

1222·2022
800
ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Filosofia, Sociologia, Pedagogia e Psicologia applicata

Dipartimento di Psicologia generale

Corso di Laurea in Scienze Psicologiche Sociali e del Lavoro

Tesi di laurea

**L'organizzazione delle risorse cognitive nei processi del doppio
compito**

The organization of cognitive resources in dual task processes

RELATORE:
Prof. Massimo Grassi

LAUREANDO:
Stefano Pluchino
Matricola: 1192360

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

A mamma, papà e Lorenzo
A nonno e nonna

Indice

Indice	2
Introduzione	3
CAPITOLO 1: La definizione cognitiva di attenzione e i suoi legami con i movimenti oculari	4
Le caratteristiche che regolano la visione spontanea	5
L'acquisizione d'informazioni visive	6
Aspetti selettivi dell'attenzione	8
Aspetti intensivi dell'attenzione	10
CAPITOLO 2: L'attenzione condivisa e le sue principali teorie ..	12
Attenzione sequenziale: Il modello del bottleneck	15
Attenzione distribuita/divisibile: Il modello della capacità attentiva	17
L'ipotesi del singolo percorso	18
Il modello della filtrazione	19
Collo di bottiglia nella selezione del responso	21
Collo di bottiglia nella produzione del movimento	21
Modello basato su risorse ambientali e capacità attentive	22
Teoria delle multi-risorse	23
CAPITOLO 3: La prevedibilità nel doppio compito	25
L'acquisizione d'informazioni implicite ed esplicite	28
La sostituzione tra elaborazione sequenziale ed elaborazione parallela come forma di adattamento	30
Perché i soggetti scelgono un tipo di elaborazione parallela nonostante l'alto rischio d'interferenza?	32
ESPERIMENTO	34
Risultati	37
Conclusione	39
Bibliografia	40

Introduzione

Gli esperimenti sull'attenzione hanno prodotto una notevole quantità di risultati che nel tempo si sono rivelati fondamentali per l'avanzamento del pensiero scientifico. Tuttavia gli studi su questa tematica hanno prodotto risultati e teorie tra loro contrastanti. Se da una parte è evidente come la vita di tutti i giorni ci dimostra come la nostra attenzione si divide tra i vari eventi che ci circondano, dall'altra parte è impossibile non incappare nella difficoltà di gestire più fonti d'informazione contemporaneamente. Per questo motivo molti studi ribadiscono e sottolineano la presenza di vincoli biologici che limitano le nostre capacità d'interazione con l'ambiente, ma questi vincoli devono essere inseriti in un contesto, la nostra mente, che permette degli adattamenti e lo sviluppo di tecniche che oltrepassano in parte questi vincoli, come accade nell'apprendimento.

Questa tesi partirà dagli aspetti sensoriali e cognitivi principali dell'attenzione per fornire delle basi per la comprensione degli studi che saranno presentati riguardo l'attenzione condivisa, ovvero l'attenzione che esercitiamo quando ci troviamo a risolvere più di un compito alla volta. Infine verranno discusse le teorie più recenti nell'ambito del doppio compito. La posizione della tesi è che almeno una parte delle teorie contrastanti, da una parte quelle che parlano di limiti strutturali rigidi e dall'altra le teorie che parlano di capacità e divisibilità dell'attenzione, potrebbero conciliarsi tramite una rilettura delle tecniche di somministrazione e di raccolta dati, prendendo in considerazione l'architettura dell'esperimento e le sue istruzioni come possibili influenze sul modo in cui i soggetti si comportano per risolvere i compiti somministrati. Una delle possibili revisioni delle tecniche di sperimentazione riguarda l'introduzione

delle variabili di previsione e prevedibilità, date dalla raccolta e dalla interpretazione implicita o esplicita d'informazioni nell'ambiente esterno.

Infine sarà ripetuto il paradigma sperimentale presente nell'articolo di Koch e Prinz (2002) sulla sovrapposizione dei codici interpretativi, e i possibili effetti sui tempi di reazione durante un doppio compito.

CAPITOLO 1: La definizione cognitiva di attenzione e i suoi legami con i movimenti oculari

L'attenzione viene comunemente intesa come l'abilità di occuparsi di qualcosa mentre se ne ignorano altre, le sue caratteristiche la rendono controllabile, selettiva e limitata. E' inoltre quel processo essenziale tramite cui gli stimoli esterni formano delle rappresentazioni interne di cui abbiamo una consapevolezza cosciente. L'attenzione selettiva ad esempio utilizza dei processi cognitivi per concentrarsi su degli aspetti rilevanti di pensieri, azioni o informazioni mentre si trascurano le restanti caratteristiche che consideriamo di scarsa rilevanza per i nostri obiettivi.

L'allocazione dell'attenzione ha aspetti sia istantanei che sequenziali. Istante dopo istante il centro dell'attenzione può cambiare in maniera ordinata, dividendosi tra distinte attività. L'atto di guardare offre un esempio sia dell'organizzazione sequenziale che dell'attenzione selettiva, per questo motivo Kahneman (1973) analizza il rapporto tra attenzione e attività oculare. Il mondo si espande a 360 gradi intorno a noi, il nostro campo visivo comprende circa 210 gradi, ma la visione è dettagliata solo entro una piccola regione foveale di circa 2 gradi, la frequenza con cui questo breve raggio di visione dettagliata può essere mossa è limitato a circa 3-5 spostamenti al secondo. I

meccanismi che decidono la direzione di questo raggio interagiscono con l'adattamento all'ambiente, permettendo un controllo della posizione e del movimento dell'occhio di grande precisione (Alpern, 1971).

I due principali tipi di movimento oculare, saccadico e inseguimento, sono controllati da due distinti meccanismi. La maggior parte dei movimenti oculari sono saccadi, movimenti molto rapidi che sono pianificati in anticipo e sono eseguiti senza un controllo continuo durante il movimento. L'altro tipo di movimento oculare è l'inseguimento, un movimento fluido, lento e regolare, che viene utilizzato per fissare un oggetto in movimento. Movimenti fluidi dell'occhio non accadono in assenza di un oggetto mobile nel campo visivo, e l'occhio non può essere mosso lentamente da un luogo a un altro, eccetto per il caso dell'inseguimento.

L'atto di guardare è ovviamente sotto il controllo volontario, perché una persona può decidere dove poter fissare lo sguardo, ma un cosciente e deliberato controllo della fissazione è in realtà raro. Come con altre componenti del controllo volontario che richiedono una alta specializzazione, ad esempio camminare e mantenere l'equilibrio, l'atto di guardare è controllato da una intenzione generale, e la consapevolezza occupa solo uno spazio ridotto nell'esecuzione della sequenza delle fissazioni dell'occhio. I processi che determinano i luoghi delle individuali fissazioni sono psicologicamente silenti, e il loro riscontro interno è così ridotto che le persone di norma non sanno precisamente cosa stanno guardando

Le caratteristiche che regolano la visione spontanea

Berlyne (1960, 1966) distingue due classi di proprietà degli stimoli che attraggono l'attenzione spontaneamente: le proprietà fisiche, come la presenza di contorni; e le

proprietà collative, come la novità, la complessità e la significanza. La differenza tra proprietà collative e fisiche non è netta, perché le proprietà collative nella loro forma più elementare possono essere ridotte a delle proprietà fisiche.

La novità e l'incongruenza sono definiti da una mancata corrispondenza tra lo stimolo e un modello interno dato dall'aspettativa. Ad esempio Berlyne (1957, Berlyne e McDonnell, 1965) mostra che l'attenzione di un soggetto adulto è attratta da immagini incongruenti come un cammello con la testa di un leone. I modelli neuronali di un adulto ovviamente sono molto più elaborati di quelli di un bambino, che non risponde a tali manipolazioni d'incongruenza. Tuttavia la regola che stimoli nuovi e complessi attraggono spontaneamente l'attenzione è valida per ogni stadio dello sviluppo dell'organismo. Infatti quando l'adulto sviluppa nel tempo dei sofisticati pattern di aspettative sta aggiungendo ulteriori supplementi a quei meccanismi innati che regolavano l'attenzione spontanea, senza sostituirli (Kahneman, 1974).

L'acquisizione d'informazioni visive

Guardare figure con caratteristiche semplici richiede l'utilizzo di regole altrettanto semplici, molte delle quali sono innate. Le regole della fissazione guidano l'occhio verso aree del campo visivo che hanno una maggiore probabilità di poter fornire informazioni. Yarbus (1967) ha documentato che guardando una foto di famiglia un osservatore attento potrebbe dare uno sguardo all'arredamento di casa per stimare le circostanze finanziarie della famiglia, oppure potrebbe guardare i bambini per stimare da quanto tempo i genitori sono sposati. È quindi possibile affermare che esiste una differente distribuzione dell'informazione all'interno del campo visivo, ma la possibilità

di determinare e astrarre tali informazioni dipende anche da regole apprese e non solo innate.

Mackworth e Bruner (1970) hanno studiato i movimenti oculari sia dei bambini che degli adulti mentre tentavano di riconoscere un oggetto di una immagine sfumata. Il loro esperimento consisteva nel registrare le fissazioni oculari di 20 giovani adulti e 20 bambini di 6 anni mentre riconoscevano o ispezionavano una serie d'immagini, divise in tre livelli di definizioni per una stessa scena: molto sfumata, sfumata e dettagliata. L'area dell'immagine era divisa in 64 quadrati, e ogni quadrato era valutato per il suo livello di capacità informativa da giudici indipendenti. Le aree che dai giudici erano valutate come più informative erano le stesse aree che attiravano più fissazioni (Mackworth e Bruner, 1970; Mackworth e Morandi, 1967), seppure la correlazione non era perfetta.

Mackworth e Morandi (1967) riportano che le aree informative sono tra le prime a essere identificate durante l'osservazione di una immagine; la quantità media d'informazioni tratte dalle aree fissate è considerabile già elevata dopo due secondi di osservazione. Una fissazione, intesa come la sua posizione nello spazio visivo e la sua velocità di esecuzione, è spesso determinata sulla base d'informazioni precedentemente acquisite dalla visione periferica.

