POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

Analisi dei risultati contrastanti sul ruolo degli stimoli nel Conceptual Design

Relatore

Prof. Marco Cantamessa

Correlatore

Ing. Samuele Colombo

Candidata

Graziana Blandino

Anno Accademico 2021/2022

Abstract

L'Engineering Design è il processo attraverso il quale i progettisti sviluppano delle soluzioni a dei specifici problemi iniziali.

Il processo è suddiviso in diverse fasi, tra le quali vi è il Conceptual Design. Esso che è caratterizzato dall'Idea Generation, attività in cui i progettisti generano una molteplicità di concept, sfruttando la propria creatività. Dalla letteratura è emerso che i progettisti manifestano le loro abilità creative nel momento in cui riconoscono in uno stimolo esterno un'idea utile da sfruttare nel loro lavoro di progettazione (Goldschmidt & Sever, 2011). Dall'analisi dei processi che comprendono la creatività nell'Engineering Design, si è giunti allo studio di come gli stimoli, che rappresentano una fonte di ispirazione per i progettisti, supportino il pensiero creativo.

Il processo di design a livello cognitivo è tra i più complessi, ma l'evoluzione degli strumenti e della tecnica ha consentito di adottare nuovi metodi che consentono un'investigazione maggiormente obiettiva e, tra questi, le Neuroscienze Cognitive. I risultati emersi sono principalmente correlati ad un'inibizione degli stimoli grafici dall'esterno (Benedek, 2018).

L'obiettivo del presente lavoro consiste nell'investigazione del ruolo degli stimoli nella generazione di idee nell'Engineering Design. Per individuare i contrasti e le lacune nella letteratura è stato adottato il metodo dell'analisi sistematica della letteratura, al fine di avanzare nuove ipotesi che consentano di fare un passo avanti nella letteratura.

Il processo di ricerca in letteratura ha guidato le analisi ed è stato articolato in diverse fasi al fine di ampliare le conoscenze di base sui processi neurofisiologici che avvengono durante la progettazione, esaminando il ruolo degli stimoli in fase di generazione delle idee. In parallelo a queste fasi è stata svolta un'ulteriore analisi in merito ai task di design proposti negli esperimenti precedenti in letteratura, alla ricerca di uno standard.

Dai risultati è possibile affermare che uno stimolo si può definire utile se, dopo aver compreso il significato dello stimolo in sé, il progettista costruisce connessioni con dei concept recuperati dalla sua memoria che aiutano a sviluppare nuove idee (Goucher-Lambert et al., 2019). Indipendentemente da forma e distanza analogica, gli stimoli d'ispirazione influenzano il livello di creatività delle idee; anche se non è ancora possibile definire quali, fra i vari tipi di stimoli, siano i più efficaci.

È stato inoltre approfondito il tema dello stress mentale che fa carico sui progettisti durante lo svolgimento di un problema di design; come il carico cognitivo sia

direttamente proporzionale al livello di difficoltà dei task e come tutti questi fenomeni dipendano dal livello di esperienza del progettista. Infine, nessuna classificazione standard dei task di design e del loro livello di difficoltà è stata trovata in letteratura, rendendo complicato il confronto di risultati ottenuti da esperimenti diversi.

Il risultato finale di questo lavoro è la progettazione di un nuovo esperimento che metta insieme le diverse prospettive nei task di Idea Generation. La variabile in gioco, risultato di una lacuna importante riscontrata in letteratura, è il livello di stress accusato da persone con un background vario (Ingegneria, Design, etc) e con un basso livello di esperienza nella progettazione, durante la generazione di nuove soluzioni a brevi problemi di design privi di vincoli, supportati da stimoli di varia forma e distanza analogica.

Sommario

Abstract ... 3
Lista delle figure ... 7
Lista delle tabelle ... 8
Introduzione ... 10
Formulazione del problema ... 10
Obiettivo della Ricerca ... 11
Metodo ... 12
Struttura del documento ... 14
1. Contesto ... 15
1.1. Engineering Design ... 15
1.2. Conceptual Design & Idea Generation ... 16
1.3. Science of Design: Protocol analysis ... 19
1.4. Neuroscienze ... 20
1.5. Stimoli ... 21
2. Literature review ... 23
Caratteristiche del campione di articoli ... 27
2.1. Neuroscienze & Engineering Design ... 31
2.1.1. Analisi dello spettro di frequenza del segnale EEG ... 34
2.1.2. Attivazioni cerebrali in fMRI ... 37
2.1.3. Stress mentale in fase di progettazione ... 40
2.2. Le variabili della progettazione ... 44
2.2.1. La variabile Tempo ... 44
2.2.2. La variabile Esperienza ... 46
2.3. Gli stimoli d'ispirazione: supporto ai progettisti durante la fase di Idea generation ... 49
2.3.1. Stimoli & Neuroscienze ... 57
2.3.2. Stimoli & Esperienza dei Designer ... 60
2.4. Analisi dei task ... 63
2.4.1. La struttura di un task ... 64
2.4.2. Confronto tra task diversi ... 65
3. Risultati e Discussioni ... 71

3.1. Neuroscienze e Progettazione 71
3.2. Stimoli 72
3.3. Analisi dei task 74
4. Nuovo esperimento 76
4.1. Metodo 77
Conclusioni 83
Appendice 88
Bibliografia 99

Lista delle figure

Figura 1:Engineering design process as a sequence of alternating divergent and convergent phases. (Steinert & Jablokow, 2013) 18
Figura 2: Fasi di ricerca e selezione dei paper 24
Figura 3: Struttura delle query per ciascuna fase di ricerca 25
Figura 4: Strumenti biometrici e Task impiegati 28
Figura 5: Formazione ed Esperienza dei partecipanti 29
Figura 6: Metodi di indagine 30
Figura 7: Forma e distanza analogica degli stimoli 30
Figura 8: Forme d'onda segnale EEG. Fonte: bioneurofeedback.wordpress.com .. 32
Figura 9: a. Forma d'onda del segnale ECG; b. Intervallo tra due battiti cardiaci. (Nguyen et al., 2014) 33
Figura 10: Misurazione GSR (Balters & Steiner, 2017) 34
Figura 11: La figura mostra i cambiamenti del segnale in banda alpha durante AUT. (Fink, et al., 2009) 36
Figura 12: Suddivisione delle aree della corteccia cerebrale (www.kindpng.com). 39
Figura 13: Relazione tra la Creatività nel Design e lo stress mentale. (Nguyen & Zeng, 2014) 41
Figura 14: Possible outcomes of an idea generation process. (Cardoso & Petrabadke-Schaub, 2011) 52
Figura 15: Piano sperimentale (Lambert, Moss, Cagan 2019) 78
Figura 16: Piano sperimentale del nuovo esperimento 78

Lista delle tabelle

Tabella 1: Banda di frequenza del segnale EEG, Liu, Zeng et al. 35
Tabella 2: Traduzione dei task e degli stimoli testuali 81

Per natura amiamo e siamo onesti. E per natura vogliamo sapere di più.
E continuiamo a imparare. La nostra conoscenza del mondo continua a crescere.
Ci sono frontiere, dove stiamo imparando, e brucia il nostro desiderio di sapere.
Sono nelle profondità più minute del tessuto dello spazio, nelle origini del cosmo, nella natura del tempo, nel fato dei buchi neri, e nel funzionamento del nostro stesso pensiero.
Qui, sul bordo di quello che sappiamo, a contatto con l'oceano di quanto non sappiamo, brillano il mistero del mondo, la bellezza del mondo, e ci lasciano senza fiato.

[CARLO ROVELLI, Sette brevi lezioni di fisica]

Introduzione

Il seguente documento descrive le fasi di un processo di ricerca in letteratura, illustrandone i risultati più importanti e le contraddizioni emerse. L'obiettivo è indagare i processi neurofisiologici che si verificano durante le prime fasi del Conceptual Design ed il ruolo degli stimoli d'ispirazione a supporto delle abilità creative dei progettisti.

Formulazione del problema

La disciplina che si occupa di studiare in modo scientifico il processo di progettazione prende il nome di Science of Design (Cantamessa e Montagna, 2016): nasce nella seconda metà del Novecento e vede Herbert Simon come suo portavoce. Gli studi empirici in questo campo si focalizzano sul design cognition, ovvero sui processi cognitivi e le informazioni sfruttate dai designer, soprattutto durante la fase di conceptual design. La tecnica tradizionalmente usata in tale ambito di ricerca è l'analisi protocollare, che basa le sue conclusioni sull'interpretazione di report sui processi di design, sketch e gesti prodotti dai partecipanti agli studi in fase di progettazione (Hay et al., 2017).

Negli ultimi anni, l'evoluzione di strumenti biomedici e la loro crescente disponibilità ha permesso di studiare i processi cognitivi che si verificano durante la progettazione attraverso i principi delle Neuroscienze Cognitive. Il confronto tra i due metodi adottati per lo studio del Design fa emergere numerose discrepanze e risultati contrastanti in letteratura.

L'adozione delle Neuroscienze è dovuta, in particolar modo, all'oggettività dei dati e dei metodi su cui si basa, i quali consentono di studiare l'impatto dei fattori umani, come le emozioni e la creatività, sulla generazione di nuove idee. Inoltre, durante questa fase, tra le prime del conceptual design, ricopre un'importante funzione la Creatività (Cantamessa e Montagna, 2016). In passato il pensiero creativo è già stato approfondito in Psicologia; la ricerca in tale ambito ha, però, portato a risultati inconsistenti a causa delle diverse definizioni della creatività che sono state generate e dei mancati standard delle procedure sperimentali da seguire per questo tipo di indagini (Colombo et al., 2020). Poiché la creatività assume un ruolo molto importante nella progettazione, la ricerca nell'ambito dell'Engineering Design si sta attualmente focalizzando sullo studio dei sottoprocessi cognitivi coinvolti nelle fasi di pensiero creativo e su come supportare i designer durante lo svolgimento di queste attività.

Diversi aspetti della progettazione restano da indagare; alcune domande di ricerca emerse dalla letteratura risultano ancora irrisolte e giustificano la stesura di questa review:

- *Quali sono i processi neurofisiologici che avvengono in fase di progettazione?*
- *Quali sono i mezzi più adeguati a supportare le abilità creative dei progettisti durante la generazione di nuove idee?*

Obiettivo della Ricerca

La seguente tesi ha l'obiettivo di riassumere i risultati, a cui sono giunti studi empirici ed esperimenti svolti in passato in letteratura, in merito ai processi neurofisiologici coinvolti durante le diverse fasi della progettazione. Lo scopo è

quello di approfondire i fenomeni cognitivi che si verificano durante lo svolgimento delle fasi più creative del processo di design e quali siano i metodi più efficaci per supportare i progettisti durante queste attività, riducendo il loro carico di lavoro a livello cognitivo. Essendo numerosi gli studi in letteratura a trattare il tema degli stimoli e delle loro caratteristiche come strumento di supporto per la generazione di nuove idee creative, il fine di questo documento è quello di effettuare un confronto dei risultati a cui si è giunti in passato ed illustrare i punti irrisolti e le incognite rispetto a quali siano le tipologie di stimoli più efficaci e adeguate al fine di ispirare i progettisti. Viste le numerose contraddizioni emerse dalla ricerca, ci si pone l'obiettivo di progettare un nuovo esperimento che consenta di approfondire alcuni aspetti ancora non investigati della progettazione e soprattutto di risolvere le contraddizioni emerse sul ruolo degli stimoli, al fine di favorire il progredire della ricerca e la progettazione di nuovi strumenti di supporto ai designer.

Metodo

La metodologia adottata durante le fasi di ricerca e di selezione degli articoli fondamentali da includere nella review (systematic search) prende il nome di PRISMA (Moher et al., 2009). Questo metodo consta di un diagramma di flusso, che guida le fasi di ricerca e selezione dei documenti, e di una checklist che guida i ricercatori nella stesura di una review completa, esaustiva ed esauriente.

La ricerca in letteratura per la stesura di questa review si articola in tre fasi ed è stata svolta su Scopus attraverso l'inserimento di varie query, le cui parole chiave sono state opportunamente aggiornate in base agli aspetti che si è scelto di approfondire in ciascuno step. Il metodo seguito ha previsto per ogni fase di

lavoro la ricerca in letteratura e la selezione degli articoli più appropriati attraverso la definizione di alcuni criteri.

La prima fase di lavoro consiste nella ricerca e nella selezione di studi relativi ai fenomeni neurofisiologici che avvengono durante le fasi creative del processo di design. Una volta ottenute le informazioni necessarie per la comprensione di questi processi, si è scelto di proseguire la ricerca indagando in parallelo su due temi diversi. Il primo argomento riguarda il ruolo degli stimoli nel processo di progettazione e come la loro applicazione influenzi i fenomeni neurofisiologici coinvolti nella fase di generazione delle idee durante il design. Parallelamente, una ulteriore ricerca è stata svolta al fine di individuare eventuali standard già presenti in letteratura in merito ai task di progettazione proposti ai partecipanti durante lo svolgimento di esperimenti che mirano a migliorare le conoscenze nell'ambito nell'Engineering Design. Successivamente, ciascun documento selezionato è stato analizzato al fine di approfondirne le conclusioni e confrontarle con i risultati a cui altri studi sono giunti, riportandone i dettagli nella seguente review.

Struttura del documento

Il documento è diviso in quattro capitoli oltre l'introduzione e le conclusioni.

Il primo capitolo descrive il contesto della ricerca, illustrando l'ambito dell'Engineering Design e analizzando l'evoluzione ed i metodi degli studi del passato, dall'analisi protocollare alle neuroscienze.

Il secondo capitolo presenta il metodo seguito per la realizzazione della review ed i suoi risultati. Ogni sottoparagrafo tratta uno specifico tema e la disposizione dei temi riflette l'ordine con cui questi sono stati investigati in letteratura. Nel primo sottoparagrafo si descrivono i processi neurofisiologici coinvolti nelle prime fasi di progettazione, focalizzandosi sulle attività cerebrali ed il tema dello stress mentale. Il secondo sottoparagrafo riprende i concetti del primo, ma facendo un'analisi rispetto ai fattori tempo ed esperienza dei partecipanti.

In seguito, il terzo sottoparagrafo approfondisce il ruolo degli stimoli durante le prime fasi della progettazione ed il loro impatto sui fenomeni cognitivi.

Infine, l'ultimo sottoparagrafo si focalizza sull'analisi dei task proposti in letteratura alla ricerca di alcuni problemi standard o di metodi possibili per il loro confronto.

Il terzo capitolo ha l'obiettivo di riassumere i risultati a cui la letteratura è giunta finora, evidenziando alcune contraddizioni che ci si propone di risolvere attraverso un ulteriore studio.

Il quarto capitolo illustra l'architettura di un nuovo esperimento che ha l'obiettivo di chiarire alcune incognite emerse dalla ricerca. Sono evidenziate le variabili che guideranno l'indagine ed il metodo di lavoro con cui si intende proseguire.

Le conclusioni mirano a illustrare attraverso punti salienti e concetti principali i temi trattati nel documento, evidenziando alcuni limiti dello studio svolto e offrendo alcuni spunti per la ricerca futura.

1. Contesto

1.1. Engineering Design

Le attività di Design sono da ritenere indipendenti rispetto ai domini tecnici ed ai settori economici: questa è la conclusione a cui Simon è giunto dopo aver osservato forti somiglianze tra diverse attività creative a livello cognitivo e aver identificato il Design come tratto comune. Nonostante ci sia un consenso generale sulla definizione generica di Design, si è notato che nella pratica questo processo cambia da un dominio all'altro, focalizzandosi su attività diverse che sono comunque alla base della progettazione (S. L. da S. Vieira et al., 2019). Tra i vari campi in cui i principi del Design possono essere applicati, c'è anche l'Ingegneria: dal punto di vista ingegneristico, il Design è l'attività tecnica per cui il progettista escogita una soluzione che funzioni nella pratica.

Durante il secolo scorso numerosi studiosi hanno dato vita a modelli e teorie sul Design a livello individuale, evidenziando che questo processo non dipende solo dalle abilità dei progettisti di trovare una soluzione ad un problema.
Tra questi, Schön ha affermato che la progettazione non può essere definita come un processo in cui un professionista opera su un problema facendo leva sulla sua conoscenza; in realtà, si tratta di una continua conversazione riflessiva tra il problema e l'esperto, i quali costituiscono un universo in cui entrambi si evolvono. Il Design non è una sequenza di fasi ben definite, ma è un processo a spirale fortemente iterativo che procede grazie ai cicli di feedback che si verificano tra una decisione presa e l'analisi delle relative conseguenze.

Smith e Browne, secondo una visione simile a quella di Schön, hanno creato un modello che vede il Design come un processo in cui i progettisti traslano continuamente dalla realtà in cui operano al livello di astrazione e conoscenza.

Dopo aver definito il Design, l'obiettivo è spiegare come la progettazione debba essere effettuata.
Una possibile suddivisione del processo di design in fasi prevede la distinzione del Functional design dall'Embodiment design. Questa suddivisione distingue la prima fase di lavoro, in cui il designer si concentra sulle funzioni dell'artefatto, dalla seconda, in cui l'artefatto è inteso come una forma concreta di attuazione del principio di funzionamento; nonostante la chiara suddivisione delle due fasi di lavoro, questa definizione è meno usata a favore di una seconda ripartizione del processo di progettazione in tre diversi step: conceptual design, embodiment design, detailed design.

Il conceptual design è la fase in cui avviene l'identificazione delle funzioni, la stesura di una prima lista di componenti, il confronto e la selezione di soluzioni alternative. Durante la fase successiva, l'embodiment design, si definiscono i componenti ed il relativo materiale. Infine, in fase di detailed design avviene la validazione tecnica di quanto progettato precedentemente, aumentando il livello di dettaglio di tutte le informazioni che saranno necessarie in seguito per la produzione (Cantamessa e Montagna, 2016).

1.2. Conceptual Design & Idea Generation

Il Conceptual Design è l'argomento su cui si sono particolarmente focalizzati gli studi empirici sul Design svolti negli ultimi decenni; nonostante ciò, i processi

cognitivi coinvolti durante questa fase iniziale di progettazione restano poco chiari (Hay et al., 2017).

Questa prima fase del processo di progettazione è a sua volta suddivisa in vari step (Ulrich and Eppinger, 1995), il primo dei quali ha l'obiettivo di definire il problema di design, evidenziando gli elementi funzionali da progettare. Il passo successivo, il più creativo, prevede che un certo numero di soluzioni tecniche siano identificate: la loro combinazione definisce un concept (Pugh, 1981). Una volta generati quanti più concept possibili, i meno promettenti vengono scartati mentre i rimanenti vengono modificati e migliorati in modo che il migliore tra i tanti venga selezionato e prosegua verso l'embodiment design.

Le fasi del conceptual design in cui si dà libero sfogo alla creatività sono definite divergenti e sono rispettivamente alternate a fase di pensiero convergente dove, invece, vengono svolte rigorose analisi. Nelle fasi creative, infatti, si esegue l'esplorazione e la definizione di nuovi requisiti di design che possano risolvere i problemi di progettazione in modo elegante e radicalmente nuovo; nelle fasi convergenti invece si svolge un lavoro analitico e strutturato che mira a generare prototipi funzionali ottimizzando le specifiche finali (Steinert & Jablokow, n.d.).

Esistono in letteratura due diversi modelli che spiegano il passaggio da una fase divergente ad una convergente. Il primo è un modello lineare che vede le due diverse fasi di lavoro disposte in sequenza. Il secondo modello, invece, definisce tale processo come una spirale in cui diversi cicli di progettazione vengono ripetuti traslando dalle fasi iniziali di prototipazione e progettazione verso le fasi di costruzione e test (Steinert & Jablokow, n.d.).

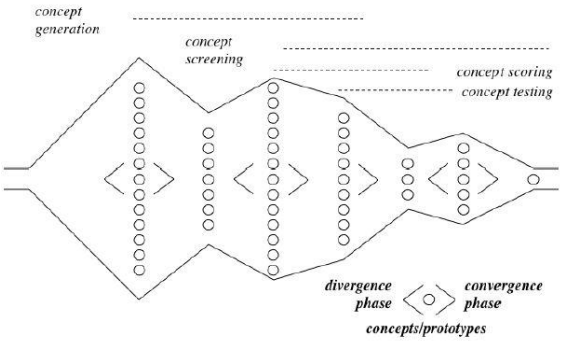

Figura 1:Engineering design process as a sequence of alternating divergent and convergent phases. (Steinert & Jablokow, 2013)

Tra le fasi di progettazione prima citate, il conceptual design è la fase in cui i progettisti possono liberamente esprimere le loro abilità creative. La creatività ha numerose interpretazioni, ma è stata definita da alcuni ricercatori come la capacità di generare nuove idee che siano utili e sorprendenti (W. Jia & Zeng, 2021).

I designer danno prova delle loro abilità creative nel momento in cui trasformano e adattano uno stimolo, ad esempio una buona idea, rendendolo utile e sfruttandolo per la risoluzione di un problema. A volte lo stimolo proviene dall'ambiente esterno, altre volte una buona idea necessita solo di essere recuperata dalla memoria (Goldschmidt & Sever, 2011). Ne consegue che la creatività è un complesso processo cognitivo che influenza notevolmente il Design; ciò giustifica la prospettiva secondo cui il processo di progettazione è una vera e propria attività umana e, in quanto tale, va studiata non solo secondo la prospettiva tecnologica, ma anche attraverso la prospettiva dei processi cognitivi e delle scienze sociali (Cantamessa & Montagna, 2016).

1.3. Science of Design: Protocol analysis

Il Design è, dunque, un fenomeno cognitivo che si svolge a livello cerebrale e dipende molto dalle interazioni sociali tra gli individui e dall'interazione dell'individuo con il mondo esterno. La comprensione della progettazione come processo cognitivo consente di generare nuove teorie e modelli che hanno lo scopo di migliorare la performance delle attività di design. In tale ambito, la branca della ricerca che si occupa dello studio del Design come un fenomeno scientifico può essere definita "Science of Design": i progettisti ed il processo svolto durante la progettazione diventano oggetto di studi empirici ed esperimenti, in cui le analisi vengono svolte secondo punti di vista diversi spaziando dalla Psicologia alle Scienze Cognitive (Cantamessa & Montagna, 2016).

