

UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

Facoltà di Ingegneria

Dipartimento in Ingegneria Civile, Edile e Architettura

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile



Valutazione sperimentale degli effetti del Biophilic Design
sulla produttività di utenti in ambienti virtuali ad uso
ufficio

*Experimental evaluation of the effects of Biophilic Design on the
productivity of users in virtual office environments*

Relatore

Prof. Ing. Marco D'Orazio

Correlatore

Prof. Ing. Elisa Di Giuseppe

Tesi di Laurea di

Ludovica Marcelli

A.A. 2021/2022

Indice

1. Introduzione	4
2. Stato dell'arte	7
2.1 Restorative environmental design	7
2.2 Biophilic design	11
2.3 Metodi di valutazione di ambienti biofilii immersivi	18
2.2.1 Metodi di valutazione del comfort	21
2.2.2 Metodi di valutazione della produttività	32
2.2.3 Metodi di valutazione del senso di presenza, grado di immersività e <i>Cybersickness</i> ..	39
2.3 Conclusioni stato dell'arte	44
3. Fasi e metodi	47
3.1 Elenco fasi operative	47
3.2 Metodologia	49
3.2.1 Selezione del campione	50
3.2.2 Questionario <i>pre</i> e <i>post</i> sperimentale	53
3.2.3 Test di produttività in IVE	58
3.2.4 Procedura sperimentale	60
3.3 Realizzazione tracce audio	66
3.4 Realizzazione del modello virtuale immersivo	72
3.5 Allestimento della stanza per lo svolgimento delle prove	83
3.6 Analisi dei dati e test statistici	86
3.6.1 Wilcoxon Signed-Rank test	86
3.6.2 T-test	89
4. Risultati	91
4.1 Descrizione del campione	91
4.2 Ecological validity del modello	97
4.2.1 Analisi del senso di presenza e analisi dei risultati dell'indagine di immersività	97
4.2.2 Analisi del Virtual Reality Sickness Questionnaire	101
4.3 Valutazione dell'impatto degli elementi biofilii visivi e non visivi in IVE	102
4.3.1 Produttività	102
4.3.2 Comfort	116

4.3.3 Misure fisiologiche.....	123
4.4 Eye-tracking.....	128
5. Conclusioni	132
6. Bibliografia.....	138

1. Introduzione

Oltre la metà della popolazione a livello globale vive in aree urbane. Si è stimato che l'uomo trascorre fino al 90% del suo tempo all'interno di ambienti chiusi, di cui il 60% in luoghi di lavoro spesso ritenuti insoddisfacenti.

Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità, buona parte dei fattori che influenzano la nostra salute e il nostro benessere sono direttamente correlabili all'ambiente costruito. Per questo negli ultimi anni è emerso un interesse sempre più crescente riguardo l'impatto che l'ambiente interno ha sugli occupanti da un punto di vista comportamentale, del benessere e del comfort, ma anche sotto l'aspetto dell'efficienza lavorativa.

Quest'ultimo aspetto implica la necessità di un'analisi incentrata sulla qualità dei luoghi di lavoro, dove i lavoratori a tempo pieno trascorrono circa un terzo della loro giornata, e soprattutto considerando che il 90% dei costi totali sostenuti da un'azienda sono destinati alla copertura degli stipendi e dei benefits dei dipendenti.

L'ottimizzazione del design degli ambienti di lavoro potrebbe rappresentare nei prossimi anni un aspetto cruciale per assumere e trattenere nuove risorse, favorendone la concentrazione e la produttività. Inoltre, un altro aspetto interessante è emerso a causa della recente pandemia di coronavirus, con la quale gli utenti hanno iniziato a riconsiderare le funzionalità dei loro spazi di lavoro. In particolare, l'impossibilità di utilizzare gli uffici durante la pandemia ha portato buona parte della popolazione a sperimentare lo "smart working" e a reinventare l'ambiente domestico per adattarlo alla nuova condizione lavorativa, creando istintivamente condizioni che favorissero il benessere mentale ed emotivo. Per questa ragione, ad oggi, i lavoratori che sono tornati fisicamente negli uffici, ricercano ambienti che rispettino le loro esigenze almeno tanto quanto facevano i loro spazi di lavoro domestici.

Sfortunatamente il design moderno propone spesso uffici privi di luce diurna, spazi ristretti e assenza di aria fresca, isolando sempre più le persone dall'esperienza benefica della natura. La società contemporanea non riesce a riconoscere e assecondare la necessità di connessione dell'uomo con i sistemi naturali, continuando a impiegare un design poco attento al benessere dell'utente, che costituisce ad oggi una vera e propria carenza progettuale della vita urbana moderna. Dunque, la sfida urgente che si presenta è quella di riconnettere l'uomo con la natura tramite la progettazione degli spazi costruiti.

Nasce in questo contesto il *biophilic design*, una metodologia di progettazione che può influire positivamente sulla salute e sul benessere dell'uomo. Il concetto si basa sulla teoria che l'uomo abbia una sorta di memoria genetica per gli ambienti naturali, e il *biophilic design* mira a sfruttare questa connessione innata con la natura per creare ambienti interni salutaris e soddisfacenti. I primi studi sul *biophilic design* sono stati effettuati in un contesto fisico reale (ad esempio in laboratori con reale inserimento di elementi verdi). Tuttavia, queste ricerche condotte con metodo tradizionale spesso risultano dispendiose in termini di tempo e denaro, a seconda anche della complessità e della scala dell'esperimento, e possono essere influenzate facilmente da fattori esterni, con conseguente distorsione dei risultati.

Solo da pochi anni, grazie ai recenti sviluppi tecnologici, è possibile studiare il *biophilic design* conducendo prove in ambiente virtuale. Ad oggi, è infatti noto che la Realtà Virtuale (VR) comporti una serie di vantaggi, a partire dalla riduzione dei costi e dei tempi di sperimentazione, consentendo ai ricercatori di manipolare adeguatamente le variabili desiderate e dando la possibilità di ripetere i test numerose volte.

L'ambiente virtuale immersivo (IVE) sta diventando sempre più diffuso, facilitando in generale l'ingegneria e la gestione dell'ambiente costruito, e integrandosi perfettamente con le nuove tecnologie che prevedono l'utilizzo congiunto di diversi mezzi per ottenere informazioni in tempo reale su ogni aspetto progettuale.

Tuttavia, ad oggi, solo un numero limitato di studi ha esplorato le potenzialità dell'IVE per indagare gli effetti degli stimoli multisensoriali biofilari, concentrandosi più che altro sulla sola riduzione dello stress, piuttosto che indagare uno spettro più ampio di benefici ottenibili.

Quindi, la presente tesi ha come obiettivo quello di esaminare l'efficacia della VR come strumento di ricerca utile alla valutazione dell'impatto dei diversi scenari biofilari immersivi multisensoriali (visivi e non visivi) sugli occupanti nei luoghi di lavoro.

2. Stato dell'arte

La ricerca degli ultimi decenni ha prodotto prove sostanziali riguardo gli impatti positivi che l'esposizione alla natura ha sulla condizione fisica e mentale dell'uomo. L'introduzione di elementi naturali all'interno dell'ambiente costruito ha recentemente ricevuto una crescente attenzione, grazie proprio a quelli che sono i suoi effetti positivi per la salute.

Nei seguenti paragrafi verranno esposte dapprima le teorie consolidate del design "rigenerativo", approfondendo poi i principi del *biophilic design*, e successivamente verranno presentati gli studi condotti in VR che si sono occupati del tema indagando il potenziale benefico della natura derivante dall'introduzione di elementi biofilii negli ambienti interni.

2.1 Restorative environmental design

Il *Regenerative Design* è una proposta culturale e scientifica conseguenza dell'evoluzione del pensiero ambientale, e implica cambiamenti su più livelli e in più settori, mirando a restituire al sistema naturale ciò che l'urbanizzazione industriale ha tolto.

L'ambiente in cui ci troviamo ha un grande impatto su come ci sentiamo e su come ci comportiamo. Dunque, può essere molto utile durante la progettazione degli spazi interni comprendere quali caratteristiche dei luoghi influenzano il modo in cui le persone sperimentano tali ambienti.

Per soddisfare le esigenze della vita quotidiana, l'uomo inevitabilmente impiega una numerosa varietà di risorse a partire dall'energia fisica e dall'energia spesa per focalizzare l'attenzione. L'uso di queste risorse comporta stress e affaticamento.

Il concetto del “*Restorative environmental design*” si inserisce in questo contesto come un processo “ripartivo” che ha come obiettivo il rigenerare le risorse psicofisiche esauritesi nell’uomo durante lo svolgimento dei compiti quotidiani [1].

Non essere nella condizione di poter ripristinare la propria salute fisica e mentale, comporta la diminuzione della capacità di agire in modo efficiente, manifestandosi nel soggetto con cambiamenti emozionali e fisiologici, nonché una importante diminuzione delle capacità cognitive e delle capacità relazionali interpersonali.

Dunque, poiché l’affaticamento fisico e mentale nasce da un eccesso di richieste rispetto alla disponibilità di risorse impiegabili, si può definire la *rigenerazione* come quel processo di rinnovamento o recupero delle capacità fisiche, psicologiche e sociali che sono state utilizzate per soddisfare esigenze di adattamento umane.

Gli ambienti “rigeneranti” possono essere individuati come luoghi che consentono e promuovono tale processo di rigenerazione [2].

Questo fenomeno avviene più efficacemente in alcuni ambienti piuttosto che in altri, per una questione di assenza o presenza di determinati elementi.

Nello studio delle fonti dello stress ambientale, i ricercatori hanno identificato una varietà di fattori causali, tra cui l'affollamento e il rumore; mentre hanno individuato fattori rigeneranti positivi quali l'estetica del paesaggio ed elementi simulanti l'esperienza sensoriale della natura [3].

Inoltre, si è osservato che il processo di rigenerazione è migliore, ovvero avviene più velocemente e in maniera più completa, in alcuni luoghi perché essi hanno qualità o caratteristiche che promuovono e catturano il nostro interesse.

Infatti, i concetti fondanti la scienza riparativa del *Restorative environmental design* si basano su due teorie complementari: La *Teoria del recupero dallo stress (SRT)* sviluppata da Ulrich et al. nel 1991 e la *Teoria del ripristino dell'attenzione (ART)* presentata da Kaplan and Kaplan nel 1989 [4].

La SRT indaga le risposte a livello fisiologico derivanti dall'esposizione dei soggetti a certi elementi naturali. Invece, la ART impronta la sua ricerca su caratteri prevalentemente di tipo cognitivo.

In particolare, la SRT [5] ha esplorato gli impatti fisiologici che il contatto con la natura ha sulla riduzione dello stress, individuando gli elementi naturali come i responsabili attivatori del nostro sistema nervoso, cardiovascolare, scheletomuscolare e neuroendocrino. Secondo questo studio gli stimoli naturali comportano una diminuzione della frequenza cardiaca e della pressione sanguigna, e un abbassamento del livello di conduttanza cutanea e del livello di cortisolo salivare. L'insieme di queste risposte fisiologiche potrebbe indurre il soggetto in uno stato di rilassamento, aiutandolo nel processo di recupero da stress e affaticamento.

Ulrich parla quindi di risposte inconsce e immediate, definendo uno stimolo naturale una reazione affettiva positiva a rapida insorgenza. Le motivazioni sono riconducibili a una visione evolucionistica dell'essere umano che ha vissuto per un lungo periodo a stretto contatto con la natura, rendendolo quindi fisiologicamente adattato agli ambienti naturali, al contrario di quelli urbani.

La ART [6] ha invece spiegato come l'esperienza della natura influenzi gli aspetti cognitivi, suggerendo che gli ambienti naturali potrebbero richiamare un'attenzione involontaria nelle persone. L'attenzione involontaria è dettata da stimoli esterni, e quindi non richiede uno sforzo mentale per essere attivata. Invece, l'attenzione volontaria, o diretta, è impartita da processi di controllo cognitivo, e viene utilizzata nella vita di tutti i giorni per autoimporsi di rimanere focalizzati su determinati compiti.

Secondo questa teoria esistono quattro componenti ambientali fondamentali che sono in grado di far subentrare l'attenzione involontaria, mettendo a riposo quella diretta responsabile della fatica mentale.

- La prima componente è quella rappresentata dal *fascino* di un ambiente, ovvero la capacità di un luogo di generare stupore nelle persone. Il fascino è dettato dalla presenza di oggetti e schemi esteticamente piacevoli.
- Un'altra componente è l'*estensione*, secondo cui varie parti dell'ambiente devono essere percepite come appartenenti a un insieme più ampio, favorendo la sensazione di poter viaggiare attraverso tutti questi elementi connessi tra loro.
- La terza componente è l'*allontanamento*, ovvero la sensazione dell'essere lontano fisicamente o mentalmente, ricreando una fuga temporanea dalle situazioni abituali.
- Infine, vi è la *compatibilità* che si crea tra l'ambiente stesso e le inclinazioni di una persona. Quest'ultimo parametro varia, infatti, a seconda dell'immaginario, della lingua, dell'alfabeto e degli usi dei suoi abitanti, assumendo caratteri dettati per lo più a livello culturale.

L'ambiente che viene indicato come possessore di tutte e quattro queste caratteristiche è quello naturale, ed è quindi in grado di favorire il recupero dell'attenzione portando a effetti riparatori contro l'affaticamento mentale causato invece dalla sovra stimolazione tipica dell'ambiente urbano. Trovarsi in un ambiente naturale porta, appunto, a mantenere una concentrazione di tipo diffuso che non comporta affaticamento mentale.

In conclusione, seppur concentrandosi su aspetti diversi, entrambe le teorie: quella di Kaplan per quanto riguarda gli aspetti psicologici e quella di Ulrich per quanto concerne invece gli aspetti fisiologici, definiscono le esperienze ristorative come un mezzo importante per ridurre l'affaticamento mentale e fisico, da compiere tramite l'immersione in ambienti naturali.

2.2 Biophilic design

Gli obiettivi del *Restorative environmental design* possono essere affrontati attraverso i principi della strategia progettuale biofilica: il *Biophilic Design*.

La biofilia, definita come "amore per la vita e per i sistemi viventi", è stata introdotta dallo psicoanalista e filosofo sociale *Erich Fromme* nel 1964 per descrivere la tendenza dell'uomo ad essere attratto da tutto ciò che è vivo e vitale. Il concetto è stato successivamente reso popolare dal biologo *E.O. Wilson* nel 1984, il quale ha suggerito che gli esseri umani, dal punto di vista della biologia evolutiva, hanno un'affinità intrinseca per il mondo naturale e per tutto ciò che lo ricorda.

La maggior parte delle ricerche che si sono occupate dell'impatto degli interni di un edificio sull'occupante si è concentrata su fattori negativi, ovvero tutto ciò che dà luogo ai sintomi associati alla "*sindrome dell'edificio malato*" [7]. A questo, invece, si contrappone l'introduzione di elementi biofilici all'interno dell'ambiente costruito, che è da considerarsi un fattore positivo.

Tant'è che l'evidenza degli apporti positivi degli ambienti biofilici ha dato origine a importanti sistemi di classificazione degli edifici, come ad esempio lo *standard WELL*.

Questo sistema WELL include una serie di strategie supportate dalle più recenti ricerche scientifiche che mirano a far progredire la salute umana attraverso interventi di progettazione, protocolli operativi, e politiche che promuovano la salute e il benessere degli occupanti. Questo sistema include la biofilia come una componente importante dei loro modelli. Nello specifico, lo standard WELL esamina qualitativamente la biofilia in termini di incorporazione e interazione naturale. Inoltre, stabilisce alcuni indicatori quantitativi rispetto al livello ottimale di percentuali di verde interno [8].

Infatti, negli ultimi anni si è assistito a una fioritura dell'interesse scientifico verso i benefici che l'adozione del design biofilico è in grado di portare all'interno degli ambienti.

Fu l'ecologo *Stephen Kellert* nel 2008 a introdurre la progettazione biofila per incorporare caratteristiche e sistemi naturali negli ambienti interni.

Studi di letteratura hanno incrementato una crescente base di prove, condotte in ambiente reale, secondo cui l'introduzione di elementi naturali nell'ambiente costruito comporta una varietà straordinariamente ampia di vantaggi per il benessere umano. Ad esempio è stato dimostrato che l'adozione del *biophilic design* nell'ambiente di lavoro può portare alla riduzione di fatica, ansia e stress [9], e è in grado di promuovere sia il miglioramento delle emozioni positive e sia delle funzioni cognitive [10] [11]. Per promuovere e rendere pratica l'adozione del design biofilo, *Kellert* ha individuato sei elementi principali, quali: caratteristiche ambientali generali, strutture e forme naturali, patterns e processi naturali, luce e spazio, relazioni basate sul luogo, e relazioni evolutive tra uomo e natura [12].

Queste categorie vengono a loro volta declinate in 72 attributi del design biofilo (*Tabella 1*), secondo la seguente classificazione:

CARATTERI AMBIENTALI	STRUTTURE E FORME NATURALI	PATTERNS E PROCESSI NATURALI	LUCE E SPAZIO	RELAZIONI BASATE SUL LUOGO	RELAZIONI EVOLUTIVE UOMO-NATURA
Colore	Motivi botanici	Variabilità sensoriale	Luce naturale e diffusa	Connessione geografica	Prospettiva e rifugio
Acqua	Supporti con alberi e colonnari	Ricchezza di informazioni	Luce e ombra	Connessione storica	Ordine e complessità
Aria	Motivi con animali vertebrati	Età e patina del tempo	Luce riflessa pozze di luce	Connessione ecologica	Curiosità e seduzione
Luce del sole	Conchiglie e spirali	Crescita e fioritura	Luce calda	Connessione culturale	Cambiamenti o metamorfosi
Piante	Forme a uovo, ovali e tubolari	Punto focale centrale	Luce come	Materiali locali	Sicurezza e protezione

			forma e sagoma		
Animali	Archi, volte, cupole	Insiemi di motivi ripetuti	Spaziosità	Orientamento nel paesaggio	Maestria e controllo
Materiali naturali	Forme che resistono a linee rette e angoli retti	Spazi delimitati	Variabilità spaziale	Paesaggio che definisce la forma dell'edificio	Affetto e attaccamento
Viste e panorami	Simulazione di caratteristiche naturali	Spazi di transizione	Spazio come struttura e forma	Ecologia del paesaggio	Attrazione e bellezza
Facciate verdi	Biomorfismo	Serie e concatenamenti	Armonia spaziale	Integrazione di cultura	Esplorazione e scoperta
Geologia e paesaggio	Geomorfologia	Integrazione delle parti	Spazi interni-esterni	Spirito del luogo	Informazioni e conoscenza
Habitat e ecosistemi	Biomimesi	Contrasti complementari		Evitare i non-luoghi	Paura e meraviglia
		Equilibrio dinamico			Venerazione e spiritualità
		Frattali			

Tabella 1

Nel 2014 la società di consulenza ambientale e pianificazione strategica *Terrapin Bright Green* ha riassunto i precedenti attributi in tre categorie: la natura nello spazio, l'analogia con la natura e la natura dello spazio, suddividendole a loro volta in 14 patterns [8].

Il risultato (*Tabella 2*) è un quadro utile per studiare la triplice relazione tra natura, biologia umana e progettazione dello spazio, con il fine di guidare la sperimentazione sui benefici della biofilia applicata al design degli spazi.

NATURA NELLO SPAZIO	ANALOGIA CON LA NATURA	NATURA DELLO SPAZIO
Connessione visiva con la natura	Forme biomorfe e pattern naturali	Prospettiva

Connessione non visiva con la natura	Materiali connessi con la natura	Rifugio
Stimoli sensoriali non ritmici	Complessità e ordine	Mistero
Variabilità del flusso termico e dell'aria		Rischio
Presenza di acqua		
Luce dinamica e diffusa		
Connessione con sistemi naturali		

Tabella 2

Per *Natura nello spazio (Tabella 3)* si intende la presenza fisica di elementi naturali in un ambiente, ovvero presenza di piante, acqua o animali, ma anche brezza, suoni, e profumi. Tali elementi sono quindi in grado di creare connessioni dirette naturali attraverso il tatto, la vista, i suoni e tutte le interazioni multisensoriali.

Esempi comuni includono piante in vaso, acquari, fontane e giochi d'acqua, mangiatoie per uccelli, giardini di farfalle, pareti o tetti verdi. Anche la luce naturale ha benefici noti per il ritmo circadiano e la qualità del sonno e può aumentare l'attenzione cognitiva e la memoria, aumentando la produttività dei lavoratori.

