stimoli successivi).

Per il pilota LEV, si nota una propensione globale all'errore molto bassa e probabilità nulle per diverse distanze considerate; tenendo a mente che LEV ha commesso solo 12 errori su 419 impulsi, non sembra mostrare cali di concentrazione post-errore.

[4]W. Krol. «Effects of local muscular fatigue due to isotonic and isometric exercise upon fractionated reaction time components». In: *Journal of Motor Behaviour 5: 81-93* (1973).

[5]W. T. Singleton. *Sumpsium on Fatigue: Deterioration of performance on a short-term perceptual-motor task*. H. K. Lewis e Co., London, 1953.

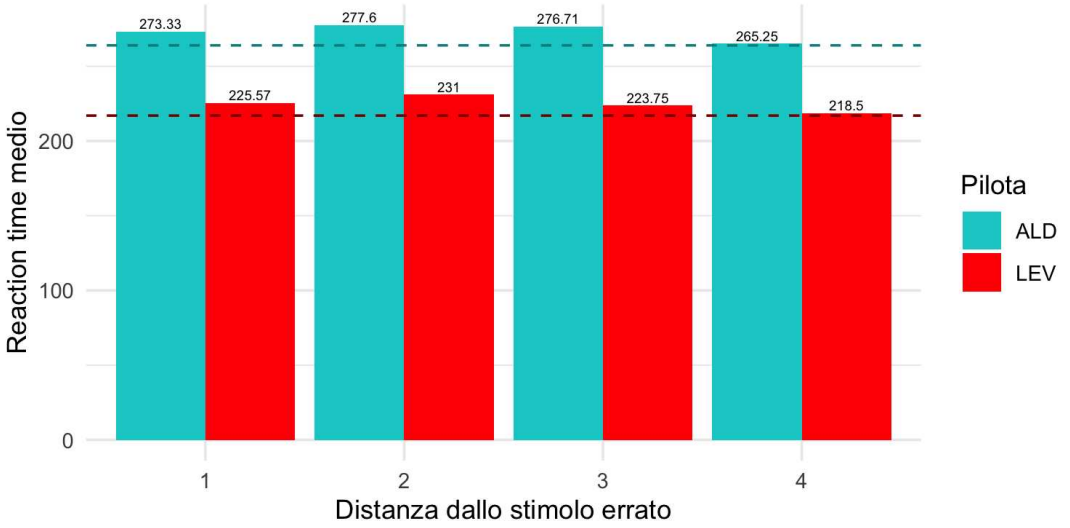


Figura 3.6: *Tempo di risposta medio per diverse distanze dall'errore*

Entrambi i piloti presentano tempi di risposta più alti della media per le prime tre distanze, ad indicare un rallentamento post-errore. Questo diventa interessante per LEV, nonostante non commetta errori, sembra risentirne in termini di velocità.

Sia ALD che LEV mostrano tempi di reazione totalmente in linea con la media globale ad una distanza pari a 4 dall'errore commesso; possiamo considerarlo un buon indicatore di ripresa.

3.5 Approccio modellistico per l'analisi dell'effetto spillover

Tramite rappresentazioni grafiche e statistiche descrittive sono state individuate delle prime considerazioni in merito ai due piloti. In questa sezione verranno implementati dei modelli di classificazione per studiare i singoli effetti delle variabili.

Si implementa una regressione logistica[6] per ogni pilota, utilizzando la variabile *Error* come variabile risposta. Si escludono alcune variabili, tra cui *Trial, SubTrial e ListSample* che servivano da identificatori dell'impulso proposto e la variabile *ICE*, indice di performance generale del trial e quindi poco rilevante per studiare i singoli impulsi. Si aggiungono 4 nuove variabili (esterne al dataset) che coincidono con diversi gradi di differenziazione della variabile *Error*, indicando così i quattro impulsi precedenti a quello in esame.

[6]G. James et al. *An Introduction to Statistical Learning: with applications in R*. Springer, 2013.

Il primo modello viene applicato ai dati raccolti dal pilota ALD; si evidenzia subito la significatività delle variabili *ReacTime* e *TypeNoGo*, una cosa che ci si aspettava in quanto la quasi totalità degli errori proviene da impulsi di tipo *NoGo* ($\sim$ 78%) ai quali il pilota non è stato in grado di trattenere la risposta, registrando un tempo di reazione e commettendo un errore.