Un esempio peculiare di decisione visiva riguarda le fissazione eseguite durante un compito che richiede il controllo di molte variabili distribuite nel campo visivo. Ad esempio, un pilota di aereo si trova di fronte a più informazioni importanti di quante ne possa guardare con un singolo sguardo, quindi dovrà distribuire il suo sguardo per massimizzare la probabilità che possa riconoscere un evento significativo appena accade.

La probabilità che uno sguardo contenga nuove informazioni dipende da una funzione influenzata da almeno due fattori: il grado generale d'informazione contenuta entro uno sguardo, e il tempo che è passato dalla sua ultima esecuzione entro lo stesso campo visivo.

Il sistema che organizza l'allocazione degli sguardi è capace di considerare il cambiamento di probabilità informativa a ogni sguardo successivo (Gould, 1967; Gould e Dill, 1969, Gould e Peeples 1970). Ai soggetti negli studi di Gould veniva mostrato un pattern privo di senso al centro dello schermo, la condizione standard, circondato da altri pattern privi di senso posti nella zona periferica dello schermo. Ai soggetti veniva chiesto di contare il più velocemente possibile il numero di figure periferiche che erano identiche allo standard posto al centro. Lo studio iniziale del pattern veniva somministrato con istruzioni che chiedevano di eseguire l'attività con un'unica fissazione prolungata. Durante la ricerca è stato documentato che le fissazioni sugli oggetti rilevanti per l'esperimento erano più lunghi di circa 80 millisecondi rispetto alle fissazioni su elementi non rilevanti. In generale, gli stessi fattori che determinano la probabilità che un particolare pattern sia fissato, sono gli stessi che determinano la durata della sua fissazione e una sua ripetizione.

Aspetti selettivi dell'attenzione

Remington e Loft (2014) ipotizzano che le operazioni mentali associate al conseguimento di un obiettivo in situazioni definite da regole - come guidare una macchina, un aereo, dirigere il traffico o portare a termine un'operazione chirurgica - possono essere immaginate come un processo che si sviluppa seguendo un ciclo. Gli operatori raccolgono informazioni dal mondo esterno, che vengono accumulate e

organizzate per poter avere una idea della situazione corrente. Questa idea, o immagine, è confrontata con le nostre aspettative di come dovrebbe essere rappresentato il mondo esterno in quel dato luogo e in quel dato momento. L'operatore quindi seleziona le informazioni rilevanti dalle rappresentazioni sensoriali che gli vengono mostrate e valuta questi input confrontandoli con la memoria di lavoro in funzione della task, dei suoi obiettivi e delle sue aspettative, aggiornando la rappresentazione che si sta costruendo all'interno della memoria di lavoro in base alle necessità. A questo punto l'operatore può decidere se continuare a raccogliere informazioni utili al conseguimento dell'obiettivo, cambiarlo, o compiere un'azione che possa cambiare lo stato della situazione in cui opera.

La rappresentazione del mondo esterno all'interno della memoria di lavoro modella la selezione degli input verso fonti d'informazione le cui proprietà corrispondano alle richieste degli obiettivi che consideriamo rilevanti. Questo tipo di selezione degli stimoli può essere descritta come un controllo top-down, riferito alla proprietà di allocazione selettiva dell'attenzione regolata dal conseguimento di attività e obiettivi. Con attività si intende un obiettivo operativo, come la procedura di atterraggio o decollo di un aereo, con obiettivo ci si riferisce a un specifico passaggio dell'attività, come l'aumento della potenza dei motori o la lettura nello schermo dell'altitudine.

La selezione degli stimoli può essere guidata anche da dati sensoriali forniti dall'ambiente considerati di rilevata importanza e che attirano l'attenzione, in modo da allertare l'operatore riguardo nuove informazioni importanti. Si può classificare quest'altro genere di selezione degli stimoli come un tipo di controllo bottom-up per riferirsi a una allocazione dell'attenzione guidata dagli eventi esterni. Si può quindi

ipotizzare l'esistenza di meccanismi che regolano e controllano gli stimoli secondo gradi di significanza.

Nelle situazioni che sono state descritte e in tante altre la persona appare in controllo della scelta degli stimoli, che a loro volta controllano e modificano il comportamento della persona stessa. La persona in maniera selettiva presterà attenzione a certi stimoli, o certi suoi aspetti, in preferenza ad altri. Secondo Treisman (1969) le attività sono classificate in base a cosa richiedono di scegliere ai soggetti: stimoli da una specifica fonte; target di un particolare genere; uno specifico attributo di alcuni oggetti; risposte di una certa categoria. Si ipotizza che queste varianti dell'attenzione selettiva siano governate da diverse regole e spiegate da differenti meccanismi.

Aspetti intensivi dell'attenzione

La selezione non è l'unico aspetto che guida il fenomeno dell'attenzione. Nel linguaggio quotidiano il termine "Attenzione" viene utilizzato per riferirsi ad aspetti quantitativi e d'intensità, o per indicare l'atto di dedicarsi al conseguimento di alcune attività. La selezione è per necessità coinvolta in questo processo, perché sarà sempre possibile spostare la nostra attenzione verso altre attività, ma come è evidente fin dai primi anni di scuola prestare attenzione è anche una questione di gradualità. Cullato dalla voce del docente, lo studente si cala in uno stato di sonnolenza, così lo studente non solo fallisce nel suo compito di prestare attenzione ma ha quantitativamente meno attenzione da dedicare.

Uno studente che legge un racconto mentre il docente spiega pecca di selezione impropria. Dall'altra parte lo studente assennato soffre, o gode, di un generale livello basso di attenzione.

Berlyne (1951, 1960, 1970) si concentra sulle proprietà degli stimoli che definisce collative, come: la novità, la complessità e l'incongruenza, proprietà che rendono alcuni stimoli più rilevanti rispetto ad altri. Osserva come gli stimoli più suscettibili generalmente tendono a catturare il controllo del comportamento in situazioni in cui c'è conflitto tra la scelta di un responso.

La proprietà collative controllano un processo selettivo involontario e provocano un involontario aumento dell'attivazione. Tuttavia è complicato inserire aspetti involontari entro lo spazio di teorie cognitive, motivo per cui la psicologia sperimentale concentra i propri sforzi nello studio dell'attenzione selettiva volontaria. Essa riguarda quegli sforzi dell'attenzione che vengono direzionati verso specifici stimoli perché volontariamente si partecipa a una attività considerata rilevante, e non perché uno stimolo ci ha attivato di più rispetto a un altro.

Gli aspetti intensivi dell'attenzione devono essere distinti dal più vasto concetto di attivazione. Lo studente che presta attenzione al docente non è semplicemente sveglio, attivato dalla voce del docente. Egli sta svolgendo uno sforzo, consumando risorse limitate, e più attenzione presta all'attività più lavora duramente. Quindi l'aspetto intensivo dell'attenzione è più assimilabile allo sforzo che al semplice stato di veglia. Inoltre nuovi e inaspettati stimoli che spontaneamente attraggono la nostra attenzione sono più impegnativi da processare rispetto a stimoli più familiari. L'aumento di attivazione che segue l'interazione con un nuovo stimolo rappresenta almeno in parte un aumento nello sforzo mentale.

Secondo questa visione l'attenzione volontaria è un impiego di sforzo verso attività che sono selezionate da piani e intenzioni correnti. Le variazioni transitorie dello sforzo impiegato da un soggetto determinano la sua capacità di poter eseguire un'altra azione

nello stesso momento. Per esempio, è comune che il guidatore nel momento d'immissione dentro il traffico interrompa la conversazione. Misurazioni fisiologiche mostrerebbero un aumento dell'attivazione, corrispondente a un aumento nelle richieste di attenzione che richiede la guida.

La messa a punto di una misurazione fisiologica valida dello sforzo potrebbe contribuire alla risoluzione di un problema base ma fondamentale della psicologia sperimentale: la misurazione di diversi tipi di sforzo mentale secondo delle unità di misura comuni.

Attneave (1959) e Garner (1962) hanno provato a risolvere questo problema tramite l'utilizzo di una branca della matematica chiamata teoria dell'informazione. Questa teoria propone una misura della complessità e dell'imprevedibilità sia degli stimoli che dei responsi, ovvero il "bit" d'informazione. Nel contesto della teoria la persona è vista come un canale di comunicazione che trasmette informazioni. La capacità del canale è data dalla trasmissione di bit/secondi, riflettendo il tasso con cui le informazioni vi passano attraverso. La capacità del canale è stata misurata in attività come la lettura, la guida, suonare uno strumento. Purtroppo le stime delle capacità dei canali umani nelle diverse attività, e nelle loro diverse fasi, sono troppo inconsistenti per poter essere significative. D'altra parte la capacità di discernimento degli stimoli e la compatibilità stimolo-risposta si sono dimostrate utili e potenti determinanti della velocità e della qualità di esecuzione di un'attività.

CAPITOLO 2: L'attenzione condivisa e le sue principali teorie

Dopo aver analizzato brevemente come il rapporto tra percezione visiva e attenzione vada a influire sulla selezione degli stimoli, e su come gli elementi esterni

possano influire sulla quantità di attenzione che dedichiamo, il seguente capitolo mostrerà come questi fattori interagiscono tra di loro durante il doppio compito. Il doppio compito è un paradigma sperimentale che permette di studiare l'abilità nell'eseguire due compiti contemporaneamente. Tra le teorie che si occupano di spiegare il doppio compito è possibile fare una distinzione in due macrocategorie: le teorie che postulano una struttura cognitiva centrale (detto bottleneck) in cui gli stimoli possono avere accesso in maniera sequenziale, quindi non contemporaneamente, in grado di elaborare i dati percettivi per poi scegliere il giusto responso; e le teorie che postulano una serie di strutture locali e decentralizzate che permettono l'esecuzione parallela nei casi in cui le attività non competono per le stesse risorse. Nella prima macrocategoria gli effetti di rallentamento nel doppio compito vengono spiegati dal dover attendere che la struttura centrale si liberi, nella seconda invece vengono spiegati da una limitata quantità di attenzione disponibile, che una volta saturata deteriora la capacità di assimilare informazioni e produrre azioni.