Negli ultimi 25 anni gli studi empirici svolti in tale ambito hanno seguito il metodo dell'analisi protocollare (S. L. da S. Vieira et al., 2019). Tale approccio si basa sull'interpretazione qualitativa dei comportamenti palesi, come sketch, registrazioni video e report verbali dell'individuo in fase di progettazione, al fine di approfondire il processo cognitivo coinvolto durante il Design. Nonostante il focus comune di tali studi empirici sulla memoria ed i processi semantici, visivi e associativi a livello cognitivo (Hay et al., 2017) questo metodo ha dei limiti notevoli.

In primis, si focalizza molto sulla verbalizzazione dei processi, ma non si ha certezza della validità e della completezza di tali report considerando l'effetto che l'attività di verbalizzazione può avere sui risultati della progettazione. Inoltre, ignora molti aspetti visivi e taciti del processo in quanto questi non possono essere riportati in modo appropriato verbalmente (Chiuan Yen et al., n.d.). Un ulteriore limite è dovuto alle differenze nei termini e nei concetti usati in questa tipologia

di studi (Hay et al., 2017), senza trascurare il fatto che le conclusioni a cui giungono non possono essere ritenute oggettive in quanto potrebbero essere influenzate da interpretazioni errate o riflessioni personali dei ricercatori.

1.4. Neuroscienze

La ricerca nel campo del Design necessita di approfondire i fenomeni cognitivi ed i fattori umani che lo influenzano implicitamente, così da studiare in dettaglio le attività di progettazione e proporre nuovi metodi per ridurre il carico di lavoro di alcune fasi. Inoltre, è sempre più evidente il crescente bisogno di effettuare in tal senso delle misurazioni oggettive dei processi neurofisiologici; ciò risulta, infatti, particolarmente difficile a causa dell'imprevedibilità dei comportamenti umani. Tali ragioni giustificano l'adozione di un nuovo approccio per lo studio dell'Engineering Design e dei processi cognitivi coinvolti in tutte le sue fasi: le Neuroscienze Cognitive (Borgianni & MacCioni, 2020). Tale disciplina studia le emozioni umane focalizzandosi sui cambiamenti a livello dell'attività cerebrale e a livello fisiologico, vista l'interazione tra corpo e cervello. Le emozioni umane sono definite come una serie di pensieri ed immagini mentali che attivano uno specifico sistema cerebrale, con conseguenze a livello fisiologico (Balters & Steinert, 2017).

Attraverso tale metodo, è possibile supportare la ricerca nel Design usando dispositivi orientati verso il neuroimaging o alla misurazione delle attività cerebrali in grado di rilevare, misurare in modo oggettivo, quantificare e interpretare i tratti involontari e inconsci del comportamento umano (Borgianni & MacCioni, 2020).

L'adozione di tale approccio fa emergere alcune divergenze tra l'ambito del Design e quello neurofisiologico. Infatti, mentre il primo definisce la progettazione come un unico processo ottenendo risultati poco accurati, il secondo scompone il design in singole attività da analizzare. L'accordo tra le due parti consente di suddividere la progettazione in attività ben definite che possono essere analizzate singolarmente; dopo averle approfondite, la complementarità dei risultati consentirà di migliorare le conoscenze sull'intero processo di Design (*rif. Bridging the gap between Design and Neuro-physiological studies*).

Nonostante la progettazione sia stata riconosciuta come una abilità cognitiva di alto livello e numerosi sono gli studi che si pongono l'obiettivo di approfondire le conoscenze sul processo di design, sono ancora pochi i lavori di letteratura che hanno sfruttato il prelievo di segnali neurofisiologici per tale scopo. Probabilmente questo è anche dovuto al fatto che solo di recente gli strumenti biomedici per la rilevazione di tali segnali sono diventati largamente disponibili. L'intreccio di queste due discipline, il Design e le Neuroscienze, può diventare una grande opportunità per validare nuove ipotesi e dare una svolta alla ricerca in tale ambito (Alexiou et al., 2009).

1.5. Stimoli

Gli stimoli, tra cui informazioni esterne o fonti d'ispirazione, supportano i progettisti in fase di generazione di nuove idee creative (Borgianni et al., 2020). Tali stimoli si distinguono sulla base di alcune caratteristiche, tra cui la forma e la distanza. Rispetto alla prima, possono essere di forma testuale, grafica o combinata (Borgianni et al., 2020). Gli stimoli testuali comprendono parole, frasi,

testi, report; tra gli stimoli grafici ci sono le immagini, le fotografie, i disegni, gi sketch, mentre la forma combinata si riferisce alla combinazione di stimoli testuali e grafici/visivi.

La distanza analogica di uno stimolo, invece, non ha una definizione univoca; si afferma che gli stimoli possano essere distinti in "vicini" o "lontani" in base alla similarità tra lo stimolo ed il problema di design o in base al fatto che la sorgente ed il target dell'analogia (rispettivamente stimolo e task) abbiano o meno lo stesso dominio di riferimento(L. Jia et al., 2020).

Dalla letteratura è emerso che stimoli di forma e distanza diversi possano influenzare in modo differente, non solo i processi cognitivi coinvolti nella generazione di nuove idee, ma anche le soluzioni generate dai designer in termini di novità, qualità, quantità, originalità. Talvolta tutte queste metriche risultano beneficiare di alcuni tipi di stimoli; questi ultimi possono, però, comportare anche degli svantaggi. Da un lato, non sempre vengono riconosciuti come tali dai progettisti e quindi coinvolti nelle prime fasi di design (Goucher-Lambert et al., 2018), dall'altro lato possono avere delle caratteristiche tali per cui i designer tentano di ripetere in modo inappropriato alcune caratteristiche degli stimoli forniti nei nuovi concept generati (Cardoso & Badke-Schaub, 2011).

2. Literature review

Questo documento illustra i risultati ottenuti da una systematic review della letteratura nell'ambito dell'Engineering Design. Nei paragrafi a seguire si illustra la metodologia che ha guidato la stesura del documento ed i risultati emersi dalla ricerca.

Il metodo usato per la realizzazione delle systematic review guida i ricercatori verso un'adeguata definizione delle research question iniziali, giustificando la ricerca svolta successivamente in letteratura. Tale metodo distingue alcune fasi di lavoro, tra cui pianificazione, conduzione della review e stesura dei risultati. Questo processo consente ai ricercatori di passare da uno stato iniziale di conoscenza personale del problema su cui si sta indagando ad una conoscenza dello stato dell'arte a livello universale (Torres-Carrion et al., 2018).

La prima fase di ricerca della review è rivolta allo sviluppo delle conoscenze di base nell'ambito della Neurofisiologia applicata all'Engineering Design attraverso una precedente review, che commenta i dati ed i risultati degli esperimenti condotti in questo campo fino al 2018 (Borgianni & MacCioni, 2020), ed uno studio che mette in evidenza come le emozioni umane possano essere studiate attraverso grandezze quantitative e oggettive sfruttando il potenziale dei dispositivi biomedici (Balters & Steinert, 2017).

Dall'analisi di questi due documenti sono emerse due research question:

- Quali sono i processi neurofisiologici che avvengono in fase di progettazione?
- Quali sono i mezzi più adeguati a supportare le abilità creative dei progettisti durante la generazione di nuove idee?

Il tentativo di trovare risposta a queste domande ha guidato la successiva fase (systematic search procedure) di ricerca di ulteriori documenti e systematic review che risolvessero i punti in questione: l'inesistenza di tali lavori giustifica quindi la redazione di questo documento.

La metodologia adottata durante lo step successivo di selezione degli articoli fondamentali da includere nella review (systematic search) prende il nome di PRISMA (Moher et al., 2009). PRISMA Statement, infatti, consiste in un diagramma di flusso che consta di alcuni step, quali identificazione degli articoli candidati ad essere inclusi nella review, selezione degli articoli in base alla rilevanza dei loro abstract e delle relative keywords rispetto alle research question prefissate, definizione dei criteri per la valutazione dell'idoneità degli articoli, sintesi dei risultati degli articoli selezionati. Questo metodo fornisce una checklist che guida i ricercatori nella stesura di una review completa, esaustiva ed esauriente. Per la redazione di questo documento è stato seguito il flusso in Figura.

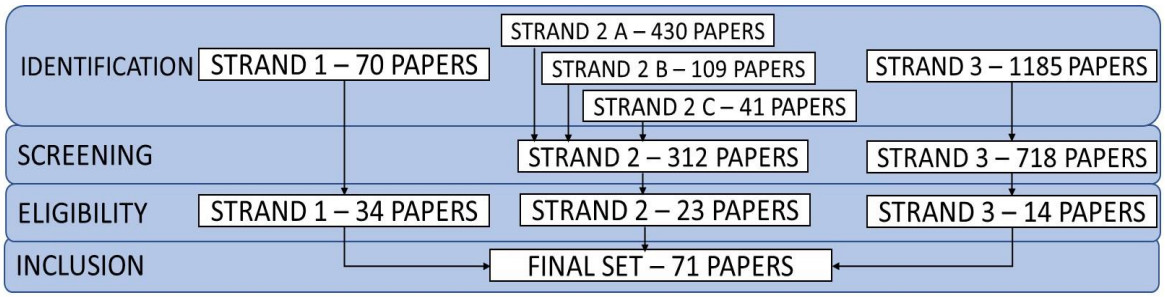

Figura 2: Fasi di ricerca e selezione dei paper

La ricerca in letteratura per la stesura di questa review si articola in tre fasi ed è stata svolta su Scopus attraverso l'inserimento di query diverse, ottenute dalla combinazione di parole chiave riguardanti l'obiettivo della ricerca ed il dominio di riferimento, oltre che le fasi di progettazione su cui si intende focalizzarsi. Ulteriori keywords riguardano gli strumenti biomedici che vengono usati dai

ricercatori che adottano l'approccio delle Neuroscienze per lo studio dei processi cognitivi durante la progettazione.

La composizione delle query ha subito delle modifiche in base agli obiettivi di ciascuna fase di ricerca. Le query adottate per la ricerca in letteratura svolta per questa review sono riportate in figura.

Strand 1

AIM	AND	DOMAIN	AND	DESIGN PHASE	AND	BIOMETRIC TOOL
"DESIGN COGNITION"		"CONCEPTUAL DESIGN" OR "ENGINEERING DESIGN" OR "INDUSTRIAL DESIGN" OR "NEUROCOGNITION" AND "DESIGN"		"IDEA GENERATION" OR "CREATIVE THINKING" OR "DESIGN THINKING"		"ELECTROENCEPHALOGRAM" OR "EEG" OR "ELECTROENCEPHALOGRAPHY" OR "ELECTROCARDIOGRAM" OR "ECG" OR "ELECTROCARDIOGRAPHY" OR "HEART RATE VARIABILITY" OR "HRV" OR "FMRI" OR "FUNCTIONAL MAGNETIC RESONANCE IMAGING"

Strand 2 - A

AIM	AND	DOMAIN	AND	DESIGN PHASE	AND	BIOMETRIC TOOL	AND	STIMULI
"DESIGN COGNITION"		"CONCEPTUAL DESIGN" OR "ENGINEERING DESIGN" OR "INDUSTRIAL DESIGN" OR "NEUROCOGNITION" AND "DESIGN"		"IDEA GENERATION" OR "CREATIVE THINKING" OR "DESIGN THINKING" OR "PROBLEM SOLVING"				"ANALOGICAL REASONING" OR "INSPIRATIONAL STIMULI" OR "VISUAL STIMULI" OR "PICTORIAL STIMULI" OR "GRAPHIC STIMULI" OR "TEXTUAL STIMULI" OR "COMBINED STIMULI"

Strand 2 - B

AIM	AND	DOMAIN	AND	DESIGN PHASE	AND	BIOMETRIC TOOL	AND	STIMULI
"DESIGN COGNITION"		"CONCEPTUAL DESIGN" OR "ENGINEERING DESIGN" OR "INDUSTRIAL DESIGN" OR "NEUROCOGNITION" AND "DESIGN"		"CREATIVE THINKING" OR "DESIGN THINKING" OR "IDEA GENERATION" OR "PROBLEM SOLVING"		"ELECTRO-ENCEPHALOGRAM" OR "EEG" OR "ELECTRO-ENCEPHALOGRAPHY" OR "ELECTRO-CARDIOGRAM" OR "ECG" OR "ELECTRO-CARDIOGRAPHY" OR "HEART RATE VARIABILITY" OR "HRV" OR "FMRI" OR "FUNCTIONAL MAGNETIC RESONANCE IMAGING"		"INSPIRATIONAL STIMULI" OR "ANALOGICAL REASONING" OR "VISUAL STIMULI" OR "PICTORIAL STIMULI" OR "GRAPHIC STIMULI" OR "TEXTUAL STIMULI" OR "COMBINED STIMULI"

Strand 2 - C

AIM	AND	DOMAIN	AND	DESIGN PHASE	AND	BIOMETRIC TOOL	AND	STIMULI
"DESIGN COGNITION"		"CONCEPTUAL DESIGN" OR "ENGINEERING DESIGN" OR "INDUSTRIAL DESIGN" OR "NEUROCOGNITION" AND "DESIGN"		"CREATIVE THINKING" OR "IDEA GENERATION" OR "DESIGN THINKING"		"ELECTRO-ENCEPHALOGRAM" OR "EEG" OR "ELECTRO-ENCEPHALOGRAPHY" OR "ELECTRO-CARDIOGRAM" OR "ECG" OR "ELECTRO-CARDIOGRAPHY" OR "HEART RATE VARIABILITY" OR "HRV" OR "FMRI" OR "FUNCTIONAL MAGNETIC RESONANCE IMAGING"		"ANALOGICAL REASONING" OR "INSPIRATIONAL STIMULI"

Strand 3

AIM	AND	DOMAIN	AND	DESIGN PHASE
"DESIGN TASK" OR "TASK ANALYSIS" OR "TASK REVIEW"		"CONCEPTUAL DESIGN" OR "ENGINEERING DESIGN" OR "INDUSTRIAL DESIGN" OR "NEUROCOGNITION" AND "DESIGN"		"IDEA GENERATION" OR "CREATIVE THINKING" OR "DESIGN THINKING"

Figura 3: Struttura delle query per ciascuna fase di ricerca

Nella FASE 1 di ricerca l'obiettivo è lo sviluppo di nuove conoscenze sui processi neurofisiologici che si svolgono durante le fasi creative del processo di progettazione. Le keywords relative ai segnali biometrici di fondamentale importanza per questo studio ed i corrispettivi strumenti utilizzati per la rilevazione, sono state definite attraverso la lettura dei primi due documenti, (Borgianni & MacCioni, 2020; Steinert & Jablokow, n.d.), che approfondiscono il tema dell'applicazione delle Neuroscienze nell'ambito dell'Engineering Design.
Tale query ha dato complessivamente 70 articoli tra i risultati su Scopus di cui 34 sono stati selezionati e analizzati nelle fasi successive della review.
In FASE 2 la ricerca si è focalizzata sul ruolo degli stimoli d'ispirazione come supporto ai progettisti durante le fasi creative del processo di progettazione. Questa fase comprende a sua volta tre sottofasi di ricerca che riguardano il ruolo degli stimoli durante le fasi di Design in base alla loro forma e alla loro distanza analogica; l'effetto di tali stimoli sui processi cognitivi in atto durante la progettazione attraverso la rilevazione dei segnali biomedici; l'impatto delle analogie sulle fasi di pensiero più creative come l'Idea Generation.
La FASE 3, svolta in parallelo alla fase 2, ha lo scopo di individuare uno standard tra i task di design proposti durante gli esperimenti che indagano sulle prime fasi del processo di progettazione.

Criteri di selezione

La ricerca degli articoli è stata svolta interamente su Scopus, considerando come primo criterio per la selezione l'anno di pubblicazione dei paper; infatti, gli articoli con data di pubblicazione antecedente al 2014 sono stati scartati ad eccezione di alcuni studi ritenuti molto importanti per la ricerca in questione. Nessuna selezione è stata svolta sulla base della fonte del documento; sono, infatti, inclusi

articoli da conferenze e riviste. Non sono stati adottati criteri di selezione rispetto al metodo di lavoro adottato negli studi precedenti; quindi, sono riportate le conclusioni a cui si è giunti attraverso questionari, altre review, esperimenti. In merito agli esperimenti riportati, sono stati scartati gli studi empirici svolti su lavori di gruppo e non sul singolo individuo, mentre non sono stati adottati criteri di selezione in merito al task di design proposto, al processo neurofisiologico indagato, alla numerosità del campione di partecipanti, né al loro background o al loro livello di esperienza nel campo del Design, né sulla tipologia di stimoli investigata.

Alcuni articoli, non risultati dalle query, sono stati selezionati in base al tema trattato o ai suoi riferimenti o al numero di citazioni e riportati nella seguente review qualora siano stati ritenuti rilevanti per la stesura di questo documento.

Caratteristiche del campione di articoli

Complessivamente il campione è costituito da 71 articoli riportati in Tabella*(vedi appendice). Dato il focus della review sui processi cognitivi e l'analisi dei risultati contrastanti sul ruolo degli stimoli d'ispirazione durante la generazione di nuove idee, sono riportati ed illustrati di seguito i risultati emersi. Dai seguenti grafici emergono i dati più rilevanti tratti dagli articoli selezionati.

Sul campione totale, circa la metà degli studi selezionati ha impiegato vari dispositivi biometrici per indagare il processo di design attraverso l'approccio neurofisiologico. Lo strumento più usato tra tutti è l'Elettroencefalogramma (EEG) seguito dalla Risonanza magnetica funzionale (fMRI), dalla Spettroscopia funzionale del vicino infrarosso (fNIRS) e dall'Eye-tracker; questi dispositivi

consentono di approfondire il ruolo di ciascuna regione cerebrale ed i processi cognitivi che caratterizzano la progettazione secondo varie prospettive, vista la diversa natura del segnale. Una netta minoranza di studi ha invece previsto l'analisi dell'attività cardiaca attraverso l'Elettrocardiogramma (ECG) o l'Heart Rate Variability (HRV).

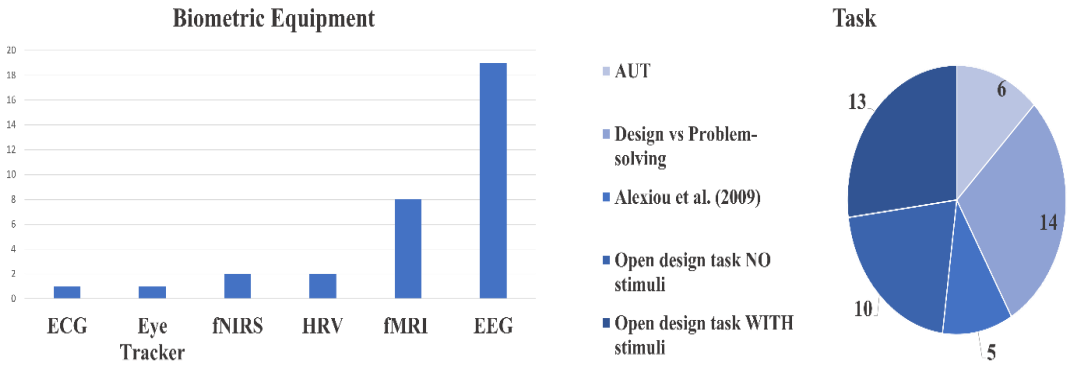

Figura 4: Strumenti biometrici e Task impiegati

Come detto in precedenza, non è stata fatta una ulteriore selezione degli articoli sulla base dei task proposti durante gli esperimenti; ne emerge, infatti, una grande varietà di task che può essere sintetizzata in alcune categorie principali. Tra i problemi di design più riproposti ci sono: l'Alternative Uses Task (AUT), in cui si chiede ai partecipanti di pensare ad usi originali di oggetti d'uso quotidiano, ed il task proposto in uno studio del 2009 (Alexiou et al., 2009), in cui si chiede ai partecipanti di disporre virtualmente l'arredamento in una camera secondo requisiti e vincoli ben precisi. La restante parte di task proposti sono diversi tra di loro e sono stati classificati in task con l'uso o meno di stimoli e problemi che consentono di distinguere le attività coinvolte nel processo di design senza vincoli rispetto al problem-solving.

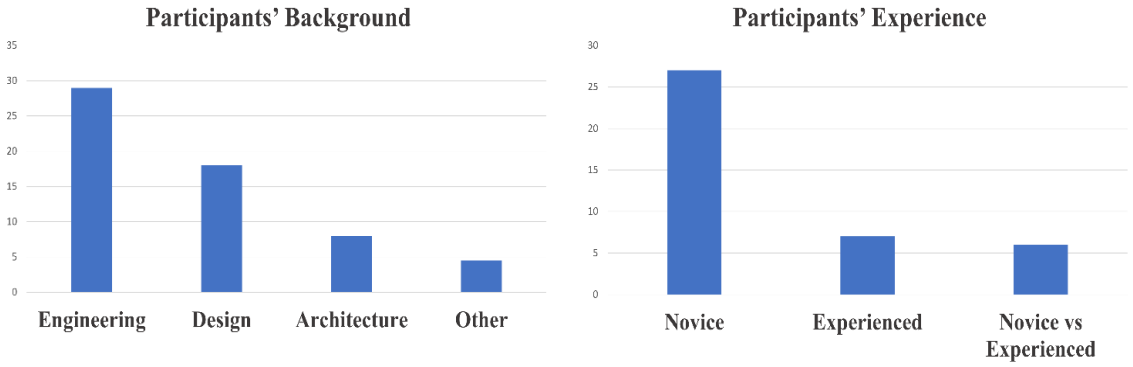

Figura 5: Formazione ed Esperienza dei partecipanti

Un'analisi più dettagliata è stata svolta in merito ai partecipanti agli studi. Per quanto riguarda il background dei partecipanti è abbastanza vario: si tratta perlopiù di ingegneri, seguiti da designer e architetti. Una ristretta minoranza di esperimenti ha coinvolto anche partecipanti con conoscenze relative all'ambito Informatico. Analizzando il livello di esperienza dei partecipanti, si è notato che la maggior parte degli esperimenti ha coinvolto soggetti privi di esperienza, ad esempio gli studenti, senza trascurare il fatto che un buon numero di studi ha approfondito le differenze che emergono mettendo a confronto i professionisti con i meno esperti. Non in tutti gli studi è stato specificato il background o il livello di esperienza dei partecipanti.