I benefici che l'esposizione diretta a elementi naturali è in grado di apportare sono stati dimostrati da numerosi studi che hanno condotto prove in ambienti reali. Ad esempio, è stato provato che le piante d'appartamento hanno un ruolo nella riduzione dello stress e nella tolleranza al dolore, oltre a produrre una maggiore soddisfazione a livello emotivo e produttivo [13]. Sono stati dimostrati gli effetti rilassanti fisiologici e psicologici negli studenti delle scuole superiori sottoponendoli a una stimolazione visiva di piante di *Dracaena* [14]; mentre nel 2018 viene sperimentata per la prima volta la combinazione di verde interno e luce diurna in una proposta di design biofilico per gli ambienti ad uso ufficio, riscontrando un miglioramento del benessere e della salute psicofisica, delle

prestazioni e della creatività degli impiegati [15]. Risultati simili sono stati ottenuti con un processo inverso, ovvero introducendo, per poi successivamente rimuovere, piante in vaso negli spazi di lavoro; la rimozione delle piante ha suscitato effetti significativamente negativi su attenzione percepita, produttività, stress ed efficienza [16].

NATURA NELLO SPAZIO	
Elementi presenti in natura	Elementi naturali simulati
1. Connessione viva con la natura	
Flusso naturale di un corpo d'acqua	Flusso meccanico di un corpo d'acqua
Vegetazione, comprese le piante che producono cibo	Stagno artificiale acquario
Animali insetti	Parete verde
Minerali	Dipinti e foto raffiguranti scene di natura
Terreno, suolo, terra	Paesaggi progettati artificialmente
2. Connessione non viva con la natura	
Erbe e fiori profumati	Suoni artificiali simulanti quelli naturali
Acqua che scorre	Diffusori di oli profumati naturali
Pioggia, vento, grandine	Tessuti che imitano materiali naturali
Pietra, legno	Orticoltura e giardinaggio
Raggi solari	Apais per api
3. Stimoli sensoriali non ritmici	
Movimento delle nuvole	Cerchi d'acqua su una superficie
Fruscio della vita vegetale	Ombre o luce diffusa in movimento
Insetti e animali in movimento	Suoni della natura diffusi a intervalli imprevedibili
Cinguettio degli uccelli	Oli vegetali rilasciati meccanicamente
Fiori alberi ed erbe profumate	
4. Variabilità calore e flusso dell'aria	
Guadagno di calore solare	HVAC
Ombre	Sistemi controllati
Orientamento dello spazio	Trattamento ai vetri delle finestre
Vegetazione con densificazione stagionale	Operabilità delle finestre
5. Presenza dell'acqua	
Fiumi, mari, torrenti, oceani, stagni, laghi	Acquario, fontana
Precipitazioni atmosferiche e cascate	Muro d'acqua
6. Luce dinamica e diffusa	
Luce del giorno da diverse angolazioni	Luce elettrica a bassa intensità
Luce solare diretta	Sistema di distribuzione della luce
Luce diurna e stagionale	Illuminazione diffusa sulle pareti e sul soffitto
Luce del fuoco	Trattamenti per finestre
Luce lunare e stellare	Illuminazione d'accento
Bioluminescenza	Filtri luce blu

7. Connessione con sistemi naturali	
Modelli climatici metereologici	Habitat artificiali per la fauna
Idrologia	Infrastrutture idriche
Geologia	Pozzi a gradini per l'acqua piovana
Comportamenti animali	Sistemi diurni simulati
Luce lunare e stellare	Patina naturale su pelle, pietra, metalli, legno
Impollinazione, crescita, invecchiamento e decomposizione	

Tabella 3

Per la categoria *Analogia con la natura (Tabella 4)* si intendono invece simulazioni organiche di elementi naturali, non viventi e indirette. Quindi tutto ciò che riguarda materiali, colori, forme, schemi e modelli che si possono ritrovare in natura. Ad esempio: ornamenti, tessuti e mobili realizzati con materiali organici, forme e colori ricorrenti in natura. Ma anche simulazioni simboliche della natura quali foto, quadri o video che rappresentino scene naturali [17].

Questa categoria si rende necessaria in quanto è stato riscontrato che a volte l'uso della biofilia come solo valore estetico diretto non è sufficiente per raggiungere la migliore qualità ambientale, ma si rendono necessarie integrazioni di elementi che simulino la natura e che inducano il cervello umano a rispondere in modo funzionale a schemi sensoriali e segnali provenienti dall'ambiente naturale [18].

Infine, nella categoria *Natura dello spazio (Tabella 4)* rientrano le configurazioni spaziali che sono in grado di evocare il desiderio umano di vedere oltre lo spazio immediato e sperimentare l'ignoto. Un esempio può essere un'ampia finestra che permetta una vista sconfinata senza ostacoli. L'ambiente biofilico che utilizza lo spazio per impattare sulle prestazioni cognitive, lo stress, la produttività e l'attenzione degli occupanti, risulta avere un ottimo potenziale per mitigare positivamente l'esperienza degli stessi. È stato dimostrato che osservare la natura attraverso una finestra potrebbe anche aumentare la produttività, ridurre i giorni di malattia e diminuire l'assenteismo negli ambienti ad uso ufficio [19].

ANALOGIE CON LA NATURA	NATURA DELLO SPAZIO
8. Forme biomorfe e pattern naturali	11. Prospettiva
Disposizione delle strutture portanti, forma dell'edificio	Lunghezze focali $\geq 6,0$ metri
Installazioni e sculture	Altezze divisorie $\leq 1,0$ metri (siepi, partizioni)
Pannelli acustici	Materiali trasparenti
Ringhiere, corrimano, recinzioni, cancelli	Balconi, piani aperti
Vialetti, corridoi	Viste
9. Materiali naturali	12. Rifugio
Grani naturali del legno, pietra	Protezione dalle intemperie
Pellame	Spazi di meditazione, area relax
Texture fossili	Rifugio modulare: piccola protezione
Bamboo, erbe secche	Rifugio parziale diversi lati coperti
Tavolozza di colori naturali	Rifugio esteso quai o completamente coperto
10. Complessità e ordine	13. Mistero
Struttura esposta, esoscheletro	Ombre
Motivi di tappeti, carta da parati, texture dei materiali	Vibrazioni, stimoli uditivi da fonti impercettibili
Piano paesaggistico,	Materiali traslucidi
Flussi pedonali	Bordo focale oscurato
Skyline dell'edificio	Percorsi tortuosi
	14. Rischio
	Altezza, gravità, facciate trasparenti
	Piani di calpestio trasparenti

Tabella 4

È interessante notare che, mentre sono stati studiati i benefici derivanti dai singoli attributi, c'è una ricerca limitata che esamina l'impatto sulla salute e sul benessere quando vengono combinati più attributi di progettazione. Inoltre, la maggior parte degli studi che hanno indagato la biofilia sono stati condotti per gli spazi esterni, quindi il potenziale benefico derivante dall'introduzione di elementi naturali in ambienti interni rimane poco esplorato [20–22].

2.3 Metodi di valutazione di ambienti biofilii immersivi

Tutti gli studi citati finora sono stati trattati con metodologie di studio tradizionale che però presentano numerosi limiti. Grazie ai recenti sviluppi tecnologici, è possibile invece studiare il *Restorative Design* conducendo prove in ambiente virtuale ottenendo una serie di vantaggi, essendo una tecnologia ad uso low-cost che permette una certa rapidità di esecuzione della prova. La modellazione di un ambiente virtuale immersivo comporta inoltre una facile ripetibilità dei test, controllando facilmente le variabili di design in termini di stimoli visivi. Il tutto permettendo al soggetto di immergersi in un ambiente in scala 1:1 e allo stesso tempo raccogliere feedback immediati [23].

Quando la realtà virtuale è combinata con stimoli acustici, otteniamo quello che è chiamato *Acoustic Virtual Reality (AVR)* [24]; quando invece la realtà virtuale è integrata con il design biofilico otteniamo quello che verrà chiamato come *Immersive Biophilic Environment (IBE)*. La combinazione tra IBE e AVR dà luogo agli studi multi-dominio, ovvero la collaborazione dei sensi visivi e uditivi, implicando l'estrazione di informazioni complementari che originano dallo stesso oggetto o evento presente nel modello virtuale per migliorarne la percezione.

Dagli studi di letteratura è emerso che gli studi che utilizzano l'IBE sono molto pochi e si concentrano per la maggior parte sulla riduzione dello stress, piuttosto che indagare uno spettro più ampio di benefici ottenibili dal *Restorative Design*.

Di seguito si riportano in tabella (*Tabella 5*) gli studi di letteratura condotti in IBE, specificando per ognuno la tipologia di studio (single domain o multi-dominio), il numero di partecipanti, e quali caratteristiche biofilie sono state indagate:

Rif.	Anno	Tipo di studio	n. soggetti	Natura nello spazio				Analogie con la natura		Natura dello spazio
				V	NV	TA	L	M	FP	P
[25]	2018	<i>Single domain</i>	28	x				x		x

[26]	2019	<i>Single domain</i>	30	x			x	x	x	x
[27]	2019	<i>Single domain</i>	18	x				x		
[28]	2020	<i>Single domain</i>	100	x				x	x	x
[29]	2020	<i>Single domain</i>	35							x
[30]	2020	<i>Single domain</i>	90	x						x
[31]	2020	<i>Single domain</i>	32				x			x
[32]	2020	<i>Single domain</i>	20	x						
[33]	2020	<i>Single domain</i>	37	x			x			x
[34]	2020	<i>Single domain</i>	30	x			x	x	x	x
[35]	2021	<i>Single domain</i>	27	x						
[36]	2021	<i>Single domain</i>	42						x	x
[37]	2022	<i>Single domain</i>	256				x	x	x	x
[38]	2022	<i>Single domain</i>	40	x						
[39]	2022	<i>Single domain</i>	17	x				x	x	x
[40]	2022	<i>Single domain</i>	54	x			x			x

Tabella 5

In particolare, dall'analisi di letteratura è emerso che tutti gli studi sono *single-domain*, ovvero viene indagato un solo stimolo sensoriale, quello visivo, senza integrazione di un ulteriore stimolo sensoriale.

Per la categoria *Natura nello spazio* l'attributo biofilo principale studiato è risultato essere la connessione visiva diretta [25–28,30,32–35,38–40], che si ottiene nell'inserimento di piante e pareti verdi nell'ambiente. Si noti poi che solo sei studi [26,31,33,34,37,40] si sono occupati degli effetti prodotti dall'illuminazione naturale, mentre nessuno si è

occupato di fare uno studio *single-domain* considerando la connessione non visiva o l'aspetto termico e dell'aria.

Per la categoria *Analogie con la natura* vengono indagati sia i materiali [25,28,34,37,39] sia le forme geometriche [26,28,34,36,37] in egual misura. Mentre per la categoria *Natura dello spazio* una buona percentuale di studi [25,26,28–31,33,34,36,37,39,40] ha indagato i prospetti e quindi la vista verso l'esterno.

Tra questi l'80% degli studi [25–28,30,31,33,34,36,37,39,40] ha fatto una integrazione di più elementi appartenenti anche a categorie diverse di design biofilico, ma rimanendo comunque *single-domain* e cioè indagando comunque il solo stimolo visivo.

Per quanto riguarda i risultati mostrati dalla letteratura, gli effetti ottenuti con l'introduzione del design biofilo negli ambienti comprendono una serie di aspetti riguardanti il *comfort*, inteso come il benessere dell'occupante misurabile sia con questionari soggettivi sia con indicatori fisiologici, e la *produttività* ovvero l'attitudine a conseguire un risultato derivante dall'attivazione delle funzioni cognitive.

Si riporta in tabella (*Tabella 6*) lo stato dell'arte che si è occupato di valutare comfort e produttività in IBE, specificando la categoria biofila indagata, e i parametri ambientali monitorati durante la prova:

Rif.	Anno	Categoria biofila indagata			Fattori indagati		Parametri ambientali monitorati				
		Natura nello spazio	Analogie con la natura	Natura dello spazio	Comfort	Produttività	T°	U	CO ₂	PM _{2.5}	LUX
[25]	2018	x	x	x	x	x					
[26]	2019	x	x	x	x	x	x	x		x	
[27]	2019	x	x		x		x	x			x
[28]	2020	x	x	x	x		x	x	x	x	
[29]	2020			x	x	x					
[30]	2020	x		x	x						

[31]	2020	x		x	x		x	x			x
[32]	2020	x			x						
[33]	2020	x		x	x	x					x
[34]	2020	x	x	x	x						
[35]	2021	x			x		x	x	x		x
[36]	2021		x	x	x	x					
[37]	2022	x	x	x	x		x	x			x
[38]	2022	x			x		x	x			
[39]	2022	x	x	x	x						
[40]	2022	x		x	x	x					

Tabella 6

I seguenti sottoparagrafi descrivono nel dettaglio le metodologie per studiare il *comfort* e la *produttività* in ambienti virtuali biofili, utilizzate dagli studi che si sono occupati di realizzare esperimenti in VR. Nel *paragrafo 2.2.1* verranno analizzati i questionari self-report e le misure fisiologiche utilizzati per valutare il comfort degli utenti, mentre nel *paragrafo 2.2.2* verranno invece illustrati i test di produttività e le loro modalità di somministrazione.

2.2.1 Metodi di valutazione del comfort

Il comfort percepibile dal soggetto immerso nell'ambiente virtuale biofilo comporta una serie di benefici che suggerisce un ampio percorso d'azione sia psicologico che fisiologico.

Seguendo metodologie di studio tradizionale il comfort viene valutato con misure *self-report* volte a valutare in modo soggettivo l'effetto ristorativo percepito nell'ambiente biofilo virtuale. A questo scopo, la maggior parte degli studi ha utilizzato delle scale di valutazione basate sulla ART [6].

Ad esempio, *Jie Yin et al.* [25] all'interno del loro primo studio IBE hanno creato uno strumento per consentire ai soggetti di valutare la qualità biofila di ogni ambiente interno sperimentato: il *Biophilic Interior Design Index* (BIDI). L'indice BIDI è stato sviluppato sulla base dei 14 modelli di design biofilico proposti da *Terrapin Bright Green* [8] e consiste in un questionario dove viene valutata la percezione che si ha delle caratteristiche biofile dell'ambiente: piante, acqua, flusso dell'aria, luce, materiali, forme biomorfe, prospetti, etc... A ogni elemento biofilo è stato quindi associato un peso che varia da 1 a 3, e la relativa valutazione viene espressa tramite un punteggio che va da 0 = *Per niente* a 2 = *Molto*. L'insieme delle risposte prese in relazione al relativo peso sono state utilizzate per calcolare il punteggio del BIDI. In base alle risposte dei partecipanti al questionario BIDI, lo spazio virtuale con piante, pavimento in bambù e viste verso l'esterno è stata classificata come *ambiente biofilo* con un punteggio medio BIDI = 27 su 54, mentre l'aula virtuale senza finestre né piante è stata generalmente classificata come *ambiente non biofilo* con un punteggio medio BIDI medio = 3.

Insieme a questo strumento è stato poi chiesto ai soggetti di compilare un ulteriore questionario per valutare i loro cambiamenti emotivi: stress, frustrazione, coinvolgimento ed eccitazione e dopo il test, tramite una scala di valutazione da -2 a +2.

Successivamente, per studiare invece gli effetti degli attributi naturali appartenenti a categorie biofile differenti, *Jie Yin et al.* [26] hanno utilizzato delle scale simili allo studio precedente, ma valutando esclusivamente il livello di stress auto dichiarato dai soggetti tramite un punteggio da 1 il più basso a 5 il più alto; e la percezione della connessione con la natura con un punteggio da 1 a 10. Quest'ultima *scala Likert* a 10 punti ha classificato quindi in modo soggettivo i quattro modelli biofilici: due per la categoria *Natura nello spazio* (connessione visiva con la natura, luce dinamica e diffusa) e due per la categoria *Analogie con la natura* (forme e pattern, materiali). Utilizzando i punteggi di autovalutazione, i partecipanti hanno riportato un livello più elevato di connessione con la natura percepita nella condizione delle *connessioni visive dirette con la natura* rispetto

a quelli nella condizione degli *analoghi con la natura*. Inoltre, l'84% dei partecipanti ha classificato la *connessione visiva con la natura* e la *luce dinamica e diffusa* come le due scelte principali di preferenza per gli attribuiti biofilii.

Alcuni studi IBE [27] [32] [36] hanno utilizzato la *Perceived Restorativeness Scale* (PRS) che ricalca perfettamente quella che è la teoria ART del 1997 [6] mirando a misurare la presenza dei quattro fattori riparativi teorici nell'ambiente: *l'essere lontano*, il *fascino*, *l'estensione*, e la *compatibilità*. Per descrivere l'ambiente, nella PRS sono stati utilizzati aggettivi come *confusionario*, *distraente*, *caotico*, *affascinante*, e frasi come: "*Essere qui si adatta alla mia personalità*"; "*In questo luogo posso fare le cose che mi piacciono*"; "*Appartengo a questo posto*". Sebbene i due studi abbiano differito sul numero di elementi che compongono la scala PRS e sulla sua struttura, hanno però comunemente confermato, attraverso di essa, la correlazione positiva che c'è tra preferenza ambientale e capacità rigeneratrice percepita nell'ambiente stesso.

Altri studi [28] [34] [35] hanno indagato il livello di ansia dei soggetti generato dall'ambiente non biofilo rispetto a quelli biofilii tramite un questionario psicologico conosciuto come lo *State-Trait Anxiety Inventory* (STAI). Lo STAI è un questionario di carattere psicologico composto da domande di autovalutazione sullo stress percepito tramite una *scala Likert* a 4 punti (con 1 = per nulla e 4 = moltissimo). Lo STAI misura due tipi di ansia: *ansia di stato* e *ansia di tratto*. Rispettivamente l'*ansia di stato* è indagata tramite domande riferite a come il soggetto si sente al momento della somministrazione del questionario, mentre l'*ansia di tratto* si riferisce a domande su come il soggetto si sente abitualmente. Punteggi alti corrispondono a livelli più alti di ansia. È interessante vedere come nello studio condotto da *Seungkeun Yeom et al.* [35] il livello di stress autovalutato dai soggetti sia più alto nella condizione di esposizione a una parete verde di grande dimensione. Questo risultato potrebbe essere spiegato dall'ipotesi della *Biophobia* riferita alla paura genetica degli animali e della natura selvaggia che l'uomo ha sperimentato durante l'evoluzione. La biofobia, percepita come minaccia o ansia

provocata dagli elementi della natura, può ulteriormente accentuarsi in uno spazio buio o chiuso. Questo spiegherebbe il risultato dello STAI denotando come le condizioni sperimentali con cui si è svolto l'esperimento abbiano suscitato un senso di oppressione manifestatosi sottoforma di ansia per l'eccessiva presenza di verde all'interno della stanza virtuale chiusa e priva di finestre.

Tuttavia, dagli studi di letteratura sull'IBE lo strumento più utilizzato per misurare il benessere soggettivo è risultato essere la *Positive and negative scale* (PANAS) [29] [30] [31] [40]. Quest'ultima è una scala che misura due dimensioni distinte e indipendenti: lo *stato affettivo positivo*, che riflette il grado in cui una persona si sente entusiasta, attiva e determinata all'interno dell'ambiente e lo *stato affettivo negativo*, che invece fa riferimento ad alcune emozioni spiacevoli come la rabbia, la colpa e la paura. Nella PANAS vengono utilizzati aggettivi attribuiti all'ambiente biofilo, come ad esempio *affascinante, rilassante, piacevole, eccitante, interessante, complesso* a cui il soggetto deve associare un valore da 0 a 5 punti che rappresenti quanto effettivamente si sente descritto da quell'aggettivo.

Similmente agli studi che hanno utilizzato la PANAS, *Seungkeun Yeom et al.* [33] hanno invece affiancato alle misurazioni oggettive fisiologiche il *Profile of Mood States* (POMS), un altro questionario per l'autovalutazione. Lo scopo di questo studio era sviluppare un punteggio psicologico integrato con cui i partecipanti potessero esprimere la loro percezione dello spazio e le loro emozioni in base a ciò che riuscivano a vedere in relazione alla dimensione della finestra presente nell'ambiente immersivo. In particolare, l'ambiente virtuale sperimentato variava con quattro diversi rapporti tra la dimensione della finestra e della parete (20%, 40%, 60% e 80%).

Il POMS è composto da diversi input che corrispondono a 6 sub-fattori quali *depressione, vigore, confusione, tensione, rabbia e fatica*, ed utilizza un sondaggio basato su una *scala Likert* a 4 punti (da 0 = *per niente*, a 4 = *molto*). I risultati del POMS utilizzato in questo studio hanno evidenziato una insoddisfazione generale per la dimensione della vista

esterna del 20%, mentre il miglior riscontro positivo si è ottenuto con la dimensione della finestra corrispondente al rapporto del 60%.