Tornando sugli aspetti selettivi dell'attenzione, Remington e Loft (2014) dividono il processo di selezione durante un compito in tre tipi: selezione dello stimolo, il quale orienta l'elaborazione verso specifiche fonti d'informazione nel mondo; controllo esecutivo, che gestisce i compiti correnti; e l'allerta, che può interrompere i compiti correnti per orientare l'attenzione verso nuove fonti d'informazione. Quando multipli compiti competono per l'accesso alle risorse di elaborazione, dei meccanismi di controllo dell'esecuzione determinano quale compito dovrebbe averne accesso in un dato momento e provvede anche a gestire operazioni cognitive specializzate che scartano una vecchia attività per farne subentrare una nuova. Passare da una attività

all'altra impone dei costi sull'esecuzione che è necessario prendere in considerazione quando si costruiscono delle procedure.

Pashler e Johnston (1989) documentano come esistano dei brevi intervalli, di circa un quarto di secondo, in cui i processi centrali di elaborazione si comportano come dei selezionatori che lasciano entrare tutta l'informazione disponibile o nessuna, un concetto definito collo di bottiglia. Durante questi intervalli solo un'azione alla volta che richiede una elaborazione centrale può essere eseguita. Secondo la teoria del collo di bottiglia centrale, d'altra parte, le strutture che regolano l'elaborazione dell'informazione possono permettere agli operatori di sovrapporre l'elaborazione sensoriale e l'esecuzione di una azione, per due o più compiti, dato che all'interno del paradigma l'elaborazione sensoriale non necessita dell'accesso al collo di bottiglia. Anche l'elaborazione sensoriale d'informazioni visive e uditive può sovrapporsi (Pashler e Johnston, 1989). Evidenze di queste sovrapposizioni possono essere trovate nei pattern di fissazione dell'occhio quando si eseguono compiti in successione (Remington, Wu e Pashler, 2011) e quando si legge (Reichle e al., 1998), dove si può notare che gli occhi si muovono verso il successivo elemento prima di aver scelto una interpretazione per quello precedente. I modelli che combinano l'elaborazione parallela delle operazioni sensoriali e motorie insieme alla teoria del collo di bottiglia centrale si sovrappongono bene con i dati umani, ciò potrebbe suggerire che l'interferenza durante compiti contigui sia in gran parte data dalle richieste del sistema di elaborazione centrale.

Ogni passaggio in un compito si può assumere che richieda una porzione di risorse sensoriali, centrali e di risposta entro un certo intervallo di tempo.

Una interferenza tra compiti non sempre significa che ci sia stato un conflitto tra processi di elaborazione centrale, perché l'interferenza può scaturire anche da richieste contrastanti da parte del sistema sensoriale e motorio. Inoltre una interferenza può presentarsi anche perché due compiti fanno affidamento a rappresentazioni interne condivise, le quali sono simili abbastanza da causare una interferenza nonostante nessuno dei due compiti richieda un intervento dell'elaborazione centrale. È più semplice ad esempio ascoltare della musica mentre si parla rispetto ad ascoltare una canzone mentre si prova a mormorare un'altra canzone, stessa difficoltà si prova nell'ascoltare un'altra conversazione mentre si sta partecipando a una propria. Allo stesso modo si presenteranno dei conflitti se si immagina la configurazione spaziale di una scena mentre si prova a eseguire un altro compito spaziale. In tutti questi casi le interferenze si presentano perché gli stimoli e i responsi condividono una rappresentazione comune. Wickens (2008) nella sua teoria delle multiple risorse si riferisce a questi fenomeni definendoli interferenze di codice per distinguerli da una più generica competizione per le risorse dell'elaborazione centrale.

Attenzione sequenziale: Il modello del bottleneck

Due osservazioni comuni sono pertinenti quando si discute se l'attenzione sia divisibile o meno, ma le risposte a cui portano sono contraddittorie. La prima osservazione è che le persone spesso svolgono diverse attività in parallelo, come guidare e parlare, e quindi sembra che possa dividere la sua attenzione tra le due attività.

La seconda osservazione riguarda lo scenario in cui due stimoli vengono presentati insieme: spesso solo uno degli stimoli viene percepito, mentre l'altro viene completamente ignorato; se entrambi vengono percepiti, le risposte che ne derivano

sono spesso eseguite in successione invece di essere svolte in contemporanea. La circostanza frequente che porta alla soppressione o alla messa in coda delle risposte suggerisce l'immagine di un collo di bottiglia, una fase del processo interno che può operare solo uno stimolo per volta. Le prestazioni sensoriali e motorie dell'uomo sono evidentemente vincolate da alcune restrizioni che dipendono dalla nostra struttura biologica. Infatti le persone sono dotate di un ristretto raggio di vista dettagliata e chiara, e quindi sarà obbligato a seguire una scansione sequenziale se vorrà dare uno sguardo comprensivo dell'ambiente. Sono anche dotate di una sola lingua e quindi dovranno arrangiare le proprie risposte verbali in sequenza. I teorici dell'attenzione sono quindi interessati alla possibilità che esistano delle fasi del processo limitate anche nel cervello, che non permetterebbero alle persone di pensare, ricordare, percepire o decidere più di un evento alla volta. Gli studi sull'attenzione spesso hanno portato all'ipotesi di teorie che prevedono l'esistenza di un collo di bottiglia da qualche parte nel sistema, ma la sua posizione è dibattuta.

Bisogna anche notare che se da una parte l'allocazione dell'attenzione è un processo flessibile e altamente reattivo alle intenzioni del momento, vi sono anche dei meccanismi pre-attentivi che operano in maniera autonoma, fuori dal controllo volontario (Neisser, 1967). Questi meccanismi forniscono un'organizzazione preliminare della percezione tramite un processo di raggruppamento e segmentazione. Gli oggetti della percezione vengono definiti a questo stadio, e successivi processi di selezione attentiva operano su questi oggetti.

Attenzione distribuita/divisibile: Il modello della capacità attentiva

Secondo Kahneman (1973) una delle principali conclusioni che si possono trarre dalla ricerca sull'attenzione è che le operazioni cognitive sono molto più flessibili di qualsivoglia modello del collo di bottiglia vorrebbe rappresentare, proponendo l'idea di una teoria basata sulla capacità intesa come capienza. Una teoria della capacità si basa sullo studio di come una persona dedica la sua attenzione agli oggetti e agli eventi, assumendo che ci sia un generico limite delle risorse per poter eseguire un compito mentale. Assume anche che questa limitata capacità possa essere allocata con considerevole libertà tra le varie attività correnti (Moray, 1967).

La realizzazione di una attività [mentale] richiede due tipi di stimoli verso le corrispettive strutture: uno stimolo informativo specifico della struttura con cui si interagisce, e uno stimolo non specifico, che può essere definito indistintamente: sforzo, capacità o attenzione. Non tutte le attività di elaborazione dell'informazione richiedono uno stimolo dell'attenzione, gli stadi iniziali dell'analisi sensoriale ad esempio non necessitano quel tipo di stimoli, infatti elementi che permettono l'elaborazione come i rilevatori degli angoli possono essere attivati con i soli stimoli sensoriali. I successivi stadi dell'analisi percettiva richiedono una forma di sforzo, perché soggetti a interferenze derivate da un profondo coinvolgimento in altre attività mentali.

Posner e Keele (1970) hanno documentato come le richieste di uno sforzo aumentano all'approcciare della fine del responso messo in atto dal sistema. Differenti attività mentali impongono differenti richieste sul sistema di capacità limitata: un compito facile richiede un piccolo sforzo, mentre un compito difficile ne richiederà di più. Quando la fornitura di attenzione non corrisponde alla quantità richiesta,

l'esecuzione vacilla o addirittura viene interrotta del tutto. Secondo il modello della capacità un'attività può fallire o perché non c'è abbastanza capacità da poter investire in essa o perché i canali che gestiscono i criteri di allocazione spostano la capacità disponibile verso altre attività. Tuttavia l'esecuzione di un'azione può fallire semplicemente perché gli stimoli d'informazioni rilevanti non erano sufficienti, o perché il soggetto non riesce a riconoscere dei segnali importanti perché non vi si è posta attenzione.

L'ipotesi del singolo percorso

L'ipotesi del singolo percorso si basa su una ricerca di Telford (1931) dove documentava che se un intervallo relativamente corto era posizionato per separare uno stimolo dalla sua risposta, la successiva coppia stimolo-risposta avrebbe prodotto dei tempi di reazione maggiore nel caso d'intervalli lunghi più di un secondo. Questo aumento nei tempi di reazione implicava la possibile esistenza di un periodo refrattario psicologico analogo al periodo refrattario dato dall'attivazione in successione degli impulsi neuronali. Uniforme a questa ipotesi, Craik (1948) ha successivamente documentato che quando i soggetti si trovavano a tracciare manualmente dei target mobili, venivano prodotti dei movimenti segmentati e intermittenti. Secondo la sua teoria, dei processi mentali che sono necessari per lo svolgimento di un compito devono necessariamente aspettare il proprio termine prima che il soggetto possa iniziare un compito successivo. Se così fosse, questo rinvio dell'esecuzione sarebbe bastato per spiegare la degradazione di una prestazione sotto carichi di lavoro mentale eccessivi.

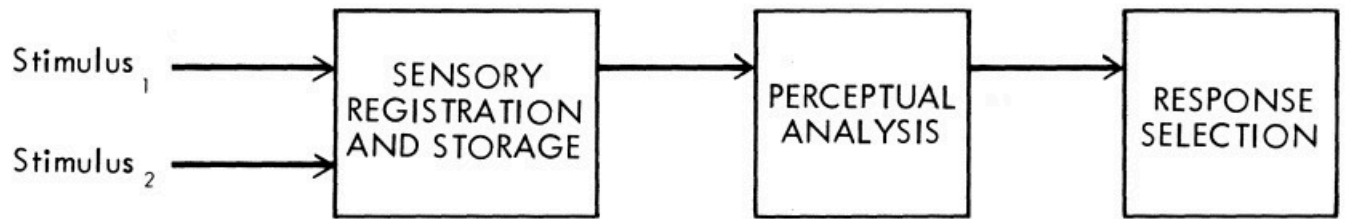
Craik (1948) e Welford (1952) sembrano concludere che tutti i meccanismi che intercorrono tra stimoli in ingresso e risposte in uscita si svolgono all'interno di un singolo percorso.