Dalla ricerca svolta sul ruolo degli stimoli nel Conceptual Design è emerso che il metodo più adottato per questo tipo di studi è quello degli esperimenti, mentre solamente un articolo illustra i risultati ottenuti da un questionario in tale ambito. Rispetto a tutti gli altri documenti, solo quattro esperimenti sul totale hanno fatto uso di dispositivi biometrici per la rilevazione dei segnali neurofisiologici. In tali esperimenti due variabili principali relative agli stimoli sono state investigate: la forma e la distanza analogica.

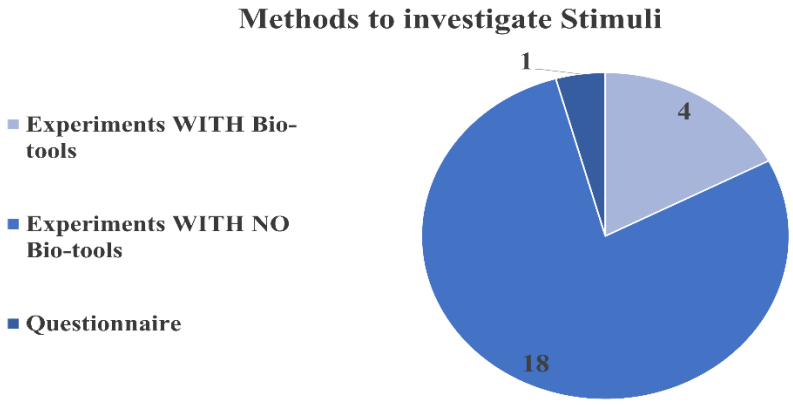

Figura 6: Metodi di indagine

Infine, la maggior parte dei lavori in letteratura ha confrontato l'impatto di stimoli con forme diverse e analogie di diversa distanza sulla generazione delle idee.

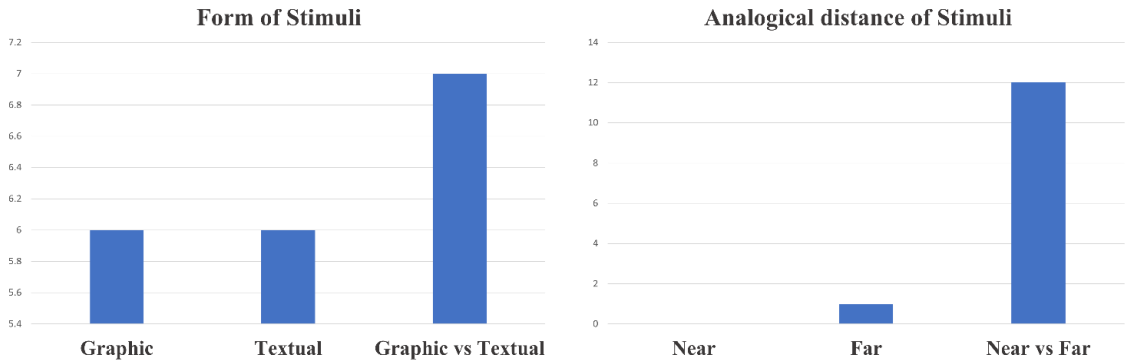

Figura 7: Forma e distanza analogica degli stimoli

2.1. Neuroscienze & Engineering Design

L'applicazione dei principi delle Neuroscienze Cognitive agli studi sull'Engineering Design è aumentata notevolmente negli ultimi anni, ma resta ancora molto debole.

I processi neurofisiologici più di interesse in tale ambito sono i fenomeni che avvengono a livello cerebrale e a livello cardiaco.
L'analisi delle attività cognitive è utile per riconoscere e studiare fenomeni riconducibili a stress, fatica, difficoltà e sforzo che si verificano durante diverse fasi della progettazione (Borgianni & MacCioni, 2020).
Per l'esecuzione di tali analisi è necessaria la rilevazione dei segnali a livello cerebrale che possono essere di varia natura; la tipologia del segnale dipende dal dispositivo usato. Per la registrazione delle attività cognitive possono essere usate diverse procedure, tra cui:

-Elettroencefalogramma (EEG): questa tecnica rileva, attraverso degli elettrodi disposti secondo un ordine ben definito sul cuoio capelluto, il flusso di corrente locale generato dall'attività elettrica dei neuroni.
Questa tecnica non è invasiva, ha un'alta risoluzione temporale (dell'ordine dei millisecondi) e bassa risoluzione spaziale (dell'ordine dei centimetri) (Balters & Steinert, 2017).

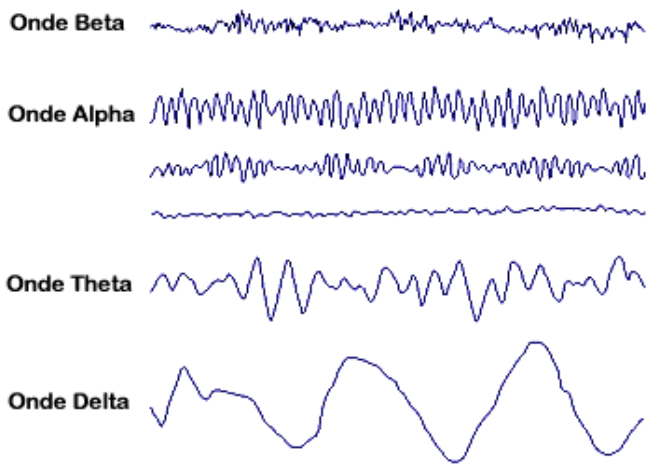

Figura 8: Forme d'onda segnale EEG. Fonte: bioneurofeedback.wordpress.com

-Risonanza magnetica funzionale (fMRI): sfrutta i diversi livelli di ossigenazione del sangue associati all'aumento dell'attività di una specifica regione cerebrale durante lo svolgimento di particolari funzioni cognitive (Alexiou et al., 2009). Anche questa tecnica non è invasiva, ha alta risoluzione spaziale (dell'ordine dei millimetri) e bassa risoluzione temporale (dell'ordine dei secondi) (Balters & Steinert, 2017).

-Eye tracking: questa procedura consente di rilevare le fissazioni oculari a cui sono associate variabili come durata, numero e frequenza e sono spesso analizzate durante lo studio dei livelli di attenzione di un individuo. Attraverso questa tecnica è possibile misurare la variazione del diametro delle pupille, associato ad interesse e attività cognitive (Borgianni & MacCioni, 2020).

L'analisi dell'attività cardiaca consente di studiare fenomeni quali eccitazione, agitazione o stress durante la progettazione (Borgianni & MacCioni, 2020). La rilevazione del segnale cardiaco può avvenire attraverso:

-Elettrocardiogramma (ECG), misura i cambiamenti del potenziale elettrico del cuore, con ampiezza fino a 10mV, attraverso degli elettrodi posizionati sulla

superficie del corpo. Contrariamente all'attività cerebrale, l'attività cardiaca viene studiata attraverso un segnale costituito da forme d'onda che si ripetono nel tempo; attraverso la frequenza delle onde, della loro durata e della loro forma si valuta la stabilità dell'attività cardiaca (Balters & Steinert, 2017).

-Heart rate variability (HRV), è un sensore di bio-feedback che consente di misurare variazioni degli intervalli di tempo tra battiti cardiaci consecutivi (T. A. Nguyen & Zeng, 2014).

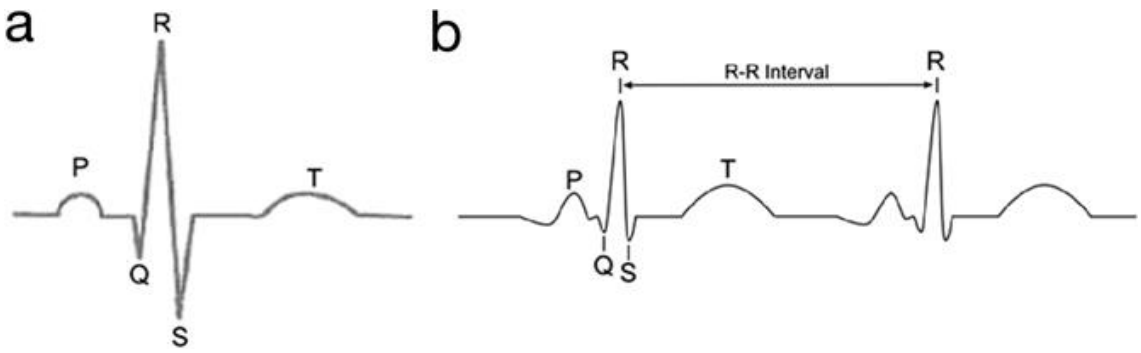

Figura 9: a. Forma d'onda del segnale ECG; b. Intervallo tra due battiti cardiaci. (Nguyen et al., 2014)

Infine, alcune ulteriori misure possono essere fatte in riferimento a cambiamenti degli stati emotivi di un soggetto. Tra queste la Skin Conductance (SC) è una grandezza misura la conducibilità elettrica cutanea sulla base del livello di idratazione della pelle, regolata dalle ghiandole sudoripare sotto il controllo del sistema nervoso simpatico. La sua unità di misura è il microsiemens (µS) ed è considerato un valido e stabile indicatore dello stress. La variabile che misura le variazioni di Skin Conductance è definita Galvanic Skin Response (GSR). Lo strumento usato per queste misurazioni è un sensore che dispone di elettrodi solitamente applicati alle regioni più sensibili del corpo, come le dita (Balters & Steinert, 2017).

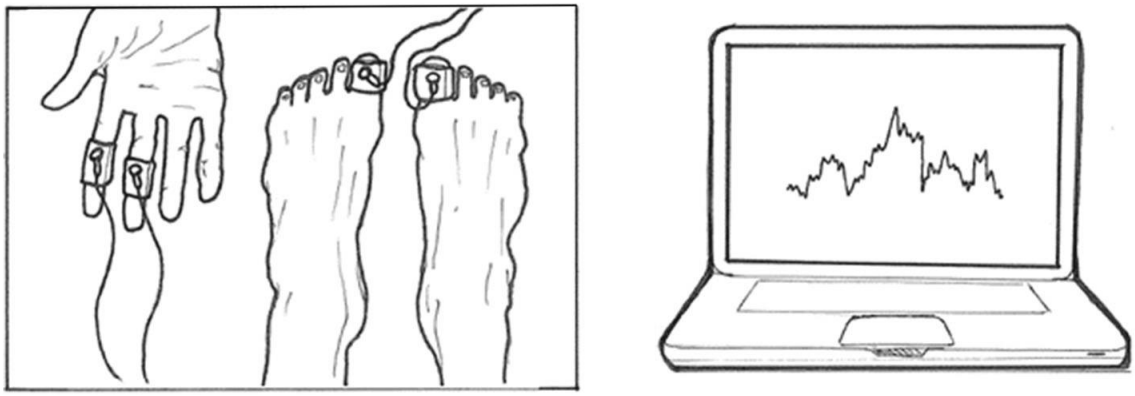

Figura 10: Misurazione GSR (Balters & Steiner, 2017)

2.1.1. Analisi dello spettro di frequenza del segnale EEG

Rispetto alla frequenza, il segnale EEG può essere distinto nelle seguenti bande: δ (0.5-3.5 Hz), θ (4-7 Hz), α (8-12 Hz), β (14-25 Hz). Variazioni del segnale EEG nelle varie bande di frequenza sono associate a diverse attività cognitive (Liu et al., 2018).

Dall'analisi dello spettro di frequenza emerge che la banda Beta2, Gamma1 e Gamma2 sono quelle più strettamente correlate alle attività di design (Liu et al., 2016).

Banda	**Frequenza (Hz)**
Theta	[4 8]
Alpha	[8 13]
Beta1	[13 20]
Beta2	[20 30]
Gamma1	[30 40]
Gamma2	[40 50]

Tabella 1: Banda di frequenza del segnale EEG, (Liu et al., 2016)

Confrontando la condizione di riposo con quella di generazione delle idee creative, si è notato un forte aumento dell'attività alfa durante le fasi di pensiero creativo e soprattutto durante lo svolgimento di task aperti, che indagano i processi di pensiero divergente, in cui i partecipanti hanno pensato a usi non comuni per oggetti d'uso quotidiano (Alternative Uses Task) rispetto a task con vincoli (Fink et al., 2009; Liu et al., 2018).

La rilevazione dell'attività alpha, durante lo svolgimento di un task, è associata ad un fenomeno di inattività corticale che comporta una ridotta elaborazione attiva delle informazioni e facilita l'attenzione top-down (attenzione diretta alle conoscenze pregresse (Fink et al., 2010; Katsuki & Constantinidis, 2014); in fase di generazione di nuove idee originali avviene l'inibizione dei processi cognitivi che non hanno un ruolo fondamentale per la risoluzione del task in oggetto (Fink et al., 2009; Jauk et al., 2012).

È dimostrato, infatti, che il livello di originalità delle idee e l'aumento dell'attività in banda alpha sono strettamente correlati: i partecipanti con maggiore attività di quest'ultima hanno generato le soluzioni più originali (Fink et al., 2010). Inoltre, è emerso che gli individui che producono le soluzioni più originali esibiscono una asimmetria in tale sincronizzazione di alpha, con maggiore attività nell'emisfero destro rispetto al sinistro (Fink et al., 2009).

In Figura la rappresentazione dei cambiamenti dell'attività alpha nel segnale EEG. I grafici a sinistra mostrano l'andamento della potenza del segnale nelle rispettive regioni cerebrali: AF, anteriofrontale; F, frontale; FC, frontocentrale; CT, centrotemporale; CP, centroparietale; PT, parietotemporale; PO, parietooccipitale. Nelle immagini di destra, invece, il colore blu indica un aumento

di attività in quelle regioni, il colore rosso invece un decremento. (Fink et al., 2009).

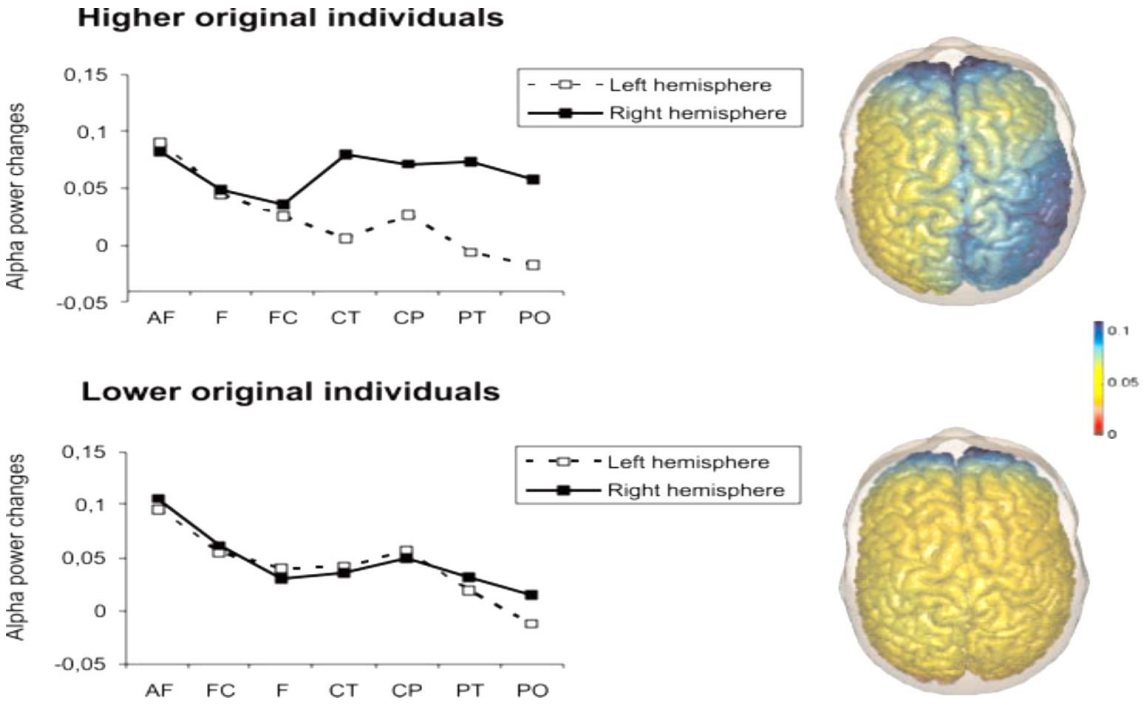

Figura 11: La figura mostra i cambiamenti del segnale in banda alpha durante AUT. (Fink, et al., 2009)

Ripetendo l'Alternative Uses Task si è notata, inoltre, maggiore sincronizzazione alpha nelle regioni corticali frontali e parietali (Jauk et al., 2012). Tali regioni, tra cui l'area parieto-temporali, favoriscono il recupero semantico dalla memoria ed i processi di attenzione interni (Fink et al., 2010). A conferma di quanto detto, infatti, durante le fasi di pensiero divergente un'elevata attività creativa è associata ad un aumento della potenza nell'onda alpha soprattutto nelle regioni frontali, parieto-temporali e occipitali dell'emisfero destro (Colombo et al., 2020; Jauk et al., 2012; Liu et al., 2018), mentre durante le fasi di pensiero convergente si è notata una riduzione dell'attività α ed un aumento di attività nella banda θ e β nelle regioni centro-temporali dell'emisfero sinistro (Liu et al., 2018). Infine, in letteratura è stata svolta un'ulteriore indagine attraverso il prelievo dei segnali biometrici, considerando come variabile di interesse il genere dell'individuo. Sono

emerse delle differenze nelle attivazioni dei rispettivi emisferi destro e sinistro di donne e uomini durante lo svolgimento di un problema di design. Negli uomini è stato rilevato un incremento della potenza α nella corteccia prefrontale destra, mentre nelle donne si è notata potenza θ nella corteccia prefrontale sinistra (S. L. da S. Vieira et al., 2021).

2.1.2. Attivazioni cerebrali in fMRI

La localizzazione delle funzioni cognitive che hanno luogo durante le varie fasi del Design può essere eseguita attraverso la tecnica della Risonanza magnetica. Gli studi che hanno usato questo strumento per approfondire i fenomeni neurologici che avvengono durante la progettazione hanno evidenziato l'attivazione di una regione cerebrale detta corteccia prefrontale (PFC) (Alexiou et al., 2009; Goucher-Lambert et al., 2018; Pidgeon, n.d.), che svolge alcune funzioni esecutive importanti durante la generazione di idee creative tra cui tra cui l'aggiornamento della memoria di lavoro, inibizione di idee irrilevanti, monitoraggio e selezione delle idee generate (Pidgeon, n.d.).

Scendendo più nel dettaglio, si è notato che la parte mediale di questa regione (corteccia prefrontale mediale, mPFC) si attiva in modo particolare durante la generazione di nuovi concept, indipendentemente da quanto sia strutturato il problema di design. L'attivazione di tale area sembra essere alla base dei fenomeni di elaborazione socio-emotiva, come ad esempio l'empatia cognitiva o l'assunzione di nuove prospettive. La costante attivazione della mPFC durante la risoluzione problemi di generazione di nuovi concept di prodotto per persone con disabilità (non vedenti, anziani etc.) fa ipotizzare che fenomeni come l'empatia cognitiva si

verificano anche durante le prime fasi del processo di Design. Questa regione cerebrale, in realtà, risulta coinvolta anche in fenomeni di recupero in memoria e associazioni di idee, oltre che all'immaginazione di possibili eventi futuri; quindi, la sua attivazione potrebbe essere dovuta al fatto che un designer, nel generare un nuovo concept, sfrutta l'immaginazione per visualizzarne a mente il possibile uso(M. Hu et al., 2021).

Una ulteriore analisi può essere svolta suddividendo la PFC in due parti: una relativa all'emisfero destro e la rimanente regione appartenente all'emisfero sinistro. In generale l'area destra della PFC risulta particolarmente coinvolta nelle fasi di pensiero divergente (M. Hu et al., 2021; Milovanovic et al., 2021) e la sua sincronizzazione è positivamente correlata al grado di originalità delle idee generate (Fink et al., 2009). All'interno di quest'area, la regione dorsolaterale della corteccia prefrontale destra (DLPFC) è associata alla risoluzione di problemi poco strutturati (ill-structured) ed alle fasi di pensiero divergente visivo-spaziale (Milovanovic et al., 2021; Pidgeon, n.d.).

In realtà l'attivazione di tale area è stata registrata anche durante lo svolgimento di task "problem-solving", associati a modalità di pensiero convergente. È emerso infatti che l'attività cerebrale della DLPFC sia direttamente correlata alla quantità di ipotesi alternative valutate prima di giungere all'unica soluzione finale del problema. Un esperimento condotto su un architetto professionista con una lesione in questa area cerebrale ha evidenziato, inoltre, la difficoltà del partecipante nella "trasformazione laterale" durante la risoluzione di un task "problem-solving", ovvero nel passaggio da un'idea all'altra, funzione per cui la DLPFC risulta avere un ruolo rilevante (Alexiou et al., 2009).

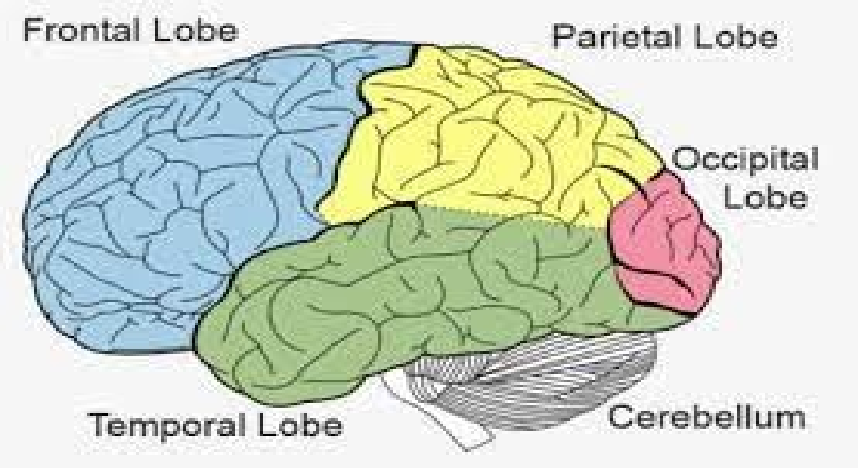

Figura 12: Suddivisione delle aree della corteccia cerebrale (www.kindpng.com)

La regione ventrolaterale (VLPFC), invece, ha un ruolo importante in fase di valutazione di un problema, più che nella sua risoluzione, e nell'esplorazione dello spazio delle potenziali soluzioni (Milovanovic et al., 2021). Per quanto riguarda l'emisfero sinistro è maggiormente coinvolto nelle fasi di pensiero convergente: quest'area si occupa della formulazione di giudizi analitici e della pianificazione (M. Hu et al., 2021; Milovanovic et al., 2021).