Infine, *Nour Tawil et al.* [36] hanno condotto nel 2021 uno studio che mira a esaminare l'impatto che la forma degli arredamenti interni curvi e smussati ha rispetto a quelli più squadrati, per valutare la percezione dell'ambiente da parte dell'occupante. In questo esperimento sono stati somministrati due questionari all'interno dell'ambiente virtuale: l'ASE con cui è stata valutata l'esperienza affettiva e spaziale, e IL MAS per lo stato affettivo momentaneo. L'ASE consiste in 40 aggettivi descrittivi contrapposti (*gradevole vs. sgradevole, brutto vs. bello, eccitante vs. non entusiasmante, spazioso vs. stretto, aperto vs. chiuso, opprimente vs. luminoso, stressante vs. calmo, scuro vs. brillante, scomodo vs. confortevole, deprimente vs. allegro, inanimato vs. vivace, sconosciuto vs. familiare, tradizionale vs. nuovo, complesso vs. semplice, caotico vs. ordinato, non armonioso vs. armonioso, caldo vs. freddo, cattivo vs. buono, artificioso vs. naturale, simmetrico vs. asimmetrico*), la cui risposta soggettiva prevede l'utilizzo di scale numeriche a 11 punti. La MAS invece serve per valutare diversi domini: emozioni, sensazioni corporee, entusiasmo e stati motivazionali. Tra questi domini alcuni sono stati valutati con scale unipolari (da 0 = *poco*, a 5 = *neutro*, a 10 = *molto*), e altri con scale bipolari contrassegnate da aggettivi descrittivi opposti. Prima della sessione di realtà virtuale è stata raccolta una pre-misurazione per controllare lo stato emotivo di base. Alla fine dell'esperimento non sono però state riscontrate rilevanti differenze tra l'ambiente caratterizzato da forme smussate e quello con le forme acuminato. Ciò suggerisce che la risposta psicologica al design degli interni è molto più complessa.

Accanto ai questionari *self-report*, diversi studi hanno poi utilizzato anche delle misurazioni oggettive ottenute tramite parametri fisiologici.

Infatti, in accordo con la SRT [5] è stata data evidenza del fatto che la riduzione immediata dei sintomi legati allo stress a seguito dell'esposizione ad elementi naturali è misurabile

tramite una serie di indicatori fisiologici, i quali consentirebbero misurazioni più oggettive e semplici: la frequenza cardiaca (HR), la variabilità cardiaca (HRV), la componente ad alta frequenza dell'attività elettrodermica (ECG), la pressione sanguigna (BP), la conduttanza cutanea (SC), la temperatura cutanea (ST), e i segnali elettroencefalografici (EEG).

Queste misure oggettive di indicatori di stress immediati e convalidati sono state utilizzate negli studi di letteratura sugli IBE al fine di valutare l'abbassamento del livello di stress a breve termine che avviene con l'esposizione all'ambiente biofilo.

Mentre la HR rappresenta il numero di battiti al minuto, l'HRV misura la differenza nei tempi di contrazione tra un battito e l'altro. Un HRV basso indica una certa regolarità nei battiti, indice però di stress eccessivo. Invece, la conduttanza cutanea nello specifico misura il grado di attivazione del sistema nervoso simpatico, che aumenta in caso di eventi stressanti o situazioni di emergenza, a causa dell'aumentata umidità dell'epidermide che determina un aumento del flusso elettrico, ovvero aumenta la sudorazione cutanea e si abbassa la resistenza elettrica della pelle.

Molti sistemi di monitoraggio dello stress utilizzano poi la pressione sanguigna, un aumento della BP è correlata con condizioni di stress. La ST invece aumenta quando diminuiscono i livelli di stress e diminuisce in condizioni più stressanti. Infine, i segnali EEG sono classificati in base alla frequenza delle onde beta e alfa: onde beta in rapida frequenza o riduzione della frequenza delle onde alfa indicano le condizioni di stress.

Ad esempio, per indagare se l'esposizione a elementi biofilo migliori effettivamente queste prestazioni fisiologiche, nel 2018 *Jie Yin et al* [25]. pubblicano uno dei primi studi IBE monitorando i livelli di HR e SCL ogni secondo per l'intera durata dell'esperimento, e misurando la BP dopo ogni esposizione virtuale. Ogni partecipante ha quindi sperimentato, in giorni diversi, due diversi ambienti scolastici: uno con caratteristiche biofile, ovvero un'area comune di un ufficio scolastico dotata di piante, pavimento in bamboo e una veduta esterna comprendente uno spazio verde e un fiume; e un'aula

universitaria non biofilica. I risultati hanno mostrato un miglioramento di tutti parametri fisiologici rispetto alla baseline misurata nell'ambiente non biofilo.

Un anno più tardi viene fatto un ulteriore passo in avanti, andando a indagare se attributi naturali appartenenti a categorie biofile differenti hanno effetti simili in due diversi spazi di lavoro: ufficio *open spaces* condiviso e ufficio singolo [26]. Sono stati misurati i livelli di HRV, HR, BP e SC ottenuti nell'ufficio singolo e in quello condiviso privi di caratteristiche biofile, per poi confrontarli con i livelli ottenuti negli stessi ambienti arricchiti con tre differenti tipologie di design biofilico:

- con piante verdi, una finestra con vista verso l'esterno e luce naturale, facendo riferimento alla categoria biofila della *Natura nello spazio*;
- con materiali e pattern che richiamino la natura, facendo riferimento alla categoria biofila della *Analogie con la natura*;
- ed infine combinando gli elementi biofilici delle due precedenti categorie.

I risultati ottenuti hanno mostrato come i parametri fisiologici misurati nei soggetti all'interno degli ambienti arredati con gli elementi appartenenti alla categoria biofila *Natura nello spazio* e in quelli che presentavano una combinazione tra le due categorie fossero nettamente migliori rispetto agli ambienti appartenenti alla categoria *Analogie con la natura*. Inoltre, sempre dal confronto dei parametri è stato evidenziato come la riduzione dello stress è stata più significativa negli *open space* rispetto all'ufficio singolo. Infine, sempre in questo stesso studio, è stato impiegato anche l'*Eye-tracking* che consente di rilevare i movimenti oculari. Con questo dispositivo *Jie Yin et al.* sono risaliti agli stimoli la cui informazione è più rilevante per l'osservatore, valutando il tempo speso a guardare i diversi elementi biofilici in relazione a genere e provenienza dei soggetti. I risultati hanno mostrato come lo sguardo si sia concentrato più su piante e forme biomorfe, in particolar modo nei partecipanti provenienti da aree rurali e di sesso femminile.

Uno studio simile è stato poi condotto nel 2020 sempre da *Jie Yin et al.* [28] per indagare se avessero impatti differenti a livello fisiologico, sottoponendo questa volta 100 partecipanti a un ambiente non biofilo e tre ambienti con caratteristiche biofile differenti: vista esterna, verde interno, e una combinazione di entrambi questi elementi. Per questo studio sono stati usati sensori di biomonitoraggio che misurassero i parametri dopo attività stressanti e durante un processo di recupero di 6 minuti. Tutti gli indicatori sono tornati in linea con la *baseline* misurata prima di effettuare i test da stress, ad eccezione del SC in tutti gli ambienti, indice che il livello di conduttanza cutanea potrebbe necessitare di un tempo maggiore rispetto a quello previsto dal test per il recupero.

Gli indicatori fisiologici sono stati utilizzati anche per valutare l'impatto sulla qualità della vista stessa che ha la posizione dell'osservatore rispetto alla finestra. Nell'esperimento condotto da *Fedaa Abd-Alhamid et al* [31]. è stata sviluppata una replica di un ambiente reale, utilizzando la realtà virtuale a partire da un edificio realmente esistente basandosi sulle condizioni fisiche e luminose di tre punti di osservazione. Sono state quindi raccolte misurazioni di marcatori fisiologici, quali SC, HR e HRV, ed è risultato che, quando i partecipanti hanno osservato la vista dalla finestra dal punto di osservazione più vicino, hanno riportato livelli di stress inferiori nelle misurazioni fisiologiche. Il cambiamento principale tra il contenuto della vista nelle tre diverse posizioni di visualizzazione era la componente cielo nella vista, visibile solo dalla posizione più vicina.

Nel 2021 è stato condotto uno studio avvalendosi dell'analisi dei segnali elettroencefalografici (EEG) per misurare l'attività elettrica nel cervello quando il soggetto si trova di fronte a una parete verde di piccole dimensioni rispetto a una di più grande dimensione. *S. Yeom, H. Kim, e T. Hong* [35] hanno quindi registrato temporalmente le onde cerebrali, ovvero l'attività elettrica generata nel cervello quando gli esseri umani pensano o provano un'emozione. Il dispositivo elettroencefalografico amplifica e registra l'ampiezza dell'onda cerebrale generata nella cellula della corteccia cerebrale dell'uomo utilizzando metodi non invasivi, tramite l'applicazione di elettrodi sul

cuoio capelluto del soggetto. A livello del nervo cranico, vengono generati diversi segnali elettrici derivanti dalle attività di gruppi di neuroni che cambiano nel tempo. L'esposizione nell'ambiente con la parete verde di 2 mq ha ridotto il livello di stress rispetto alla condizione priva di parete verde, al contrario la condizione di parete verde grande da 8 mq ha aumentato il livello di stress.

Le EEG sono state utilizzate anche da *Nayeon Kim e John S. Gero* [39] come principale indicatore fisiologico per misurare le differenze nelle onde *alfa* e *beta* relative a 17 studenti maschi in sette aule virtuali differenti, ovvero un'aula scolastica di base non biofila e sei diversi design migliorati da elementi di design biofili appartenenti a categorie diverse. Ogni ambiente virtuale è stato mostrato per 30 secondi per raccogliere i segnali EEG, e tra un'esposizione e l'altra è stata effettuata una pausa di circa 10 secondi.

I risultati hanno mostrato una differenza significativa nella registrazione delle onde alfa solo tra il caso non biofilo e l'ambiente che presentava un paesaggio naturale visibile dalle finestre, e tra il caso non biofilo e l'ambiente che presentava un'intera parete verde e la pavimentazione in legno. In tutti gli altri casi non si sono riscontrate differenze significative il che potrebbe indicare che le altre variabili di design biofilo introdotte nell'ambiente non fossero abbastanza d'impatto tanto quanto le pareti verdi o la vista verso l'esterno.

Infine, nello studio di *K. Chamilothoni et al.* [37] è stata utilizzata la realtà virtuale monitorando i livelli di HR, BP, e EDA in 36 scene diverse date dalla combinazione tra variazioni di design di facciata, tipi di cielo e contesto spaziale. Questo studio ha permesso di studiare gli effetti sulle risposte fisiologiche dovuti alla geometria delle facciate delle finestre e dei giochi di luce diurna da esse generate. In particolare, l'esperienza dei soggetti che hanno preso parte allo studio è stata influenzata dalla geometria della schermatura della facciata seppur è stato mantenuto costante il rapporto di perforazione del 40% (± 1) tra apertura e superficie totale della finestra, dalla latitudine e quindi dalla luminosità del cielo, e dalla tipologia di contesto ambientale: salotto con divani, tavoli e

sedie per ricreare un contesto sociale, e un ufficio con scrivanie e computer in per ricreare un contesto lavorativo.

Nella seguente tabella (*Tabella 7*) vengono quindi indicati gli studi di letteratura che hanno esplorato i diversi *Immersive Biophilic Environment*, riassumendo per ciascuno i parametri fisiologici indagati e i questionari psicologici utilizzati per la valutazione del *comfort* degli ambienti virtuali biofilii, e specificando se sono state effettuate delle misurazioni che costituiscano una *baseline*:

Rif.	Indicatori fisiologici	Eye tracking	Questionari	Modalità di somministrazione	Baseline	
					Indicatori fisiologici	Questionari
[25]	HR, BP, SC	NO	<i>Self-reported emotions, BIDI</i>	<i>In ambiente reale una volta rimosso il visore</i>	SI	SI
[26]	HRV, HR, BP, SC	SI	<i>Self-reporter stress level, Self-reported connection</i>	<i>Questionario online in ambiente reale</i>	SI	SI
[27]	–	NO	<i>Brand Experience Scale, Re-visit Intention Scale, PRS</i>	<i>In VR utilizzando i joystick</i>	-	SI
[28]	HRV, HR, BP, SC	NO	<i>STAI test, Self-reported stress level</i>	<i>In IVE tramite monitor modellato in VR</i>	SI	SI
[29]	HR	NO	PANAS	<i>In ambiente reale una volta rimosso il visore</i>	SI	SI
[30]	SC	NO	PANAS	<i>In ambiente reale una volta rimosso il visore</i>	SI	SI
[31]	HR, HRV, SC	NO	PANAS	<i>In VR rispondendo verbalmente</i>	SI	SI
[32]	HR, BP	NO	PRS	<i>In ambiente reale una volta rimosso il visore</i>	SI	SI
[33]	–	NO	POMS	<i>In ambiente reale una volta rimosso il visore</i>	-	NO
[34]	–	NO	<i>STAI test, PAD measurements</i>	<i>Non specificato</i>	-	SI
[35]	HR, SC, EEG	NO	STAI test	<i>In ambiente reale una volta rimosso il visore</i>	SI	SI
[36]	–	NO	MAS, ASE, PRS	<i>In VR utilizzando i joystick</i>	-	SI
[37]	HR, BP, EDA	NO	<i>Self-reported emotions</i>	<i>In VR rispondendo verbalmente</i>	SI	NO
[38]	HR, ST	NO	–	–	SI	-

[39]	EEG	NO	-	-	SI	-
[40]	-	NO	PANAS	In VR rispondendo verbalmente	-	SI

Tabella 7

Di seguito vengono riportate le conclusioni tratte dallo stato dell'arte esaminato nel corrente paragrafo sulla valutazione del comfort percepito negli ambienti virtuali biofilii

- Più della metà degli studi (9 su 16) ha utilizzato entrambe le misure, oggettive e soggettive, ottenute rispettivamente da indicatori fisiologici e questionari self-report
- Solo 2 studi si sono avvalsi delle sole misure fisiologiche, mentre 5 studi hanno somministrato esclusivamente questionari soggettivi per la valutazione del *comfort* percepito negli ambienti.
- In generale i risultati hanno mostrato come vi sia un miglioramento di tutti i parametri fisiologici rilevati durante o subito dopo l'esposizione ai luoghi che presentano caratteristiche biofile, rispetto alla baseline ricavata dalle misure effettuate negli ambienti non-biofilii. Questo risultato è in accordo con la tesi per cui si avrebbe una riduzione immediata dei sintomi da stress secondo la SRT [5].
- Per quanto riguarda i questionari psicologici utilizzati, la maggior parte di essi sono stati strutturati con scale di valutazione *Likert* basate sulla ART [6].
- In alcuni studi non è stato esplicitato come il questionario sia stato somministrato, tra i restanti invece la maggior parte ha sottoposto il questionario dopo l'esposizione virtuale, una volta rimosso il visore. Dunque, solo 6 studi hanno specificato di aver somministrato i questionari al soggetto all'interno della realtà virtuale: tra questi alcuni hanno somministrato il questionario verbalmente, altri hanno proiettato le domande all'interno della realtà virtuale dando la possibilità di rispondere con i *joystick* del dispositivo.

- Considerando sia le misure fisiologiche che quelle psicologiche, le condizioni di *comfort* migliori sono state ottenute negli ambienti che presentavano attributi riconducibili alla categoria “*Connessione visiva con la natura*”, precisando però che questa è stata anche la classe biofila più indagata.

2.2.2 Metodi di valutazione della produttività

Basandosi sullo stato dell’arte introdotto nei precedenti capitoli, è interessante osservare come non sia stato indagato esclusivamente il *comfort* negli ambienti biofilari, che riveste comunque un ruolo centrale nella letteratura scientifica sull’IBE, ma anche il livello di *produttività* ottenibile in questi spazi.

Gli individui svolgono i loro compiti e hanno prestazioni significativamente migliori in ambienti di lavoro sani e che supportino appieno il benessere degli occupanti. Come abbiamo visto nei capitoli precedenti, le recenti tendenze sociali indicano un crescente interesse per il benessere sul posto di lavoro [11] [41].

Poiché il ripristino dell’attenzione è uno dei principali meccanismi proposti per spiegare i benefici psicologici dell’esposizione dell’uomo agli ambienti naturali [6], è stato valutato tramite esperimenti l’effetto degli ambienti interni biofilari sulla produttività, che è una parte fondamentale del pensiero logico.

Nel *paragrafo 2.2.1* abbiamo visto come l’introduzione di elementi biofilari negli ambienti di lavoro ha portato molti benefici agli occupanti, perché, vista come una soluzione maggior confortevole. Tuttavia, in alcuni casi si è potuto osservare come in condizioni di lavoro la biofilia possa risultare essere un elemento di distrazione per l’utente.

Ad esempio, nello studio condotto da Jie Yin et al. [26] durante la sessione di realtà virtuale sono stati somministrati test cognitivi per misurare il tempo di reazione e la creatività. Tutti i partecipanti hanno visitato due luoghi virtuali in versione biofila e non: l’*open space* e l’ufficio singolo, in ordine casuale. All’interno di ognuno di questi ambienti

virtuali i soggetti hanno svolto un test cognitivo di 5 minuti utilizzando un desktop ricreato virtualmente nel modello. Il livello di attenzione dei partecipanti è stato misurato dallo *Stroop test*, il quale include combinazioni di parola-colore congruenti e incongruenti: congruente è quando la parola coincide con il colore con cui è scritta (es: “verde” scritto con inchiostro verde). In questo studio sono state quindi somministrate 48 combinazioni parola-colore in ordine randomizzato. Il soggetto doveva quindi identificare il colore della parola visualizzata e fornire la sua risposta facendo clic su una delle opzioni visualizzate sul monitor virtuale. Lo scopo di questo test è creare interferenza cognitiva e semantica, valutando il tempo di reazione e studiando quindi l’attenzione selettiva.

Inoltre, è stata indagata anche un’altra funzione cognitiva, che è quella correlata invece alla creatività, tramite il *test degli usi alternativi di Guilford (test AU)*. Il test AU chiede ai partecipanti di immaginare ed elencare quanti più usi non convenzionali possibili per un oggetto di uso comune. In questo studio sono stati inclusi 8 oggetti utilizzati quotidianamente, e le relative risposte sono state valutate in modo indipendente da due giudici in base a quanto l’uso avesse senso, pertinenza, e originalità. Rispetto al caso base non biofilo, i partecipanti nei tre spazi con elementi biofili hanno ottenuto punteggi di creatività più elevati.

Tuttavia, quegli stessi ambienti biofili hanno comportato tempi di reazione più lunghi nel *test di Stroop* rispetto alla versione non biofila. Da questo studio sembrerebbe quindi che gli elementi biofili abbiano un’influenza calmante sull’uomo favorendo un pensiero più creativo, ma allo stesso tempo distraggano dai task di attenzione che richiedono una certa concentrazione.

Lo *Stroop test* era già stato utilizzato da *Jie Yin et al.* [25] nel loro precedente studio IBE. A questo erano però stati affiancati ulteriori due test cognitivi: il *Visual reaction time task*, ovvero il test per misurare il tempo di reazione agli stimoli visivi, e il *Backward digit span task*, ovvero la memorizzazione di cifre a rovescio. Somministrare più di un test permette

di indagare oltre la pura logica, aggiungendo maggiore complessità e valenza alla valutazione cognitiva degli effetti del *biophilic design* sugli occupanti.

Durante l'esperimento quindi, dopo 5 minuti di esposizione all'ambiente virtuale, il soggetto ha completato i tre stest: il *Visual reaction time task* in cui è stato registrato il tempo di reazione medio con cui il soggetto ha notato il cambiamento grafico sullo schermo del laptop; lo *Stroop test*; e il *Backward digit span task* che consisteva in una serie di numeri visualizzata sullo schermo in modo sequenziale, che i partecipanti dovevano ricordare e digitare nell'ordine inverso.

Questa integrazione di test cognitivi è servita ad esplorare diversi tipi di funzioni cognitive, e in particolare il tempo di reazione, l'attenzione selettiva con la flessibilità cognitiva, e l'attenzione diretta che è una parte essenziale della memoria di lavoro a breve termine. In questo studio gli ambienti biofili hanno ottenuto un punteggio leggermente maggiore in ogni test.

Il *Backward digit span task* è stato utilizzato anche nello studio condotto da *Seungkeun Yeom et al.* [33] per indagare la produttività in un ufficio virtuale la cui componente biofila è data esclusivamente dalla presenza di ampie finestre con vista verso l'esterno.

Durante l'esperimento ai soggetti è stato chiesto di memorizzare l'ordine dei numeri emessi da un laptop modellato all'interno dell'IBE; il test veniva interrotto nel momento in cui il soggetto digitava il numero sbagliato.

Lo studio prevedeva differenti dimensioni di finestra, e per ognuna di queste è stato chiesto ai soggetti di esprimere la loro preferenza in relazione alla vista che erano in grado di vedervi attraverso. I soggetti sono stati quindi divisi in due gruppi in base al grado di soddisfazione espresso, e sono stati confrontati i punteggi ottenuti nei loro *Backward digit span task*. Di conseguenza, è stato confermato che il gruppo che aveva manifestato una soddisfazione generalmente più elevata per l'ambiente ha mostrato un punteggio medio del test più alto rispetto all'altro gruppo per tutte le dimensioni della vista verso l'esterno sperimentate.