Il modello della filtrazione

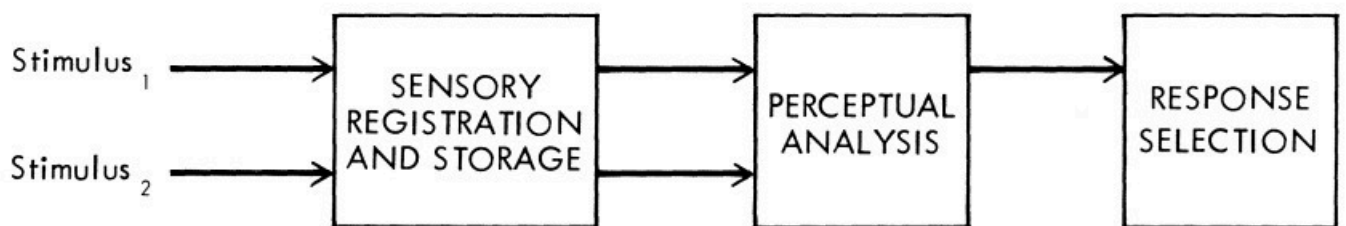
In seguito si è scartata l'ipotesi di un singolo percorso, sostituita dall'idea che il limite che lega un singolo stimolo a un singolo responso sia causato da un restringimento delle capacità di elaborazione che può essere immaginato come un collo di bottiglia (CB). Tuttavia la decisione su dove porre questo restringimento era divisiva. Ad esempio Broadbent (1958) nella sua teoria suppone un CB a ridosso della fase di analisi percettiva, così era possibile percepire solo uno stimolo alla volta. Quando due stimoli sono presentati contemporaneamente è possibile percepirne solo uno, mentre le informazioni sensoriali che appartengono all'altro stimolo vengono conservate brevemente sotto forma di eco o immagine non analizzata. L'osservatore può prestare attenzione a questi echi e immagini percependone il contenuto, ma solo dopo aver completato l'analisi percettiva dello stimolo precedente. In questo modello l'attenzione controlla la percezione.

Invece Deutsch (1963) posiziona il CB a ridosso dello stadio di selezione del responso. In base a questo modello, i significati di tutti gli stimoli simultanei sono estratti in parallelo e senza interferenza. Il CB che obbliga a una elaborazione sequenziale arriva solo dopo: la sua funzione è prevenire l'avvio di più di una risposta per volta, e seleziona la risposta che meglio combacia con le richieste della situazione corrente.

(A)



(B)



Differenza tra il modello di Broadbent (A) e il modello di Deutsch (B)

Kahneman (1973) dà un esempio di come i due modelli offrano due versioni differenti per rispondere alla stessa domanda: si consideri una persona a una festa, in cui attivamente si partecipa a una delle tante rumorose conversazioni che avvengono nella stanza. Supponendo che i messaggi sensoriali che corrispondono alle diverse conversazioni raggiungano il sistema nervoso centrale dell'ascoltatore, possiamo chiederci: in che momento la conversazione a cui partecipiamo viene favorita sulle altre? Fino a che stadio dell'analisi percettiva arrivano i messaggi a cui non si presta attenzione? In base al modello di Broadbent i messaggi a cui non si presta attenzione non sono in nessun modo codificati dall'analisi percettiva. A tutti gli effetti non vengono ascoltati. Secondo il modello di Deutsch tutte le conversazioni sono ascoltate, ma si risponde solo a una di esse. Le evidenze di questi studi indicherebbero che l'attenzione selettiva verso certi stimoli va a influire sull'analisi percettiva. Contraddicendo il

modello di Deutsch. Allo stesso tempo le persone sono capaci di dividere la propria attenzione tra i diversi messaggi simultanei, contraddicendo la teoria di Broadbent.

Collo di bottiglia nella selezione del responso

Pashler (1993) ipotizza un modello dove multipli stimoli possono essere identificati in maniera simultanea e immagazzinati entro la memoria di lavoro a breve termine. Ma suppone che il processo di selezione del responso (come convertire codici di stimoli in codici della risposta) sia capace di elaborare solo un compito per volta. Quindi nel caso di compiti simultanei, i loro rispettivi stadi di selezione del responso non possono sovrapporsi nel tempo, e l'avvio della selezione del responso di un compito secondario deve aspettare affinché la fase di selezione nel compito precedente sia considerata conclusa.

Collo di bottiglia nella produzione del movimento

Keele (1973) cerca al di fuori della selezione del responso la presenza di un meccanismo a singolo percorso. Le sue ricerche l'hanno portato a proporre un CB nella fase di produzione del movimento (chiamato anche modello di posticipazione dell'avvio del responso; Pashler, 1984). In questo modello si ipotizza che sia l'identificazione degli stimoli che la selezione del responso possono procedere simultaneamente per ognuno dei due compiti, ma vi è un successivo processo che prepara e guida i singoli movimenti, questo processo può elaborare solo un compito per volta. Quest'ultimo stadio di elaborazione ipoteticamente è formato da un CB che richiede ai compiti

considerati di bassa priorità di attendere il completamento dei compiti a maggiore priorità.

Modello basato su risorse ambientali e capacità attentive

Numerose versioni di una teoria delle risorse sono state proposte per cercare una spiegazione per tutti quegli aspetti della prestazione che durante il doppio compito non sono spiegati efficacemente da teorie che parlano di singoli percorsi o modelli basati sul CB. Questi modelli sono in qualche modo diversi tra loro, compresa la terminologia utilizzata come: operatore di carico, capacità di processo, spazio di processo, potenza di processo, risorse di processo, sforzo mentale e attenzione (Kahneman, 1973). Ma nonostante il ventaglio ampio di termini, vi è la condivisione di alcune idee centrali: le operazioni che coinvolgono multipli compiti sono mediati da una risorsa mentale necessaria per vari compiti, e questa risorsa è quantificabile, divisibile, limitata e può essere ripartita (Wickens, 1991).

La teoria di Kahneman (1973) è basata su 4 presupposti sulla natura della capacità di processo disponibile, che possono essere sintetizzati in :

- 1) L'attenzione è limitata, ma il limite può variare da momento a momento. Indici fisiologici di attivazione forniscono una misura che si correla al limite momentaneo.
- 2) La quantità di attenzione o sforzo esercitata in un dato momento dipende principalmente dalle richieste dell'attività corrente. Seppure l'investimento di attenzione aumenta all'aumentare delle richieste, l'aumento può non bastare a compensare del tutto gli effetti di un aumento nella complessità del compito.

3) L'attenzione è divisibile e la sua allocazione procede per gradi. Ma se ci avviciniamo a livelli alti di carico di lavoro, che determinano un aumento della difficoltà, l'attenzione si avvicina ad avere caratteristiche unitarie.

4) L'attenzione è selettiva e controllabile. Può essere ripartita per facilitare l'elaborazione delle unità percettive selezionate o l'esecuzione delle fasi selezionate di una prestazione. I criteri di allocazione sono il riflesso di disposizioni permanenti e intenzioni temporanee.

In aggiunta a queste ipotesi, Kahneman (1973) documenta che le prestazioni del doppio compito possono dipendere dall'attività di strutture centrali e periferiche, come i recettori sensoriali, i depositi della memoria e i motori del movimento. La sua teoria della risorsa unitaria riconosce le riduzioni significative della prestazione che avvengono quando compiti simultanei competono per l'accesso alle stesse strutture, provocando un'interferenza strutturale. Il fulcro del modello ruota intorno al concetto d'interferenza di capacità, causato dalle richieste simultanee esercitate su una struttura mentale sovraccaricata.

Teoria delle multi-risorse

Navon e Gopher (1979) invece ipotizzano una teoria delle risorse multiple, dove risorse di elaborazione varie e separate sono utilizzate in combinazione per eseguire i singoli compiti. Ogni insieme di risorse si suppone abbia la propria fonte di capacità divisibile. Se due o più compiti richiedono l'accesso allo stesso insieme di risorse, a quel punto la capacità disponibile è ripartita in maniera flessibile e graduale, in base alle richieste dei compiti correnti. Di conseguenza i compiti possono essere svolti tutti allo stesso momento, seppure con un livello di progressione ridotto in ogni compito, in base

alle condizioni dei singoli compiti. Invece se ognuna dei due, o più, compiti richiede un insieme di risorse del tutto differenti, i vari compiti possono essere portati a termine simultaneamente senza interferenze, perché non c'è la necessità di condividere le stesse fonti di capacità tra i vari compiti.

Wickens (1984) ipotizza una tassonomia delle risorse a tre dimensioni basata sugli stadi, i codici e le modalità di elaborazione (Norman e Bobrow, 1975). La prima dimensione include uno stadio cognitivo/percettivo e uno stadio del responso. Ognuno di questi stadi si presuppone abbiano le proprie fonti divisibili di capacità.

Se due compiti, come l'abbinamento visivo di lettere e riconoscimento delle parole, richiedono entrambi l'accesso all'elaborazione percettiva/cognitiva, allora si presume che interferiscano tra loro. Invece due compiti come l'abbinamento visivo di lettere e produzione di sforzo manuale, che richiedono da una parte un'elaborazione percettiva/cognitiva e dall'altra un'elaborazione del responso, interferirebbero relativamente poco tra di loro.

La seconda dimensione della tassonomia di Wickens divide i codici tra spaziali e verbali. Stadi dell'elaborazione che usano lo stesso tipo di codice si ipotizza che condividano risorse e capacità. Di conseguenza l'interferenza dovrebbe presentarsi tra compiti che richiedono entrambi una codificazione verbale (come: ripetizione in serie di cifre e comprensione di frasi) o una codificazione spaziale (come: lettura di una mappa e mantenimento visivo di una immagine). Quindi due compiti che richiedono diversi tipi di codici non subirebbero interferenze quando eseguiti contemporaneamente (Brooks, 1968).