Infine, la PFC comprende anche la corteccia cingolata anteriore (ACC) che coordina e modula l'elaborazione delle informazioni in diverse aree cerebrali, oltre a collaborare con le altre aree della PFC durante lo svolgimento di task che comporta un intenso sforzo cognitivo. In realtà, non si conoscono ancora con chiarezza i ruoli delle distinte aree che compongono la PFC, ma l'ipotesi più comune è quella secondo cui l'ACC supporta la selezione di risposte adeguate o comportamenti appropriati mentre l'area laterale della PFC genera nuove "schemata" (obiettivi) per la risoluzione dei task (Alexiou et al., 2009).

Durante la fase di concept generation un ruolo importante è ricoperto anche dalla regione temporale. La regione temporale inferiore posteriore sinistra svolge la funzione di elaborazione delle informazioni verbali (Fink et al., 2009). In

particolare, la circonvoluzione (giro) temporale superiore, è associata alle intuizioni creative, cioè alla risoluzione istantanea ed inaspettata di un task (Hay et al., 2019). Il compito dell'area corticale invece non è ancora stato approfondito in letteratura nell'ambito del pensiero creativo. In generale questa regione potrebbe essere coinvolta nei processi di immaginazione mentale che si svolgono durante il processo di progettazione (Fink et al., 2009).

In ultima analisi, in fase di progettazione creativa è stata rilevata l'attività dell'ippocampo e della corteccia para-ippocampale, aree associate all'elaborazione mnemonica, ovvero il recupero dalla memoria di episodi personalmente vissuti in passato. Tali ricordi, se correlati al contesto del problema di design, possono facilitare la generazione di idee creative facendo riferimento a dettagli di eventi avvenuti precedentemente. A consentire tale processo è la regione del nucleo talamico mediodorsale, la cui attivazione è stata rilevata tramite fMRI, la quale trasmette input alle regioni cerebrali adibite all'elaborazione della memoria, tra cui l'ippocampo e la regione prefrontale (Pidgeon, n.d.).

2.1.3. Stress mentale in fase di progettazione

In ultima analisi, dalla rilevazione del segnale EEG è possibile misurare lo sforzo mentale, definito come l'uso complessivo delle risorse cognitive durante lo svolgimento delle attività. È emersa una certa correlazione tra lo sforzo mentale e la novità e la qualità delle soluzioni dei partecipanti; per tale motivo lo sforzo mentale viene talvolta considerato un indicatore di creatività: maggiore è lo sforzo di un designer nel generare nuove soluzioni e più quelle soluzioni saranno creative(T. A. Nguyen & Zeng, 2014).

Lo stress mentale, invece, è la risposta fisiologica ad una situazione di disagio o pericolo e può essere misurato attraverso l'analisi dell'andamento della frequenza cardiaca (HRV). Sotto l'ipotesi che un livello di stress mentale molto basso o molto alto implica un livello di creatività minimo (vedi figura), e che tale relazione tra le due grandezze è indipendente dal design task svolto dal partecipante, è emerso che durante il processo di progettazione i designer spendono poco tempo sotto livelli di stress molto alti. Quando il livello di stress mentale è medio-basso, lo sforzo mentale raggiunge il suo picco massimo (T. A. Nguyen & Zeng, 2014). Infine, è stato rilevato che il livello di sforzo mentale raggiunge livelli molto alti in particolar modo all'inizio e alla fine del processo di design (P. Nguyen et al., 2018).

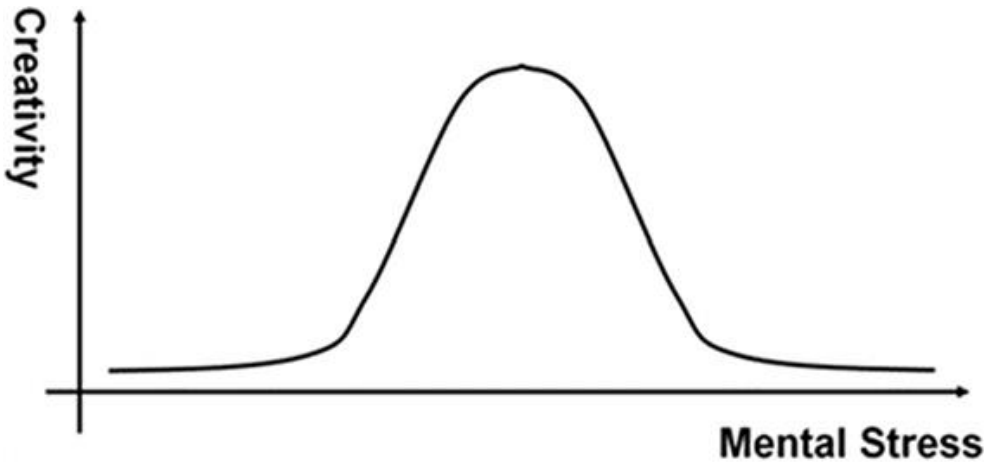

Figura 13: Relazione tra la Creatività nel Design e lo stress mentale. (Nguyen & Zeng, 2014)

È possibile, inoltre, studiare come cambia il carico di lavoro mentale, quindi l'impiego delle risorse cognitive, man mano che i designer svolgono attività più difficili, che comportano un livello di fatica maggiore. Si è notato che all'aumentare della fatica diminuisce l'attività in banda β, mentre aumenta la potenza dell'onda θ nelle regioni frontali e dell'onda α nelle regioni parietali (Liu et al., 2018).

Sfruttando la potenza della banda Beta2 del segnale EEG per misurare lo sforzo cognitivo e la "skin conductance" come indicatore dello stress mentale si è trovato che lo stress indotto ai partecipanti durante lo svolgimento delle attività di design si protrae anche dopo la conclusione di tali attività. Inoltre, è emerso che lo stress e lo sforzo mentale possono influire sulle attività autovalutazione che a volte svolgono i partecipanti al termine o durante degli esperimenti; pertanto, l'affidabilità delle valutazioni potrebbe risultare compromessa se il partecipante accusa un livello di stress molto alto (T. A. Nguyen & Zeng, 2017).

Da sondaggi pre e post esperimento è chiaro che lo stress mentale viene accusato dai partecipanti durante tutto il processo di progettazione ma, diminuisce man mano durante le fasi successive del processo di design (Nolte & McComb, 2020).

Non mancano le contraddizioni nella definizione delle variabili neurofisiologiche valutate nei vari studi. In letteratura, infatti, a proposito dello stress e dello sforzo mentale è stata definita un ulteriore grandezza: il carico cognitivo. Tale parametro misura il carico che un particolare task impone al sistema cognitivo e dipende non sono dalle caratteristiche del task, ma anche da quelle dell'individuo oltre che dalle interazioni tra entrambi; una stima del carico cognitivo può essere fatta attraverso la valutazione dello sforzo mentale. Dalla relazione tra lo sforzo mentale e la performance del singolo individuo, in termini di creatività, deriva l'efficienza cognitiva, definita come la capacità di un individuo di ottimizzare l'uso delle risorse cognitive durante attività di problem-solving. Un designer è efficiente dal punto di vista cognitivo se produce soluzioni molto creative col minimo sforzo mentale (Sun & Yao, 2012).

Analizzando i valori di questi parametri con riferimento al livello di esperienza dei partecipanti, gli esperti dimostrano di aver sviluppato maggiore efficienza

cognitiva rispetto ai non esperti grazie a fattori come maggiore motivazione, maggiore capacità della working-memory, oltre che alle conoscenze pregresse. Inoltre, i professionisti accusano livelli di sforzo mentale più alti in quanto, grazie alle loro esperienze precedenti, hanno migliori capacità di comprensione dei requisiti e di identificazione delle relative contraddizioni rispetto a chi invece è un principiante (M. Hu et al., 2021; Sun & Yao, 2012). Indipendentemente dagli anni di esperienza, si è notato che, all'aumentare della difficoltà dei task, aumenta il livello di carico cognitivo di tutti i partecipanti a causa del maggiore sforzo della memoria di lavoro (Blaize Majdic et al., 2017).

Analizzando il livello di impegno/coinvolgimento di ciascun partecipante ed il relativo numero di fasi di distrazione, emerge che i soggetti più innovativi potrebbero risultare più stressati durante le fasi convergenti, mentre i meno innovativi potrebbero far fronte ad un livello di stress più alto durante le fasi divergenti (Steinert & Jablokow, n.d.).

2.2. Le variabili della progettazione

Tra le variabili sperimentali analizzate negli studi svolti in letteratura si è notato che il tempo e l'esperienza ricoprono un ruolo fondamentale.

Il fattore tempo può essere analizzato sotto due diversi aspetti. Infatti, può essere inteso come l'intervallo di tempo di cui i partecipanti dispongono per la risoluzione dei task durante l'esperimento, ma anche come l'istante, rispetto al processo di progettazione, in cui le fonti di ispirazione pervenute ai partecipanti hanno maggiore impatto sulla creatività.

Anche la variabile esperienza ha diverse possibili interpretazioni e accezioni. In questo documento sono confrontati i risultati sull'esperienza intesa sia come esperienza di contesto sia come conoscenze e abilità dei progettisti acquisite in passato. Infine, si illustrano i risultati sull'effetto del background di studi e conoscenze dei partecipanti sul processo di Design.

2.2.1. La variabile Tempo

Come detto in precedenza la variabile tempo ha due diverse prospettive. Numerosi studi in letteratura, considerando il tempo che i partecipanti hanno avuto a disposizione per risolvere i problemi di design, hanno proposto di modificare negli esperimenti successivi le tempistiche di svolgimento dei task per accertarsi che i risultati ottenuti alla fine non dipendano dal limite temporale (Goucher-Lambert et al., 2019; Liu et al., 2018; Sun & Yao, 2012).

Studiando l'influenza del fattore tempo, inteso come l'istante in cui avviene l'ispirazione, è emerso che i progettisti che hanno già iniziato a lavorare su un problema di design senza averlo risolto, non avendo ancora una soluzione ufficiale, danno vita ad un "open goal": nelle fasi successive, anche quando non stanno attivamente lavorando al problema, ad esempio nei periodi di pausa, acquisiscono implicitamente informazioni anche rilevanti che siano fonte d'ispirazione per instaurare nuove analogie e giungere a delle soluzioni. Si è notato che la capacità di costruire connessioni tra informazioni e problema, a parità di informazioni, aumenta se tali stimoli o info vengono recepiti dopo che si è istaurato un open goal, cioè dopo aver concepito il problema senza ancora averne trovato una soluzione. Un aumento della sensibilità alla rilevazione di nuove e rilevanti informazioni si verifica quando i progettisti giungono ad un "impasse" sul problema, cioè hanno difficoltà a trovare delle soluzioni o vie d'uscita (Tseng et al., 2008).

In ultima analisi è stato dimostrato che il momento migliore in cui cercare attivamente ispirazione dalle analogie è dopo aver iniziato a lavorare sul problema; in quel periodo di tempo inoltre, gli stimoli distanti, risultano essere i più efficaci (Tseng et al., 2008), migliorando la "fluency" delle idee generate (Goucher-Lambert et al., 2018). Invece le analogie molto vicine influenzano il processo di problem solving anche quando vengono fornite prima ancora del problema (Tseng et al., 2008); ma l'istante in cui queste vengono presentate può influenzare quanto frequentemente poi sono coinvolte nella risoluzione di un problema open-ended (Linsey et al., 2012).

2.2.2. La variabile Esperienza

La creatività è un fattore molto importante nel Design e talvolta viene valutata attraverso la novità e l'utilità delle nuove idee, al fine di studiare l'effetto dell'esperienza sui task di design. L'esperienza, infatti, consente di accumulare conoscenza tacita che influenza poi l'approccio dei designer alla progettazione.

A tal proposito, si distingue il concetto più generale di *esperienza,* che consente di migliorare le abilità di design e diventare esperti nella progettazione, dall'*esperienza di contesto,* che si concretizza nella familiarità con un certo tipo di problemi di design grazie ad esperienze realmente vissute in prima persona dal progettista in tale ambito.
Un esperto, infatti, può avere le competenze adeguate alla progettazione di un certo prodotto, ma potrebbe non possedere poi la conoscenza necessaria per usare il prodotto, che deriva dall'esperienza concreta (esperienza contestuale/ di contesto). Per questo, chi invece è senza esperienza, come ad esempio un designer alle prime armi, sfrutta le esperienze personali pregresse per avere intuizioni sulle modalità di risoluzione dei problemi. Nonostante queste distinzioni, in letteratura si è approfondito l'impatto dell'esperienza confrontando esperti di design con inesperti, senza considerare gli effetti dell'esperienza di contesto (W. L. Hu & Reid, 2018).

Probabilmente la difficoltà nell'indagare questi ultimi effetti è dovuta al fatto che questa tipologia di esperienza dipende molto dalla conoscenza tacita, difficile a sua volta da misurare e articolare in modo adeguato. Uno studio ha analizzato l'influenza dell'esperienza di contesto attraverso un indicatore che misura il livello di distrazione dei progettisti attraverso l'analisi del segnale EEG, prelevato durante lo svolgimento dei task di design. L'indicatore è stato definito basandosi

sul fatto che lo stato di distrazione o attenzione defocalizzata è strettamente correlato al pensiero creativo nel Design. Ne è emerso che i designer con esperienza contestuale tendono a essere più focalizzati sulle loro esperienze pregresse; quindi, meno distratti e generano idee meno nuove rispetto ai designer senza esperienza concreta che, invece, hanno fatto riferimento non solo a possibili esperienze rilevanti fatte in passato, ma anche a idee molto remote che hanno aumentato il loro livello di distrazione e quindi di creatività (W. L. Hu & Reid, 2018).

Altri studi hanno indagato sull'influenza che ha la professionalità, esperienza più in generale, sui processi cognitivi coinvolti durante le fasi di design. Nel caso dei progettisti senza esperienza è stata rilevata un'attività più duratura nelle regioni frontali, mentre negli esperti si è evidenziata attività più duratura nelle regioni temporali oltre ad aver registrato livelli di potenza maggiori su tutti i canali EEG (S. Vieira et al., 2020). Inoltre, si è notato che gli esperti generano maggiore varietà di idee con un più alto livello di qualità rispetto ai meno esperti e che l'esperienza ha un effetto positivo su varietà e qualità delle idee, rispetto alla novità e la quantità (Sun & Yao, 2012).

Un'ulteriore analisi può essere svolta rispetto alle differenze di background dei partecipanti; quindi, come cambiano i processi cognitivi in base ai vari ambiti del Design in cui i professionisti si sono specializzati (ad esempio Ingegneria, Design, Architettura etc.). Da un confronto tra ingegneri e architetti sono emerse delle differenze nell'approccio al design thinking: mentre i primi seguono un approccio di ottimizzazione verso un obiettivo in particolare, i secondi usano più che altro un approccio intuitivo (Todoroff et al., 2021). Inoltre, sugli ingegneri, durante il design, è stata rilevata un'intensa attività cerebrale nella regione della corteccia prefrontale sinistra, mentre negli architetti le regioni temporale e occipitale

dell'emisfero destro sono le aree cerebrali particolarmente coinvolte (S. Vieira et al., 2019).

Infine, un altro confronto è stato fatto tra ingegneri e designer sulla base dell'analisi dell'attività EEG e dei risultati emersi dall'impiego dell'Eye tracker. È emerso che nei designer i processi cognitivi che supportano le fasi di pensiero divergente, in cui è importante allontanare la mente dal contesto concreto in cui ci si trova, sono più robusti rispetto a quanto rilevato negli ingegneri. Probabilmente ciò è dovuto al percorso educativo dei designer, che risultano più allenati nell'uso di strumenti grafici e specializzati a lavorare sotto particolari attivazioni e processi cognitivi che stanno alla base dell'attività di generazione di nuove idee (Colombo et al., 2020).

2.3. Gli stimoli d'ispirazione: supporto ai progettisti durante la fase di Idea generation

Si definisce *ispirazione* lo stimolo mentale a fare qualcosa di creativo. Nell'ambito del Design, l'ispirazione è definita come il processo di integrazione di diverse forme di informazione al fine di generare soluzioni creative a problemi esistenti (Gonçalves et al., 2014).

La prima fonte di ispirazione, durante la generazione di nuove idee, è rappresentata dalle proprie esperienze passate: si recuperano dalla memoria ricordi personali per formulare nuove soluzioni indipendentemente da quanto inesplorato sia il problema; la conoscenza passata viene trasformata per generare nuova conoscenza. La ricerca di fonti d'ispirazione è un processo attivo, se la ricerca avviene deliberatamente su internet, libri o tramite altre fonti, ma può avvenire passivamente se l'ispirazione giunge al progettista in modo casuale. Esempi di progettazione, immagini, documenti, brevetti, natura e opere d'arte possono essere motivo d'ispirazione (Gonçalves et al., 2014); ciascuno di questi ricopre il ruolo di stimolo.

Gli stimoli sono una serie di informazioni che giungono al progettista; una volta percepite e comprese, possono avere una influenza positiva, negativa o neutrale sulla progettazione (Gonçalves et al., 2016).
È necessario distinguere gli stimoli dalle analogie. Le potenziali fonti d'ispirazione sono definite come stimoli; il termine analogia si riferisce, invece, alla connessione (relational mapping) tra lo stimolo ed il problema di design che il progettista stesso crea nel momento in cui trova utile quello stimolo alla generazione di nuove idee. La connessione tra stimolo(source) e problema (target) avviene durante un processo definito "analogical reasoning" (Goucher-Lambert et al., 2018).

Gli stimoli possono provenire dalla memoria a lungo termine del progettista, ed in tal caso sono definiti stimoli interni, mentre gli stimoli esterni solitamente vengono forniti intenzionalmente ai designer o sono da loro stessi ricercati nell'ambiente esterno in cui si trovano (Gonçalves et al., 2016).

Qualora gli stimoli esterni non vengano intenzionalmente forniti, i progettisti recuperano stimoli interni dalla loro memoria. L'ispirazione attraverso stimoli interni, infatti, prevede che i designer costruiscano associazioni o analogie tra il problema di design e conoscenze o esperienze pregresse accumulate in passato durante lo svolgimento di attività creative. Nel tempo i designer tendono a immagazzinare in memoria rappresentazioni o concept, che possono diventare fonte di innovazione nell'ambito della progettazione. Probabilmente a causa della mancata esperienza, la quantità di concepts immagazzinati in memoria e "pronti all'uso" è molto alta nei professionisti rispetto agli studenti o a chi è ancora alle prime armi (Borgianni et al., 2020).

Le variabili associate agli stimoli sono la distanza analogica e la forma.
La *distanza* dipende da quanto lo stimolo è vicino o lontano rispetto al contesto del problema di riferimento; la sua definizione dipende dalla somiglianza superficiale e dalla somiglianza strutturale tra source (stimolo) e target (problema) (L. Jia et al., 2020).
La somiglianza superficiale si riferisce alla similarità in termini di attributi o apparenza, ad esempio una bicicletta ed un paio di occhiali potrebbero risultare simili se osservati da una certa prospettiva, ma la loro struttura in realtà è molto differente. La somiglianza strutturale si valuta rispetto al sistema di relazioni incluse nello stimolo e nel problema: ad esempio la struttura di un atomo e quella del sistema solare comportano una simile configurazione di oggetti, ma non hanno

nessuna somiglianza all'apparenza. Per tali motivi, i designer hanno difficoltà a riconoscere informazioni utili da esempi passati se tra il problema e queste informazioni non c'è somiglianza in apparenza, ma c'è similarità nella struttura (ad esempio nelle funzioni da soddisfare) (Tseng et al., 2008).

In letteratura sono state fornite diverse interpretazioni di distanza analogica e di analogia "near" o "far".

Si definiscono analogie "vicine" le associazioni in analogia tra due entità che appartengono alla stessa categoria di prodotto; analogie a media distanza, associazioni tra due diverse categorie di prodotto ed analogie distanti le associazioni tra una categoria di prodotto ed una categoria di "non prodotto" (Chai et al., 2015).

Un'ulteriore classificazione definisce l'analogia vicina come l'associazione tra target e source dell'analogia quando stimolo e problema appartengono allo stesso dominio o a domini simili, mentre un'analogia distante si riferisce al caso in cui sorgente e target dell'analogia appartengono a domini differenti (L. Jia et al., 2020).

La distanza analogica, nel Design, è stata definita sia come la similarità tra due sistemi in termini di funzioni, sia come l'affinità tra la categoria di prodotto e l'industria (Fu et al., 2013).

Un esempio di stimoli "vicini" sono gli elementi di progetti passati o di soluzioni simili a quelle del problema di progettazione. Questa forma d'ispirazione consente di espandere lo spazio di ricerca, generando un pool di soluzioni creative più ampio, ma può causare il fenomeno della "fixation" (Gonçalves et al., 2014, 2016). Con il termine "fixation" s'intende la difficoltà dei designer a produrre idee innovative quando sono esposti a rappresentazioni grafiche, come immagini di

soluzioni già esistenti, in quanto non riescono a generare soluzioni alternative al problema di design e tendono a replicare, in modo inappropriato, le caratteristiche chiave dei concept passati (Cardoso & Badke-Schaub, 2011).