Call:
glm(formula = Error $\sim$ Alag1 + Alag2 + Alag3 + Alag4 + ReacTime + SOA + Type,
family = binomial, data = dfALD)

Variable	*Estimate*	*Std. Error*	*z value*	*Pr(> |z|)*	
(Intercept)	-7.8532	1.2944	-6.067	1.30e-09	***
Alag1	1.8467	0.6312	2.926	0.00344	**
Alag2	0.5964	0.7509	0.794	0.42704	
Alag3	1.1492	0.6760	1.700	0.08912	.
Alag4	1.7833	0.6679	2.670	0.00758	**
ReacTime	0.0150	0.0024	6.323	2.57e-10	***
SOA	-0.0004	0.0009	-0.446	0.65566	
TypeNoGo	4.6258	0.7067	6.546	5.92e-11	***

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
Null deviance: 214.97 on 331 degrees of freedom
Residual deviance: 126.65 on 324 degrees of freedom
(4 observations deleted due to missingness)
AIC: 142.65

Tabella 3.2: *Output modello logistico binario (ALD)*

L'intercetta risulta altamente significativa e assume un valore negativo, ad indicare quindi una propensione generale a non commettere errori. Per quanto riguarda le variabili differenziate, si evidenzia una forte significatività ad 1 e 4 distanze dall'impulso in esame; la significatività di *Alag1* è quella che stavamo cercando, l'impulso successivo è condizionato da un eventuale errore all'impulso precedente. Per quanto riguarda la variabile *Alag4* si esclude sia dovuta a un effetto spillover ma eventualmente a distrazioni del pilota nel corso dei trial.

Il secondo modello è stato applicato ai dati raccolti dal pilota LEV, anche in questo caso si evidenziano le forti relazioni legate alle variabili *ReacTime* e *TypeNoGo*. LEV ha commesso molti meno errori rispetto a ALD (solo 12); tuttavia, anche per LEV più del 90% proviene da impulsi di tipo *NoGo*.

Call:
glm(formula = Error ∼ Llag1 + Llag2 + Llag3 + Llag4 + ReacTime + SOA + Type,
family = binomial, data = dfLEV)

Variable	*Estimate*	*Std. Error*	*z value*	*Pr(> |z|)*	
(Intercept)	-15.360	3.3600	-4.573	4.82e-06	***
Llag1	-15.470	4.683e+03	-0.003	0.997	
Llag2	-15.210	5.019e+03	-0.003	0.998	
Llag3	0.4144	2.7050	0.153	0.878	
Llag4	-14.440	4.808e+03	-0.003	0.998	
ReacTime	0.0327	0.0058	5.660	1.52e-08	***
SOA	0.0016	0.0022	0.728	0.467	
TypeNoGo	8.8990	1.7230	5.163	2.43e-07	***

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
Null deviance: 108.691 on 414 degrees of freedom
Residual deviance: 35.411 on 407 degrees of freedom
(4 observations deleted due to missingness)
AIC: 51.411

Tabella 3.3: *Output modello logistico binario (LEV)*

Anche in questo caso l'intercetta del modello è significativa e assume un valore due volte più piccolo rispetto al modello precedente, si evidenzia quindi una maggiore propensione globale a rispondere correttamente agli impulsi; le variabili differenziate risultano non significative. Questi risultati confermano quelli ottenuti dalla prima analisi grafica svolta, LEV commette molti meno errori rispetto ad ALD e non sembra mostrare cali di concentrazione post-errore che portano a un aumento del numero delle risposte errate.

***Nota**: si tenga a mente che con questi due modelli sono stati analizzati eventuali effetti sul numero di risposte errate durante i trial e non sull'aumento dei tempi di reazione; in precedenza invece, grazie all'analisi grafica, si erano evidenziati degli aumenti dei tempi di reazione medi degli impulsi ravvicinati all'errore, anche per il pilota LEV, ad indicare quindi che entrambi i piloti risultavano più lenti dopo aver commesso degli errori*.

Capitolo 4

Conclusioni

Nel corso di questa tesi, abbiamo affrontato un'analisi approfondita dei dati relativi a tre diversi test cognitivi somministrati a più di 100 piloti di auto da corsa, con l'obiettivo di testare le loro abilità cognitive, specialmente i loro tempi di reazione, in diversi ambienti simulati.

La prima parte della relazione si è sviluppata su due compiti specifici, un primo test mirato a misurare i tempi di reazione semplici dei piloti e un secondo test utilizzato per misurare l'*effetto Simon*, ovvero un tempo di reazione decisionale, introducendo quindi un'interferenza nel processo decisionale del pilota legata alla posizione spaziale dello stimolo e della risposta.

Tramite una prima analisi esplorativa basata sulle correlazioni è stato selezionato un insieme di variabili più significative, per poi individuare un sottoinsieme di piloti rappresentativi del dataset da usare per procedere con l'analisi.