Un ulteriore studio che ha esplorato la produttività modellando un ambiente interno virtuale in cui è stata fatta variare una singola caratteristica biofila visiva, ovvero la presenza di finestre, è quello condotto da *L.A. Sharam, K.M. Mayer e O. Baumann* [40]. In questo caso però sono state indagate più funzioni cognitive somministrando una serie di test diversi.

In particolare, è stato innanzitutto dimostrato con il *Continuous Performance Task (CPT)* come non ci siano differenze nella prontezza di risposta dei soggetti tra la condizione di vista di alberi verdi attraverso la finestra rispetto a quella senza finestra.

Il CPT consiste nell'ascolto di una sequenza di lettere, e al soggetto viene chiesto di cliccare il pulsante del mouse il più rapidamente possibile ogni qualvolta vengano pronunciate determinate lettere prestabilite.

Inoltre, i soggetti non hanno mostrato alcuna differenza statisticamente significativa di flessibilità cognitiva misurata nelle due condizioni di vista, neanche tramite i risultati del *Category-letter switching task*, che consiste nel pronunciare in modo alternato due parole che inizino con una certa lettera appartenenti a categorie differenti (es.: un animale la cui iniziale sia la "S" e un cibo il cui nome inizi invece per "O").

È stato invece mostrato attraverso il *test degli usi alternativi di Guilford (test AU)* come l'ambiente con le finestre sia in grado di stimolare l'utente nella produzione di risposte più creative rispetto all'ambiente privo di finestre.

Tutte le attività sono state completate all'interno dell'ambiente VR, e ogni task somministrato aveva tre versioni diverse ma equivalenti per ridurre al minimo gli effetti di *training*, dato che i soggetti li hanno ripetuti per entrambe le condizioni dell'esperimento.

Poi, sempre all'interno di questo stesso studio [40] è stato condotto un ulteriore esperimento aggiungendo una versione dell'ambiente virtuale in cui vi sono finestre con persiane che impediscono qualsiasi visione dell'ambiente esterno, ma permettono comunque un'infiltrazione di luce diurna. Questa volta per le diverse condizioni ambientali è stata misurata l'*attenzione fasica* tramite un *Simple Response Time Task*

(SRTT) che, contrariamente al CPT il quale richiede la discriminazione dello stimolo uditivo, misura i processi cognitivi di base richiedendo che i partecipanti svolgano un'azione specifica, ad esempio click del mouse, ogni volta che uno stimolo visivo o acustico appare; in questo studio l'SRTT consisteva in un suono a cui i partecipanti dovevano reagire cliccando velocemente il tasto del mouse non appena udito.

E infine è stata misurata l'*attenzione esecutiva* tramite l'*n-back task*. Questo test richiede ai partecipanti di ascoltare una sequenza randomizzata di lettere e cliccare il tasto del mouse quando viene udita una lettera che corrisponde a quella apparsa n steps prima.

Anche in questo caso, in entrambi i test non c'è stato alcun effetto statisticamente significativo tra i vari ambienti.

Asalsadat Emamjomeh et al. [29] nel loro studio si sono chiesti se l'esposizione agli elementi naturali avesse lo stesso impatto sulla produttività dei partecipanti sia in IVE che *in situ*. Ogni partecipante ha completato l'esperimento in due giorni diversi, e durante ogni visita, i partecipanti sono stati assegnati in modo casuale a sperimentare l'ambiente biofilo e non, nell'ambiente virtuale immersivo o nell'ambiente reale.

Per testare le funzioni cognitive è stato somministrato un *Visual working memory test*, ovvero un test in cui vengono mostrate un set di figure che possono differire per forma e per colore e subito dopo un altro set completamente identico o differente. Al soggetto viene chiesto di indicare se i due set di figure visualizzati siano gli stessi o meno. Il test è stato fatto svolgere al computer anche nel caso di ambiente IVE facendo rimuovere il visore subito dopo l'esposizione.

Per valutare gli effetti sono state fatte due comparazioni: la prima ha confrontato le prestazioni di memoria visiva tra design biofilico e non biofilico dell'ambiente reale; il secondo confronto è stato fatto sui dati di design biofilico e non biofilico negli IVE.

I risultati hanno mostrato come il design biofilico è stato in grado di migliorare la memoria di lavoro visiva nell'ambiente reale, mentre i dati raccolti negli IVE non hanno mostrato una differenza significativa tra punteggio ottenuto nell'ambiente biofilo e non biofilo.

Quest'ultimo risultato potrebbe derivare dal fatto che il test di produttività in IVE non è stato somministrato durante l'esposizione all'ambiente, ma subito dopo una volta rimosso il visore, facendo perdere il senso di immersività ai soggetti.

Nour Tawil et al. [36] nel loro studio sulle forme e sui contorni delle strutture e degli arredi all'interno di un ambiente chiuso, hanno utilizzato lo *Skip counting task* per valutare le prestazioni cognitive in VR. Dopo aver esplorato gli ambienti simulati, uno con forme smussate e l'altro con forme più spigolose, ai partecipanti è stato chiesto di continuare a sottrarre una certa cifra prestabilita da un numero iniziale mostrato su uno schermo virtuale all'interno del modello, e di pronunciare ad alta voce i risultati intermedi. La sequenza dei numeri era la stessa per tutti i partecipanti e le risposte venivano raccolte manualmente dagli sperimentatori. Per aumentare il grado di immersività, nell'allestimento della stanza dell'esperimento è stato incluso un vero divano posizionato nella stessa posizione di quello modellato nelle stanze virtuali. I partecipanti venivano invitati a sedersi su di esso per svolgere il test cognitivo. I risultati sono stati in linea con i dati comportamentali, ovvero non è stato riscontrato nessun effetto dello stile della stanza nemmeno sulle prestazioni cognitive.

Infine, anche lo studio di *Fedaa Abd-Alhamid et al.* [31], quello di *Jie Yin et al.* [28] e lo studio condotto da *Qiuyun Huang et al.* [30] hanno sottoposto dei test cognitivi ai partecipanti agli esperimenti, rispettivamente lo *Stroop test* e un test aritmetico e di memoria da svolgere in condizioni di disordine con rumori fastidiosi di sottofondo. Tuttavia, in questi due casi, il test cognitivo somministrato non è stato utilizzato per valutare la produttività negli ambienti ma semplicemente per indurre una condizione di stress nei soggetti e misurare il grado di recupero degli ambienti biofilii tramite la misurazione dei parametri fisiologici (vedi *Paragrafo 2.2.1*).

Si riporta quindi la tabella riassuntiva dello stato dell'arte (*Tabella 8*) indicandovi i test cognitivi utilizzati da ciascuno studio, i cui risultati sono stati analizzati per indagare la

produttività negli ambienti, e se questi sono stati somministrati senza l'utilizzo del visore per la VR, prima (PRE) o dopo (POST) l'esposizione all'IBE, oppure durante (PERI) la sessione di realtà virtuale facendo indossare il visore al soggetto. Per ogni studio poi viene specificato se sono state effettuate delle misurazioni che costituiscano una *baseline* di riferimento:

Rif.	[25]	[26]	[28]	[29]	[30]	[31]	[33]	[36]	[40]
Anno	2018	2019	2020	2020	2020	2020	2020	2021	2022
Somministrazione	POST	PERI	PRE	PERI	PRE	PERI	PERI	PERI	PERI
<i>Baseline</i>	NO	NO	NO	SI	-	-	-	SI	SI
<i>Backward time digit span test</i>	x						x		
<i>Category-letter switching task</i>									x
<i>Continuous Performance test</i>									x
<i>Guilford's Alternative Uses test</i>		x							x
<i>N-back test</i>									x
<i>Simple Response Time task</i>									x
<i>Skip counting task</i>								x	
<i>Stroop test</i>	x	x							
<i>Visual reaction time task</i>	x								
<i>Visual working memory task</i>				x					

Tabella 8

Le conclusioni tratte dall'analisi sulla letteratura riguardante la produttività indagata in ambienti biofili virtuali, mostrano i seguenti risultati:

- La maggior parte dei test cognitivi utilizzati dagli studi sono tutti strumenti validati per l'analisi delle due componenti dell'attenzione: l'allerta fasica, che è la capacità di aumentare la prontezza di risposta in seguito ad un segnale di avvertimento, e

l'allerta tonica ovvero la capacità di mantenere un adeguato livello di prestazione per un certo periodo di tempo.

- Solo due studi analizzano la creatività che è una funzione cognitiva importante per la valutazione della produttività in buona parte degli ambienti di lavoro, e un solo studio ha indagato il *task switching*, ovvero la funzione esecutiva che implica la capacità di spostare inconsciamente l'attenzione tra un compito e l'altro.
- La modalità di somministrazione più usata è quella in cui viene mostrata la prova sul monitor del pc modellato in realtà virtuale.
- In un solo studio il test cognitivo è stato fatto eseguire dopo l'esposizione all'IBE una volta rimosso il visore per la realtà virtuale.
- In nessuno studio viene valutata la produttività in maniera soggettiva, ossia utilizzando dei questionari di indagine.

2.2.3 Metodi di valutazione del senso di presenza, grado di immersività e *Cybersickness*

Una delle principali limitazioni della realtà virtuale è rappresentata dal fatto che gli utenti potrebbero non sentirsi completamente immersi nell'ambiente, e di conseguenza potrebbero comportarsi in modo diverso rispetto a come farebbero in situazioni reali.

Per testare la validazione dell'uso della Realtà Virtuale, all'interno di alcuni studi IBE esaminati nei capitoli precedenti è stato chiesto ai partecipanti di effettuare una valutazione dell'esperienza vissuta. Questo ha permesso di indagare i parametri fondamentali che influenzano lo svolgimento della prova in VR, ovvero la *cinetosi*, il *senso di presenza* e il *senso di immersività*.

Il metodo di indagine più utilizzato per la valutazione del senso di presenza e immersività è quello che consiste nella somministrazione di un questionario soggettivo da compilare una volta conclusa l'esperienza in VR, essendo questa una tipologia di ricerca arbitraria

che permette al volontario di esprimere la propria sensazione in maniera ottimale e senza vincoli.

Nel *paragrafo 2.2.1* abbiamo visto all'interno dello stato dell'arte diversi questionari spaziali utilizzati per valutare le emozioni provate dai soggetti all'interno dell'ambiente biofilico virtuale per indagarne il *comfort*. Tra questi stessi studi, alcuni hanno effettuato ulteriori indagini spaziali mirate però a sondare il senso di presenza e immersività dell'ambiente circostante nello spazio di prova virtuale legato esclusivamente alle sue qualità intrinseche.

È infatti importante utilizzare la *presenza* come variabile di controllo per garantire che i partecipanti siano immersi correttamente; e viceversa utilizzare *l'immersione* come una componente necessaria per garantire un adeguato livello di presenza.

A tale scopo, nei loro esperimenti di IBE, *A. Emamjomeh, Y. Zhu e M. Beck* [29] hanno utilizzato *l'Igroup Presence Questionnaire (IPQ)* così come *Nour Tawil et al.* [36] e *Alireza Sedghikhanshir et al.* [38].

L'IPQ è una scala impiegata per misurare il senso di presenza dei partecipanti negli ambienti virtuali. È composta da tre sezioni che indagano tre fattori indipendenti tra loro: la presenza spaziale, il coinvolgimento e il realismo sperimentato.

La presenza misura la sensazione di essere fisicamente immersi nell'ambiente; il coinvolgimento misura quanto l'ambiente virtuale è in grado di rendere partecipe il soggetto; e il realismo misura, invece, la resa obiettiva dell'ambiente virtuale modellato rispetto alle condizioni di situazioni reali e concrete.

Il questionario consiste in 14 item distribuiti nelle tre sezioni esplicitate precedentemente. Il soggetto sperimentale per ognuno di questi deve dare un'indicazione di come percepisce l'ambiente virtuale indicandolo su una scala da “-3 = *in disaccordo*” a “+3 = *d'accordo*”.

Lo studio di *Seungkeun Yeom et al.* [33] invece, volendo indagare il *comfort* percepibile in uno stesso ambiente in cui l'unica variabile è la dimensione della finestra, oltre al PANAS utilizzato proprio per tale scopo (vedi *paragrafo 2.2.1*), ha impiegato anche un ulteriore questionario spaziale per valutare invece la percezione dello spazio virtuale, e lo ha fatto utilizzando il modulo di *Hong et al.* [42]. Nel suddetto questionario l'autovalutazione dei soggetti consiste in 16 item riguardanti:

- il senso di *privacy*;
- la percezione dello spazio interno;
- la percezione dello spazio esterno attraverso l'apertura.

Le risposte a questo modulo sono valutate sulla base di una scala *Likert* a 7 punti (da -3 = "totalmente in disaccordo" a +3 = "totalmente d'accordo").

Per quanto riguarda invece la *Cybersickness*, pochi studi hanno indagato i sintomi della cinetosi causata dall'uso del visore.

Cybersickness è un termine che comprende tutti i disagi causati dall'utilizzo del visore. Questa condizione include solitamente sintomi come vertigini, nausea, difficoltà visive e disorientamento. La cinetosi può insorgere nel soggetto che utilizza la VR quando vi è una marcata non corrispondenza sensoriale tra quello che vediamo e quello che gli altri sensi percepiscono nell'ambiente.

Vediamo che solo tre studi hanno precisato di aver utilizzato il *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ) all'interno delle loro prove. Uno tra questi [38] ha ritenuto sufficiente presentare il questionario solo a 4 partecipanti su 40 totali, per validare il modello virtuale prima di sottoporlo ai restanti soggetti.

I restanti due studi [31] [36], invece, hanno sottoposto l'SSQ a tutti i partecipanti sia prima di iniziare la sessione di VR, sia subito dopo. Sebbene l'SSQ è strutturato in modo da poter essere compilato al termine dell'esperienza virtuale, sottoporlo sia prima che dopo è un modo per mettere in relazione i valori di fine esperienza con i valori registrati prima

dell'immersione nell'IVE, così da valutare solamente le variazioni nella gravità percepita dei vari sintomi, considerando quindi la condizione iniziale dei singoli utenti.

Nello specifico l'SSQ è composto da 16 item valutati su una scala *Likert* a quattro punti che vanno da "0 = sintomo inesistente" a "3 = sintomo molto grave". Gli item proposti possono essere classificati in tre categorie rappresentative:

- Sintomi legati alla nausea;
- Sintomi oculomotori;
- Sintomi di disorientamento

Se il valore complessivo registrato nel questionario risulta superiore a 20 punti allora si può stabilire che il partecipante ha provato un elevato senso di disagio durante l'esperienza di realtà virtuale, e di conseguenza scartare i risultati della sua prova perché ritenuti inattendibili e fortemente influenzati dal fastidio provocato dall'uso del visore.

Nella seguente tabella (*Tabella 9*) vengono riportati gli studi IBE specificando quali tra questi hanno indagato il senso di presenza di immersività e/o la cinetosi:

Rif.	Anno	Questionari senso di presenza e immersività	Questionari sulla cinetosi	Modalità di somministrazione
[25]	2018			
[26]	2019			
[27]	2019			
[28]	2020			
[29]	2020	<i>IPQ</i>		<i>In ambiente reale una volta rimosso il visore</i>
[30]	2020			
[31]	2020		<i>SSQ</i>	<i>In VR rispondendo verbalmente</i>
[32]	2020			
[33]	2020	<i>Modulo di Hong (Likert a 7 pt)</i>		<i>In ambiente reale una volta rimosso il visore</i>
[34]	2020			

[35]	2021			
[36]	2021	<i>IPQ (Likert a 5 pt)</i>	<i>SSQ (Likert a 4 pt)</i>	<i>In VR utilizzando i joystick</i>
[37]	2022			
[38]	2022	<i>IPQ</i>	<i>SSQ</i>	
[39]	2022			
[40]	2022			

Tabella 9

2.3 Conclusioni stato dell'arte

Dall'analisi dello stato dell'arte si evince che il design biofilico può essere integrato all'interno dell'ambiente costruito secondo tre categorie: la *natura nello spazio*, le *analogie con la natura*, e la *natura dello spazio*. E, grazie ai recenti sviluppi tecnologici, è stato possibile studiare queste categorie biofile conducendo prove in ambiente virtuale ottenendo una serie di vantaggi.

Tuttavia, è emerso che gli studi che utilizzano l'*Immersive Biophilic Environment* sono molto pochi, sedici in totale, e si concentrano sulla sola riduzione dello stress, piuttosto che indagare uno spettro più ampio di benefici ottenibili, quali sviluppo delle emozioni positive e miglioramento delle funzioni cognitive, indagati, invece, con studi di letteratura tradizionali.

È emerso inoltre che, tra questi pochi studi che utilizzano la VR, solo tre valutano l'adeguatezza di ambienti virtuali immersivi per replicare ambienti biofilici reali. Questo probabilmente perché è già noto da altri ambiti di studio che la realtà virtuale è uno strumento promettente per supportare la ricerca.

Nel dettaglio poi, è emerso che tutti gli studi sono *Single-domain*, cioè indagano un solo stimolo sensoriale. Per la categoria *Natura nello spazio* l'attributo biofilo principale studiato è risultato essere la connessione visiva, seguita dall'illuminazione. Nessuno si è occupato di fare uno studio *single-domain* considerando la connessione non visiva o l'aspetto termico. Per la categoria *Analogie con la natura* vengono indagati sia i materiali sia le forme geometriche in egual misura, mentre per la categoria *Natura dello spazio* una buona percentuale di studi ha indagato i prospetti e quindi la vista verso l'esterno.

Inoltre, tra questi dodici studi fanno una integrazione di più elementi del *biophilic design*, rimanendo comunque *single-domain*.

Dall'analisi della letteratura è emersa una disomogeneità nei test di *produttività* utilizzati per lo studio dell'efficienza lavorativa, dove i più si sono concentrati nel testare l'attenzione fasica e tonica, solo due la creatività, e un solo studio ha testato l'abilità di *task switching*. Inoltre, per quanto riguarda il *comfort*, una buona parte della letteratura ha integrato l'uso di indicatori fisiologici con questionari psicologici. Il questionario maggiormente utilizzato è risultato essere il PANAS.

In alcune delle sperimentazioni analizzate non è stato esplicitato come i questionari di comfort siano stati somministrati. E, tra i pochi che lo hanno fatto, solo sei studi hanno sfruttato la realtà virtuale per la visualizzazione delle domande, questo per non far perdere il senso di presenza ai soggetti partecipanti all'interno del modello.

Invece, i test di produttività proposti in letteratura fino ad oggi sono stati somministrati riproducendoli in realtà virtuale presentando la prova sul monitor di un pc modellato in VR. In un unico caso i test cognitivi sono stati fatti svolgere in ambiente reale al pc dopo l'esposizione. In nessuno studio viene valutata la produttività in maniera soggettiva, ossia utilizzando dei questionari di indagine.

La limitazione maggiormente riscontrata negli esperimenti condotti in IBE è stata l'aver un numero limitato di campioni o comunque omogeneità nei partecipanti, quali principalmente giovani studenti, rischiando un *bias di selezione*.

Inoltre, non tutti gli studi hanno poi preso le misure per creare una *baseline* di riferimento per le funzioni cognitive, al fine di ridurre i potenziali effetti di apprendimento.

Un altro limite riguarda la modellazione degli elementi verdi virtuali: due studi hanno sottolineato come non avendo riprodotto i movimenti tipici naturali, come l'ondeggiare dei fili d'erba e i piccoli movimenti delle foglie, non è stato tenuto conto del potere distraente di questi. Inoltre, non sono stati considerati gli effetti delle particelle sospese nell'aria generate dalle piante, che si avrebbero in ambiente reale.

Inoltre, negli studi che hanno utilizzato come variabile di design la sola finestra, sono state indagate le risposte dei soggetti solo in base alla dimensione piuttosto che alla tipologia

della vista esterna, quindi senza distinzione tra gli effetti di una vista esclusivamente naturalistica piuttosto che urbana.

Per quanto riguarda invece le limitazioni tecniche, spesso gli ambienti immersivi utilizzati negli studi non hanno consentito il libero movimento e l'interazione con la scena.

Infine, negli studi in cui era disponibile l'uso dell'*eye-tracking*, questo non è stato impiegato durante i test cognitivi, motivo per cui non è stato verificato se i soggetti fossero distratti o meno dagli elementi biofilii.

Quindi non essendoci stata finora in nessuno studio l'introduzione di connessioni non visive, l'obiettivo della presente tesi è quello di andare ad incrementare la ricerca *multi-dominio*, per supportare il *Restorative Design*, combinando lo stimolo visivo con quello acustico, in ambiente virtuale.

3. Fasi e metodi

La presente tesi ha come obiettivi esaminare la validità della VR come strumento di ricerca valido in questo settore, e indagare quale sia l'impatto dei diversi scenari biofilii immersivi multisensoriali (visivi e non visivi) sugli occupanti nei luoghi di lavoro.