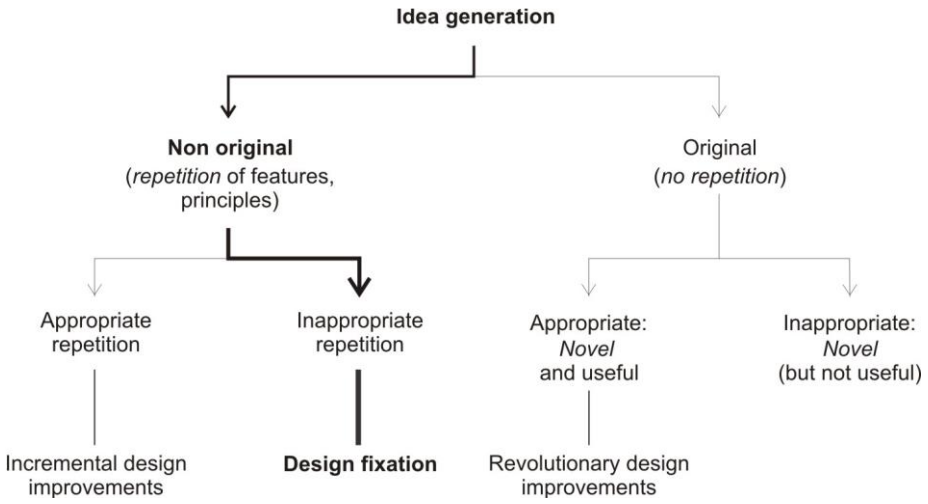

Figura 14: Possible outcomes of an idea generation process. (Cardoso & Petrabadke-Schaub, 2011)

Nel confronto tra stimoli vicini e distanti, si è notato che entrambe le tipologie gli stimoli influenzano positivamente il livello di creatività delle idee generate rispetto alla condizione in cui nessuno stimolo è fornito: ciò dà una prova del ruolo fondamentale degli stimoli a sostegno della generazione di nuove idee, ma non consente di esprimere un giudizio su quale tipologia di stimolo sia più efficace (Malaga, 2000).

Da uno studio è emerso che gli stimoli "vicini" supportano i designer nella generazione di idee con un maggior livello di novità e di qualità, oltre che di varietà, ma non influenzano la quantità di idee generate (L. Jia et al., 2020). Probabilmente le idee più creative sono generate facendo affidamento sugli stimoli più vicini, perché risulta difficile ai progettisti sfruttare gli stimoli distanti per la generazione di nuovi concept (Chan et al., 2015). Infatti, si è notato che le

analogie “distanti” risultano più difficili da recuperare in memoria a causa del loro elevato livello di astrazione (Chai et al., 2015).

Altri ricercatori in letteratura hanno dimostrato che nella condizione con stimoli vicini i partecipanti hanno generato un maggior numero di concept rispetto a quanto fatto con stimoli distanti (Chai et al., 2015; Goucher-Lambert et al., 2018).
Sul grado di novità delle idee emergono invece delle contraddizioni: è stata rilevata, infatti, una correlazione positiva tra il livello di novità delle idee e la distanza analogia, affermando che l’aumento della distanza tra lo stimolo ed il dominio del problema supporta la generazione di idee più nuove (Chai et al., 2015; Srinivasan et al., 2018). Sulla qualità delle soluzioni, invece, diversi studi sono d’accordo sul fatto che esiste una correlazione negativa tra qualità e distanza analogica; è emerso che l’uso di analogie più vicine favorisce la generazione di idee con un più alto livello di qualità (Chai et al., 2015; Chan et al., 2015; L. Jia et al., 2020; Srinivasan et al., 2018).

In conclusione, se gli stimoli vicini portano a soluzioni con maggiore qualità e minore novità, mentre gli stimoli lontani supportano la generazione di idee con maggiore novità e minore qualità (Srinivasan et al., 2018), allora potrebbe esistere un livello di distanza intermedia detto “Sweet spot” per stimoli che supportino la generazione di idee ad alta novità e alta qualità (Fu et al., 2013).

La *forma* degli stimoli invece dipende dalla tipologia di rappresentazione: grafica, testuale, prototipi (Gonçalves et al., 2014).

Gli stimoli di forma grafica comprendono disegni, fotografie, immagini, sketches o stimoli visivi dall’ambiente esterno la cui complessità e ricchezza di dettagli

possono influenzare il potenziale creativo (Goldschmidt & Smolkov, 2006). In letteratura è emerso che durante lo svolgimento di un problema "ill-structured" di progettazione, con un breve intervallo di tempo a disposizione, gli stimoli visivi influenzano positivamente la qualità e creatività delle idee (Casakin, 2010; Goldschmidt & Smolkov, 2006), contrariamente a quanto detto in altri studi secondo cui tali stimoli favoriscono l'insorgere di analogie non-ovvie (la non ovvietà è misurata qualitativamente come la distanza tra il significato associato allo stimolo e le idee generate) durante l'idea generation, ma non migliorano la creatività delle soluzioni (Borgianni et al., 2020).

Tra gli stimoli di forma grafica si possono fare ulteriori distinzioni sulla base della ricchezza dei contenuti distinguendo sketch, bozze e disegni a matita da immagini e fotografie ricche di dettagli. Si è notato che entrambe le tipologie di stimoli grafici causano la ripetizione di alcuni attributi nelle idee finali generate, ma i disegni e gli schizzi sono stati percepiti come stimoli più astratti e hanno favorito la generazione di concept con un maggior livello di novità rispetto alle idee generate sfruttando stimoli come le foto. Dunque, gli esempi più astratti, relativi ad ambiti differenti da quello del problema, potrebbero supportare la generazione di idee più "nuove" ed originali, mentre esempi di soluzioni reali e concrete possono causare fixation (Cardoso & Badke-Schaub, 2011). Inoltre, è emerso che stimoli come immagini familiari, che si riferiscono alla vita quotidiana, tendono incrementare il livello di varietà nella progettazione ma con ripetizione inappropriata di alcune caratteristiche, mentre le rappresentazioni non familiari non hanno nessun effetto sulle idee generate (Purcell & Gero, 1992).

Da un'indagine sul ruolo degli sketch in fase di progettazione è emerso che per i designer esperti non è fondamentale mettere su carta le proprie idee, perché ciò

non comporterebbe cambiamenti nei risultati ottenuti, né nei processi cognitivi, né nel collegamento e nella coerenza tra le diverse idee generate (Bilda et al., 2006). D'altro canto, si è anche dimostrato che gli architetti preferiscono rappresentare le loro idee su carta perché questo consente loro di ispezionare la loro idea iniziale e poi apportare delle modifiche o delle correzioni; in questo caso sembra quindi che gli sketch aiutino il designer ad accedere a nuove immagini e figure nella loro mente che possano ispirare nuove idee (Suwa & Tversky, 1997).

Gli stimoli di forma testuale, come parole o frasi, differiscono dagli stimoli grafici perché mentre l'esposizione a stimoli visivi può causare "fixation" e ostacolare la ricerca di nuove immagini, la "contemplazione" di una frase o di una parola lascia libero il progettista nello spazio di ricerca di nuove immagini, nonostante questo dipenda dal processo di traduzione della parola in una immagine che il designer fa e dalla sua interpretazione (Goldschmidt & Sever, 2011).
Tra gli stimoli di forma testuale rientrano anche la stesura di un testo o la descrizione di un'idea; queste ultime, a loro volta, possono essere strettamente correlate o meno al contesto del problema di design. L'esposizione a nuove idee migliora l'originalità delle idee in fase di concept generation a confronto con la condizione senza stimoli in cui nessun progetto creativo è stato prodotto (Goldschmidt & Sever, 2011).

Gli stimoli testuali supportano la generazione di una maggiore quantità di idee distinte, anche se la maggiore quantità di idee in assoluto è stata prodotta quando ai partecipanti sono state fornite combinazioni di stimoli di forma diversa (Borgianni et al., 2020). Quanto affermato è in contrasto con altri risultati secondo cui la forma degli stimoli non influenza la quantità delle idee generate (Malaga, 2000). In un altro studio gli stimoli testuali e quelli grafici non hanno

influenzato la qualità e l'originalità delle idee; ciò fa sì che non sia ancora possibile definire quale sia la forma di stimoli più adatta a scopo industriale. In ogni caso è raccomandabile che i potenziali strumenti di design futuri non sovraccarichino i progettisti di stimoli perché questo potrebbe avere conseguenze negative sul loro livello di stress mentale e quindi sull'intero processo di progettazione (Borgianni et al., 2020).

Anche i report tecnici in forma testuale o grafica potrebbero rappresentare una forma alternativa di stimoli. Alcuni metodi, che fanno da guida in fase di Conceptual Design, prevedono l'uso di specifiche rappresentazioni che supportano il processo di generazione di idee e comprendono una grande quantità di informazioni utili sui concept ideati, che potrebbero essere sfruttate successivamente in fase di aggiornamento o miglioramento del prodotto. Dal confronto tra l'uso di una struttura delle funzioni, una mappa morfologica (funzioni vs soluzioni) ed un grafico ad albero (con una gerarchia di problemi e soluzioni alternati) è emerso che tutte le rappresentazioni hanno influenzato positivamente la varietà delle soluzioni fornite, ma che ciascuna di esse ha portato il partecipante a generare nuove idee seguendo percorsi diversi (Cascini et al., 2020).

Anche dal confronto tra stimoli di diversa forma emergono delle contraddizioni. Si è notato che l'uso di stimoli grafici da soli o in combinazione con stimoli testuali consente di raggiungere un livello più alto di creatività rispetto a quando sono forniti solo stimoli testuali. Ciò potrebbe essere dovuto al fatto che, contrariamente a quanto detto in precedenza, sarebbero gli stimoli testuali a causare fixation, mentre gli stimoli visivi sembrano alleviarne gli effetti (Malaga, 2000); anche se sembra che la combinazione di stimoli di forma diversa sia il

modo più efficace per prevenire la ripetizione inappropriata di soluzioni precedenti rispetto alla somministrazione di una unica tipologia di stimoli (grafico o testuale) (Gonçalves et al., 2016).

Tra le varie forme, la preferenza dei designer è orientata sugli stimoli grafici come ad esempio immagini, schizzi, disegni in quanto lo sforzo mentale richiesto per accedere e immagazzinare questo tipo di informazione è minore rispetto a quello richiesto dalle informazioni testuali che, al contrario, consentono di esprimere anche concetti più astratti, richiedendo tempi di comprensione più lunghi e comportando una maggiore ambiguità nella interpretazione che potrebbe portare a risultati più creativi (Bi et al., 2015; Gonçalves et al., 2016).

2.3.1. Stimoli & Neuroscienze

Anche il ruolo degli stimoli è stato indagato in Design attraverso l'approccio delle Neuroscienze per analizzare gli effetti della stimolazione cognitiva a livello cerebrale.

La stimolazione cognitiva, nel contesto del pensiero creativo, è un processo che può avvenire, ad esempio, fornendo ai designer le idee generate da altre persone, come avverrebbe normalmente durante una sessione di brainstorming; dalla letteratura sulla creatività emerge che i processi di scambio e condivisione delle idee migliorano le performance creative, in quanto ogni singola idea o soluzione che una persona genera, in risposta ad uno specifico problema, stimola nuove idee e soluzioni in altre persone. Rispetto a quanto detto prima, anche le idee di altre persone rientrano nella definizione di stimolo.

Uno studio ha confrontato l'effetto di due diverse condizioni di stimolazione: in un caso le idee di altre persone e nel secondo caso le proprie idee iniziali hanno fatto da stimolo per la generazione di nuove idee. Le differenze in termini di attività cerebrale non sono rilevanti se si confrontano le due condizioni con stimolo, cosa che invece non può essere detta se si confronta la condizione con stimolo rispetto a quella senza. Infatti, si è notato che il pensiero creativo è associato alla de-attivazione delle regioni parieto-temporali coinvolte in un processo di recupero dalla memoria nel momento in cui uno suggerimento (cue) interagisce con le informazioni immagazzinate in memoria; tale attività risulta più importante nella condizione senza stimoli. Questo non vuol dire che le idee generate con stimolazione creativa siano meno originali, semplicemente ciò è dovuto al fatto che, nelle condizioni sperimentali con stimoli, i processi di generazione di nuove idee comportano una minore libertà associativa perché sono più guidati dalla stimolazione esterna; sembra infatti plausibile che le idee degli altri abbiano suscitato il recupero automatico di nuove associazioni dalla memoria. Invece, nel caso senza stimoli si nota maggiore de-attivazione in queste regioni e la soppressione dell'attenzione rispetto a potenziali stimoli esterni (Fink et al., 2010).

Nelle condizioni senza stimoli si attivano zone delle regioni parieto-temporali che, in unione con l'onda alpha, disattivano tutti i processi non importanti per la generazione delle idee, inibendo la stimolazione esterna (bottom-up stimulation) e favorendo i processi interni della memoria per avere idee quanto più originali derivanti dall'associazione o la ricombinazione di informazioni lontanamente correlate. La minore de-attivazione di tali aree, nel caso con stimoli, non comporta la generazione di idee meno creative, semplicemente è dovuta al fatto

che le nuove idee sono ispirate da stimolazione esterna e non da processi interni come detto prima (Fink et al., 2010).

Per poter definire quali siano le attività cerebrali che avvengono quando gli stimoli vengono forniti è necessario far riferimento al processo dell'analogical reasoning, che a sua volta comprende tre fasi: recupero/codifica, in cui la fonte dell'analogia (lo stimolo) viene riconosciuta e codificata in memoria, mappatura, in cui l'informazione ottenuta dallo stimolo è applicata al target dell'analogia (il problema) e la risposta. La prima fase dipende molto dalla forma dello stimolo e dalla sua distanza analogica; se lo stimolo fosse "distante" potrebbe essere più difficile da riconoscere come fonte d'ispirazione. Indipendentemente da forma e distanza dello stimolo, comunque, durante la prima fase dell'analogical reasoning una delle aree cerebrali più coinvolte è la regione della corteccia prefrontale, che si occupa del recupero delle informazioni dalla memoria di lavoro, mentre l'area rostro-laterale prefrontale della corteccia si occupa di valutare la distanza analogica (Goucher-Lambert et al., 2018).

Le regioni parietali e temporali sembrano particolarmente coinvolte nel processo di generazione delle idee con stimoli; nel caso in cui tali stimoli siano di forma testuale (ad esempio delle parole) risulta importante il ruolo delle regioni temporali che si occupano dell'elaborazione semantica dei testi e del riconoscimento dei concetti espressi dalle parole oltre che della memoria. Una possibile giustificazione è che l'elaborazione semantica e la codifica del significato degli stimoli d'ispirazione siano i processi che aiutano i designer a generare nuove idee (Goucher-Lambert et al., 2018, 2019).

Indagando le attivazioni cerebrali sulla base della distanza analogica degli stimoli, si nota che quando viene fornito uno stimolo di tipo "near" si attiva un processo, definito *inspired internal search*, che coinvolge le regioni bilaterali temporali e

parietali dell'emisfero sinistro, promuovendo il pensiero astratto associato ad una maggiore produttività nella risoluzione dei problemi. Al contrario, quando viene fornito uno stimolo "far" si attiva sia il processo di inspired internal search che quello di *unsuccessfull external search*, poiché il riconoscimento dell'utilità di uno stimolo "far" dipende molto dalla situazione di lavoro. Se lo stimolo viene riconosciuto come utile, il processo procede come inspired internal search; se, invece, è troppo distante per cui il partecipante non viene ispirato, allora lo stimolo viene ignorato procedendo con unsuccessfull external search (Goucher-Lambert et al., 2018). In quest'ultimo caso si manifesta un aumento dell'attività di elaborazione visiva primaria, indice del fatto che i partecipanti stiano ricercando nuovi stimoli e suggerimenti nell'ambiente esterno (Goucher-Lambert et al., 2019).

Gli stimoli di tipo "near" sembrano essere quelli più efficaci nel supportare la generazione di soluzioni più innovative nel Design (Goucher-Lambert et al., 2018, 2019).

2.3.2. Stimoli & Esperienza dei Designer

La preferenza di un certo tipo di stimoli dipende dalle esperienze individuali: in generale, sia gli studenti che gli esperti di design preferiscono stimoli grafici. Questo è probabilmente dovuto al fatto che la percezione e l'interpretazione di una rappresentazione grafica sono sicuramente più veloci rispetto alla lettura della relativa descrizione. Gli studenti, comunque, usano più spesso stimoli testuali quando sono alla ricerca di fonti d'ispirazione, mentre gli esperti usano frequentemente oggetti tridimensionali (Borgianni et al., 2020; Gonçalves et al.,

2014). I meno esperti, infatti, sarebbero più orientati verso fonti di ispirazione testuali a causa della dipendenza dal materiale didattico a cui sono stati esposti durante il percorso di studi, dall'altro lato invece i professionisti selezionano perlopiù stimoli grafici a causa del poco tempo che hanno a disposizione a lavoro (Borgianni et al., 2020).

Durante il processo di ricerca degli stimoli si è notato che gli esperti selezionano stimoli più vicini, mentre gli inesperti selezionano più spesso stimoli più distanti per generare idee più originali. Gli stimoli "vicini" infatti hanno sia dei pro che dei contro: sono più semplici da sfruttare per la progettazione rispetto a quelli distanti in quanto l'analogia in quest'ultimo caso tra il problema e lo stimolo non sempre è ovvia, ma dall'altro lato ostacolano la generazione di idee più creative anche se su quest'ultima affermazione emergono risultati contrastanti dalla letteratura (Gonçalves et al., 2016).

Oltre alla preferenza, l'esperienza influisce anche sulla capacità di adottare il ragionamento per analogia in fase di progettazione. Se non viene esplicitamente richiesto ai partecipanti di sfruttare le analogie visive per la risoluzione di un problema di design, gli studenti dei primi anni hanno difficoltà nel riconoscere rappresentazioni esterne (stimoli visivi appartenenti all'ambiente) come possibili fonti di analogie, mentre gli esperti impiegano l'analogical reasoning anche in assenza di istruzioni probabilmente perché hanno abbastanza conoscenze pregresse da cui recuperare ulteriori fonti di ispirazione (Casakin, 2010).
Gli esperti, inoltre, tendono ad analizzare e interpretare anche gli stimoli esterni sulla base delle soluzioni che hanno sviluppato in passato; invece, i meno esperti classificano le nuove informazioni sulla base di attributi più superficiali (Gonçalves et al., 2014).

È emerso, infatti, che all'aumentare del livello di esperienza aumenta anche la probabilità di trasferire con successo delle caratteristiche dalla source al target dell'analogia, quindi di generare delle associazioni utili per la generazione di nuove idee (Chai et al., 2015).

In conclusione, i designer esperti tendono a sfruttare di più le analogie rispetto ai principianti. Mentre questi ultimi sono più proiettati a sfruttare analogie "case-driven", cioè relative ad un caso concreto specifico che conoscono, rispetto ad analogie "schema-driven", che sono soluzioni più generali di design relative ad una serie di esempi concreti (Linsey et al., 2012); gli esperti, invece, fanno più affidamento su conoscenza astratta e schemi sviluppati con l'esperienza (W. L. Hu & Reid, 2018).

2.4. Analisi dei task

Negli ultimi decenni sono stati svolti numerosi studi sulle attività di progettazione e i processi di pensiero che avvengono durante le attività di design così da sviluppare nuove teorie e modelli. La varietà dei task di design proposti e delle variabili analizzate causa una notevole difficoltà nel confronto dei vari risultati ottenuti (Bender, 2003).

Il task di design è la formulazione di un problema che i partecipanti all'esperimento svolgeranno in laboratorio, al fine di osservare e analizzare i processi di progettazione.
Nell'ambito del Design solitamente i problemi proposti per l'analisi dei processi che avvengono durante le prime fasi del Conceptual Design sono definiti "ill-defined", in quanto i requisiti iniziali sono vaghi, gli obiettivi non risultano completamente specificati ed il numero di possibili soluzioni è sconosciuto (Casakin, 2010). Tali problemi sono anche "open-ended" perché i designer possono sfruttare diverse strategie di ricerca di nuove potenziali soluzioni, tra le quali poi sarà selezionata l'unica che risolverà in modo effettivo il problema (Liu et al., 2018).

Un'attenta formulazione dei task migliora l'oggettività, l'affidabilità, la validità e la rilevanza empirica della ricerca, facendo attenzione che il livello di difficoltà sia idoneo rispetto alle conoscenze dei partecipanti selezionati, oltre che all'intervallo di tempo a disposizione per la risoluzione e alle risorse fornite. Rispettando questi criteri di qualità e adeguando le caratteristiche del task rispetto alla fase del Conceptual Design che si desidera indagare, si assicura l'applicabilità dei risultati ottenuti alla pratica del design professionale (Bender, 2003).

2.4.1. La struttura di un task

La formulazione di un problema è definita come la disposizione di simboli, regole, vincoli e relazioni nella struttura del problema stesso. Il modo in cui un problema è strutturato e percepito dai designer influenza l'approccio dell'individuo al task ed i risultati del processo di progettazione, sia che ci si trovi nell'ambito educativo, di ricerca o di lavoro (Durand et al., 2015; Koronis et al., 2018; Liu et al., 2018; P. P. Sipilä & M. K. Perttula, 2006; Sosa, 2019).

Da studi in letteratura è emerso che la presenza di esempi grafici o fisici nella consegna dei problemi di design ha causato la generazione di nuove idee con un basso livello di novità; quindi, per migliorare la novità delle soluzioni si ritiene opportuno fornire meno requisiti specifici e non fornire esempi di soluzioni esistenti (Koronis et al., 2018). È stato dimostrato, infatti, che le liste di requisiti nelle consegne dei problemi di design limitano la performance dei partecipanti in fase di generazione delle idee e la loro esclusione ha portato ad una maggiore quantità di idee generate, con un maggior livello di varietà (P. P. Sipilä & M. K. Perttula, 2006).

I dati numerici, invece, influenzano positivamente l'usabilità e l'appropriatezza delle soluzioni proposte, che raggiungono i livelli più alti in assoluto quando sia requisiti quantitativi sia esempi visivi sono presenti nel testo del task di design. La creatività dei partecipanti e l'originalità delle loro soluzioni raggiungono picchi più alti quando vengono forniti stimoli ed il minor numero di requisiti quantitativi nelle prime fasi di progettazione (Koronis et al., 2018).