La terza dimensione distingue le diverse modalità sensoriali e motorie. Ad esempio le risorse e le capacità di visione e ascolto sono considerate come due insiemi divisi.

Stessa cosa per le modalità manuali e vocali. In questo modo due compiti dovrebbero interferire molto di più tra di loro se entrambi richiedono le stesse modalità sensoriali (visione) e/o le stesse modalità motorie (manuale) rispetto a compiti che coinvolgono modalità del tutto diverse (come: visiva/manuale in combinazione con uditiva/vocale)

Nonostante i meriti della teoria delle risorse multiple, ha provocato forti critiche verso di sé. Diversi critici si sono interrogati sui fondamenti concettuali della teoria (Hirst e Kalmar, 1987; Navon, 1984; Neumann, 1987). Tra i dubbi vi è la mancanza di vincoli stabili all'interno della definizione di risorse multiple. In mancanza di questi vincoli si chiedono se nasca la tentazione di aggiungere un nuovo insieme di risorse ogni volta che un nuovo dato problematico viene raccolto. Questo aspetto potrebbe portare alla costruzione di un miscuglio di concetti teorici privo di potere predittivo.

CAPITOLO 3: La prevedibilità nel doppio compito

Broeker et al. (2017) avanzano l'idea che gli aspetti predittivi legati all'esecuzione di un comportamento, specialmente se si parla di doppio compito, siano stati poco approfonditi fino a ora. Molti progetti sperimentali sono stati precisi nei calcoli di aspetti importanti come i tempi di reazione, tuttavia accorpare una grande mole di tentativi sotto un unico valore può nascondere le variazioni date dalle previsioni formulate prima del tentativo e dall'apprendimento sviluppato all'interno del tentativo. Inoltre Beilock (2002) dimostra come rendere esplicite istruzioni che riguardano azioni automatiche e aspetti predittivi porti a un deterioramento delle prestazioni nel doppio compito. Questo effetto d'indebolimento dipende dall'intrusione di nuove informazioni all'interno di processi automatici, che poggiano su aspettative consolidate degli effetti delle proprie azioni. Si può quindi ipotizzare che se uno sperimentatore dovesse

somministrare delle istruzioni troppo rigide, magari con il buon intento di controllare la varianza dei risultati, potrebbe deteriorare le aspettative di un soggetto, e quindi la sua capacità predittiva, influenzando sulla raccolta dei dati.

Broeker et al. (2017) descrivono la previsione (definibile anche come anticipazione o aspettativa) come un principio onnipresente del comportamento umano che può essere alimentato e favorito dalla prevedibilità dell'ambiente circostante. La previsione è assimilabile a una rappresentazione mentale della futura condizione degli eventi o una anticipazione delle conseguenze di una azione, invece la prevedibilità è una proprietà che appartiene a certi eventi nell'ambiente. Secondo i loro studi previsione e prevedibilità sono più evidenti nei doppi compiti, perché l'aumento del numero di eventi comporta un aumento delle fonti di prevedibilità. È quindi un passaggio di notevole importanza dividere le previsioni dei soggetti dalla prevedibilità dell'ambiente, in modo da riconoscere quegli aspetti della prevedibilità che rimangono nascosti, come la scelta degli stimoli e delle attività sperimentate.

Generalmente le persone prevedono gli effetti di un'azione senza necessariamente esserne consapevoli, e avviano azioni volontarie basandosi sulla previsione dei loro effetti (Wolpert e al. , 2003). Friston (2010) propone il principio di dispersione dello sforzo, ipotizzando che l'organismo cerca di contrastare i problemi evitando di essere colto di sorpresa, minimizzando la dispersione di sforzo. Secondo questo principio, i nostri stati interni rappresentano gli elementi che hanno maggiore probabilità di provocare una sensazione, e non solo proviamo a valutare questi stati interni confrontandoli con il mondo esterno, ma siamo anche portati ad aggiornarli in base al livello di errore di previsione che riscontriamo nel tempo.

Migliore la corrispondenza tra stato interno ed esterno, minore la dispersione di sforzo. Questo significa che le persone non cercano necessariamente delle regolarità nell'ambiente, ma possono anche adattarsi automaticamente a esse come conseguenza del costante aggiornamento delle rappresentazioni del mondo esterno seguendo gli effetti degli errori nelle previsioni. Vi è un certo consenso nel dire che queste previsioni avvengono al di fuori della consapevolezza, e ne diventiamo consapevoli solo quando vengono infrante o quando delle emozioni di sorpresa ne attraggono l'attenzione (Whittlesea, 2004). Tuttavia è stato suggerito che previsioni consapevoli accadano contemporaneamente e indipendentemente dalle previsioni inconsapevoli (Perruchet e al., 2006).

Se si ipotizza che la previsione sia un processo permanente e continuo del sistema cognitivo e motorio, e si accetta che il doppio compito sia un fenomeno intrinseco di entrambi i sistemi, allora il doppio compito dovrebbe contenere tracce di questi processi predittivi. Di conseguenza i paradigmi del doppio compito, usati dagli sperimentatori come banchi di prova per misurare le capacità e i limiti dell'interazione tra sistema cognitivo e motorio, dovrebbero essere adatti nel mostrare che la previsione e la prevedibilità sono degli aspetti importanti ai fini della prestazione.

Il fenomeno del doppio compito è di norma associato a un aumento dei costi di prestazione che si manifestano con aumenti nei tempi di reazione per il secondo compito o con lo spostamento dell'attenzione verso un altro compito, qualora il paradigma sperimentale lo preveda. Questi costi sono stati associati alla presenza di colli di bottiglia strutturali o con l'esaurimento della capacità totale dell'attenzione. Oltre a esaminare i costi del doppio compito, un altro aspetto importante della ricerca nel doppio compito è l'identificazione delle fonti che aumentano o diminuiscono le

interferenze del processo. Broeker e al (2017) ipotizzano che una delle variabili principali di questo fenomeno riguardi proprio la prevedibilità nelle sue varie forme. Jimenez e Mendez (2001) mostrano che esiste un effetto inibitorio della conoscenza esplicita nei confronti della conoscenza implicita, e ipotizzano che le persone durante un doppio compito usano automaticamente gli eventi (sia stimoli che risposte) di un compito per prevedere gli eventi dell'altro compito (Jimenez e Mendez, 2001). Le previsioni automatiche di elementi nel compito B, basati su elementi nel compito A, interrompono il processo di apprendimento della sequenza quando almeno uno dei compiti viene presentato in maniera casuale. Invece l'apprendimento implicito delle sequenze e tempi di reazione rapidi sono mantenuti quando stimoli e risposte in entrambi i compiti sono organizzati in modo da preservare le relazioni di prevedibilità tra gli elementi che compongono i compiti (Keele e al. , 2003). In generale, i risultati degli studi sull'apprendimento delle sequenze nel doppio compito suggeriscono che la previsione avviene automaticamente ed è per natura indipendente dai confini stabiliti dai compiti.

L'acquisizione d'informazioni implicite ed esplicite

Implicite. Gli studi che prevedono il passaggio da un compito all'altro mostrano come le persone siano in grado di acquisire conoscenza implicita sull'ordine dei compiti (Koch, 2001). Nelle configurazioni basate sul cambio dei compiti dove, senza che i partecipanti lo sappiano, i compiti seguono un ordine regolare e ripetitivo, i soggetti rispondono più velocemente rispetto alle configurazioni in cui i compiti cambiano in maniera casuale. Si presume che le previsioni automatiche basate sulla raccolta

implicita d'informazioni sull'ordine di presentazione, aiuti a organizzare e preparare più efficacemente l'esecuzione del compito seguente.

In aggiunta ai segnali esterni che precedono la comparsa degli stimoli rilevanti, il sistema è in grado di dare indicazioni sensomotorie prima ancora di eseguire un'azione. Segnali sensoriali e comandi motori forniscono informazioni utili a rinforzare i modelli interni di anticipazione, cogliendo il nesso causale tra le azioni e le sue conseguenze sensoriali. I segnali sensomotori rilevanti saranno quindi delle previsioni interne basate su delle copie efferenti dei comandi motori (Synofzik et al., 2013).

Negli studi di tracciamento nel doppio compito il segmento centrale del percorso da tracciare veniva ripetuto o si dava ai soggetti informazioni visive che potessero guidarli. In entrambi i casi, sia nel caso dell'apprendimento motorio implicito del segmento centrale che dell'utilizzo d'informazioni visive, la prestazione di tracciamento migliorava anche in presenza di un ulteriore compito di riconoscimento uditivo e indipendentemente dalla consapevolezza dei partecipanti (Ewolds et al, 2021). Wolpert e Flanagan (2001) ipotizzano che i meccanismi di controllo delle previsioni possono essere sfruttati al meglio quando l'ambiente viene predisposto alla prevedibilità, ma nei casi di imprevedibilità i segnali sensomotori rimangono i segnali più utili per costruire delle previsioni.

Esplícite. In alternativa alla prevedibilità implicita basata sull'ordine di apparizione o sul tempo, altri studi hanno manipolato la prevedibilità tramite la somministrazione di suggerimenti espliciti per i compiti, prima dell'apparizione degli stimoli bersaglio (Meiran, 1996). Di norma questi studi manipolano la durata dell'intervallo tra l'indizio (cue) e lo stimolo in modo da esaminare i processi di preparazione dei compiti (Kiesel e

al., 2010), e correlano una lunga preparazione a una previsione migliore. I dati mostrano evidenze che prolungare gli intervalli tra indizio e stimolo comporti un costo nel cambio del compito ridotto, indicando che i cambi beneficiano di più da una preparazione lunga rispetto a una ripetizione (Logan e Bundesen, 2004). Questo effetto si può rilevare ancora più facilmente quando durante il momento di preparazione vengono fornite ulteriori istruzioni (Koch, 2003).

Eppure in altri studi è possibile riscontrare effetti praticamente opposti a quelli citati, infatti in uno studio di Koch e Prinz (2002) i tempi di reazione venivano ridotti in correlazione con intervalli brevi.