Per perseguire gli obiettivi di ricerca è stata condotta un'attività sperimentale di tipo pluralistico e multi-dominio.

3.1 Elenco fasi operative

Il seguente paragrafo definisce i metodi utilizzati per strutturare la ricerca e per la raccolta dei dati.

Lo studio si compone di n. 7 fasi.

La prima fase ha lo scopo di garantire che le domande e i test da sottoporre ai partecipanti durante le prove siano validi, affidabili e pertinenti per raggiungere gli obiettivi dello studio, definendone il formato e la struttura e scegliendone il metodo di somministrazione. Sono state quindi svolte le seguenti attività: formulazione dei questionari pre e post sperimentali e predisposizione dei test di produttività.

Lo scopo della seconda fase, invece, è quello di rendere il processo di ricerca più organizzato e controllato, garantendo che siano effettuati tutti i passi necessari per ottenere risultati affidabili e significativi. Per questo è stata ideata la procedura sperimentale, suddividendola in fase pre-sperimentale, fase operativa e fase post-sperimentale.

La terza fase ha il fine di creare un contesto controllato in cui condurre le prove sperimentali, replicando un ambiente reale in cui potessero essere modificate facilmente le variabili. Nella terza fase è stato realizzato il modello tridimensionale dell'ambiente di prova.

La quarta fase ha l'obiettivo di garantire che lo studio soddisfi i criteri di sicurezza, di protezione dei diritti e di conformità alle leggi e ai regolamenti vigenti. Di conseguenza la ricerca è stata sottoposta al parere del Comitato Etico dell'Università Politecnica delle Marche che ha positivamente approvato l'attività con Prot.n.0216363 del 01/12/2022.

La quinta fase di questa attività sperimentale ha l'obiettivo di garantire che la ricerca abbia sufficiente potenza per rilevare effetti significativi. Per questo è stata svolta l'attività di selezione del campione di popolazione partecipante alle prove sperimentali sulla base della potenza statistica della ricerca.

Lo scopo della sesta fase è quello di predisporre tutta l'attrezzatura per garantire che, durante la prova, le condizioni ambientali siano controllate e uniformi, riducendo eventuali errori sistematici. Sono state condotte attività di allestimento della stanza per lo svolgimento delle prove all'interno del Dipartimento DICEA e sono stati settati i sistemi di monitoraggio ambientale interno.

Infine, la settima ed ultima fase ha avuto l'obiettivo di verificare se le domande di ricerca sono state risolte dalle prove sperimentali, identificando eventuali correlazioni o relazioni tra le variabili, e valutando la significatività statistica dei risultati. Di conseguenza, sono stati analizzati i dati raccolti, verificando l'Ecological validity del modello creato e valutando l'impatto degli elementi biofilari su comfort e produttività degli utenti in ambienti biofilari immersivi.

In sintesi, si riportano le 7 fasi seguenti:

- a) Predisposizione degli elementi costituenti la prova:
 - questionario introduttivo;
 - questionario pre-sperimentali;
 - test per lo studio della produttività;
 - questionario post-sperimentale "*Circumplex model*" per indagare il comfort;
 - questionario post-sperimentale per la valutazione del senso di presenza e immersività e dei disturbi legati alla cinetosi.

- b) Ideazione della procedura sperimentale: fase pre-sperimentale, fase operativa, fase post-sperimentale.
- c) Realizzazione del modello tridimensionale dell'ambiente di prova tramite i programmi *Rhino* e *Unity3D*, in particolare sono stati creati 3 scenari visivi:
 - Ambiente virtuale non biofilo
 - Ambiente virtuale biofilo, caratterizzato dalla vista esterna naturale
 - Ambiente virtuale biofilo, caratterizzato da elementi verdi interni
- d) Acquisizione del parere del Comitato Etico dell'Università Politecnica delle Marche
- e) Selezione del campione di popolazione partecipante alle prove sperimentali sulla base della potenza statistica della ricerca
- f) Predisposizione stanza per lo svolgimento delle prove: allestimento e settaggio dei sistemi di monitoraggio ambientale interno
- g) Risultati:
 - Verifica dell'*Ecological validity* del modello creato: Analisi dei disturbi legati all'uso del visore e al senso di presenza e immersività vissuto dai soggetti.
 - Valutazione dell'impatto degli elementi biofilo (visivi e non visivi) su comfort e produttività degli utenti in ambienti biofilo immersivi (*Immersive Biophilic Environment, IBE*).

3.2 Metodologia

Per supportare la ricerca multi-dominio nel campo del *Restorative Design* in ambiente virtuale, il presente lavoro di tesi combina lo stimolo visivo con quello acustico.

Le variabili sperimentali, scelte per dare vita all'approccio multi-dominio e multisensoriale, hanno portato a sviluppare tre diversi scenari visivi e altrettante tre tipologie di suono.

Nello specifico, le connessioni visive con la natura saranno rappresentate da:

- Vista esterna, categoria appartenete alla “*Natura dello spazio*”
- Elementi verdi interni, quali pareti verdi e piante in vaso, categoria appartenete alla “*Natura nello spazio*” [8]

Invece, le connessioni non visive con la natura saranno rappresentate dalla riproduzione audio di suoni naturali “familiari”, escludendo quelli meno comuni quali, ad esempio, rumore di corsi d’acqua.

Sia per gli scenari visivi che per gli stimoli acustici, sono state create degli scenari *baseline* di riferimento, rispettivamente un ambiente virtuale non biofilo e una traccia audio con rumori comuni da ufficio.

Di seguito (*Tabella 10*), viene illustrato il quadro che riporta la combinazione multi-dominio delle variabili sperimentali data dai tre scenari visivi con i tre scenari audio:

Approccio multi-dominio e multisensoriale (3x3)			
Connessioni visive e non visive con la natura			
Scenari sonori	Scenari visivi		
	Non-biofilo	Vista esterna	Elementi verdi interni
Baseline		<i>Contenuti visivi biofili</i>	
Rumoroso		<i>Contenuti visivi biofili</i>	
Migliorativo	<i>Contenuti uditivi biofili</i>	<i>Combinazione multisensoriale di componenti visive e uditive biofile</i>	

Tabella 10

I capitoli successivi esporranno nel dettaglio la selezione del campione, le fasi operative di cui lo studio si compone, gli strumenti utilizzati per l’organizzazione delle prove e la procedura per lo svolgimento dei test.

3.2.1 Selezione del campione

È importante prestare attenzione alla selezione del campione per garantire che i risultati dello studio siano accurati e affidabili. Il campione avrà una dimensione tale da essere ben rappresentativo della popolazione di interesse. Affinché questo accada è necessario

un numero di partecipanti tale che l'intervallo di confidenza abbia una certa precisione, ovvero un margine di errore specifico.

Nel presente studio il totale dei partecipanti sarà diviso in tre gruppi, e ciascuno di questi gruppi verrà casualmente assegnato a uno dei tre scenari visivi specificati nel *paragrafo 3.2*, per realizzare uno studio *independent measures design*.

All'interno di questo, ogni soggetto appartenente allo stesso gruppo sperimenterà tutti e tre gli scenari audio differenti, realizzando uno studio *repeated measure design*.

Con questa tipologia mista di studio, un gruppo di individui partecipa a tutte le diverse condizioni audio di prova, cosicché qualora risultassero differenze medie tra i trattamenti, queste non possono essere spiegate dalle differenze individuali.

Per individuare il numero sufficiente di soggetti costituenti il campione è stato utilizzato il software *G*Power 3.1.9.7* [43].

Per prima cosa all'interno del software è stato necessario selezionare il tipo di analisi desiderata. In questo caso, si vuole calcolare il numero di soggetti del campione necessari in modo da garantire che lo studio abbia il potere statistico sufficiente per rilevare, se esiste, un effetto significativo; quindi, è stata scelta l'analisi *a priori*. Il test statistico selezionato è stato l'ANOVA, a causa della necessità di valutare, nell'analisi dei dati, l'effetto delle interazioni tra variabili visive e acustiche.

A questo punto sono stati inseriti i dati necessari per l'analisi, ovvero il livello di significatività desiderato (α), la potenza statistica ($1-\beta$), e l'*effect size* previsto o stimato.

- In campo statistico, l'*effect size* è una misura dell'entità o del grado di un effetto o di una relazione. È utilizzato per valutare l'importanza di un risultato ottenuto in uno studio dal punto di vista statistico. Se l'*effect size* è molto piccolo, il risultato dello studio potrebbe essere stato ottenuto per caso e potrebbe non essere rilevante dal punto di vista pratico. In generale, un *effect size* più grande indica un effetto più importante o rilevante, mentre un *effect size* più piccolo indica un effetto meno

importante o rilevante. Nel presente studio è stato scelto di imporre un effect size moderato pari a 0,25.

- Il *livello di significatività* (α) viene utilizzato per decidere se i risultati di uno studio sono statisticamente significativi o meno. Corrisponde alla probabilità di rifiutare erroneamente l'ipotesi nulla anche se è vera. Minore è α e maggiore è la probabilità di evitare un falso positivo. Nel presente studio il livello di significatività viene fissato a 0,05 segnando un intervallo di confidenza del 95%.
- Infine, la *potenza statistica* ($1-\beta$) corrisponde alla probabilità di rifiutare correttamente l'ipotesi nulla se questa è falsa. Maggiore è la potenza statistica, più facilmente si riscontrerà un effetto se è presente. Quindi, la potenza statistica è la probabilità che un test statistico rilevi un effetto o una differenza significativa quando esiste davvero. In altre parole, è la capacità del test di individuare correttamente un effetto o una differenza significativa. Nel presente studio la potenza statistica è presa pari all'80%.

Infine, all'interno del software è stato necessario specificare anche il numero di gruppi. Avendo tre variabili visive, da testare ciascuna per altrettante variabili sonore, l'approccio sperimentale sarà del tipo matriciale 3x3 (totale gruppi = 9).

In *Figura 1* si riportano i valori di utilizzati all'interno di *G*Power* e i relativi risultati:

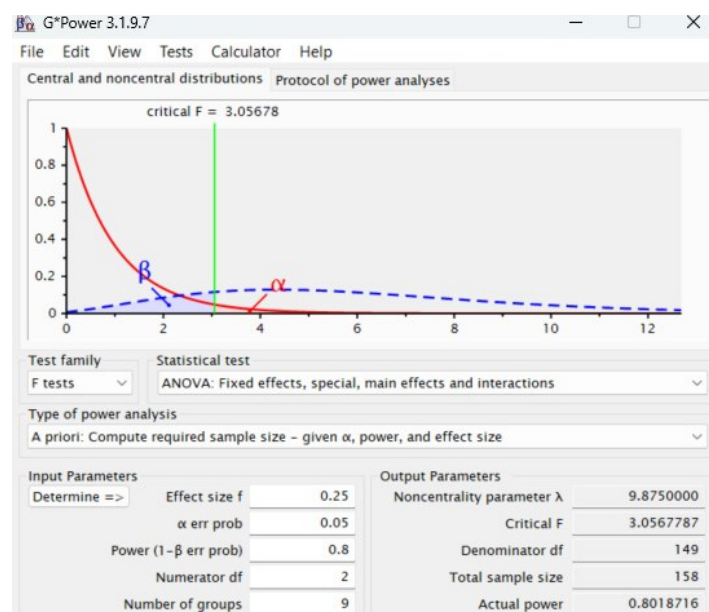


Figura 1

Come mostrato nella precedente *Figura 1*, il numero di soggetti minimo restituito dal software di calcolo statistico è pari a 158 soggetti ($f = 0.25$, $\alpha = 0.05$, $\text{power} = 0.8$), che verranno equamente distribuiti in tre sottogruppi, ognuno dei quali sperimenterà un singolo scenario visivo in VR, e ripeterà la prova per tutti e tre i differenti scenari audio.

Tuttavia, la presente tesi ha raccolto un solo set di dati relativo al gruppo assegnato allo scenario visivo biofilo caratterizzato dal verde interno. All'interno di questo sono stati testati 66 soggetti, e questo ha permesso di arrivare a una *power* dell'88%.

3.2.2 Questionario *pre* e *post* sperimentale

All'interno dello studio ai partecipanti è stato chiesto di compilare dei questionari di indagine durante ciascuna sessione di test sperimentale.

Il questionario di indagine è un insieme di domande progettate per raccogliere informazioni sia di tipo qualitativo che quantitativo. Per garantire la comparabilità delle informazioni raccolte, il questionario di indagine utilizza domande e risposte standardizzate per tutti i partecipanti. Esistono tre tipi di questionari, basati su risposte a domande aperte, chiuse o una combinazione delle due.

In questo particolare studio, i partecipanti hanno compilato un questionario introduttivo pre-sperimentale, e due post-sperimentali somministrati in VR, di cui uno per la valutazione del comfort durante ogni scenario acustico e uno per la valutazione del senso di presenza e immersività e disturbi legati all'uso del visore.

In base alla normativa vigente, le domande sono state formulate in modo chiaro e comprensibile per i partecipanti, in modo da evitare confusione o interpretazioni errate. In particolare, il questionario pre-sperimentale è stato costruito con domande sulle generalità del partecipante, quali: il genere, l'età, il peso, l'altezza, i problemi visivi, il livello di istruzione, la frequenza di svolgimento di attività sedentarie, la frequenza di

visione di programmi televisivi e di utilizzo di videogiochi, e se si sono avute esperienze precedenti di utilizzo del visore per la realtà virtuale.

È stata introdotta un'ulteriore sezione del questionario pre-sperimentale per raccogliere informazioni sugli spazi di lavoro o studio (*Tabella 11*). Le domande del questionario sono state create sulla base di un sondaggio globale somministrato a lavoratori di vari settori provenienti da tutto il mondo, effettuato da *Human Space* [10]. La sezione si compone di quattro domande. Le prime due indagano le caratteristiche presenti nel luogo di lavoro/studio abituale del soggetto, e quali elementi biofilari vi si vorrebbe introdurre per migliorarlo. Le restanti due domande chiedono al partecipante di esprimere il grado di soddisfazione riguardo il design e le caratteristiche sonore del proprio luogo di lavoro/studio abituale, tramite una scala di valutazione soggettiva a 7 punti da "Totalmente in disaccordo" a "Totalmente d'accordo".

Domanda	Scala di valutazione		Rif.
<i>Seleziona le caratteristiche presenti nel tuo luogo di lavoro/studio abituale</i>	Scelta multipla	<ul style="list-style-type: none"> •Accesso a luce naturale •Elementi naturali [es: piante in vaso, acquari, ...] •Finestre apribili che permettano una ventilazione naturale •Materiali in legno o pietra naturale •Spazio condiviso con altri lavoratori/studenti •Suoni naturali [es: fruscio delle piante, cinguettio degli uccelli, ...] •Suoni antropici [es: traffico] •Vista verso l'esterno (elementi e paesaggi naturali) •Vista verso l'esterno (ambienti urbani) 	[10]
<i>Seleziona gli elementi che vorresti introdurre nel tuo luogo di lavoro/studio per migliorarlo</i>	Scelta multipla	<ul style="list-style-type: none"> •Luce naturale •Piante da interno •Ambiente più silenzioso (da fonti esterne) •Ambiente più silenzioso (da fonti interne) •Vista verso l'esterno (elementi e paesaggi naturali) •Vista verso l'esterno (ambienti urbani) •Materiali naturali quali legno o pietra 	[10]
<i>Sono soddisfatto del design del mio luogo di lavoro/studio</i>	Scelta multipla	1 = totalmente in disaccordo 7 = totalmente d'accordo	[10]

Sono soddisfatto delle caratteristiche sonore (es: tipologia di rumori) del mio luogo di lavoro/studio	Scelta multipla	1 =totalmente in disaccordo 7 = totalmente d'accordo	
--	-----------------	---	--

Tabella 11

Il primo questionario post sperimentale aveva l'obiettivo di valutare il comfort percepito all'interno dell'ambiente, per valutare le relazioni tra le emozioni provate dal soggetto e le caratteristiche dell'ambiente acustico in cui era immerso. A questo scopo è stato utilizzato il "Circumplex model" di Russel [44] un modello teorico utilizzato per descrivere i diversi stati d'animo, adattato da Axelsson *et al.* [45] e integrato per il presente studio con ulteriori domande dallo studio di Ko *et al.* [46]. Sono state quindi selezionate 12 domande, per la valutazione del comfort dello scenario sperimentato.

Gli attributi utilizzati per descrivere l'ambiente, sul piano visivo e sonoro, sono mostrati secondo il modello di seguito riportato (Figura 2):

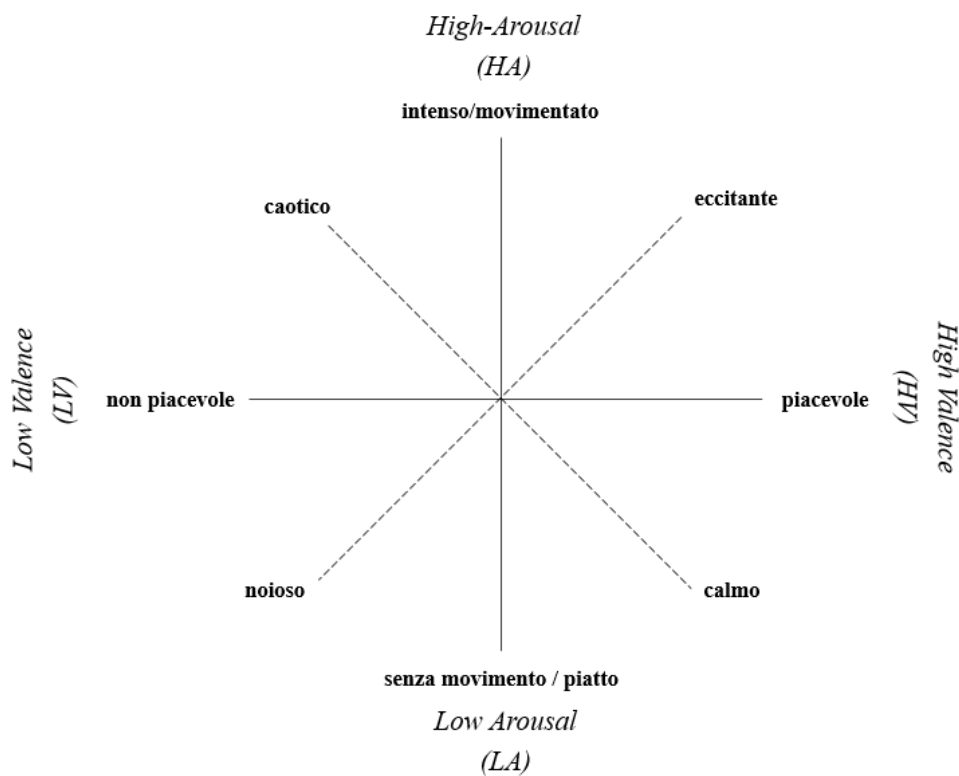


Figura 2

La domanda presentata ai soggetti era la seguente “Quanto ritieni che i seguenti aggettivi rappresentino l’ambiente acustico circostante? DINAMICO/VIVACE/PIACEVOLE/CALMO/STABILEeSTAZIONARIO/SPIACEVOLE/CAOTICO/NOIOSO/SORPRENDENTE/ENTUSIASMANTE/FELICE/TRISTE?”. Ed è stata utilizzata una scala di valutazione a 5 punti, da “1 = Totalmente in disaccordo” a “5 = Totalmente d’accordo”.

Il secondo questionario post-sperimentale è stato strutturato per la valutazione dell’*Ecological validity* del modello creato.

Il questionario sull’*Ecological validity* prevede due sezioni: cinetosi e senso di presenza e immersività dell’ambiente virtuale in cui è stato condotto l’esperimento.

La parte di questionario riguardante la cinetosi fa riferimento al *Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ)* sviluppato da *Kim H. et al.* [47] riducendone i sintomi come riportato nello studio di *Latini A et al.*[48], da 9 a 6 disturbi quali: disagio generale, stanchezza, affaticamento, difficoltà di messa a fuoco, mal di testa e vertigini.

Questi sintomi sono stati valutati su una scala da “0 = per niente” a “4 = moltissimo”.

Nella seguente tabella (*Tabella 12*) sono riportati i voti per valutare la cinetosi:

VOTI	VRSQ
0	Per niente
1	Leggermente
2	Moderatamente
3	Molto
4	Moltissimo

Tabella 12

Invece, la sezione riguardante il senso di presenza e immersività degli ambienti virtuali si compone di 8 domande, come nello studio di riferimento [48], riferite a categorie di indagine diverse, distribuite in questo modo:

- n. 1 domanda su apprezzamento grafico
- n. 3 domande su presenza spaziale
- n. 1 domanda su coinvolgimento
- n. 3 domande su realismo sperimentato.