Altri elementi, come parole chiave, introdotti nella descrizione del task possono influenzare il processo di pensiero creativo. Ciò dipende molto dal livello di difficoltà delle keywords, ovvero da quanto siano strettamente correlate al problema; infatti, più sono distanti dal problema, maggiore è lo sforzo impiegato dai partecipanti per realizzare soluzioni creative. Si è notato che, quando la descrizione testuale del problema con keywords è risultata difficile da convertire in soluzioni grafiche, i designers hanno scomposto il problema in parti più semplici da rappresentare sotto forma di disegni e schizzi. Il processo di design diventa così un processo di conversione degli obiettivi del problema in immagini ed i processi di conversione sfruttati dai partecipanti dipendono molto dalla "distanza" delle keywords e dalle caratteristiche individuali; infatti, mentre alcuni hanno fatto riferimento ad esperienze personali per la risoluzione del problema, altri invece hanno fatto riferimento a prototipi concettuali generando però soluzioni con minor livello di novità (Nagai & Noguchi, 2003).

Ne consegue che la scelta delle parole, delle informazioni suggerite e degli obiettivi da raggiungere nella struttura di questo tipo di compiti ha un impatto sulle soluzioni generate e, purtroppo, non esiste una classificazione comune in letteratura dei vari problemi di design. Questo può essere un limite per la ricerca in quanto, se si desidera migliorare le abilità di design e le soluzioni ottenute, è necessario analizzare come la struttura del problema di progettazione possa influenzare l'attività cognitiva dell'individuo (Liu et al., 2018).

2.4.2. Confronto tra task diversi

Il numero di task proposti nello stesso esperimento ad ogni partecipante dipende dalle dimensioni del campione di partecipanti disponibile; infatti, se si ha a

disposizione un campione molto grande allora è sufficiente che ciascun partecipante svolga un solo problema. Se il campione di partecipanti ha dimensioni ridotte, ciascun individuo risolverà più problemi in modo da garantire la replicabilità dello studio condotto e la rilevanza statistica (Patel et al., 2019).

La validità di uno studio dipende anche dall'omogeneità di diversi task proposti per investigare le stesse variabili; nonostante l'omogeneità dei task, la difficoltà percepita dal partecipante dipende dalle sue caratteristiche individuali e dal contesto (Bender, 2003).

La difficoltà percepita di un task è stata valutata in letteratura attraverso il prelievo di segnale EEG, durante lo svolgimento di un problema di Design, sfruttando la percentuale di microstati transitori come indicatore, che a sua volta risulta correlato anche ai livelli di fatica di un individuo. I microstati transitori sono delle configurazioni del segnale EEG definite "quasi stabili" in quanto mutano velocemente; la loro durata è, infatti, inferiore al secondo (An & Zeng, n.d.). Ai task più difficili sono associate percentuali di microstati transitori più alte, mentre nei task più semplici è stata rilevata una percentuale più bassa. Durante lo svolgimento di task di media difficoltà si sono rilevati segmenti di segnale con bassa percentuale di microstati alternati a segmenti con alta percentuale di microstati, dovuto al fatto che un task percepito con livello di difficoltà medio è costituto da subtask più semplici e da altri subtask più complessi (P. Nguyen et al., 2015).

Alcuni ricercatori (Bender, 2003)hanno validato alcuni criteri per la valutazione dei task di design:

- obiettivi contrastanti: numero di obiettivi totali vs numero di obiettivi in conflitto;

- gradi di libertà: numero delle potenziali varianti della soluzione;
- conoscenza necessaria, strategie e conoscenze specifiche per la risoluzione dei problemi;
- complessità: numero di sotto-funzioni previste e di relazioni tra di esse;
- dinamica: variabilità dello stato iniziale, prevedibilità delle soluzioni e possibili influenze esterne;
- trasparenza: disponibilità delle informazioni sullo status iniziale e di eventuali condizioni al contorno.

Facendo attenzione a tali criteri si garantisce maggiore confrontabilità tra esperimenti diversi (Bender, 2003).

Altri criteri possono essere considerati per valutare la somiglianza tra problemi di design diversi, ad esempio la complessità della consegna del problema, la familiarità del contenuto o la semantica.

La complessità può essere esaminata in tre modi diversi: per "coupling", valutando il flusso di segnali, energia e materiale all'interno di un sistema, in base alle funzioni e ai requisiti da rispettare oppure valutando la solvibilità, cioè esaminando il livello di difficoltà del problema e del tempo necessario per risolverlo. Sia il coupling che la solvibilità possono essere valutati da un gruppo di esperti o attraverso un sondaggio. Infine, la complessità del problema può essere analizzata misurando la lunghezza della consegna in base al numero di caratteri, parole, frasi o paragrafi oppure contando il numero di requisiti o funzioni esplicitamente identificate nella consegna (Patel et al., 2019).

L'analisi di un task può essere svolta sulla base degli elementi strutturali che lo compongono, come gli obiettivi del problema, i requisiti funzionali e non funzionali, informazioni sull'uso finale dell'utente, il riferimento ad un prodotto

esistente. Questo metodo però ha dei limiti: la soggettività nella distinzione tra requisiti funzionali e non funzionali e la mancata analisi del contenuto del problema, in termini di conoscenza richiesta (Kumar et al., 2016).

L'approccio al problema dipende dalla familiarità dei partecipanti rispetto al dominio del problema, dal contesto culturale (che potrebbe influire sull'interpretazione del task) ed il livello di leggibilità. Mentre il dominio del problema e la coerenza con la cultura dei partecipanti vengono valutati tramite sondaggi o panel di esperti, l'ultimo indicatore richiede l'applicazione di appositi test (Patel et al., 2019).

La somiglianza semantica dei problemi può essere valutata attraverso la Latent Semantic Analysis (Kumar et al., 2016; Patel et al., 2019). Questo approccio ha alcuni limiti dovuti al fatto che non è in grado di cogliere le sottili differenze tra problemi diversi e non consente di stimare la risolvibilità di un problema perché valuta solo la somiglianza linguistica dei task, senza considerare l'ordine delle parole e la logica delle frasi (Kumar et al., 2016).

Ulteriori fattori da non sottovalutare per il confronto sono le informazioni sull'uso finale che si farà dell'artefatto, esempi di artefatti già esistenti che vengono esplicitamente citati nella consegna e la struttura del problema, cioè l'ordine con cui i vari aspetti del problema vengono presentati (Patel et al., 2019).

Un ulteriore prova della somiglianza tra task diversi si può ottenere attraverso l'analisi statistica delle risposte dei partecipanti o tramite questionari e interviste che indaghino su come i problemi siano stati percepiti dai partecipanti durante l'esperimento, verificando che i risultati raccolti da problemi di design diversi siano confrontabili (Patel et al., 2019).

Dati due problemi di design simili, ma relativi ad ambiti/domini diversi, ne sono state analizzate le soluzioni fornite dai partecipanti secondo il livello di numero, qualità, novità e varietà delle soluzioni e quantità di idee generate. Si è notato che il dominio del problema può influenzare il metodo usato per generare delle soluzioni; inoltre, è emerso che mentre la quantità delle idee ed il numero delle soluzioni sono due metriche strettamente correlate tra di loro, lo stesso non si può dire di qualità e novità. Per alcune metriche, ad eccezione della qualità, sono stati ottenuti risultati equivalenti su problemi diversi: questo consente di prevedere la performance di un individuo su un secondo problema di design, basandosi sui risultati che ha ottenuto nel primo problema (Durand et al., 2015). Data la varietà dei task proposti, è possibile sfruttare alcune metriche per selezionare il task più adeguato da proporre durante un esperimento sulla base delle research question dello studio e delle condizioni sperimentali. In questo modo si raggiungono livelli più alti di chiarezza e adeguatezza dei task usati dai ricercatori con l'obiettivo di esplicitare in modo chiaro e oggettivo il processo di selezione del task, in modo che la scelta dei problemi non resti implicita o sia arbitraria in quanto, in entrambi i casi, si comprometterebbe la validità e la replicabilità dei risultati in letteratura. I metodi da usare per la valutazione e selezione dei task di design sono "semantic score", "lexical ambiguity", "precedent analysis", "readability metrics". Tali metriche guidano i ricercatori nel giustificare le loro decisioni in fase di selezione di un task appropriato per il loro studio: semantic score, sfrutta le keywords per individuare l'ambito lessicale dei task di design, più alto è il suo valore, più ampio è il "conceptual space"; lexical ambiguity, sfrutta LSA per valutare l'ambiguità di un task; precedent analysis, per stimare l'esistenza di idee nuove e recenti correlate al task (i prodotti con brevetti più

recenti sono quelli più pronti a idee innovative); readability metrics, metriche per la leggibilità(ex lunghezza e numero di sillabe per parola) (Sosa, 2019).

3. Risultati e Discussioni

3.1. Neuroscienze e Progettazione

La creatività è un aspetto intangibile che caratterizza il processo di design, influenzando la novità e l'utilità delle idee generate; per averne una conoscenza più approfondita, sono state studiate le attività cognitive svolte durante le fasi più creative del processo di design attraverso la rilevazione dei segnali neurofisiologici. Tra gli stati mentali evidenziati in questi studi ci sono la distrazione (o attenzione defocalizzata), associata a bassi livelli di attività corticale, che consente ai designer di migliorare la loro performance durante la generazione di idee con maggior livello di novità oltre a questo fenomeno, anche la memoria di lavoro ricopre un ruolo importante nella cognizione creativa, consentendo non solo il recupero dalla memoria e l'applicazione delle esperienze passate e la conoscenza a nuove situazioni, ma anche la riorganizzazione delle informazioni (W. L. Hu & Reid, 2018).

Nonostante il contributo fondamentale che i dispositivi biomedici danno alla ricerca nell'ambito dell'Engineering Design, è anche doveroso evidenziare anche i limiti che ne derivano. La ricerca infatti è molto frammentata nell'uso specifico delle misurazioni biometriche e nella loro interpretazione a causa del fatto che manca una standardizzazione nella definizione delle variabili di interesse, motivo per cui esiste ancora una grande varietà di parametri. Questo limite può essere comunque ricondotto al fatto che nei vari esperimenti condotti, i segnali e le variabili che sono definite e misurate dipendono molto dall'obiettivo del singolo

esperimento e dalle condizioni sperimentali che difficilmente vengono replicate in esperimenti diversi.

Inoltre, in letteratura si ha la percezione che il livello di maturità di questo nuovo approccio non sia ancora sufficiente per aprire nuove direzioni di ricerca. Una prova di questo limite è data dal fatto che tali strumenti sono stati ancora usati solo per approfondire aspetti dell'ambito di Design su cui si è già investigato in passato e che ora si desidera rivedere attraverso delle misurazioni più oggettive, senza mai puntare su nuovi ambiti di ricerca (Borgianni & MacCioni, 2020).

3.2. Stimoli

È stato riconosciuto in letteratura il ruolo degli stimoli, informazioni esterne o fonti d'ispirazione, come supporto ai progettisti in fase di generazione delle idee in quanto favoriscono "l'analogical reasoning" ed i processi creativi, oltre ad aumentare la frequenza con cui le idee vengono generate e ad estendere l'intervallo di tempo in cui tali idee "compaiono" (Borgianni et al., 2020). Non tutti gli stimoli forniti risultano utili al fine di migliorare le performance creative in fase di generazione delle idee; infatti, affinché ciò avvenga è necessario che questo venga riconosciuto come utile e sia sfruttato per recuperare dalla memoria informazioni utili alla risoluzione dei task, secondo il processo definito "inspired internal search" (Goucher-Lambert et al., 2019).

Qualora tali stimoli non vengano intenzionalmente forniti durante gli esperimenti di design, i progettisti sfruttano le loro esperienze passate per creare un'analogia con il problema da risolvere o semplicemente ricercano stimoli d'ispirazione nell'ambiente esterno; in fase di idea generation le idee iniziali degli stessi partecipanti possono fungere da stimoli involontari. Nonostante ciò, l'impiego

degli stimoli può avere anche dei contro come il fenomeno della "fixation" se tra le possibili fonti d'ispirazione vengono forniti esempi di soluzioni già esistenti e note ai designer. In tale ambito di ricerca, comunque, gli esperimenti svolti hanno investigato tante diverse condizioni per cui non sempre i risultati sono confrontabili (Borgianni et al., 2020) o semplicemente si ottengono dei risultati in contraddizione con quanto dimostrato in altre ricerche a causa delle diverse dimensioni dei campioni di partecipanti agli esperimenti, o al task proposto, o alla natura degli stimoli. Una tra le variabili che può fare la differenza è infatti anche il tempo: uno studio in precedenza ha rivelato che la quantità di idee generate con stimoli di forma e distanza diverse dipende dall'intervallo di tempo che i partecipanti hanno a disposizione per svolgere il task, che quindi il limite imposto probabilmente non è stato sufficiente per consentire ai partecipanti di esaurire completamente le loro gerarchie associative. Il limite temporale può quindi influenzare i risultati degli esperimenti sulla creatività (Malaga, 2000).

Altre variabili che possono fare la differenza sono sicuramente il background dei partecipanti ed il loro talento oltre che i fattori culturali (L. Jia et al., 2020). Dall'insorgere delle varie contraddizioni si potrebbe comunque pensare che ci siano ulteriori variabili ancora ignote che influenzano questi processi (L. Jia et al., 2020); dunque, ancora oggi è difficile giungere ad una conclusione definitiva su quali siano le tipologie di stimoli più efficaci a supporto dei progettisti (Borgianni et al., 2020).

In ultima analisi sono tre le possibili situazioni in cui gli stimoli andrebbero forniti ai designer:

- Il problema è molto inusuale: in questo caso il designer, anche se è un esperto, potrebbe non avere in memoria esperienze o conoscenze da adattare al nuovo quesito per analogia;
- Il problema va risolto molto velocemente: in questo caso potrebbe essere difficile per il designer fare appello in poco tempo alle sue conoscenze pregresse;
- Il designer non ha esperienza: ha un numero limitato di esperienze da sfruttare per fare un ragionamento per analogia (Goldschmidt & Sever, 2011).

Lo strumento di design a supporto della generazione delle idee dovrebbe, inoltre, essere in grado di riconoscere quali sono quegli stimoli che potrebbero fornire un aiuto ai designer attivando l'inspired internal search e riconoscere l'istante di tempo più adeguato in cui fornirli al fine di migliorare le abilità dei designer a risolvere un task di design (Goucher-Lambert et al., 2019).

3.3. Analisi dei task

La creatività è uno dei fattori umani più complessi e, vista la sua particolare importanza nei processi di Engineering Design, numerosi esperimenti sono stati eseguiti in letteratura con l'obiettivo di analizzare più in profondità il suo ruolo durante la generazione di nuove idee. Un elemento di fondamentale importanza di tali esperimenti sono i problemi di design che vengono proposti, in quanto influenzano lo spazio di ricerca delle soluzioni e le idee generate.

Da un'analisi sui task di design proposti in 45 diversi esperimenti, svolti tra il 2000 ed il 2015, è emerso che sono stati proposti 46 diversi problemi di design e,

nonostante alcuni esperimenti prevedono la risoluzione di più problemi, questo resta comunque un dato importante che sottintende una grande varietà di problemi proposti. Ne consegue la difficoltà nel confrontare metodi per il design creativo, visto che il problema di design è un'ulteriore variabile da considerare, e nel comprendere come i problemi di design influenzano la creatività dei partecipanti. L'obiettivo è quello di identificare dei problemi standard per gli studi sulla creatività nell'Engineering Design, riusando quelli già esistenti, riducendo le differenze tra esperimenti diversi e aumentando la validità dei nuovi metodi e strumenti che ne derivano (Kumar et al., 2016).

4. Nuovo esperimento

Dalla ricerca in letteratura sono emersi risultati contrastanti sul ruolo degli stimoli nel Conceptual Design; tali contraddizioni sono spesso dovute alle numerose variabili che possono influenzare i risultati di un esperimento, come la forma e la distanza degli stimoli; l'esperienza, la conoscenza e la cultura dei partecipanti; il tempo ed i task proposti. Inoltre, sono ancora molti gli aspetti che possono essere investigati al fine di approfondire e fare chiarezza sul ruolo degli stimoli in fase di generazione delle idee; basandosi su questi gap della letteratura sono state definite alcune research question:

RQ.1: Quali sono le caratteristiche di uno stimolo che supportano la creatività dei designer durante le prime fasi di progettazione?

RQ.2: Come cambia il livello di stress accusato dal designer in base alle caratteristiche degli stimoli?

Dalle conclusioni a cui gli studi precedenti sono giunti, si propongono alcune ipotesi da validare:

HP.1: Il livello di stress nella condizione con stimoli è inferiore rispetto alla condizione di controllo in cui nessuno stimolo viene fornito.

HP.2: Gli stimoli grafici comportano un livello di stress inferiore rispetto agli stimoli testuali.

HP.3: Gli stimoli "distanti" comportano un livello di stress maggiore rispetto agli stimoli "vicini".

HP.4: Gli stimoli “vicini” supportano la generazione di maggiore quantità di soluzioni.

HP.5: Gli stimoli “distanti” supportano la generazione di soluzioni con maggior livello di originalità.

Questo processo di ricerca in letteratura, quindi, termina non con dei capisaldi e dei risultati stabili e concreti sul processo di progettazione, ma con dubbi e punti interrogativi da risolvere attraverso un nuovo studio. L’obiettivo finale è fornire nuovi risultati e ulteriori spunti per la ricerca futura che possano portare alla creazione di nuove teorie, modelli e strumenti a supporto della creatività durante la generazione di idee.

4.1. Metodo

Al fine di analizzare i cambiamenti nelle variabili che caratterizzano il segnale cardiaco quando vengono forniti stimoli con varie caratteristiche rispetto a quando nessuno stimolo viene fornito, si replicherà un esperimento già svolto in letteratura (Goucher-Lambert et al., 2019).

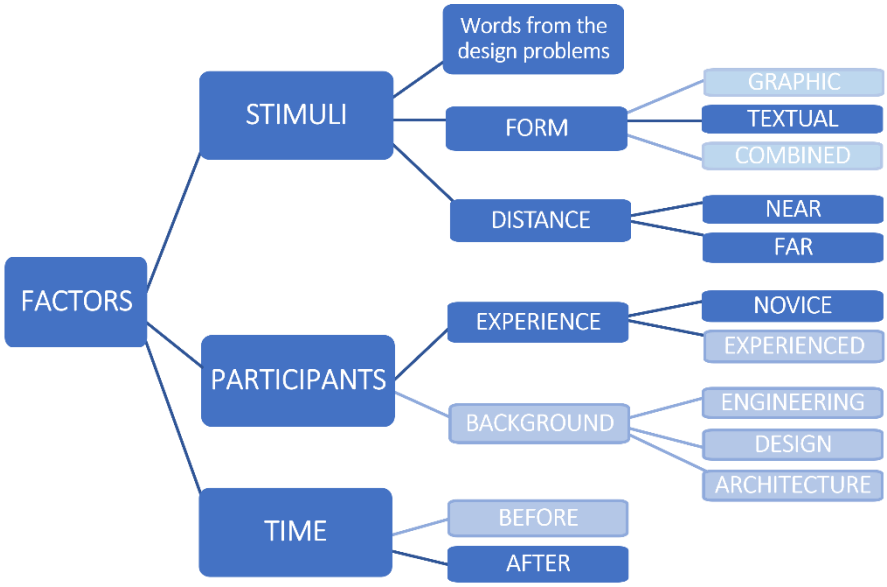

Figura 15: Piano sperimentale (Lambert, Moss, Cagan 2019)

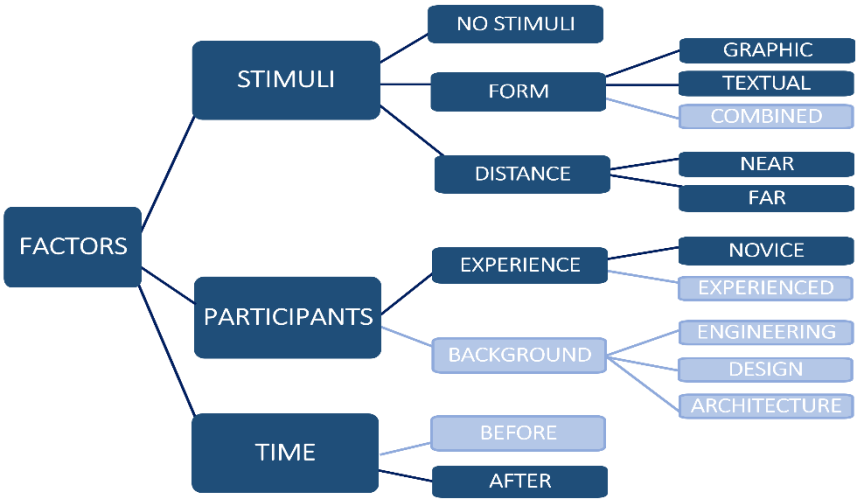

Figura 16: Piano sperimentale del nuovo esperimento

La scelta dell'esperimento da replicare è avvenuta sulla base del numero minimo di modifiche da apportare al precedente piano sperimentale per validare le precedenti ipotesi. Rispetto agli altri studi presentati nella review, infatti, il lavoro di *Lambert, Moss, Cagan 2019* (Goucher-Lambert et al., 2019) presenta una dettagliata descrizione delle fasi del loro esperimento oltre che una chiara presentazione dei task proposti che ne consente la replicabilità. Inoltre, grazie a

tale piano sperimentale e l'introduzione di nuove variabili, si tenterà di rispondere alle research question presentate in precedenza.

I task di design proposti nell'esperimento di riferimento sono dodici e tutti di tipo open-ended. Si è deciso di replicarli integralmente perché la condizione open-ended di questi problemi, che sottintende un grande numero di possibili soluzioni per ciascun task (Tseng et al., 2008), consente di riprodurre durante l'esperimento le condizioni reali in cui lavora un designer durante la generazione di nuove idee. A giustificare la scelta, inoltre, è quanto emerso in precedenza dall'analisi dei task in letteratura: replicare/ri-utilizzare problemi già proposti per rendere più efficace il confronto tra risultati di studi diversi.

La decisione di investigare, oltre alla distanza, la forma degli stimoli è dovuta alle risultanti contraddizioni emerse dalla letteratura su come le carattestiche degli stimoli influenzano la novità, la qualità, la quantità e la varietà delle idee generate. Talvolta questi risultati sono contrastanti a causa delle diverse condizioni sperimentali in cui sono svolti gli esperimenti, i cui risultati vengono poi confrontati. Per tale motivo si è ritenuto opportuno indagare forma e distanza in un unico esperimento, a parità di tutte le altre condizioni sperimentali, rendendo più efficace la validità del confronto.