Alcuni studi avevano lo scopo di manipolare la validità dei segnali espliciti. In buona parte di questi studi il segnale, o indizio, permetteva di prevedere il compito in maniera deterministica, e ogni preparazione basata sui segnali forniti portava a un risultato corretto. Ma nella vita reale le situazioni di doppio compito quasi sempre portano con se un certo grado d'incertezza, rendendo la capacità di prevedere un compito una questione puramente probabilistica.

La sostituzione tra elaborazione sequenziale ed elaborazione parallela come forma di adattamento

È stato discusso che l'allocazione delle risorse attentive non è accidentale ma dipende dalle istruzioni fornite (Lehle e al., 2009), le priorità del compito e il valore del risultato (Wickens et al., 2003). L'allocazione riflette la pianificazione strategica delle risorse, tipicamente realizzata dai processi di controllo cognitivo. (Meyer e Kieras, 1997). L'ipotesi dell'allocazione flessibile e strategica della capacità di elaborazione è supportata da ricerche condotte sui risultati di risonanze magnetiche funzionali (fMRI)

che mostrano l'attivazione di aree cerebrali associate con il controllo cognitivo durante il doppio compito (Dux et al., 2006).

Le teorie che postulano il coinvolgimento di funzioni di controllo cognitivo per spiegare le limitazioni nel doppio compito non necessariamente contengono assunzioni su un generico limite delle risorse. Nei paradigmi che prevedono un limite delle risorse, inteso come un serbatoio, le interferenze nel doppio compito si presentano a causa di processi che competono per ottenere l'accesso alle medesime risorse locali specifiche per il compito (Navon e Gopher, 1979). Questa nozione non implica vincoli strutturali, invece suggerisce la presenza di vincoli funzionali. Per esempio, nelle teorie del controllo cognitivo del doppio compito come la teoria del controllo di esecuzione dell'attenzione visiva (Logan e Gordon, 2001), la presenza di processi sequenziali è causata dall'intenzione di evitare interferenze tra gli elementi di elaborazione necessari allo svolgimento del doppio compito. Il sistema cognitivo può rispondere alle richieste del doppio compito in maniera flessibile tramite l'utilizzo di una strategia di elaborazione sequenziale, qualora il rischio d'interferenza fosse alto (Meyer e Kieras, 1997). Scegliere una modalità di elaborazione sequenziale riflette quindi una opzione funzionale e strategica (Hazeltine e al., 2008).

Dato che l'elaborazione parallela è associata con maggiori rischi d'interferenza tra i compiti ed è meno efficiente, perché negli studi è possibile vedere che alcuni soggetti adottano questa strategia di elaborazione? Miller (2009) ha documentato che l'elaborazione parallela ha in teoria i mezzi per superare l'efficienza dell'elaborazione in sequenza, definendo l'efficienza nel doppio compito in base al tempo totale che si impiega per completare i due compiti. Durante uno studio Miller manipolava la durata

dell'intervallo di comparsa dello stimolo (Stimulus Onset Asynchrony, SOA) tra intervalli corti e lunghi, alla fine i partecipanti lavoravano su liste con prevalentemente brevi SOA e altre liste con prevalentemente SOA più lunghi. I risultati hanno mostrato che le liste con SOA brevi producevano risultati tipici di una elaborazione parallela, ma anche che le manipolazioni dei SOA determinavano un cambio nella scelta delle modalità di elaborazione. Di solito nei paradigmi sperimentali che trattano il concetto di periodo refrattario psicologico (PRP) la durata dei SOA è più bilanciata, questo comporterebbe una maggiore efficienza se si utilizza una strategia che prevede l'elaborazione sequenziale. Un'altra ragione che spiega il perché si osserva per lo più un tipo di elaborazione sequenziale quando si sperimenta con strutture sperimentali sul doppio compito tipiche dei paradigmi del PRP è la forte priorità che viene data al primo compito nelle istruzioni. Una forte enfasi sull'esecuzione del primo compito favorisce un'allocazione delle risorse che verte principalmente o quasi completamente nell'elaborazione del primo compito. Quando si eliminano quelle istruzioni che indicano delle priorità specifiche, i partecipanti scelgono liberamente un tipo di elaborazione moderatamente parallelo, risultando in una maggiore interferenza tra i compiti (Lehle e Hubner, 2009).

Perché i soggetti scelgono un tipo di elaborazione parallela nonostante l'alto rischio d'interferenza?

Una motivazione che spiega perché i partecipanti scelgono una modalità di elaborazione meno efficiente è stata proposta da uno studio di Lehle et al. (2009), che mostra come l'elaborazione parallela sia associata con un ridotto sforzo mentale,

confermato da una riduzione dei livelli di attività nelle aree associate a funzioni psicologiche periferiche e dalle valutazioni soggettive. Quindi anche se nella maggior parte dei casi l'elaborazione parallela non è la modalità più efficiente per il doppio compito, sembra corrispondere a minori dispendi di sforzo in confronto all'elaborazione strettamente sequenziale. Se si ha libera scelta i soggetti tendono ad adottare la modalità di elaborazione che richiede meno sforzo mentale (Kool e al., 2010).

Fischer e Plessow (2015) cercano di risolvere due quesiti: Come avviene il cambio tra modalità di elaborazione sequenziale e parallela nel doppio compito? In base a quali condizioni l'elaborazione in sequenza e parallela sono considerabili più adattive l'una sull'altra? Gli autori ipotizzano che uno svolgimento ottimizzato ed efficiente del doppio compito riflette l'abilità di adattarsi in maniera flessibile a un tipo di elaborazione parallela o seriale, in base alle richieste dell'ambiente. Il doppio compito richiede al soggetto di mantenere un equilibrio tra due tipologie antagoniste di ottimizzazione della prestazione: minimizzare l'interferenza tra compiti (aumentando l'elaborazione sequenziale) o minimizzare lo sforzo mentale (aumentando l'elaborazione parallela).

Fischer e Plessow (2015) hanno dimostrato che l'equilibrio tra modalità di elaborazione nel doppio compito è determinato da caratteristiche situazionali interne come variazioni nello stato d'animo individuali, lo stato del livello di controllo cognitivo prima dell'esecuzione del compito o alti livelli di stress. Partecipanti stressati erano portati a mostrare livelli maggiori d'interferenza tra compiti, si ipotizza perché una programmazione dell'esecuzione dei compiti strettamente sequenziale potrebbe essere troppo faticosa e drenante di risorse. Gli autori interpretano questo fenomeno

come una strategia che comporta sia un sacrificio che una compensazione che permette di mantenere dei livelli generalmente alti di prestazione nel doppio compito. L'efficacia di un doppio compito adattivo si riflette nella selezione flessibile di una strategia di elaborazione adeguata alla situazione, scegliendo all'interno di un continuum che ha come i due estremi l'elaborazione sequenziale e parallela. Una definizione simile ha dirette conseguenze su cosa viene definito efficiente durante un'esecuzione di doppio compito, e avanza domande su come poter ottimizzare l'adozione di modalità di elaborazione che siano flessibili e sensibili alle caratteristiche della situazione in cui si opera.

ESPERIMENTO

Il seguente esperimento riprende le procedure presenti nell'articolo di Koch e Prinz (2002), in particolare il primo esperimento.

L'esperimento intende raccogliere i tempi di reazione durante un doppio compito, composto da un compito di reazione manuale e un compito d'identificazione percettiva. Il paradigma sperimentale si basa sull'ipotesi della compatibilità tra compiti (CTC), che prevede una riduzione dei tempi di reazione quando i due compiti sovrappongono delle informazioni, nel caso dell'esperimento si andrà a sollecitare la CTC tramite la selezione del responso.

Partecipanti. Venti partecipanti (14 uomini, 6 donne), età compresa tra 20 e 28.

Apparato e stimoli. L'esperimento è stato somministrato tramite PC. Le risposte manuali sono state inserite tramite tastiera, i tasti dovevano essere distanti almeno 3.3

cm quindi sono stati scelti i tasti W e O. Il tasto G doveva essere premuto all'inizio di ogni tentativo e mantenuto fino al segnale di via acustico. Lo stimolo del compito di reazione era una X rossa o blu su uno sfondo grigio chiaro, indicando rispettivamente una risposta a sinistra(W) oppure a destra(O). La X compariva al centro dello schermo ed era grande circa un 1.5 cm. Il segnale acustico di via veniva emesso per 50 ms. Lo stimolo del compito d'identificazione percettiva era un punto nero di 0.2 cm mostrato per 14 ms al centro dello schermo e poi spostato di 0.2 cm a destra o sinistra per altri 14 ms, per dare un'impressione di movimento apparente. Subito dopo, il punto veniva sostituito da una maschera per interferire con i processi di elaborazione.

Procedura. L'esperimento veniva svolto dentro una cabina silente poco illuminata. I partecipanti sono stati posizionati davanti al monitor. Le istruzioni dell'esperimento comparivano a schermo ma sono state date anche a voce. Ai partecipanti veniva detto che avrebbero eseguito due compiti: un compito di reazione manuale e un altro d'identificazione percettiva. Per il compito di reazione, una X colorata compariva sullo schermo, indicando il tasto da premere in base al colore(blu e rosso), ma ai partecipanti è stato chiesto di trattenere la risposta fino alla presentazione di un segnale acustico. Inoltre, venivano informati che uno stimolo visivo in movimento sarebbe comparso poco prima del segnale acustico e che avrebbero dovuto riportare la direzione del movimento dopo aver eseguito il compito di reazione manuale.