Da qui in poi sono state sviluppate due analisi delle componenti principali, utilizzate per rappresentare graficamente i dataset, ma soprattutto per individuare nuove variabili che potevano aiutarci con l'interpretazione dei dati. In entrambi i casi sono state individuate delle combinazioni lineari che contribuivano a spiegare maggiormente l'andamento dei test o tratti caratteristici dei piloti, tra cui: performance generale, impulsività, accuratezza e velocità.

La seconda parte, invece, si è concentrata su un terzo compito, il *Go NoGo task*, utilizzato per raccogliere dati riguardanti i tempi di reazione di riconoscimento di due piloti, nello specifico, ALD e LEV. L'obiettivo era quello di analizzare i loro dati, ottenuti da più trial dello stesso test per individuare peggioramenti dei tempi di risposta oppure aumento del numero di errori in seguito a delle risposte sbagliate durante i vari trial, dovuti quindi a perdite di concentrazione o comportamenti inconsci.

Inizialmente si è scelto un approccio semplice, basato su rappresentazioni grafiche e statistiche descrittive che hanno aiutato a definire una prima fase dell'analisi; di fatto, si è notata

immediatamente la differenza tra i due piloti: ALD è mediamente più lento e commette molti più errori rispetto a LEV, a indicare un possibile effetto spillover legato alla frequenza degli errori. Entrambi i piloti, però, fanno registrare tempi di risposta mediamente più alti successivamente a uno stimolo errato, dovuto a un atteggiamento più cauto che il pilota adotta inconsciamente.

Successivamente sono stati implementati due modelli di regressione logistica, con lo scopo di studiare l'effetto delle variabili considerate, tra cui quattro nuove variabili che tenevano in considerazione la presenza di un errore o meno nei quattro impulsi precedenti a quello in esame.

Per entrambi i piloti, le variabili *ReacTime* e *Type* sono risultate altamente significative, in quanto la quasi totalità degli errori proviene da impulsi di tipo *NoGo* ai quali i piloti non sono stati in grado di trattenere la risposta, registrando un tempo di reazione e commettendo un errore.

Le quattro variabili utilizzate per tenere traccia degli errori si sono comportate in modo diverso nei due casi, LEV ha commesso pochi errori e già dall'analisi grafica non sembrava presentare effetti post-errore, assenze confermate dalla non significatività delle variabili. Per quanto riguarda ALD invece, sono risultate significative due variabili, quella ad una distanza e quella a quattro distanze dall'errore in esame; la prima è attribuita all'effetto in analisi, pertanto commettere un errore condiziona lo stimolo successivo. La significatività della variabile a quattro distanze invece, può essere attribuita ad una forma di distrazione generale del pilota, evidente già dall'inizio dell'analisi quando è stato sottolineato come ALD commetta molti più errori in un numero minore di impulsi rispetto a LEV. Infine, per entrambi i modelli è risultata significativa l'intercetta, indice quindi di una probabilità di fondo di commettere errore, risultata maggiore per il pilota ALD.

Bibliografia

Brebner, J. T. e A. T. Welford. *Introduction: an historical background sketch*. Academic Press, New York, 1980.

Didino, D. et al. «Probing the Dual-Route Model of the SNARC Effect by Orthogonalizing Processing Speed and Depth». In: *Experimental Psychology: Vol. 70, No. 1* (April 2023).

Galton, F. «On instruments for (1) testing percepition of differences of tint and for (2) determining reaction time». In: *Journal of the Anthropological Institute 19: 27-29* (1899).

James, G. et al. *An Introduction to Statistical Learning: with applications in R*. Springer, 2013.

Koehn, J. D., J. Dickenson e D. Goodman. *Cognitive demands of error processing*. Psychological Reports 102(2): 532-539, 2008.

Krol, W. «Effects of local muscular fatigue due to isotonic and isometric exercise upon fractionated reaction time components». In: *Journal of Motor Behaviour 5: 81-93* (1973).

Langner, R. et al. «Mental fatigue and temporal preparation in simple reaction-time performance». In: *Acta Psychologica 133(1): 64-72* (January 2010).

Luce, R. D. *Response Times: Their Role in Inferring Elementary Mental Organization*. Oxford University Press, New York, 1986.

Piéron, H. «Nouvelles recherches sur l'analyse du temps de latence sensorielle et sur la loi qui relie ce temps a l'intensité de l'excitation». In: *Année Psychologique 22: 58-142* (1920).

Sanders, A. F. *Elements of Human Performance: Reaction Processes and Attention in Human Skill*. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Mahwah, New Jersey., 1998.

Singleton, W. T. *Sumpsium on Fatigue: Deterioration of performance on a short-term perceptual-motor task*. H. K. Lewis e Co., London, 1953.

Wikipedia. *Hick's law*. October 2013.