Tale sezione ha come scala di valutazione, per ogni domanda, un range di valori da “1 = *totalmente in disaccordo*”, a “7 = *totalmente d’accordo*” con eccezione dell’ultima domanda che va da “1 = *totalmente non reale*” a “7 = *totalmente reale*”.

Di seguito (*Tabella 13*) si riportano le domande e le relative scale di valutazione:

Questionario	Domanda	Scala di valutazione		Rif.
Cinetosi	Valuta i seguenti disturbi legati all’esposizione all’ambiente virtuale: •DISAGIO GENERALE •STANCHEZZA •AFFATICAMENTO DEGLI OCCHI •DIFFICOLTA’ DI MESSA A FUOCO •MAL DI TESTA •VERTIGINI	Scelta multipla	0 = per niente 4 = moltissimo	[47] [48]
Apprezzamento grafico	Ho apprezzato la grafica e le immagini dle modello virtuale	Scelta multipla	1 =totalmente in disaccordo 7 = totalmente d’accordo	[48]
Presenza spaziale	Ho percepito lo SPAZIO UFFICIO come un luogo realmente visitato piuttosto che come un’immagine	Scelta multipla	1 =totalmente in disaccordo 7 = totalmente d’accordo	[48]
	Durante la prova, mi sono sentito presente nello SPAZIO UFFICIO	Scelta multipla	1 =totalmente in disaccordo 7 = totalmente d’accordo	[48]
	Ho percepito il modello virtuale dello SPAZIO UFFICIO come immersivo ovvero come adeguata illusione della realtà	Scelta multipla	1 =totalmente in disaccordo 7 = totalmente d’accordo	[48]
Coinvolgimento	Durante la prova, non ero consapevole del mondo reale circostante	Scelta multipla	1 =totalmente in disaccordo 7 = totalmente d’accordo	[48]
Realismo sperimentato	Ho percepito gli oggetti dello SPAZIO UFFICIO come proporzionalmente corretti (cioè, avevano circa la giusta dimensione e distanza in relazione a me e ad altri oggetti virtuali)	Scelta multipla	1 =totalmente in disaccordo 7 = totalmente d’accordo	[48]
	Ho avuto la sensazione di poter interagire con lo SPAZIO UFFICIO (ad esempio per afferrare degli oggetti)	Scelta multipla	1 =totalmente in disaccordo 7 = totalmente d’accordo	[48]
	Quanto ti è sembrato realistico il modello virtuale dello SPAZIO UFFICIO?	Scelta multipla	1 = totalmente non reale 7 = totalmente reale	[48]

Tabella 13

3.2.3 Test di produttività in IVE

In questo studio, per valutare la produttività in un ambiente di lavoro, sono state effettuate prove utilizzando video temporizzati e immagini proiettati sullo schermo del computer visualizzato all'interno dell'ambiente virtuale.

La produttività di un individuo è stata misurata attraverso la valutazione delle funzioni cognitive. A questo scopo sono state preparate tre tipologie di test differenti in grado di separare la complessità delle funzioni esecutive, valutandone tre diverse: memoria di lavoro, inibizione e *task switching*.

La memoria di lavoro si riferisce alla capacità di tenere a mente le informazioni e manipolarle; l'inibizione riguarda il controllo dell'attenzione, del comportamento e delle emozioni per scavalcare abitudini o impulsi; il *task switching* è l'abilità di passare da un'attività all'altra con esigenze diverse.

Queste tre funzioni cognitive vengono analizzate rispettivamente con i seguenti test: *OSPAN*, *Stroop Test*, e *Magnitude- parity test*.

Il test *OSPAN*, acronimo di *Operation Span*, è un test utilizzato per valutare la capacità di memoria di lavoro. Il test consiste in una serie di slide temporizzate che presentano un'operazione matematica da risolvere a mente (durata 3 sec), una serie di numeri proposti come soluzione alle operazioni precedenti che il soggetto deve giudicare ad alta voce se sono esatte o false (durata 3 sec), e una serie di lettere da memorizzare (durata 800 msec). Il soggetto deve mantenere in memoria le lettere visualizzate mentre risolve le operazioni matematiche e valuta la correttezza delle soluzioni proposte. La sequenza verrà ripetuta per cinque volte come in *Figura 3*. Al termine della prova, al soggetto viene chiesto di restituire la sequenza corretta delle lettere comparse nell'ordine visualizzato.

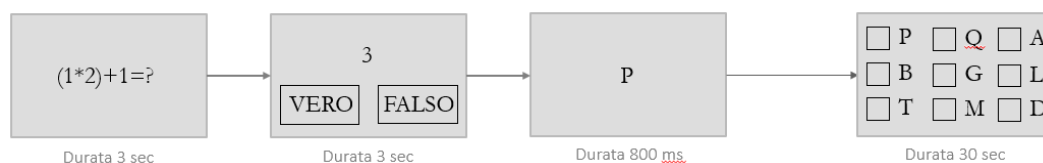


Figura 3

Lo Stroop Test consiste in una lista di 32 parole scritte in un certo colore (*Figura 4*), e il compito del soggetto è quello di indicare il colore in cui le parole sono stampate, ignorando il significato delle parole stesse. Alcune parole sono colori scritti con un colore diverso dal significato, creando un conflitto tra la lettura delle parole e l'indicazione del colore. Il tempo impiegato per completare il test e gli errori commessi sono utilizzati per valutare la capacità di inibizione e la flessibilità cognitiva del soggetto.



Figura 4

Infine, durante il *Magnitude- parity test* verranno proiettato sullo schermo delle cifre da 1 a 9. Il soggetto dovrà dire ad alta voce: dopo aver visualizzato il pallino rosso se il numero visualizzato è pari o dispari; dopo aver visualizzato il pallino blu se il numero visualizzato sia maggiore o minore di 5.

Queste singole fasi (*Figura 5*) si ripeteranno per 8 volte ciascuna. Anche in questo caso le singole slide sono temporizzate, in particolare i bollini, i numeri e le slide bianche di intervallo hanno una durata di 200 ms, mentre il tempo di risposta è di 800 ms.

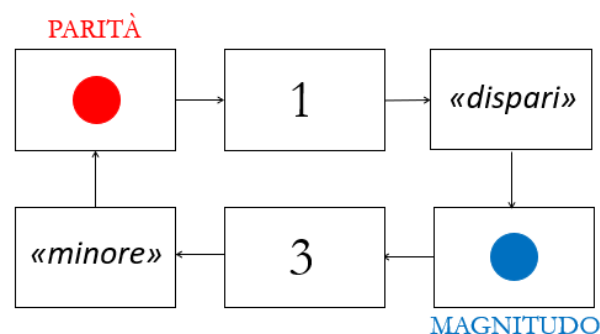


Figura 5

3.2.4 Procedura sperimentale

Una volta ottenuto il parere del comitato etico dell'Università (*Allegato A*), è stata messa a disposizione dei partecipanti alla sperimentazione la possibilità di prenotarsi per la prova, tramite l'utilizzo di *Google Calendar*, un'applicazione che consente di pianificare attività e condividere calendari con altri utenti.

Una volta effettuata la prenotazione, il soggetto si è recato in dipartimento per svolgere la sperimentazione nel giorno indicato.

La durata complessiva del test è di circa 25 minuti.

Prima di iniziare la sessione di prova in VR, i partecipanti hanno firmato il modulo per il consenso, e successivamente sono stati istruiti sulle modalità della prova. Sempre in fase pre-sperimentale, i partecipanti hanno compilato il questionario introduttivo per la raccolta di informazioni generali (*Figura 6*). Tale questionario è stato realizzato tramite *Google Form*, uno strumento di creazione di moduli online, includendo sia domande a risposta aperta che domande a risposta chiusa.

In contemporanea alla compilazione del questionario pre-sperimentale da parte del soggetto, lo staff impostava l'ordine di svolgimento delle prove di produttività e predisponeva le strumentazioni per l'inizio della fase operativa.

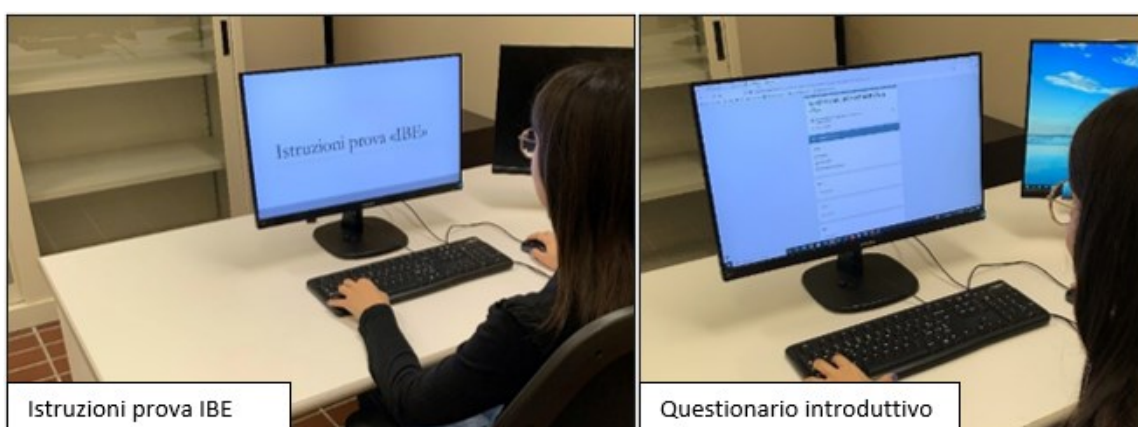


Figura 6

Terminata la compilazione del questionario pre-sperimentale, i soggetti hanno indossato il visore *VIVE PRO Eye* dell'*HTC* munito di cuffie per l'ascolto delle tracce audio. Una volta settata la distanza tra le lenti per ottimizzare la visualizzazione del modello con l'aiuto di un operatore dello staff, ha avuto inizio la fase di immersione nell'ambiente virtuale.

Per comprendere meglio l'effetto dell'esposizione virtuale agli elementi biofilari, durante la prova di n. 13 soggetti è stato incorporato un dispositivo di tracciamento oculare, *Eye-tracking*, per registrare l'attenzione focale dei partecipanti durante l'immersione nell'ambiente virtuale. In primis, seguendo le istruzioni mostrate in VR, il soggetto ha eseguito il settaggio dell'*Eye-tracking* tramite la procedura di *launch calibration*, gestita da un operatore, per garantire la precisione e l'accuratezza dei dati raccolti durante l'esperimento.

Inoltre, un sottogruppo dei soggetti ha indossato anche dei dispositivi *Empatica EmbracePlus* [49] (*Figura 7*) per il rilevamento dei parametri fisiologici, quali: attività elettrodermica (EDA), frequenza cardiaca (HR) e temperatura cutanea (ST).



Figura 7

La fase operativa ha seguito la procedura sperimentale dello studio di riferimento [48].

In un primo momento, ai soggetti è stato chiesto di riposare con gli occhi chiusi per 30 secondi, per evitare effetti indesiderati della cinetosi dovuti all'uso del visore. Dopodiché il soggetto ha iniziato a esplorare l'ambiente virtuale immersivo per adattarsi alla scena.

Durante questa fase di adattamento, durata 3 minuti, il soggetto era libero di guardarsi intorno, rimanendo seduto nella sua postazione e ascoltando una delle tre tracce audio assegnata in ordine casuale. Nel frattempo, sul monitor del computer frontale al soggetto, veniva proiettata una slide che invitava il partecipante a descrivere ad alta voce i suoni e gli oggetti visualizzati all'interno dell'ambiente virtuale (*Figura 8*).



Figura 8



Figura 9

Trascorsi i minuti per l'adattamento, ha avuto inizio la fase operativa della sperimentazione. Prima di ogni test di produttività al soggetto sono state ricordate le relative istruzioni mostrandole sullo schermo del computer. Prima di procedere con la somministrazione del test l'operatore ha aspettato il consenso verbale del soggetto per assicurarsi che quest'ultimo avesse avuto il tempo necessario per leggere e comprendere

le istruzioni (*Figura 10*). Le tracce audio sono state interrotte durante la visualizzazione delle istruzioni per favorire la concentrazione del soggetto.



Figura 10

I tre test di produttività sono stati sottoposti ad ogni soggetto in maniera randomizzata per assicurare il contro bilanciamento necessario per il *time-related factor* e l'*order effect*.

Dopo aver concluso i test, al soggetto è stato mostrato sullo stesso schermo del computer modellato in realtà virtuale, il questionario "*Circumplex model*" per indagare il comfort percepito all'interno dell'ambiente, e i partecipanti hanno risposto verbalmente mentre un operatore annotava le risposte compilando il questionario su *Google Form*. Per garantire la continuità dell'immersione le tracce audio non sono state interrotte durante la compilazione verbale del questionario.

L'intera sequenza fase di adattamento e fase operativa è stata ripetuta da ogni soggetto per tre scenari audio diversi. Durante ogni cambio scenario al soggetto veniva data la possibilità di riposare con gli occhi chiusi, senza traccia audio di sottofondo, per circa 30 secondi, proiettando una slide di intermezzo, come mostrato in *Figura 11*.



Figura 11

Alla fine della sperimentazione dell'ultimo scenario, è stato somministrato il questionario post-sperimentale riguardante presenza e immersività, e *Cybersickness*. Anche in questo caso per garantire un'esperienza pienamente immersiva all'utente, le domande sono state visualizzate sullo schermo del computer in VR (Figura 12), ed è stato chiesto ai soggetti di rispondere verbalmente mentre un operatore si occupava di compilare il corrispondente questionario su *Google Form*.

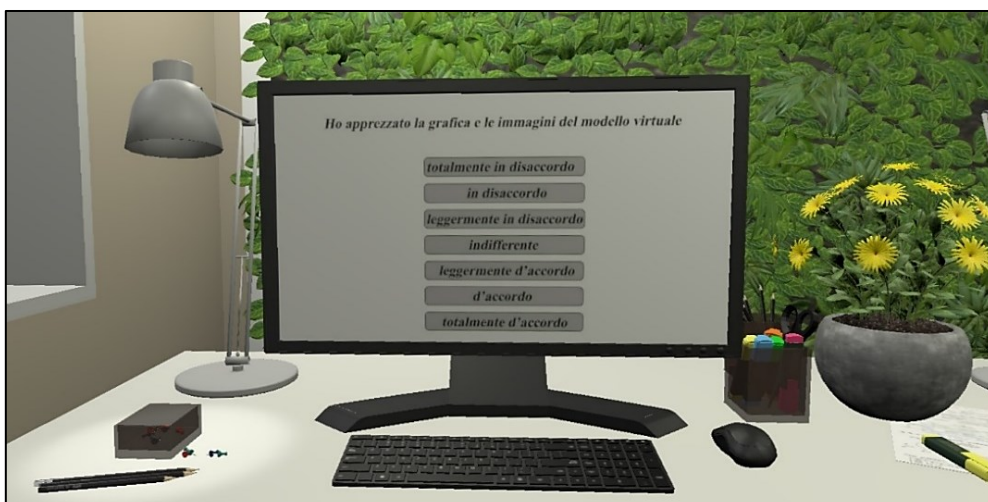


Figura 12

Di seguito (*Figura 13*) viene riportato in modo schematico il protocollo sperimentale illustrato in precedenza:

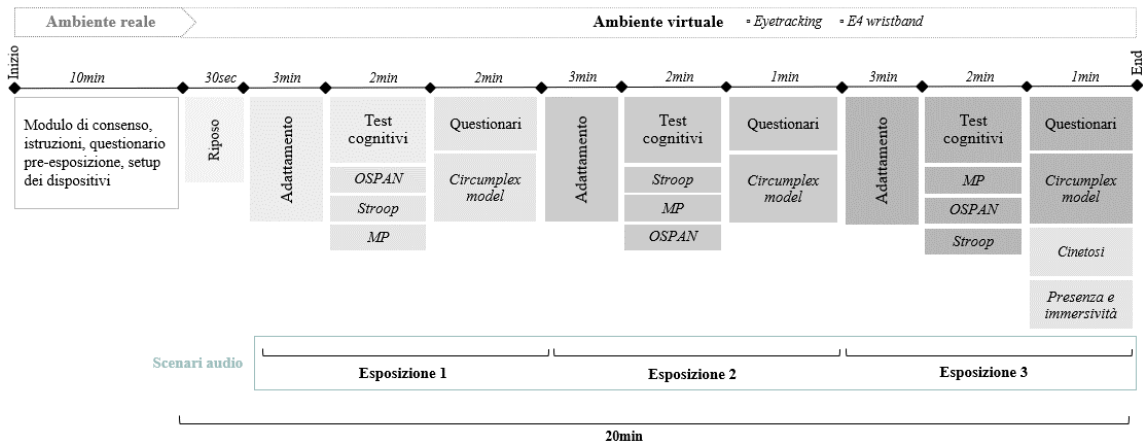


Figura 13

3.3 Realizzazione tracce audio

La generazione degli stimoli acustici come seconda variabile dello studio sperimentale multi-dominio è stata effettuata in collaborazione con l'*Institute for Environmental Design and Engineering, The Bartlett School of Architecture, University College London*.

Globalmente, è stato seguito il procedimento di cui se ne elencano qui le fasi:

1. Misura del tempo di riverbero
2. Registrazione del rumore del traffico e rumori da ufficio
3. *Post-processing* delle registrazioni per generare tracce audio con lunghezza di 1 min
4. Inserimento all'interno del modello nel software *Unity*

In particolare, la misura del tempo di riverbero è stata effettuata seguendo le disposizioni della normativa UNI EN ISO 3382-1:2009 "*Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 1: Performance spaces*" e ISO 3382-2:2008 "*Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 2: Reverberation time in ordinary rooms*".

Per la registrazione dei suoni è stata selezionata una stanza (*Figura 14*) ad uso ufficio pluriuso di dimensioni regolari (m 5.82x4.44x2.45, area 25.66 mq, volume 62,87 mc) al quarto piano della *Central House UCL, 14 Upper Woburn Place, Londra*. La stanza è localizzata in una area periferica della città ed è caratterizzata da pareti intonacate, pavimento con moquette, e controsoffitto isolato acusticamente.

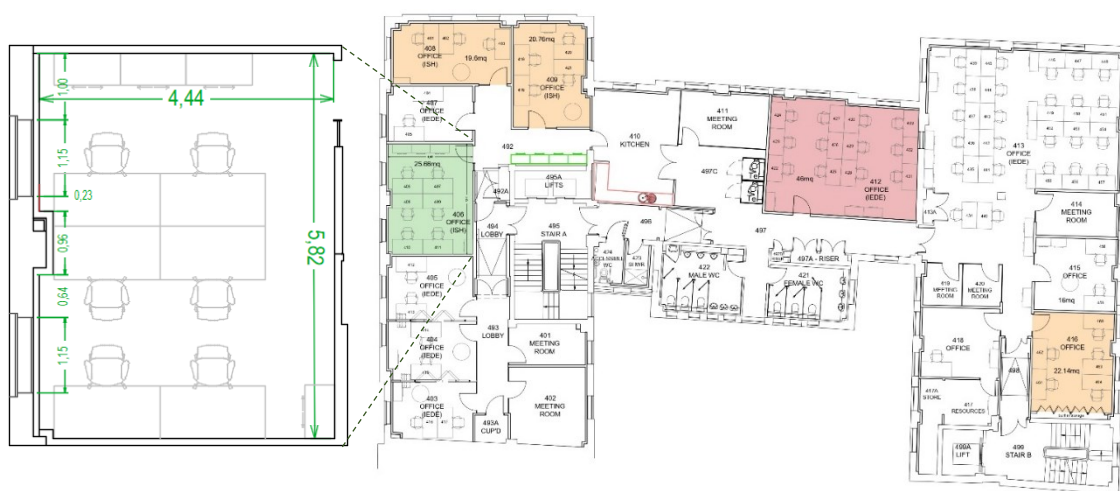


Figura 14

In accordo con la norma, per lo specifico caso di studio, sono state seguite le seguenti disposizioni (*Tabella 14*):

Livello di accuratezza	Tecnico-progettuale
Metodo per la misura del tempo di riverbero	Risposta all'impulso
Selezione del numero di posizioni di misurazione	Combinazione sorgente-microfono 6 (n. 2 posizioni della sorgente x n. 3 posizioni dei microfoni)
Tipo di sorgente	Palloncino di plastica
Tipo impulso	Scoppio di un palloncino
Definizione della posizione delle sorgenti e dei microfoni	<ul style="list-style-type: none"> - 2 metri di distanza tra microfono e microfono - 2 metri di distanza tra microfono e sorgente - Posizione non simmetrica delle sorgenti - 1 metro di distanza (sia in verticale che in obliquo) tra microfono/sorgente e le superfici della stanza (pareti, pavimento, piano di lavoro, soffitto, arredi)

	Survey	Engineering ^{a)}	Precision
Source-microphone combinations	2	6	12
Source-positions ^{b)}	≥1	≥2	≥2
Microphone-positions ^{c)}	≥2	≥2	≥3
No. decays in each position (interrupted noise method)	1	2	3

Tabella 14

Per la misura e l'analisi del rumore è stato utilizzato un fonometro del tipo NTI Audio XL2 M4261 (*Figura 15*).