Ogni partecipante eseguiva un blocco di 24 prove, all'inizio di ogni prova comparivano a schermo le istruzioni. Dopo aver premuto G compariva(dopo un ritardo di 500 ms) la X colorata per 500 ms. A quel punto la X scompare, e dopo 0, 100, 400, 900, 1200 o 1300 ms lo stimolo percettivo compariva per 28 ms, seguito

immediatamente da una maschera. L'intervallo tra la comparsa della X e il segnale acustico di via è stato mantenuto intorno ai 1300 ms, quindi nel caso in cui lo stimolo percettivo fosse comparso dopo 1300 ms sarebbe stato simultaneo al segnale acustico. Di conseguenza, l'intervallo in cui la maschera era presente a schermo corrispondeva a 1300, 1200, 900, 400, 100 e 0. La maschera non scompariva dopo il segnale acustico di via, ma solo dopo aver risposto al compito di reazione manuale. La sequenza di risposta valida consisteva nel rilasciare G e premere la corrispondente risposta (W-O). Rilasciare la G prima del segnale acustico o scegliere la risposta sbagliata veniva considerato come errore, e la prova veniva scartata (anche quando i tempi di reazione delle risposte superavano i 3000 ms). A schermo veniva dato un feedback sull'esattezza della risposta. Dopo aver dato una risposta, e un intervallo di 500 ms, a schermo veniva chiesto in che direzione si fosse mosso lo stimolo percettivo. I partecipanti rispondevano premendo di nuovo o il tasto W oppure O, rispettivamente per il movimento a sinistra e a destra. L'esperimento proseguiva solo dopo che i partecipanti rispondevano. Anche in questo caso veniva dato un feedback a schermo sulla risposta.

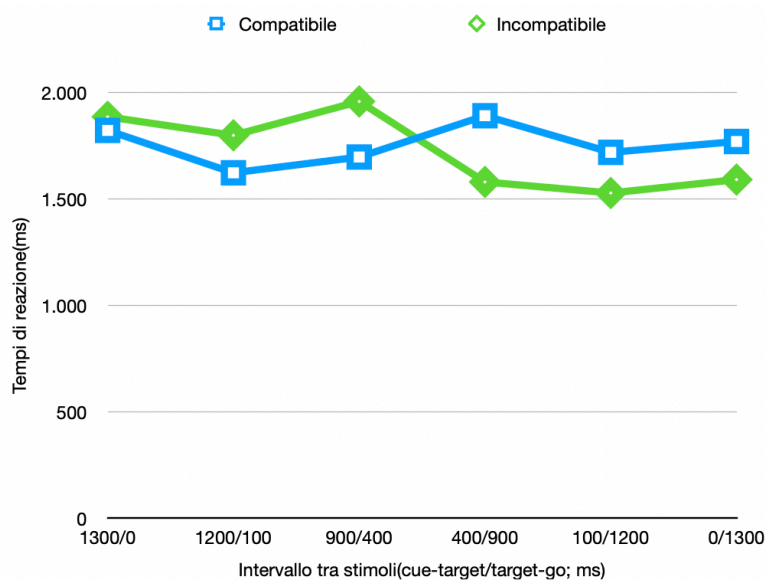
Disegno sperimentale. La relazione di compatibilità è stata variata tra la direzione del movimento della reazione manuale e quella dello stimolo percettivo. Gli intervalli tra stimoli sono stati variati tra lo stimolo di reazione, lo stimolo percettivo e il segnale di via (0/1300, 100/1200, 400/900, 900/400, 1200/100 e 1300/0). Quindi l'esperimento seguiva un disegno 2 (compatibilità) x 6 (intervalli tra stimoli). Le 12 condizioni sono state presentate in ordine casuale. L'unità di misura principale era il tempo di reazione (tempo trascorso tra segnale di via e risposta), ma sono stati analizzati anche le percentuali di errore per entrambi i compiti.

Risultati

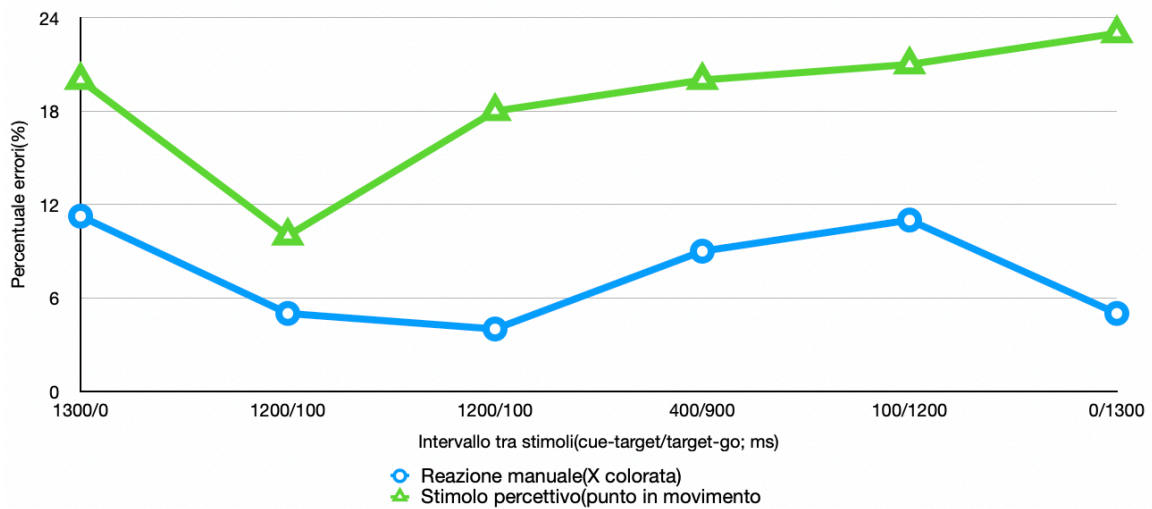
Compito di percezione. Nel compito di percezione il tasso di errore si è mantenuto intorno al 20% in tutte le combinazioni di intervallo tra stimoli.

Compito di reazione. Per l'analisi dei compiti di reazione tutte le prove che presentavano errori sono state scartate, come per le prove con un tempo di reazione superiore ai 3000 ms (9%). Il tasso di errore in media è stato di 7.5% rispetto alle diverse combinazioni di intervallo tra stimoli. Sono stati analizzati i tempi di reazione tra il segnale di via e la pressione del tasto corretto con un'analisi della varianza tra le variabili di compatibilità e intervallo tra stimoli. Diversamente dall'articolo da cui è stato tratto l'esperimento, dai dati non sono emersi segnali di un effetto della compatibilità sui tempi di reazione. Partendo da un valore alfa di .05 l'ipotesi nulla non è stata rifiutata per $F = 0.69 \leq F_c = 4.387$.

Grafici.



Tempi di reazione	1300/0	1200/100	900/400	400/900	100/1200	0/1300
Compatibile	1.821	1.622	1.696	1.890	1.718	1.769
Incompatibile	1.885	1.798	1.957	1.579	1.527	1.590



Percentuale errori	Reazione manuale(X colorata)	Stimolo percettivo(punto in movimento)
1300/0	11	20
1200/100	5	10
900/400	4	18
400/900	9	20
100/1200	11	21
0/1300	5	23

Discussione. L'obiettivo dell'esperimento era di riprendere il disegno sperimentale dell'articolo originale e vedere se fosse ripetibile. E' stato possibile ripetere la programmazione dell'esperimento, ma questo esperimento non è riuscito a raccogliere gli effetti discussi dall'articolo originale. Infatti nei dati di questo esperimento non è stato possibile rilevare una differenza significativa tra i tempi di reazione con prove compatibili e quelli con prove incompatibili. La differenza di risultati può essere imputata a una errata spiegazione delle istruzioni, inoltre buona parte dei partecipanti ha trovato ripetitivo il disegno sperimentale rendendo più difficile il mantenimento

dell'attenzione, andando a ricadere su tempi di reazione più lunghi. Questo potrebbe spiegare il numero di tentavi con tempi di reazione oltre 3000 ms molto più alto rispetto all'esperimento originale, 9% contro il 0.7% dell'originale.

Conclusioni

Le prossime ricerche che mirano ad approfondire i meccanismi del doppio compito e del dibattito tra elaborazione parallela e sequenziale potrebbero prendere in considerazione anche le condizioni che precedono l'attività, e i vincoli ambientali entro cui il doppio compito è eseguito. Fischer e Plessow (2015) ipotizzano che la possibilità di scegliere una strategia di elaborazione flessibile e contestualizzata all'ambiente, tra un tipo di elaborazione più sequenziale o più parallela, permette al soggetto di adeguarsi meglio alle richieste provenienti dalle attività, lasciando spazio all'applicazione di un comportamento adattivo più razionale (Cohen e al., 2004, 2007; Goschke, 2013). La capacità di previsione del soggetto data da una efficace interpretazione delle informazioni e lo spazio di prevedibilità dato da una configurazione ambientale basata su un'analisi delle disposizioni dell'ambiente (dalla natura qualitativa e dall'ordine di presentazione degli stimoli) potrebbero essere ulteriori variabili utili a comprendere perché si scelgono diversi tipi di elaborazione e i diversi risultati che producono.

Bibliografia

Alpern, M. (1971) Effector mechanisms in vision. In *Experimental Psychology*, eds. J. W. Kling and L. A. Riggs. New York: Holt, Rinehart & Winston.

Atneave, F. (1959) *Applications of Information Theory to Psychology a Summary of Basic Concepts, Methods and Results*. New York: Holt, Rinehart & Winston.

Beilock, S. L., Carr, T. H., MacMahon, C. & Starkes, J. L. (2002). When paying attention becomes counterproductive: impact of divided versus skill-focused attention on novice and experienced performance of sensorimotor skills. *J. Exp. Psychol.* 8, p. 6–16. doi: 10.1037/1076-898X.8.1.6.

Berlyne, D. E. (1951) Attention to change. *British Journal of Psychology*, 42, 269-278.

— (1960) Conflict, arousal and curiosity. New York: McGraw-Hill.

— (1970) Attention as a problem in behavior theory. In *Attention: Contemporary theory and analysis*, ed. D. E. Mostofsky. New York: Appleton-Century-Crofts, p. 25-49.

Broadbent, D. (1958). *Perception and Communication*. London: Pergamon Press.

Broeker, L., Kiesel, A., Aufschnaiter, S., Ewolds, H. E., Gaschler, R., Haider, H., Künzell, S., Raab, M., Röttger, E., Thomaschke, R. & Zhao, F. (2017). Why Prediction Matters in Multitasking and How Predictability Can Improve It. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02021>.

Brooks, L. R. (1968). Spatial and verbal components of the act of recall. *Canadian Journal of Psychology*, 22,3, p. 49-368.