Mentre i problemi di design e gli stimoli testuali sono stati tradotti in modo chiaro e non ambiguo così da replicare fedelmente l'esperimento di partenza (vedi Tab), è necessario selezionare degli stimoli grafici che rappresentino quanto più chiaramente il significato dello stimolo testuale. In letteratura questo processo di selezione di stimoli grafici a partire da stimoli testuali è già stato svolto (Borgianni et al., 2020) attraverso 2 step: prima è stata fatta una ricerca web usando come parola chiave per la ricerca lo stimolo testuale o un suo sinonimo, ottenendo una prima raccolta di immagini che potenzialmente rappresentasero in

modo appropriato lo stimolo; dopo, per ciascuno stimolo, gli autori dello studio hanno selezionato una sola immagine che esprimesse al meglio il significato dello stimolo testuale. Vista la natura astratta di alcuni stimoli testuali, è risultato impossibile avere una diretta corrispondenza tra parola e immagine; per tale ragione, sono state selezionate le immagini che rappresentassero, anche se non esclusivamente, al meglio lo stimolo testuale.

Nel nuovo esperimento progettato si è ritenuto opportuno seguire in parte il metodo appena illustrato. Infatti, anche in questo caso è stata svolta una prima selezione di 3 potenziali immagini candidate a rappresentare uno stimolo testuale. Successivamente è stato costruito un questionario da sottoporre a soggetti che non prenderanno parte all'esperimento; sulla base della frequenza delle risposte si stabilirà l'associazione univoca tra immagine e stimolo testuale. Anche l'uso della frequenza come indicatore non è una novità, infatti è già stato usato nell'esperimento originale per la selezione degli stimoli testuali più adeguati (Goucher-Lambert & Cagan, n.d.).

N.	Problema	Near words	Far words	Control words
1	Un attrezzo leggero per allenarsi mentre si viaggia.	Tirare, Spingere, Fascia, Resistere, Sbarra	Rotolare, Legare, Sfera, Esercitare, Trasformare	Attrezzo, Leggero, Per, Allenarsi, Viaggiare
2	Un dispositivo che può prelevare energia dal movimento umano.	Immagazzinare, Caricare, Scarpa, Pedalare, Passo	Irradiare, Agitare, Connettere, Elettroni, Comprimere	Dispositivo, Raccogliere(prelevare), Energia, Movimento, Umano
3	Un nuovo modo di misurare il passare del tempo.	Luce, Sabbia, Conteggio, Riempimento, Decomposizione	Cristallo, Sgocciolare, Versare, Radioattivo, Gravità	Nuovo (sconosciuto/ diverso/ novità), Modo (metodo), Misurare, Passaggio, Tempo
4	Un dispositivo per disperdere un rivestimento leggero di una sostanza in polvere su una superficie.	Spruzzare, Soffiare, Ventola, Agitare, Spremere	Rotore, Onda, Cono, Pressione, Nebulizzatore	Rivestimento, Leggero, Sostanza, Polvere, Superficie
5	Un dispositivo che consenta alle persone di prendere un libro che è difficile da raggiungere.	Prolungare, Bloccare, Asta, Gancio, Bobina	Puleggia, Fluttuare, Adesivo, Voce, Angolo	Dispositivo, Consentire (aiutare), Persone, Libro, Raggiungere
6	Un prodotto innovativo per montare il latte.	Girare, Frullare, Scaldare, Agitare, Chimico	Superficie, Impulso, Gas, Guarnizione, Vortice	Prodotto, Innovativo, Per, Montare, Latte
7	Un modo per ridurre al minimo gli incidenti causati	Allarme, Flash, Fotocamera, Sensore,	Emettere, Reagire, Coinvolgere,	Ridurre, Incidenti, Scrivere, Cellulare,

	da persone che scrivono messaggi sul cellulare mentre camminano.	Movimento	Lente, Riflesso	Camminare
8	Un dispositivo per piegare salviette, asciugamani e piccoli teli da bagno.	Robot, Premere, Impilare, Tavolo, Ruotare	Depositare, Ciclo, Asta, Imbuto, Scaricare	Piegare, Salviette, Asciugamani, Teli, Bagno
9	Un modo per rendere le fontanelle accessibili a tutti.	Regolare, Sollevare, Tubo flessibile, Rubinetto	Restringere, Afferrare, Fissaggio idraulico, Sollevatore (telescopic handler)	Modo(metodo), Per, Fontanelle, Accessibili, Tutti
10	Un bicchiere graduato per persone con disabilità visive. (a measuring cup for use by visually handicapped Individuals)	Braille (sistema di scrittura per ciechi), Toccare, Segnale acustico, Suono, Sensore	Preprogrammare, Riconoscere, Premere, Forare, Coprire	Bicchiere, Graduato, Persone, Disabilità, Visive
11	Un dispositivo per immobilizzare un'articolazione umana.	Fissare, Bloccare, Distendere, Indurire, Applicare	Restringere, Inspirare, Tessuto, Condensare, Pressione	Dispositivo, Per, Immobilizzare, Articolazione, Umano
12	Un dispositivo per rimuovere il guscio da una nocciolina in regioni senza elettricità.	Cricca, Manovella, Lama, Schiacciare, Nastro trasportatore	Sciogliere, Circolare, Incastrare, Scivolare, Avvolgere	Dispositivo, Rimuovere, Guscio, Nocciolina, Regioni

Tabella 2: Traduzione dei task e degli stimoli testuali

Le decisioni sull'esperienza dei partecipanti e sull'istante temporale in cui fornire gli stimoli trovano anch'esse giustificazione nella letteratura.

Dal punto di vista dell'esperienza dei partecipanti, è emerso dalla letteratura che gli esperti sono più produttivi e attivi rispetto ai progettisti privi di esperienza nel processo del Conceptual Design, in quanto hanno maggiore controllo della loro performance e delle loro attività cognitive che sono ben organizzate e strutturate (Kavakli & Gero, n.d.). Al contrario, i meno esperti potrebbero avere più difficoltà nelle prime fasi della progettazione perché la loro attenzione è meno focalizzata e faticano a individuare la direzione corretta da intraprendere per la risoluzione di un problema mal definito (Gonçalves et al., 2016). Dunque ci si pone l'obiettivo di studiare e approfondire i processi di pensiero creativo dei meno esperti che, per primi, necessitano di un supporto in fase di generazione delle idee.

Per quanto riguarda la variabile tempo, dalla letteratura, è già emerso che le analogie forniscono la massima ispirazione se sfruttate dopo aver iniziato a

lavorare sul problema (Tseng et al., 2008); quindi gli stimoli saranno forniti successivamente alla lettura del problema di design.

Una ulteriore differenza è nella tipologia di segnale prelevato: mentre nell'esperimento originale è stata analizzata l'attività cerebrale, in questo caso si prevede di rilevare l'attività cardiaca con l'obiettivo di approfondire le prestazioni dei designer in termini di fatica, aspetto ancora poco approfondito in letteratura.

Infine, il nuovo esperimento si propone di superare alcuni limiti dello studio precedente tra cui effettuare la registrazione delle soluzioni fornite dai partecipanti per verificare successivamente il collegamento tra stimoli e soluzioni e valutare se altri fattori, oltre agli stimoli, hanno influenzato la generazione delle idee. Un nuovo obiettivo è quello di verificare se il limite di tempo, a disposizione dei partecipanti per la generazione delle idee, influenza l'impatto degli stimoli con diversa distanza analogica.

Conclusioni

Le differenze tra l'Analisi Protocollare e le Neuroscienze Cognitive, i due approcci adottati per lo studio dei fenomeni neurofisiologici coinvolti nel processo di Design, hanno fatto emergere numerose discrepanze in letteratura: il primo metodo ignora tutti i processi cognitivi impliciti che avvengono durante le diverse fasi del Design; invece, il secondo spezza il processo di Design in piccole fasi da approfondire, senza tenere conto dei fattori che complessivamente e contemporaneamente influenzano l'intera attività progettuale (Colombo et al., 2020).

Il primo obiettivo di questo documento è confrontare i risultati emersi da studi passati sui fenomeni cognitivi rilevati durante le prime fasi della progettazione, dove l'impiego di strumenti di supporto, come gli stimoli, ha causato un notevole miglioramento delle abilità creative dei designer. Il secondo obiettivo è progettare e proporre un nuovo esperimento che possa fornire delle risposte chiare e dei risultati evidenti alle domande emerse dalla ricerca in letteratura.

Per la realizzazione della systematic review si è adottato il metodo PRISMA, che ha guidato le varie fasi di lavoro: dalla ricerca in letteratura, alle prime fasi di selezione degli articoli, alla decisione di criteri adeguati alla selezione finale dei documenti. Questo metodo fa sì che la review sia realizzata in modo rigoroso e trasparente, rendendola facilmente replicabile. Dalle ricerche svolte è risultato un campione di 71 paper a cui si sommano ulteriori letture rilevanti per la stesura di questo documento. I risultati emersi dalla letteratura sono di seguito riportati.

Durante le fasi divergenti del conceptual design, che risultano essere le più creative, il segnale elettroencefalografico evidenzia un forte aumento dell'attività alpha (Fink et al., 2009; Liu et al., 2018), associata ai processi di inibizione dei fenomeni cognitivi che non sono rilevanti rispetto all'attività di progettazione (Fink et al., 2009; Jauk et al., 2012). Le regioni cerebrali coinvolte durante le fasi più creative sono la corteccia prefrontale nell'emisfero destro(Milovanovic et al., 2021), e la regione temporale(Fink et al., 2009). La creatività, a livello cognitivo, è positivamente correlata allo sforzo mentale del designer nella generazione di nuove idee, che raggiunge il suo picco massimo all'inizio ed alla fine del processo di design (P. Nguyen et al., 2018).

I fattori che influenzano la generazione di soluzioni creative sono il tempo e l'esperienza dei partecipanti. Infatti, il tempo, inteso come intervallo per la risoluzione di un task, può influenzare i risultati di un esperimento (Malaga, 2000). Inoltre, è emerso che la ricerca di fonti di ispirazione ha maggiore probabilità di successo se svolta dopo che il problema di design è stato reso noto e compreso, ma non risolto completamente (Tseng et al., 2008).In letteratura si afferma che un livello più alto di esperienza influenza positivamente la varietà e la qualità delle idee generate (Sun & Yao, 2012); mentre il background di conoscenze pregresse ed il percorso di studi possono influenzare l'approccio alle attività di design (Colombo et al., 2020).Gli stimoli, intesi come serie di informazioni che giungono ai designer, supportano i processi di generazione delle idee e si distinguono in base alla forma ed alla distanza. Rispetto alla forma, gli stimoli possono essere disegni, fotografie, immagini, sketches (Goldschmidt & Smolkov, 2006); rispetto al problema di design si distinguono in generale gli stimoli "lontani" da quelli "vicini", ma non esiste un modo univoco per la definizione della distanza analogica. Non tutti gli stimoli migliorano la creatività

delle idee generate; alcuni di essi, infatti, attivano un processo neuro-cognitivo definito “inspired internal search”, tipico di quegli stimoli e informazioni che sono ritenute utili al fine della progettazione. Altri stimoli vengono ignorati e attivano a livello mentale il processo di unsuccessfull external search, attraverso cui si ricercano nuovi stimoli nell’ambiente esterno (Goucher-Lambert et al., 2019). L’analisi dell’impatto dei diversi tipi di stimoli sulla generazione delle idee è stata svolta in diversi esperimenti i cui risultati, a confronto, hanno fatto emergere numerose contraddizioni,dovute anche ai diversi task di design che vengono proposti per lo studio delle medesime variabili (*Bender B, 2003*).

I task di design sono “ill-defined” (Casakin, 2010) e “open-ended” (Liu et al., 2018); la loro struttura può influenzare le soluzioni fornite dai progettisti (Durand et al., 2015; Koronis et al., 2018; Liu et al., 2018; P. P. Sipilä & M. K. Perttula, 2006; Sosa, 2019). Dall’analisi svolta in letteratura non risultano classificazioni standard dei problemi già utilizzati in passato e questo può limitare la confrontabilità dei risultati ottenuti da più esperimenti (Liu et al., 2018).

Nonostante l’adozione di metodi chiari per la stesura di una review completa ed esaustiva, questo documento presenta alcuni limiti relativi alle fasi iniziali di lavoro. In fase di ricerca, i risultati sono strettamente dipendenti dalle query: è probabile, quindi, che alcune keywords rilevanti per la ricerca siano state trascurate limitando i risultati delle ricerche. Inoltre, in fase di selezione, a causa della vastità dei documenti risultanti, si è adottato un criterio di selezione rispetto alla data di pubblicazione dei lavori, che può aver causato lo scarto di studi inerenti, comunque, questo ambito di ricerca.

Studi, ricerche e review future potranno anzitutto tentare di superare i limiti di questo documento.

In seguito, al fine di migliorare le conoscenze sull'Engineering Design, le analisi potranno focalizzarsi su alcuni gap della letteratura emersi dai singoli documenti riportati nella review e dal confronto dei relativi risultati.
Nell'investigare i fenomeni cognitivi, si potrebbe impiegare l'EEG per la quantificazione dello sforzo mentale e della performance dei partecipanti, indagando sulla relazione tra creatività e sforzo. Adottando l'approccio delle Neuroscienze, sarebbe interessante valutare l'impiego anche di strumenti biometrici indossabili che catturano in modo dettagliato tutti i vari cambiamenti fisiologici.

Gli studi successivi dovrebbero focalizzarsi sul fattore esperienza: dare una chiara definizione di esperienza nel Design ed una classificazione standard dei diversi gradi di esperienza.
Alcuni esperimenti potranno essere ripetuti con alcune modifiche ai tempi a disposizione per la risoluzione di ciascun task e variando il topic dei task proposti così da assicurarsi che i risultati ottenuti non dipendono dall'ambito del task, né dall'intervallo di tempo a disposizione per la ricerca di potenziali soluzioni.

Rispetto agli stimoli, nuovi esperimenti potranno chiarire quali aree cerebrali sono coinvolte in fase di generazione delle idee qualora la forma o la distanza degli stimoli sia differente. Fornire una grande varietà di stimoli risulta molto importante qualora l'obiettivo degli studi futuri sia quello di ampliare quanto più possibile lo spazio di ricerca di nuove idee; tale varietà consente di approfondire, infatti, l'impatto di ogni tipologia di stimolo sull'originalità e la qualità delle idee

generate, oltre che di individuare quali stimoli causano più frequentemente il fenomeno della fixation.
Ulteriori studi potranno indagare sulla distanza ideale degli stimoli che comportino l'attivazione dell'attenzione interna, oltre che sull'istante di tempo in cui l'interazione con tali stimoli risulta essere ottimale.

Lo studio della mente e dei processi cognitivi dei designer in fase di progettazione apriranno nuove strade per lo sviluppo di nuovi strumenti che assistano i progettisti e ne migliorino la creatività (Milovanovic et al., 2021).

Appendice

Authors (date)	Document title	Source	Methods	Domain	Bio. tool	Number of Participants	Experience of Participants	Stimuli	
								Analogical distance	Form
Alexiou et a.; (2009)	Exploring the neurological basis of design cognition using brain imaging: some preliminary results	Design Studies	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	fMRI	18	All participants had some experience and familiarity with design.		
Alexiou et a.; (2010)	Imaging the Designing Brain: A Neurocognitive Exploration of Design Thinking	Design Computing and Cognition	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	fMRI	18	All participants had some experience and familiarity with design.		
Ashrafganjouei and Gero; (2021)	Exploring the effect of a visual constraint on students' design cognition	Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing	Experiment	Industrial Design		24	Undergraduate architecture students		X
Balters and Steiner; (2017)	Capturing emotion reactivity through physiology measurement as a foundation for affective engineering in engineering design science and engineering practices	Journal of intelligence manufacturing	Review	Engineering Design Science					
Bi et al.; (2015)	Understanding the utilization of information stimuli in design decision making using eye gaze data.	International Design Engineering Technical Conferences & Computers and	Experiment	Industrial Design	Eye tracking	20	Graduate students from engineering schools	X	X

		Information in Engineering Conference							
Bilda et al.; (2006)	To sketch or not to sketch? That is the question	Design Studies	Experiment	Industrial Design		3	Architects with 10 years of experience		X
Borgianni and Maccioni; (2020)	Review of the use of neurophysiological and biometric measures in experimental design research	Artificial intelligence for Engineering design, analysis and manufacturing	Review	Neuro-Engineering Design					
Borgianni et al,; (2020)	Forms of stimuli and their effects on idea generation in terms of creativity metrics and non-obviousness	International Journal of Design Creativity and Innovation	Experiment	Industrial Design		81	First-year students enrolled in the Bachelor's Degree program in Industrial Design		X
Boujut et al.; (2020)	Brain activity in constrained and open Design space: an EEG study	International conference on Design creativity	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	EEG	18	Professional industrial designers		
Cardoso and Badke-Schaub; (2011)	The influence of different pictorial representations during idea generation	Journal of Creative Behavior	Experiment	Industrial Design		66	Fourth-year master students from an industrial design engineering course	X	
Casakin; (2010)	Visual analogy, visual displays, and the nature of design problems: The effect of expertise	Environment and Planning B: Planning and Design	Experiment	Industrial Design		63	Architectural designers with different levels of expertise		X
Cascini et al.; (2018)	Impact of Design Representations on Creativity of Design	Journal of Integrated Design and Process Science	Experiment	Industrial Design		35	Master of Science (MS) students enrolled in a Mechanical		X

	Outcomes						Engineering study program, 2nd year		
Cash et al.; (2015)	Activity Theory as a means for multi-scale analysis of the engineering design process: A protocol study of design in practice	Design Studies	Multi-Scale analysis of designers activity	Engineering Design		3	Engineers		
Chai et al.; (2014)	Behavioral analysis of analogical reasoning in design: Differences among designers with different expertise levels	Design studies	Experiment	Industrial Design		64	- 21 First-year students without experience - 31 Third-year design students without experience - 12 Designers with 2-8 years of experience	X	
Chan et al.; (2014)	Do the best design ideas (really) come from conceptually distant sources of inspiration?	Design Studies	Experiment	Design cognition		357	Subjects on Web-based innovation platform.	X	
Fink et al.; (2009)	The creative brain: Investigation of brain activity during creative problem solving by means of EEG and fMRI	Human Brain mapping	Experiment by Neuro-imaging	Psychology	EEG, fMRI	50	Screened with respect to: - personality - intelligence - trait creativity		
Fink et al.; (2010)	Enhancing creativity by means of cognitive stimulation: Evidence from an fMRI study	NeuroImage	Experiment by Neuro-imaging	Design cognition	fMRI	39	Adult students		X
Goldschm	Variances in	Design	Experiment	Industrial		36	-20		X

idt and Smolkov; (2006)	the impact of visual stimuli on design problem solving performance	Studies		Design			architecture students in their fourth or fifth year of undergraduate studies -16 industrial design students pursuing a Master's degree		
Goldschmidt and Sever; (2011)	Inspiring design ideas with texts	Design Studies	Experiment	Industrial Design		35	Industrial design students in their second or third year of undergraduate studies	X	
Gonçalves et al.; (2014)	What inspires designers? Preferences on inspirational approaches during idea generation	Design studies	Questionnaire	Industrial Design		155	- 103 industrial design engineering Master's students - 52 professional designers		X
Gonçalves et al.; (2016)	Inspiration choices that matter: The selection of external stimuli during ideation	Design science	Experiment	Industrial Design		31	Masters design students from an Industrial Design Engineering faculty	X	X
Goucher-Lambert et al.; (2018)	Inspired internal search: using neuroimaging to understand design ideation and concept generation with inspirational stimuli	International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	fMRI	21	Graduate level students specializing in an engineering design or product development focused program.	X	