Figura 15

In *Figura 16* si riportano la disposizione planimetrica e in alzato delle tre posizioni del fonometro e delle due posizioni della sorgente utili alla misura del tempo di riverbero nelle sei combinazioni (dove S= sorgente, m=fonometro). La zona delimitata in giallo è l'area all'interno del quale far ricadere i dispositivi per rispettare le distanze limite dalle superfici verticali e orizzontali come stabilito dalla normativa.

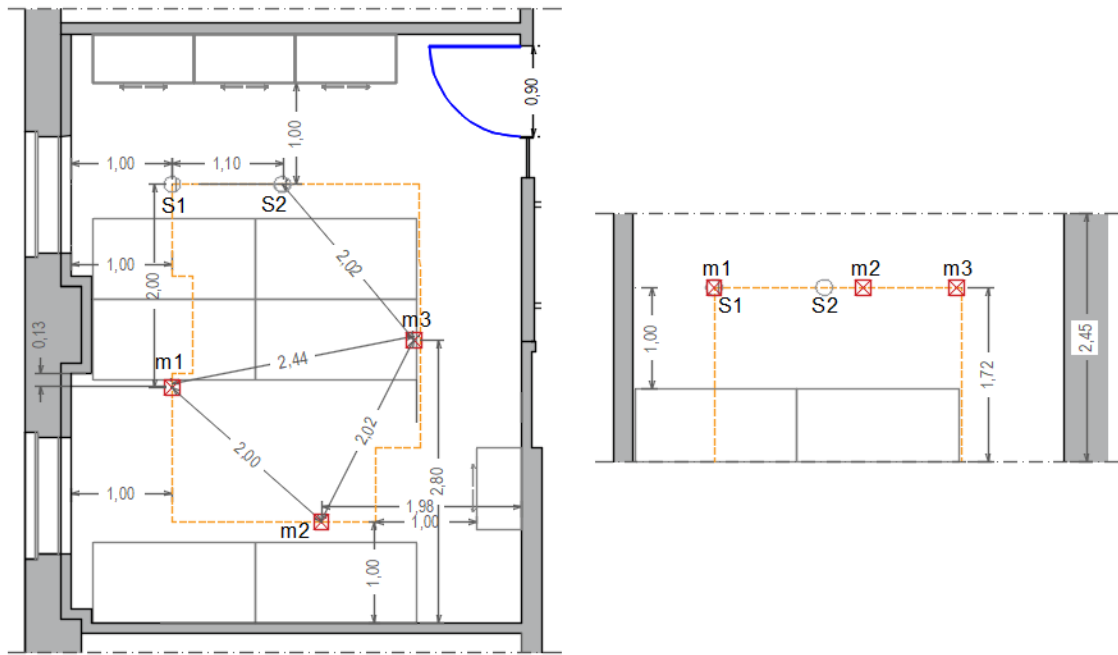


Figura 16

L'impulso ovvero lo scoppio della sorgente-palloncino, è stato eseguito una volta per tutte e sei le combinazioni sorgente-fonometro (*Figura 17*).



Figura 17

Le misure ottenute per ogni frequenza (Hz) sono state mediate tra le sei combinazioni per ottenere il tempo di riverbero medio all'interno della stanza in esame. I valori medi come presentati nella *Tabella 15*, sono da ritenersi relativamente bassi, questo è imputabile alle proprietà di isolamento acustico dei materiali caratterizzanti la stanza.

Band	RT60(T30) medio
[Hz]	[s]
63	-
125	0.45
250	0.36
500	0.31
1000	0.26
2000	0.34
4000	0.36
8000	0.36

Tabella 15

Successivamente è stato utilizzato un microfono a quattro canali per la realizzazione di tracce audio *Ambisonic* per registrare i suoni di traffico con la finestra aperta e i rumori di ufficio con la finestra chiusa. Il microfono è stato posto a 1.2 m di altezza per simulare la tipica altezza della testa di una persona seduta alla scrivania (*Figura 18*).



Figura 18

Le registrazioni di entrambi gli stimoli sonori, traffico e ufficio, avevano la complessiva durata di mezz'ora ciascuna. Sono state post-processate tramite il software REAPER [50] per creare tracce di 60 secondi eliminando le parti non rilevanti delle registrazioni, ad esempio momenti di silenzio, rumori eccessivamente disturbanti, e sono state convertite dal formato *Ambisonic tipo A* al *tipo B* usando il software AMBEO [51].

Al contrario delle precedenti, la traccia audio rappresentate la variabile biofila contenente suoni della natura "familiari", come il cinguettio degli uccellini escludendo quelli meno comuni quali, ad esempio, rumore di corsi d'acqua, è stata resa disponibile già in forma completa e definitiva da una precedente attività di ricerca in collaborazione con il *centro di ricerca EURAC e l'Università Degli Studi di Ferrara*.

Le tracce così generate sono state inserite all'interno del software *Unity*. A tal fine, è stato necessario integrare nel modello il pacchetto *Oculus Spatializer* per riprodurre adeguatamente la traccia audio e permetterne la spazializzazione in relazione alle caratteristiche della stanza, alla posizione e al movimento della testa del partecipante.

I parametri all'interno di *Unity* sono stati settati come mostrato in **Figura 19**:

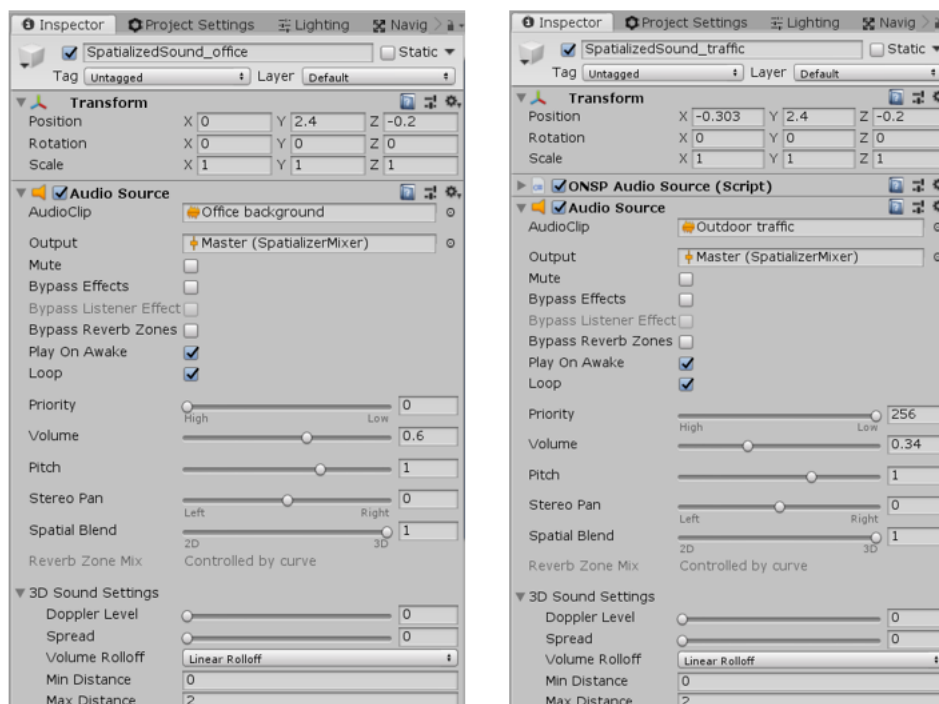


Figura 19

In particolare, il parametro “volume” è stato settato previa registrazione dell’output tramite il manichino testa-torso *HMS II.3 LN della HEAD Acoustics* [52] (*Figura 20*).



Figura 20

Le tracce audio sono state inserite nel modello in corrispondenza della *Capsule Camera* per il *first player control*, come mostrato in *Figura 21*.

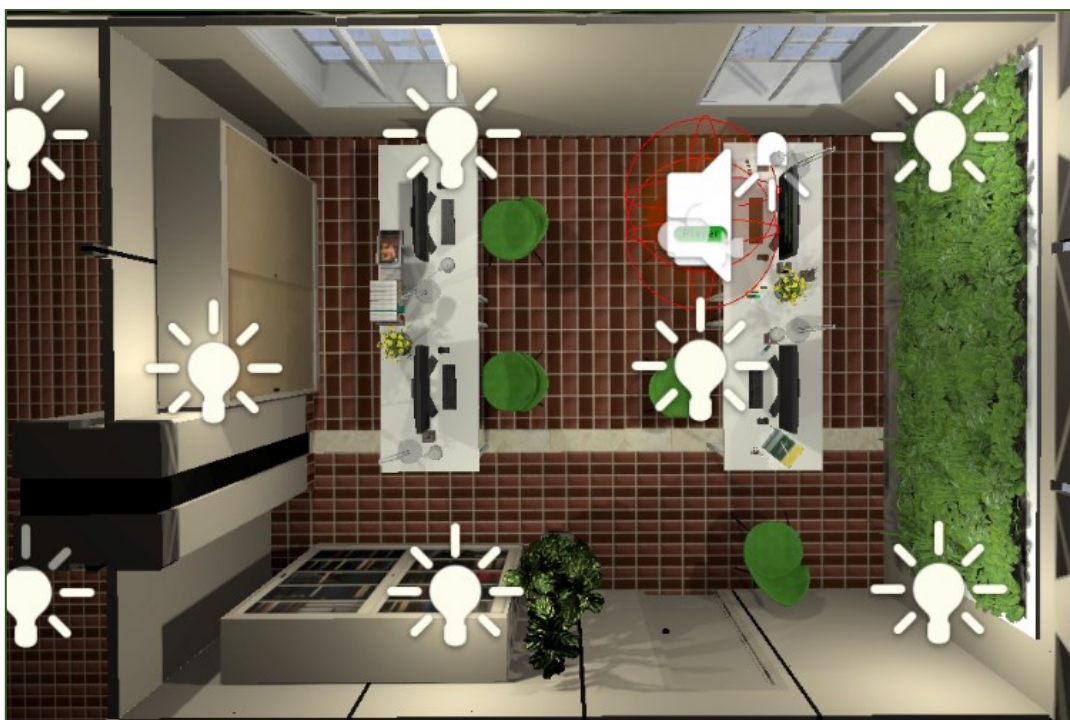


Figura 21

3.4 Realizzazione del modello virtuale immersivo

Il modello virtuale dell'ufficio è stato realizzato a partire dal rilievo creato con l'ausilio del software *AutoCAD 2022* della stanza del dipartimento DICEA dell'Università Politecnica delle Marche in cui sono state poi svolte le prove sperimentali (*Figura 22*). La planimetria finale (*Figura 24*) è stata poi adattata sulla base del locale della *Central House UCL* di Londra dove sono state generate le tracce audio (*Figura 23*).

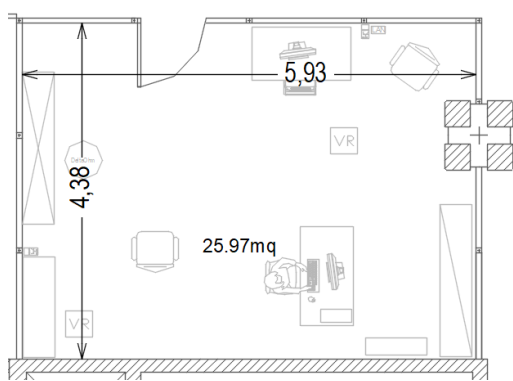


Figura 22

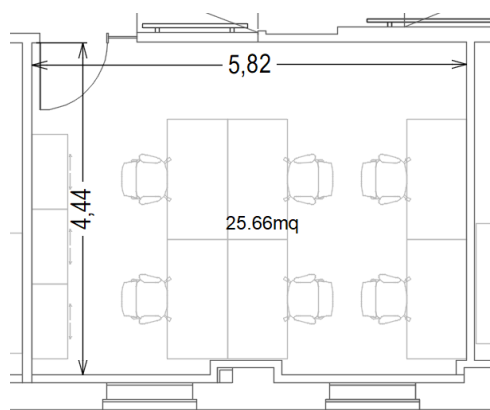


Figura 23

In particolare, le due planimetrie risultano comparabili in termini di dimensione, e questo ha facilitato l'integrazione del modello finale, il quale ha mantenuto le dimensioni planimetriche di entrambi i riferimenti riprendendo le caratteristiche strutturali del primo e la presenza delle finestre del secondo.

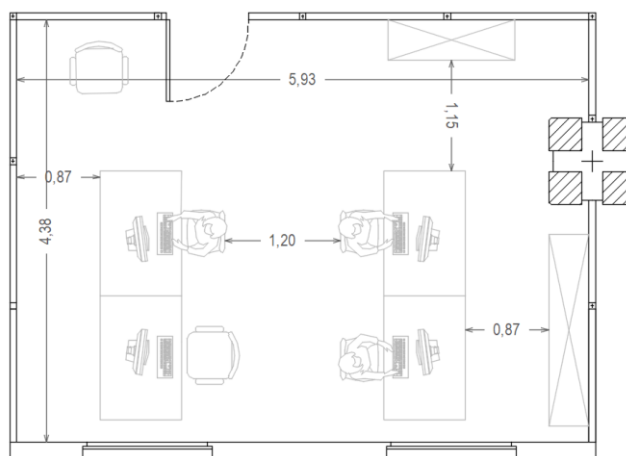


Figura 24

L'arredamento della stanza riproduce quello di un comune ambiente ad uso ufficio con quattro postazioni di lavoro, rispettando le distanze minime di sicurezza stabiliti dal *D.M. 37/2008 "Requisiti igienico-sanitari minimi per gli ambienti di lavoro"* e dal *D.Lgs. 81/2008 "Testo unico sulla sicurezza sul lavoro"* secondo cui in un ufficio devono esserci almeno 60 cm tra le sedute e i tavoli di lavoro, e almeno 90 cm tra le sedute e le pareti.

Inoltre, i monitor dei computer sono posti a 90° rispetto la superficie delle finestre [53].

Una volta realizzata la planimetria di base, il file è stato importato all'interno del software *Rhinoceros 7*. Con tale programma è stato realizzato il modello tridimensionale, settando l'altezza dei muri pari a quella della *Central House UCL* di m 2,45. Anche le finestre sono state modellate con le stesse misure e lo stesso design del locale in cui sono state effettuate le registrazioni degli stimoli

acustici, simulando anche l'apertura dell'anta interna più vicina alla postazione designata per il soggetto, per rispettare la spazializzazione della traccia audio, come mostrato in

Figura 25.



Figura 25

Per rendere ancora più realistico il modello sono stati modellati all'interno di *Rhinceros* oggetti comuni ad un ufficio, come lampade, penne, libri, mouse e tastiera, luci LED e articoli di cancelleria varia.

A partire dal modello 3D di base sono state create altre due versioni dell'ufficio: una per la categoria biofila "Elementi verdi interni" e una per la categoria biofila "Vista naturale esterna", come mostrato in *Figura 26*.

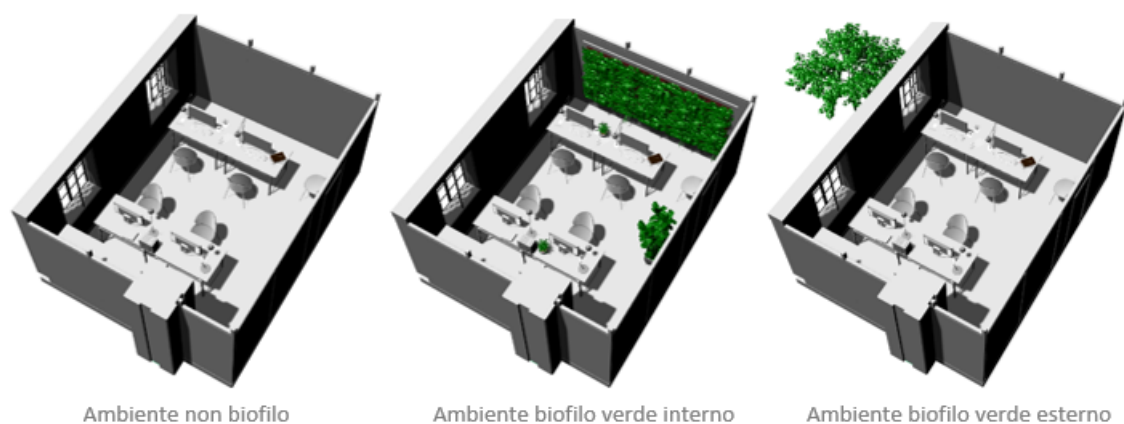


Figura 26

Nell'ambiente biofilo "Elementi verdi interni" sono stati inseriti elementi naturali, quali piante in vaso e una parete verde. La quantità di verde scelta rispetta le misure minime indicate dallo *standard WELL*, secondo cui, affinché l'ambiente sia classificabile come biofilo, le piante in vaso o aiuole devono coprire almeno l'1% della superficie pavimentata, mentre la parete verde deve coprire un'area pari o superiore al 2% dell'area del pavimento o ricoprire la più grande delle pareti disponibili, a seconda di quale sia la dimensione finale maggiore. Dunque, nel modello virtuale sono state inserite n. 2 piante *Spathiphyllum* e n.1 *Ficus lyrata* coprendo il 4% della superficie interna, ed è stata modellata una parete verde di 9,00 mq sul muro antistante la postazione del soggetto.

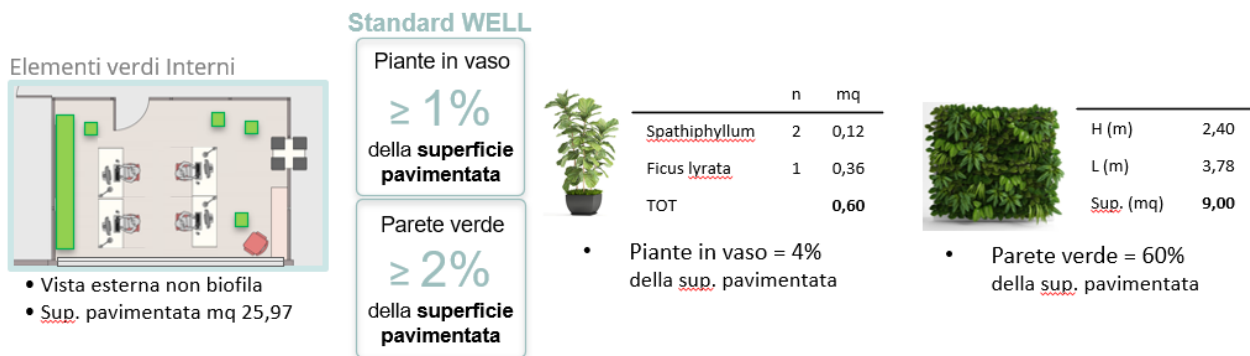


Figura 27

Invece, l'ambiente biofilo "Vista naturale esterna" si caratterizza per la presenza di alberi appositamente modellati, visibili attraverso la finestra. Per garantire una condizione tale per cui si ha un elevato *fattore di vista*, la posizione esatta del soggetto nel modello è stata settata sulla base delle dimensioni della finestra e della distanza da essa [54].

Tale fattore dipende dalla *qualità della vista*. Quest'ultima si classifica misurando gli angoli che si vengono a creare tra la postazione di lavoro e le estremità della finestra, sia verticali che orizzontali (Figura 28), e scegliendo poi il minore tra i due. In particolare, per il calcolo del fattore di vista finale dovremo considerare le *qualità di vista primaria e secondaria*. La prima riguarda ciò che l'occupante vede frontalmente dalla propria postazione di lavoro, in questo caso lo schermo del computer; la seconda, invece, si riferisce a ciò che l'occupante vede quando distoglie lo sguardo dal *task*, ruotando il capo.