Cohen, J. D., Aston-Jones, G. & Gilzenrat, M. S. (2004). “A system-level perspective on attention and cognitive control: guided activation, adaptive gating, conflict monitoring, and exploitation vs. exploration,” in *Cognitive Neuroscience of Attention*, ed. M. I. Posner (New York, NY: Guilford Press), p. 71–90.

Craik, K. J. W. (1948). Theory of the human operator in control systems. II. Man as an element in a control system. *British Journal of Psychology*, 38, p. 142–147.

Deutsch, J. A. & Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, 70(1), p. 80–90.

Dux, P. E., Ivanoff, J., Asplund, C. L. & Marois, R. (2006). Isolation of a central bottleneck of information processing with time-resolved fMRI. *Neuron* 52, p. 1109–1120. doi: 10.1016/j.neuron.2006.11.009.

Ewolds, H., Broeker, L., de Oliveira, R. F., Raab, M. & Künzell, S. (2021). Ways to Improve Multitasking: Effects of Predictability after Single- and Dual-Task Training. *Journal of Cognition*, 4(1), 4. doi: <http://doi.org/10.5334/joc.142>.

Fischer, R. & Plessow, F. (2015). Efficient multitasking: parallel versus serial processing of multiple tasks. *Front. Psychol.* 6:1366. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01366.

Friston, K. (2010) The free-energy principle: a unified brain theory?. *Nat Rev Neurosci* 11, p. 127–138. <https://doi.org/10.1038/nrn2787>

Garner, W. R. (1962). *Uncertainty and structure as psychological concepts*. Wiley.

Goschke, T. (2013). “Volition in action: intentions, control dilemmas and the dynamic regulation of cognitive intentional control,” in *Action Science: Foundations of an Emerging Discipline*, eds W. Prinz, A. Beisert, and A. Herwig (Cambridge, MA: MIT Press), p. 409–434.

Gould J. D. (1967) Pattern recognition and eye-movement parameters. *Perception and Psychophysics*, 2, p. 399-407.

— & Dill, A. B. (1969) Eye-movement parameters and pattern discrimination. *Perception and Psychophysics*, 6, p. 311-320.

— & Peeples, D. R. (1970) Eye movements during visual search and discrimination of meaningless, symbol, and object patterns. *Journal of Experimental Psychology*, 85, p. 51-55.

Hazeltine, E., Weinstein, A. & Ivry, R. B. (2008). Parallel response selection after callosotomy. *J. Cogn. Neurosci.* 20, p. 526–540. doi: 10.1162/jocn.2008.20030.

Hirst, W. & Kalmar, D. (1987). Characterizing attentional resources. *Journal of Experimental Psychology: General*, 116,6, p. 8-81.

Jiménez, L., & Méndez, C. (2001). Implicit sequence learning with competing explicit cues. *Q. J. Exp. Psychol. Hum. Exp. Psychol.* 54, 345–369. doi: 10.1080/713755964.

Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Keele, S.W. (1973). *Attention and human performance*. PacificPalisades,CA: Goodyear.

Keele, S., Ivry, R., Mayr, U., Hazeltine, E. & Herbert, H. (2003). The Cognitive and Neural Architecture of Sequence Representation. *Psychological review.* 110, p. 316-339. 10.1037/0033-295X.110.2.316.

Kiesel, A., Steinhauser, M., Wendt, M., Falkenstein, M., Jost, K., Philipp, A. M., et al. (2010). Control and interference in task switching—a review. *Psychol. Bull.* 136, p. 849–874. doi: 10.1037/a0019842.

Koch, I. (2001). Automatic and intentional activation of task sets. *J. Exp. Psychol.* 27, p. 1474–1486. doi: 10.1037/0278-7393.27.6.1474.

— & Prinz, W. (2002). Process interference and code overlap in dual-task performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28(1), 192–201. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.28.1.192>

— (2003). The role of external cues for endogenous advance reconfiguration in task switching. *Psychon. Bull. Rev.* 10, p. 488–492. doi: 10.3758/BF03196511.

Kool, W., McGuire, J. T., Rosen, Z. B. & Botvinick, M. M. (2010). Decision making and the avoidance of cognitive demand. *J. Exp. Psychol. Gen.* 139, p. 665–682. doi: 10.1037/a0020198.

Logan, G. D. & Gordon, R. D. (2001). Executive control of visual attention in dual-task situations. *Psychol. Rev.* 108, p. 393–434. doi: 10.1037/0033-295X.108.2.393.

- & Bundesen, C. (2004). Very clever homunculus: compound stimulus strategies for the explicit task-cuing procedure. *Psychon. Bull. Rev.* 11, p. 832–840. doi: 10.3758/BF03196709.
- Lehle, C. & Hübner, R. (2009). Strategic capacity sharing between two tasks: evidence from tasks with the same and with different task sets. *Psychol. Res.* 73, p. 707–726. doi: 10.1007/s00426-008-0162-6.
- Steinhauser, M. & Hübner, R. (2009). Serial or parallel processing in dual tasks: what is more effortful? *Psychophysiology* 46, p. 502–509. doi: 10.1111/j.1469-8986.2009.00806.x.
- Mackworth, N. H., & Bruner, J. S. (1970) How adults and children search and recognize pictures. *Human Development*, 13, p. 149-177.
- & Morandi, A. J. (1967) The gaze selects informative details within pictures. *Perception and Psychophysics*, 2, p. 547-552.
- Meiran, N. (1996). Reconfiguration of processing mode prior to task performance. *J. Exp. Psychol.* 22, p. 1423–1442. doi: 10.1037/0278-7393.22.6.1423.
- Meyer, D. E. & Kieras, D. E. (1997). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: part 1. Basic mechanisms. *Psychol. Rev.* 104, p. 3–65. doi: 10.1037/0033-295X.104.1.3.
- Miller, J., Ulrich, R. & Rolke, B. (2009). On the optimality of serial and parallel processing in the psychological refractory period paradigm: effects of the distribution of stimulus onset asynchronies. *Cogn. Psychol.* 58, p. 273–310. doi: 10.1016/j.cogpsych.2006.08.003.
- Moray, N. (1967). Where is capacity limited? A survey and a model. *Acta Psychologica*, 27, p. 84–92.
- Navon, D. & Gopher, D. (1979). On the economy of the human-processing system. *Psychological Review*, 86,2, p. 14-255.
- Chillag, M. & Spitz, G.(1984). On separability of and interference between tracking dimensions in dual-axis tracking. *Journal of Motor Behavior*, 16,3, p. 64-392.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. Appleton-Century-Crofts.
- Neumann, O. (1987). Beyond capacity: A functional view of attention. In H. Heuer & A. F.
- Norman, D.A. & Bobrow, D. G. (1975). On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*, 7, p. 44-64.
- Pashler, H. (1984). Processing stages in overlapping tasks: Evidence for a central bottleneck. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*,10, p. 358-377.
- & Johnston, J. C. (1989) Chronometric evidence for central postponement in temporally overlapping tasks, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 41:1, p. 19-45, DOI: 10.1080/14640748908402351.
- (1993). Dual-task interference and elementary mental mechanisms. In D.E. Meyer & S. Kornblum(Eds.), *Attention and performance XIV. Synergies in experimental psychology, artificial intelligence, and cognitive neuroscience*(p. 245-264). Cambridge,MA:M.I.T. Press.

Perruchet, P., Cleeremans, A. & Destrebecqz, A. (2006). Dissociating the effects of automatic activation and explicit expectancy on reaction times in a simple associative learning task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32(5), 955–965. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.32.5.955>

Posner, M. I. & Keel, S. W. Time and space as measures of mental operations. Paper presented at the 78th Annual Convention of the American Psychological Association, Miami. September 1970.

Reichle, E. D., Pollatsek, A., Fisher, D. L. & Rayner, K. Toward a model of eye movement control in reading. *Psychological Review*, 105 (1998), p. 125-157.

Remington, W. R., Wu, S.C. & Pashler, H. (2011) *What determines saccade timing in sequences of coordinated eye and hand movements?* *Psychon Bull Rev* 18, p. 538–543. <https://doi.org/10.3758/s13423-011-0066-0>.

— & Loft, S. (2015). Attention and multitasking. In D. A. Boehm-Davis, F. T. Durso, & J. D. Lee (Eds.), *APA handbook of human systems integration* (p. 261–276). American Psychological Association.

Synofzik, M., Vosgerau, G. & Voss, M. (2013). The experience of agency: an interplay between prediction and postdiction. *Front. Psychol.* 4:127. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00127.

Telford, C. W. (1931). The refractory phase of voluntary and associative responses. *Journal of Experimental Psychology*, 14(1), p. 1–36.

Treisman, A. M. (1969). Strategies and models of selective attention. *Psychological Review*, 76(3), 282–299.

Welford, A. T. (1952). The 'psychological refractory period' and the timing of high-speed performance—a review and a theory. *British Journal of Psychology*, 43, p. 2–19.

Whittlesea, B. W. A. (2004). The Perception of Integrality: Remembering Through the Validation of Expectation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30(4), p. 891–908. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.30.4.891>

Wickens, C. D. (1984). Processing resources in attention. In R. Parasuraman, J. Beatty, & R. Davies (Eds.), *Varieties of attention* (p. 63-101). New York: John Wiley & Sons.

— (1991). Processing resources and attention. In D.L. Damos (Ed.), *Multiple-task performance* (p. 3-34). London: Taylor & Francis.

— Goh, J., Helleberg, J., Horrey, W. & Talleur, D. A. (2003). Attentional models of multi-task pilot performance using advanced display technology. *Human factors*, 45, p. 360-380.

— (2008). Multiple Resources & Mental Workload. *Human Factors*, 50(3), p. 449–455. <https://doi.org/10.1518/001872008X288394>.

Wolpert, D. M. & Flanagan, J. R. (2001). Motor prediction. *Current Biology*, 11, p. 729-732. doi:10.1016/S0960-9822(01)00432-8.

Wolpert, D. M., Doya, K. & Kawato, M. (2003). A unifying computational framework for motor control and social interaction. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 358, p. 593–602. doi: 10.1098/rstb.2002.1238.

Yarbus, A. L. (1967) *Eye movements and vision*, trans. B. Haigh. New York: Plenum Press.