		Conference							
Goucher-Lambert et al.; (2019)	A neuroimaging investigation of design ideation with and without inspirational stimuli	Design Studies	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	fMRI	21	Graduate level students specializing in engineering, design or product development.	X	
Grace et al.; (2011)	Applying interpretation-driven association to Design domains	International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research	Computational model of visual association-making						
Hay et al.; (2019)	The neural correlates of ideation in product design engineering practitioners	Design Science	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	fMRI	32	Practicing product design engineers with at least 2 years professional experience		
Hartog et al; (2020)	Work in Progress: Using Neuro-responses to Understand Creativity, the Engineering Design Process, and Concept Generation	ASEE Virtual Annual conference	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	EEG	2	Engineers		
Hu and Reid; (2018)	The effects of designers' contextual experience on the ideation process and design outcomes	Journal of Mechanical design	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	EEG	33	Engineers vs Other fields experts		
Hu et al.; (2021)	Cognitive differences among first-year and senior engineering students when generating	Design Science	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	fNIRS	20	-12 First-year engineering students -8 Senior engineering students		

	design solutions with and without additional dimensions of sustainability								
Jauk et al.; (2012)	Tackling creativity at its roots: Evidence for different patterns of EEG alpha activity related to convergent and divergent modes of task processing	International Journal of Psychophysiology	Experiment by Neuro-imaging	Creative thinking	EEG	55	15-18 years old subjects		
Jia et al.; (2020)	Testing ideation performance on a large set of designers: effects of analogical distance	International Journal of Design Creativity and Innovation	Experiment	Industrial Design		84	Novice mechanical designers	X	
Jia and Zeng; (2021)	EEG signals respond differently to idea generation, idea evolution and evaluation in a loosely controlled creativity experiment	Scientific reports	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	EEG	29	Graduate students from Information Systems Engineering		
Jung et al; (2010)	Neuroanatomy of creativity	Human Brain Mapping	Experiment by Neuro-imaging	Neuroscience	MRI	61			
Kavakli and Gero; (2001)	The structure of concurrent cognitive actions: a case study on novice and expert designers	Design Studies	Experiment	Design cognition		2	-1 novice architect -1 expert architect		
Liikkanen and Perttula; (2010)	Inspiring design idea generation: Insights from a	Journal of Engineering Design	Experiment	Industrial Design		50	Students of mechanical engineering (novice		X

	memory-search perspective						designers).		
Linsey et al.; (2012)	Design by Analogy: A Study of the WordTree Method for Problem Re-Representation	Journal of Mechanical design	Experiment	Industrial Design			Senior undergraduate students taking their capstone design course.		
Liu et al.; (2016)	Identification of relationships between EEG bands and design activities	International Design Engineering technical conferences	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	EEG	42	Master's student taking a design course.		
Liu et al.; (2018)	An EEG study of the relationship between design problem statements and cognitive behaviors during conceptual design	Artificial intelligence for Engineering design, Analysis and Manufacturing	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	EEG	19	First-year graduate students from the school of manufacturing science and engineering		
Majdic et al.; (2017)	Monitoring Brain Waves in an Effort to Investigate Student's Cognitive Load During a Variety of Problem Solving Scenarios	Systems and Information Engineering Design Symposium	Experiment by Neuroimaging	Neuro-Engineering Design	EEG	9	-4 sophomore undergraduate engineering students -5 senior undergraduate engineering students.		
Malaga; (2000)	The effect of stimulus modes and associative distance in individual creativity support systems	Decision support system	Experiment	Industrial Design		90	Students of software course.	X	X
Milovanovic et al.; (2021)	Temporal dynamics of brain activation during three concept	International conference on Engineering Design	Experiment by Neuro-imaging	Conceptual Design	fNIRS	27	Engineering students (students from the same engineering		

	generation techniques						background and with limited design experience)		
Nagai and Noguchi; (2003)	An experimental study on the design thinking process started from difficult keywords: modeling the thinking process of creative design	Journal of Engineering Design	Experiment	Engineering Design		80	First-year students in the Department of Design		X
Nguyen et al.; (2013)	Distribution of mental stress during conceptual design activities	International conference on Engineering Design	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	HRV	11	Graduate students with engineering background.		
Nguyen and Zeng; (2014)	A physiological study of relationship between designer's mental effort and mental stress during conceptual design	Computer Aided Design	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	EEG, HRV	11	Graduate students from the Quality System Engineering program.		
Nguyen and Zeng; (2017)	Effects of stress and effort on self-rated reports in experimental study of design activities	Journal of Intelligent Manufacturing	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	EEG, Skin Conductance	42	Engineering students		
Nguyen et al.; (2018)	Empirical approaches to quantifying effort, fatigue and concentration in the conceptual design process: An EEG study	Research in Engineering Design	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	EEG	8	Students from the Quality System Engineering program.		
Nolte and McComb; (2020)	Identyfing stress signature across the	Proceedings of the Design	Experiment and Survey	Engineering Design		25	Introductory engineering students		

	engineering design process: perceived stress during concept generation, concept selection, and prototyping	Society: Design Conference							
Pidgeon et al.; (2016)	Functional neuroimaging of visual creativity: a systematic review and meta-analysis	Brain and Behavior	Review	Creative thinking					
Shumin et al.; (2021)	Correlating Design performance to EEG activation: early evidence from experimental data	International Conference on Engineering Design	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	EEG	19	Undergraduate Engineering Students		
Srinivasan et al.; (2018)	Does analogical distance affect performance of ideation?	Journal of Mechanical Design	Experiment	Industrial Design		105	Designers	X	
Steinert and Jablokow; (2013)	Triangulating front end engineering design activities with physiology data and psychological preferences	International Conference on Engineering Design	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	EEG, ECG	*Small sample*			
Sun and Yao; (2012)	Investigating the relation between cognitive load and creativity in the conceptual design process	Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting	Experiment	Conceptual Design		9	Students in the faculty of Engineering		
Suwa and Tversky; (1997)	What do architects and students perceive in their design sketches? A	Design studies	Experiment	Industrial Design		9	- 2 Practicing architects - 7 Advanced students in an architectural	X	

	protocol analysis						department		
Todoroff et al.; (2021)	Comparing Design Thinking Traits between National Samples of Civil Engineering and Architecture Students	Journal of civil engineering education	Experiment	Design Thinking		692	- 356 Civil engineering students - 336 Architecture college students in their final year of college		
Tseng et al.; (2008)	The role of timing and analogical similarity in the stimulation of idea generation in design	Design studies	Experiment	Engineering Design		71	Undergraduate seniors in the Department of Mechanical Engineering	X	
Vieira et al.; (2019)	Comparing the design neurocognition of mechanical engineers: a study of the effect of designer's domain.	International Conference of Engineering Design	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	EEG	36	-18 Architects -18 Mechanical engineers		
Vieira et al.; (2019)	Comparing the design neurocognition of mechanical engineers and architects: A study of the effect of designer's domain	International Conference on Engineering Design	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	EEG	36	-18 Architects -18 Mechanical engineers		
Vieira et al.; (2019)	Understanding the design neurocognition of mechanical engineers when designing and problem solving	International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	EEG	18	Mechanical engineers		

Vieira et al.; (2020)	Designing-related neural processes: Higher alpha, theta and beta bands' key roles in distinguishing designing from problem-solving	Design Computing and Cognition DCC'20	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	EEG	29	Industrial Designer		
Vieira et al.; (2020)	The neurophysiological activations of novice and experienced professionals when designing and problem-solving.	International design conference	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	EEG	55	-26 Mechanical engineers -29 Industrial designers		
Vieira et al.; (2021)	Brain activity of industrial designers in constrained and open design: the effect of gender on frequency bands	International Conference on Engineering Design	Experiment by Neuro-imaging	Neuro-Engineering Design	EEG	24	Industrial designers		

Bibliografia

Alexiou, K., Zamenopoulos, T., Johnson, J. H., & Gilbert, S. J. (2009). Exploring the neurological basis of design cognition using brain imaging: some preliminary results. *Design Studies*, *30*(6), 623–647. https://doi.org/10.1016/j.destud.2009.05.002

An, T., & Zeng, Y. (n.d.). *PHYSIOLOGICALLY BASED SEGMENTATION OF DESIGN PROTOCOL*.

Balters, S., & Steinert, M. (2017). Capturing emotion reactivity through physiology measurement as a foundation for affective engineering in engineering design science and engineering practices. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *28*(7), 1585–1607. https://doi.org/10.1007/s10845-015-1145-2

Bender, B. (2003). Task design and task analysis for empirical studies into design activity. *Journal of Engineering Design*, *14*(4), 399–408. https://doi.org/10.1080/0954482031000160689 4

Benedek, M. (2018). Internally directed attention in creative cognition. In *The Cambridge Handbook of the Neuroscience of Creativity* (pp. 180–194). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781316556238.011

Bi, Y., Shergadwala, M., Reid, T., & Panchal, J. H. (2015). *UNDERSTANDING THE UTILIZATION OF INFORMATION STIMULI IN DESIGN DECISION MAKING USING EYE GAZE DATA*. http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/pdfaccess.ashx?url=/data/conferences/asmep/86601/

Bilda, Z., Gero, J. S., & Purcell, T. (2006). To sketch or not to sketch? That is the question. *Design Studies*, *27*(5), 587–613. https://doi.org/10.1016/j.destud.2006.02.002

Blaize Majdic, Charles Cowan, Justyn Girdner, Winifred Opoku, Olga Pierrakos, & Elise Barrella. (2017). *Monitoring Brain Waves in an Effort to Investigate Student's Cognitive Load During a Variety of Problem Solving Scenarios*. 376.

Borgianni, Y., & MacCioni, L. (2020). Review of the use of neurophysiological and biometric measures in experimental design research. In *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM* (Vol. 34, Issue 2, pp. 248–285). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/S0890060420000062

Borgianni, Y., Maccioni, L., Fiorineschi, L., & Rotini, F. (2020). Forms of stimuli and their effects on idea generation in terms of creativity metrics and non-obviousness. *International Journal of Design Creativity and Innovation*, *8*(3), 147–164. https://doi.org/10.1080/21650349.2020.1766379

Cardoso, C., & Badke-Schaub, P. (2011). The influence of different pictorial representations during idea generation. *Journal of Creative Behavior*, *45*(2), 130–146. https://doi.org/10.1002/j.2162-6057.2011.tb01092.x

Casakin, H. (2010). Visual analogy, visual displays, and the nature of design problems: The effect of expertise. *Environment and Planning B: Planning and Design*, *37*(1), 170–188. https://doi.org/10.1068/b35073

Cascini, G., Fiorineschi, L., & Rotini, F. (2020). Impact of Design Representations on Creativity of Design Outcomes. *Journal of Integrated Design and Process Science*, *23*(2), 31–60. https://doi.org/10.3233/JID180012

Chai, C., Cen, F., Ruan, W., Yang, C., & Li, H. (2015). Behavioral analysis of analogical reasoning in design: Differences among designers with different expertise levels. *Design Studies*, *36*(C), 3–30. https://doi.org/10.1016/j.destud.2014.07.001

Chan, J., Dow, S. P., & Schunn, C. D. (2015). Do the best design ideas (really) come from conceptually distant sources of inspiration? *Design Studies*, *36*(C), 31–58. https://doi.org/10.1016/j.destud.2014.08.001

Chiuan Yen, C., Gero, J., & Tang, H.-H. (n.d.). *Protocol Analysis in Design Research: a review Cite this paper Related papers Exploring t he Effect of Design Tasks on Concept ual Design Act ivit ies Ching Chiuan Yen Generalizing design cognit ion research John Gero T he Differences Bet ween Ret rospect ive and Concurrent Prot ocols In Revealing t he Process-Orient e… Protocol Analysis in Design Research: a review*.

Colombo, S., Mazza, A., Montagna, F., Ricci, R., Dal Monte, O., & Cantamessa, M. (2020). NEUROPHYSIOLOGICAL EVIDENCE in IDEA GENERATION: DIFFERENCES between DESIGNERS and ENGINEERS. *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference*, *1*, 1415–1424. https://doi.org/10.1017/dsd.2020.161

Durand, F., Helms, M. E., Tsenn, J., Mcadams, D. A., & Linsey, J. S. (2015). *IN SEARCH OF EFFECTIVE DESIGN PROBLEMS FOR DESIGN RESEARCH*. http://www.asme.org/about-asme/terms-of-use

Fink, A., Grabner, R. H., Benedek, M., Reishofer, G., Hauswirth, V., Fally, M., Neuper, C., Ebner, F., & Neubauer, A. C. (2009). The creative brain: Investigation of brain activity during creative problem solving by means of EEG and fMRI. *Human Brain Mapping*, *30*(3), 734–748. https://doi.org/10.1002/hbm.20538

Fink, A., Grabner, R. H., Gebauer, D., Reishofer, G., Koschutnig, K., & Ebner, F. (2010). Enhancing creativity by means of cognitive stimulation: Evidence from an fMRI study. *NeuroImage*, *52*(4), 1687–1695. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.05.072

Fu, K., Chan, J., Cagan, J., Kotovsky, K., Schunn, C., & Wood, K. (2013). The meaning of near and far: The impact of structuring design databases and the effect of distance of analogy on design output. *Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME*, *135*(2). https://doi.org/10.1115/1.4023158

Goldschmidt, G., & Sever, A. L. (2011). Inspiring design ideas with texts. *Design Studies*, *32*(2), 139–155. https://doi.org/10.1016/j.destud.2010.09.006

Goldschmidt, G., & Smolkov, M. (2006). Variances in the impact of visual stimuli on design problem solving performance. *Design Studies*, *27*(5), 549–569. https://doi.org/10.1016/j.destud.2006.01.002

Gonçalves, M., Cardoso, C., & Badke-Schaub, P. (2014). What inspires designers? Preferences on inspirational approaches during idea generation. *Design Studies*, *35*(1), 29–53. https://doi.org/10.1016/j.destud.2013.09.001

Gonçalves, M., Cardoso, C., & Badke-Schaub, P. (2016). Inspiration choices that matter: The selection of external stimuli during ideation. *Design Science*, *2*. https://doi.org/10.1017/dsj.2016.10

Goucher-Lambert, K. ;, & Cagan, J. (n.d.). USING CROWDSOURCING TO PROVIDE ANALOGIES FOR DESIGNER IDEATION IN A COGNITIVE STUDY. In *Human Behaviour in Design* (Vol. 8).

Goucher-Lambert, K., Moss, J., & Cagan, J. (2018). *INSPIRED INTERNAL SEARCH: USING NEUROIMAGING TO UNDERSTAND DESIGN IDEATION AND CONCEPT GENERATION WITH INSPIRATIONAL STIMULI*. https://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org

Goucher-Lambert, K., Moss, J., & Cagan, J. (2019). A neuroimaging investigation of design ideation with and without inspirational stimuli—understanding the meaning of near and far stimuli. *Design Studies*, *60*, 1–38. https://doi.org/10.1016/j.destud.2018.07.001

Hay, L., Duffy, A. H. B., Gilbert, S. J., Lyall, L., Campbell, G., Coyle, D., & Grealy, M. A. (2019). The neural correlates of ideation in product design engineering practitioners. *Design Science*, *5*. https://doi.org/10.1017/dsj.2019.27

Hay, L., Duffy, A. H. B., McTeague, C., Pidgeon, L. M., Vuletic, T., & Grealy, M. (2017). A systematic review of protocol studies on conceptual design cognition: Design as search and exploration. *Design Science*, *3*. https://doi.org/10.1017/dsj.2017.11

Hu, M., Shealy, T., & Milovanovic, J. (2021). Cognitive differences among first-year and senior engineering students when generating design solutions with and without additional dimensions of sustainability. *Design Science*. https://doi.org/10.1017/dsj.2021.3

Hu, W. L., & Reid, T. (2018). The Effects of Designers Contextual Experience on the Ideation Process and Design Outcomes. *Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME*, *140*(10). https://doi.org/10.1115/1.4040625

Jauk, E., Benedek, M., & Neubauer, A. C. (2012). Tackling creativity at its roots: Evidence for different patterns of EEG alpha activity related to convergent and divergent modes of task processing. *International Journal of Psychophysiology*, *84*(2), 219–225. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.02.012

Jia, L., Becattini, N., Cascini, G., & Tan, R. (2020). Testing ideation performance on a large set of designers: effects of analogical distance. *International Journal of Design Creativity and Innovation*, *8*(1), 31–45. https://doi.org/10.1080/21650349.2019.1618736

Jia, W., & Zeng, Y. (2021). EEG signals respond differently to idea generation, idea evolution and evaluation in a loosely controlled creativity experiment. *Scientific Reports*, *11*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-021-81655-0

Katsuki, F., & Constantinidis, C. (2014). Bottom-up and top-down attention: Different processes and overlapping neural systems. In *Neuroscientist* (Vol. 20, Issue 5, pp. 509–521). SAGE Publications Inc. https://doi.org/10.1177/1073858413514136

Kavakli, M., & Gero, J. S. (n.d.). *THE STRUCTURE OF CONCURRENT COGNITIVE ACTIONS: A CASE STUDY ON NOVICE AND EXPERT DESIGNERS*.

Koronis, G., Silva, A., & Kang, J. (2018). The impact of design briefs on creativity: A study on measuring student designers outcomes. *Proceedings of International Design Conference, DESIGN*, *5*, 2461–2472. https://doi.org/10.21278/idc.2018.0328

Kumar, V., Assistant, G. R., & Mocko, G. (2016). *SIMILARITY OF ENGINEERING DESIGN PROBLEMS TO ENABLE REUSE IN DESIGN RESEARCH EXPERIMENTS*. http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/pdfaccess.ashx?url=/data/conferences/asmep/90700/

Linsey, J. S., Markman, A. B., & Wood, K. L. (2012). Design by analogy: A study of the WordTree method for problem re-representation. *Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME*, *134*(4). https://doi.org/10.1115/1.4006145

Liu, L., Li, Y., Xiong, Y., Cao, J., & Yuan, P. (2018). An EEG study of the relationship between design problem statements and cognitive behaviors during conceptual design. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM*, *32*(3), 351–362. https://doi.org/10.1017/S0890060417000683

Liu, L., Nguyen, T. A., Zeng, Y., & Hamza, A. ben. (2016). *IDENTIFICATION OF RELATIONSHIPS BETWEEN ELECTROENCEPHALOGRAPHY (EEG) BANDS AND DESIGN ACTIVITIES*. http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/pdfaccess.ashx?url=/data/conferences/asmep/90700/

Malaga, R. A. (2000). The effect of stimulus modes and associative distance in individual creativity support systems. In *Decision Support Systems* (Vol. 29). www.elsevier.comrlocaterdsw

Milovanovic, J., Hu, M., Shealy, T., & Gero, J. (2021). TEMPORAL DYNAMICS OF BRAIN ACTIVATION DURING THREE CONCEPT GENERATION TECHNIQUES. *Proceedings of the Design Society*, *1*, 2961–2970. https://doi.org/10.1017/pds.2021.557

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., Altman, D., Antes, G., Atkins, D., Barbour, V., Barrowman, N., Berlin, J. A., Clark, J., Clarke, M., Cook, D., D'Amico, R., Deeks, J. J., Devereaux, P. J., Dickersin, K., Egger, M., Ernst, E., … Tugwell, P. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. In *PLoS Medicine* (Vol. 6, Issue 7). https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097

Nagai, Y., & Noguchi, H. (2003). An experimental study on the design thinking process started from difficult keywords: Modeling the thinking process of creative design. *Journal of Engineering Design*, *14*(4), 429–437. https://doi.org/10.1080/0954482031000160691 1

Nguyen, P., Nguyen, T. A., & Zeng, Y. (2015). *MEASURING THE EVOKED HARDNESS OF DESIGN PROBLEMS USING TRANSIENT MICROSTATES*. http://www.asme.org/about-asme/terms-of-use

Nguyen, P., Nguyen, T. A., & Zeng, Y. (2018). Empirical approaches to quantifying effort, fatigue and concentration in the conceptual design process: An EEG study. *Research in Engineering Design*, *29*(3), 393–409. https://doi.org/10.1007/s00163-017-0273-4

Nguyen, T. A., & Zeng, Y. (2014). A physiological study of relationship between designer's mental effort and mental stress during conceptual design. *CAD Computer Aided Design*, *54*, 3–18. https://doi.org/10.1016/j.cad.2013.10.002

Nguyen, T. A., & Zeng, Y. (2017). Effects of stress and effort on self-rated reports in experimental study of design activities. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *28*(7), 1609–1622. https://doi.org/10.1007/s10845-016-1196-z

Nolte, H., & McComb, C. (2020). IDENTIFYING STRESS SIGNATURES across the ENGINEERING DESIGN PROCESS: PERCEIVED STRESS during CONCEPT GENERATION, CONCEPT SELECTION, and PROTOTYPING. *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference*, *1*, 1505–1514. https://doi.org/10.1017/dsd.2020.69

P. P. Sipilä, & M. K. Perttula. (2006). *INFLUENCE OF TASK INFORMATION ON DESIGN IDEA GENERATION PERFORMANCE*.

Patel, A., Elena, M. V., & Summers, J. (2019). A systematic approach to evaluating design prompts in supporting experimental design research. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*, *2019-August*, 2755–2764. https://doi.org/10.1017/dsi.2019.282

Pidgeon. (n.d.). *e00540 (2 of 26)* |. http://www.brainmap.org/ale

Purcell, A. T., & Gero, J. S. (1992). *Effects of examples on the results O of a design acfi ty*.

Sosa, R. (2019). Metrics to select design tasks in experimental creativity research. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, *233*(2), 440–450. https://doi.org/10.1177/0954406218778305

Srinivasan, V., Song, B., Luo, J., Subburaj, K., Elara, M. R., Blessing, L., & Wood, K. (2018). Does analogical distance affect performance of ideation? *Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME*, *140*(7). https://doi.org/10.1115/1.4040165

Steinert, M., & Jablokow, K. (n.d.). *Triangulating front end engineering design activities with physiology data and psychological preferences*. https://www.researchgate.net/publication/289078491

Sun, G., & Yao, S. (2012). Investigating the relation between cognitive load and creativity in the conceptual design process. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 308–312. https://doi.org/10.1177/1071181312561072

Suwa, M., & Tversky, B. (1997). *What do architects and students perceive in their design sketches? A protocol analysis*.

Todoroff, E. C., Shealy, T., Milovanovic, J., Godwin, A., & Paige, F. (2021). Comparing Design Thinking Traits between National Samples of Civil Engineering and Architecture Students. *Journal of Civil Engineering Education*, *147*(2), 04020018. https://doi.org/10.1061/(asce)ei.2643-9115.0000037

Torres-Carrion, P. V., Gonzalez-Gonzalez, C. S., Aciar, S., & Rodriguez-Morales, G. (2018). Methodology for systematic literature review applied to engineering and education. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*, *2018-April*, 1364–1373. https://doi.org/10.1109/EDUCON.2018.8363388

Tseng, I., Moss, J., Cagan, J., & Kotovsky, K. (2008). The role of timing and analogical similarity in the stimulation of idea generation in design. *Design Studies*, *29*(3), 203–221. https://doi.org/10.1016/j.destud.2008.01.003

Vieira, S., Gero, J., Delmoral, J., Gattol, V., Fernandes, C., Parente, M., & Fernandes, A. (2019). *UNDERSTANDING THE DESIGN NEUROCOGNITION OF MECHANICAL ENGINEERS WHEN DESIGNING AND PROBLEM-SOLVING*. https://www.panopto.com/

Vieira, S., Gero, J., Gattol, V., Delmoral, J., Li, S., Cascini, G., & Fernandes, A. (2020). THE NEUROPHYSIOLOGICAL ACTIVATIONS of NOVICE and EXPERIENCED PROFESSIONALS WHEN DESIGNING and PROBLEM-SOLVING. *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference*, *1*, 1569–1578. https://doi.org/10.1017/dsd.2020.121

Vieira, S. L. da S., Benedek, M., Gero, J. S., Cascini, G., & Li, S. (2021). BRAIN ACTIVITY OF INDUSTRIAL DESIGNERS IN CONSTRAINED AND OPEN DESIGN: THE EFFECT OF GENDER ON FREQUENCY BANDS. *Proceedings of the Design Society*, *1*, 571–580. https://doi.org/10.1017/pds.2021.57

Vieira, S. L. da S., Gero, J. S., Delmoral, J., Gattol, V., Fernandes, C., & Fernandes, A. A. (2019). Comparing the design neurocognition of mechanical engineers and architects: A study of the effect of designer's domain. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*, *2019-August*, 1853–1862. https://doi.org/10.1017/dsi.2019.191