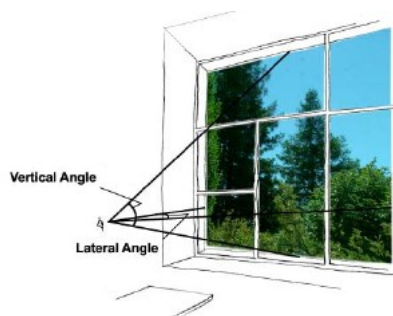


Figura 28

Prelim. View Rating	View Angle	
	Min - Max (degrees)	Gray Zone Range (degrees)
1	1 - 4	
1 or 2		4 - 5
2	5 - 9	
2 or 3		9 - 11
3	11 - 15	
3 or 4		15 - 20
4	20 - 40	
4 or 5		40 - 50
5	50 - 90	

Tabella 16

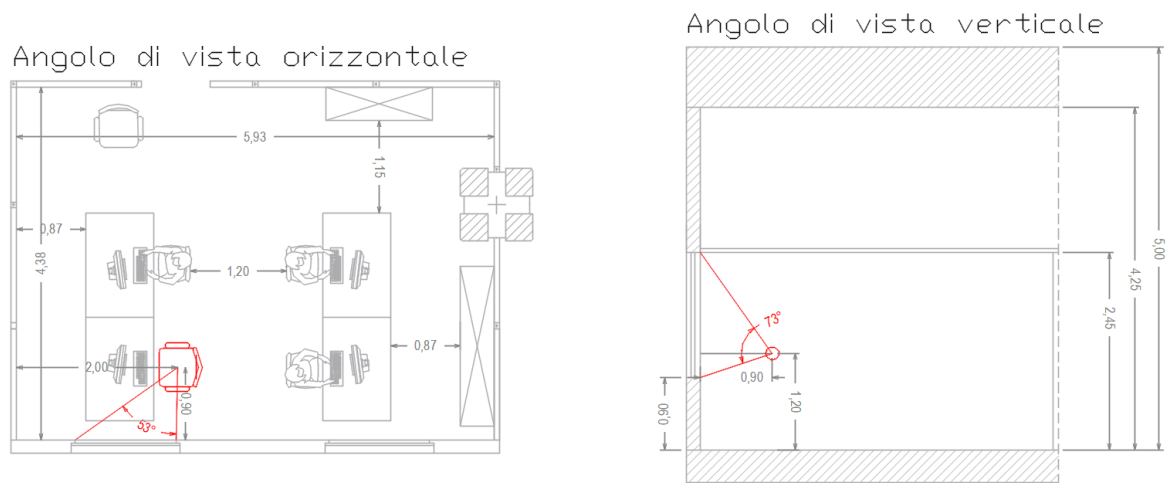


Figura 29

Come mostrato in *Figura 29*, il minore degli angoli è pari a 53° , dunque il fattore di vista secondo la *Tabella 16* è pari a cinque, soddisfacendo la suddetta condizione dello *standard WELL*.

A questo punto, gli ambienti tridimensionali così modellati sono stati renderizzati importandoli in formato .obj nella piattaforma per lo sviluppo di contenuti interattivi *Unity* (versione 2018.4.14f1).

In questa fase si sono assegnati i materiali e le luci, ed è stata creata una *Capsule camera*, la quale consente il *first-person player control*.

I materiali assegnati agli elementi non biofilari, per essere fedeli al design dell'Università, sono stati importati da un precedente lavoro di tesi dal titolo "*Definizione di una metodologia sperimentale e sua applicazione per l'impiego della Realtà Virtuale Immersiva in studi su comfort, produttività e comportamento di soggetti in ambienti di lavoro*". I materiali assegnati invece agli elementi biofilari (*Figura 30*) sono stati creati in *Unity* seguendo i seguenti passaggi:

1. Creazione di un nuovo *asset* del tipo "Material" assegnando un nuovo nome;
2. Selezione di "Nature/Tree Soft Leaves" nella sezione "Shader" nell'*Inspector* dell'*asset* appena creato;
3. Caricamento di una texture nella sezione "Main Maps";
4. Nella sezione "Secondary Maps" caricamento di una texture per la trasparenza,

5. Regolazione dei parametri del materiale, quali la tonalità, il colore e la luminosità;
6. Assegnazione del materiale agli elementi naturali nella scena.

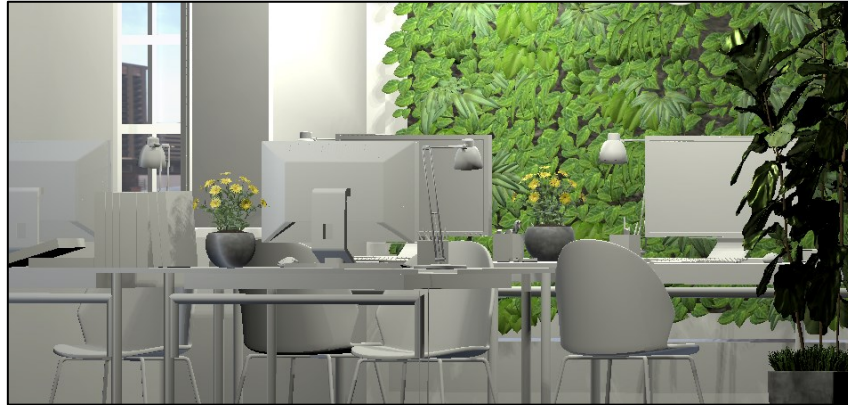


Figura 30

Invece, per simulare la luminosità proveniente dalle apparecchiature LED del controsoffitto in *Unity* sono state applicate delle luci di tipo “point light”, a cui è stato assegnato il valore RGB corrispondente al CCT (*Correlated Colour Temperature*) per rappresentare correttamente il colore della fonte luminosa. Mentre, per simulare la luce proveniente dall'esterno della finestra è stata applicata una “directional light” bianca (RGB 253). Nel modello è stato inserito anche un *GameObject* di tipo “Reflection Probe” che simulasse la trasparenza e il riflesso del vetro della finestra.



Figura 31

Per lo scenario esterno, visibile attraverso il doppio vetro delle finestre, è stato importato nel modello uno *SkyBox* che rappresentasse un paesaggio urbano privo di elementi verdi.

Affinché fosse possibile mostrare sullo schermo del computer modellato in VR i test di produttività e i questionari utili ai fini della prova, è stato inserito un “UI Canva”.

Inoltre, all’interno di *Unity* è stato installato il plug-in *iMotion* per consentire di raccogliere i dati per il tracciamento oculare dell’*Eye-tracking* (Figura 32).

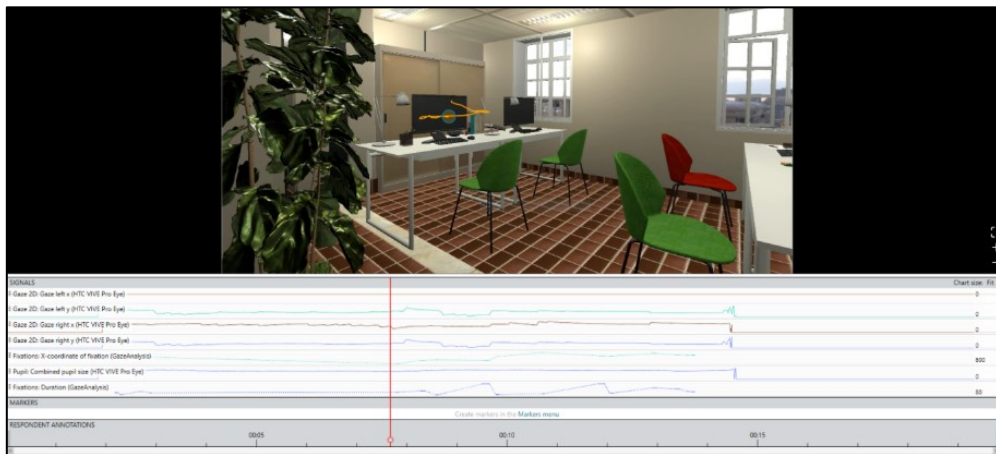


Figura 32

Infine, il caricamento delle scene IVE e l’emissione degli stimoli acustici sono stati automatizzati tramite la compilazione di appositi script in linguaggio C# con *Visual Studio 2007* (Figura 33). In questo modo l’operatore, durante la sessione di prova, ha avuto il pieno controllo sull’avanzamento delle scene mostrate al soggetto in VR.

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class SoundDestroy : MonoBehaviour
{
    // Start is called before the first frame update
    void Start()
    {
    }

    // Update is called once per frame
    void Update()
    {
        if (Input.GetKeyDown(KeyCode.S))
        {
            Destroy(this.gameObject);
        }
    }
}

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.SceneManagement;

public class SceneLoader_NextScene : MonoBehaviour
{
    // Start is called before the first frame update
    void Start()
    {
    }

    // Update is called once per frame
    void Update()
    {
        if (Input.GetKeyDown(KeyCode.RightArrow))
        {
            SceneManager.LoadScene(SceneManager.GetActiveScene().buildIndex + 1);
        }
        if (Input.GetKeyDown(KeyCode.LeftArrow))
        {
            SceneManager.LoadScene(SceneManager.GetActiveScene().buildIndex - 1);
        }
    }
}
```

Figura 33

Nelle figure seguenti vengono mostrate le restituzioni dei modelli finali, nell'ordine:

- ambiente virtuale ad uso ufficio non biofilo (*Figura 34_Scenario non biofilico*)
- ambiente virtuale ad uso ufficio biofilo "Vista naturale esterna" (*Figura 35_Scenario biofilico "Vista naturale esterna"*)
- ambiente virtuale ad uso ufficio biofilo "Elementi verdi interni" (*Figura 36_ Scenario biofilico "Elementi verdi interni"*)



Figura 34_Scenario non biofilico



Figura 35_Scenario biofilico "Vista naturale esterna"



Figura 36_ Scenario biofilico "Elementi verdi interni"

Gli ambienti così creati sono stati analizzati secondo le principali categorie della WELL, le quali valutano come gli ambienti influiscono sul benessere delle persone che vi lavorano. Di seguito si riporta una tabella riassuntiva (*Tabella 17*) con i punteggi ottenuti da ciascun ambiente virtuale realizzato per questo studio, in riferimento ai requisiti soddisfatti. Risulta evidente, per le caratteristiche di settaggio e allestimento degli scenari immersivi, che tutti e 3 gli ambienti (Non biofilo, Biofilo “Vista naturale esterna”, Biofilo “Elementi verdi interni”) erano comparabili in termini di punteggio ottenuto.

WELL v2 2022			
	Ambiente virtuale		
	Non biofilo	Vista naturale esterna	Elementi verdi interni
	√cielo, luce naturale	√cielo, luce naturale, verde esterno	√cielo, luce naturale, verde interno
A07			
L'area della finestra apribile è pari ad almeno il 4% dell'area calpestabile al netto di tale spazio	1 pt	1 pt	1 pt
L05			
E' soddisfatta almeno uno dei seguenti requisiti: a. Il 70% delle postazioni di lavoro si trova entro 7,5 m dalla sup. trasparente b. WWR > 10%	1 pt	1 pt	1 pt
La sup. trasparente fornisce accesso alla vista ad almeno il 50% degli occupanti. La vista soddisfa almeno due dei seguenti requisiti: b. Fattore di vista \geq di 3 c. La vista, con un angolo di visuale verticale di almeno 30 gradi rispetto all'occupante rivolto in avanti o di lato, fornisce una linea visiva diretta verso il suolo o il cielo	1 pt	1 pt	1 pt
M02			
Collegamento diretto con la natura attraverso almeno due dei seguenti elementi: 1. Piante 2. Acqua 3. Luce 4. Viste della natura (verde o cielo)	p cielo, luce naturale	p cielo, luce naturale, verde esterno	p cielo, luce naturale, verde interno
M09			
Sono soddisfatti almeno due dei seguenti requisiti: b.1. le piante da interno (ad es. piante in vaso, aiuole, pareti verdi) si trovano in una linea visiva diretta per almeno il 75% di tutte le postazioni di lavoro c.1. La vista è disponibile all'interno di una linea visiva diretta per almeno il 75% di tutte le postazioni di lavoro. Tale vista deve comprendere aree naturali o paesaggi, come spazi verdi (ad es. parco, foresta) o spazi blu (ad es. oceano, lago, fiume)	0	0	1 pt
	3	3	4

Tabella 17

L'immersione nell'ambiente virtuale creato è stata realizzata tramite il collegamento fisico del visore *VIVE PRO* della *HTC Corporation* (Figura 37) al computer operativo, e installandone il relativo plug-in SteamVR il quale ha permesso la fruizione del modello sull'hardware. L'uso del visore VIVE PRO ha garantito, durante la prova, un controllo ad

alta precisione a 360 gradi con grafica realistica e un audio direzionale nelle cuffie integrate, riproducendo movimenti e azioni in modo realistico nel mondo virtuale.



Figura 37



3.5 Allestimento della stanza per lo svolgimento delle prove

L'ambiente di prova (*Figura 38*) è stato allestito in una stanza del dipartimento DICEA, nell'edificio di Ingegneria dell'Università Politecnica delle Marche con sede in Polo Monte Dago, Ancona. Le dimensioni interne della stanza sono 5,93 m × 4,38 m e la sua altezza fino al controsoffitto è di 3,0 m.

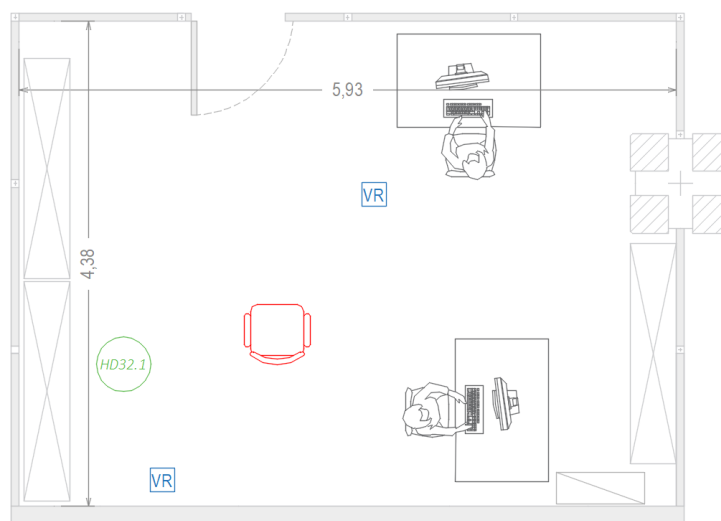


Figura 38

L'ambiente sperimentale è stato dotato di due postazioni computer gestite dallo staff operativo durante lo svolgimento delle prove. Al centro della stanza è stata collocata la seduta in rosso assegnata al soggetto per lo svolgimento della prova, e ai suoi lati sono state posizionate le stazioni base per la definizione del campo d'azione del visore.



Figura 39

Inoltre, affianco alla postazione del soggetto è stata installata una stazione microclimatica *HD32.1 Thermal Microclimate della ditta DeltaOHM* [55] (*Figura 40*), per consentire la misurazione dei parametri ambientali in tempo reale e il loro controllo immediato.



Figura 40

Tramite questo strumento sono stati gestiti due diversi programmi operativi:

- *Programma A “Analisi Microclimatiche”* in grado di rilevare contemporaneamente Temperatura ambiente (T_a , °C), Umidità relativa (RH, %), Velocità dell’aria (V_a , m/s), Temperatura media radiante (T_r , C°).
- *Programma B “Analisi di discomfort”* in grado di rilevare contemporaneamente le seguenti grandezze: Temperatura dell’aria all’altezza della testa (T_h , °C) misurata a 1,7 m; Temperatura dell’aria all’altezza dell’addome (T_b , °C) misurata a 0,6 m per soggetto seduto; Temperatura dell’aria rilevata all’altezza delle caviglie (T_k , °C) misurata a 0,1 m; Temperatura a livello del pavimento (T_f , °C). Il programma operativo B è utilizzato per calcolare gli indici di discomfort locale dovuti a gradienti di temperatura verticali o ad asimmetria radiante.

Le sonde della stazione microclimatica utilizzate per tale scopo sono: AP 3203, HP 3217R, TP 3275, TP 3227PC, TP 3227K.

Per l'analisi di tali parametri è stato necessario installare il software *DeltaLog10* dedicato. Di seguito (*Tabella 18*) si riportano i valori medi dei valori ambientali misurati durante le giornate in cui sono state eseguite le prove:

Ta	RH	Va	Tr	Th	Tb	Tk	Tf
[C°]	[%]	[m/s]	[C°]	[C°]	[C°]	[C°]	[C°]
23.44	32.39	0.03	23.30	23.69	23.51	22.22	22.62

Tabella 18

3.6 Analisi dei dati e test statistici

L'analisi dei dati è stata prima condotta in modo qualitativo con, ad esempio, istogrammi e boxplot. Per confermare o smentire le ipotesi scaturite dall'analisi qualitativa, sono stati condotti dei test statistici descrittivi tramite utilizzo di software quali Excel e RStudio (versione 4.1.2). Sono stati eseguiti sia test parametrici che non parametrici per verificare differenze significative tra i gruppi di dati e cercare correlazioni. Il livello di significatività utilizzato è pari a $\alpha=0.05$.

La scelta di utilizzare un test parametrico piuttosto che un non parametrico sta nel fatto che i primi lavorano con punteggi numerici, mentre i secondi richiedono come input dei dati ordinali o nominali classificati in categorie.

Nei seguenti sottoparagrafi, si riportano i test statistici utilizzati e i parametri a cui sono stati applicati.

3.6.1 Wilcoxon Signed-Rank test

Il test di Wilcoxon dei ranghi con segno si utilizza per campioni correlati o abbinati, ovvero che provengono da osservazioni ripetute dello stesso soggetto ("repeated-measure design"). Lo scopo del test è quello di valutare le differenze tra due condizioni di trattamento ed è stato utilizzato per analizzare i dati relativi al comfort.

Il test prevede:

- H_0 (ipotesi nulla) $\mu_D=0$: la variazione della condizione sperimentale non provoca cambiamenti nei voti dei soggetti;
- H_1 (ipotesi alternativa) $\mu_D \neq 0$: la variazione della condizione sperimentale provoca cambiamenti nei voti dei soggetti.

I passaggi per eseguire il test di Wilcoxon sono i seguenti:

- Si riportano i punteggi per i due trattamenti;
- Si esegue la differenza tra i punteggi e se ne calcola il valore assoluto;
- Si assegna il rango alle differenze di punteggio calcolate, ad esclusione delle differenze nulle. Il test non prevede l'assegnazione del rango a differenze nulle;
- Si distinguono i ranghi positivi dai negativi e se ne calcolano le somme. Il minimo tra la somma dei ranghi positivi e quella dei ranghi negativi rappresenta il T_{value} ;
- In funzione della dimensione del campione (numero dei soggetti a cui è associato un rango non nullo) e del livello di significatività viene estratto dai valori tabellati il $T_{critico}$ (Figura 41)

TABLE B.10 CRITICAL VALUES OF T FOR THE WILCOXON SIGNED-RANKS TEST*

*To be significant, the obtained T must be *equal to or less than* the critical value. Dashes (—) in the columns indicate decision is possible for the stated α and n .

n	Level of Significance for One-Tailed Test				n	Level of Significance for One-Tailed Test			
	.05	.025	.01	.005		.05	.025	.01	.005
n	Level of Significance for Two-Tailed Test				n	Level of Significance for Two-Tailed Test			
	.10	.05	.02	.01		.10	.05	.02	.01
5	0	—	—	—	30	151	137	120	109
6	2	0	—	—	31	163	147	130	118
7	3	2	0	—	32	175	159	140	128
8	5	3	1	0	33	187	170	151	138
9	8	5	3	1	34	200	182	162	148
10	10	8	5	3	35	213	195	173	159
11	13	10	7	5	36	227	208	185	171
12	17	13	9	7	37	241	221	198	182
13	21	17	12	9	38	256	235	211	194
14	25	21	15	12	39	271	249	224	207
15	30	25	19	15	40	286	264	238	220
16	35	29	23	19	41	302	279	252	233
17	41	34	27	23	42	319	294	266	247
18	47	40	32	27	43	336	310	281	261
19	53	46	37	32	44	353	327	296	276
20	60	52	43	37	45	371	343	312	291
21	67	58	49	42	46	389	361	328	307
22	75	65	55	48	47	407	378	345	322
23	83	73	62	54	48	426	396	362	339
24	91	81	69	61	49	446	415	379	355
25	100	89	76	68	50	466	434	397	373
26	110	98	84	75					
27	119	107	92	83					
28	130	116	101	91					
29	140	126	110	100					

Adapted from F. Wilcoxon, S. K. Katti, and R. A. Wilcox, *Critical Values and Probability Levels of the Wilcoxon Rank-Sum Test and the Wilcoxon Signed-Ranks Test*. Wayne, NJ: American Cyanamid Company, 1963. Adapted and reprinted with permission of the American Cyanamid Company.

Figura 41

- Si compara il T_{value} con il $T_{critico}$. Se $T_{value} < T_{critico}$ si rifiuta H_0 e si accetta H_1 (la differenza tra i due trattamenti è significativa). Altrimenti se $T_{value} > T_{critico}$, si accetta H_0 (non c'è differenza significativa tra i due trattamenti).
- Si calcola successivamente il *p-value* per supportare ulteriormente l'ipotesi tramite il confronto con il livello di significatività pari a $\alpha = 0.05$. Se $p\text{-value} \leq 0.05$, ci sono differenze statisticamente significative.

Quando il campione è sufficientemente grande ($n > 20$), il *Wilcoxon test* tende ad approssimare una distribuzione normale, in questo caso è quindi possibile condurre il test usando la z-statistica. La normalizzazione del test si usa anche quando il numero di *ties*, ovvero il numero di casi in cui la differenza tra i voti nei due trattamenti è 0, è elevato riducendo la n . In questo caso i ranghi con differenze nulle non vengono eliminati ma vengono distribuiti maniera simmetrica tra i ranghi positivi e negativi, eliminandone uno se il totale di ranghi nulli è dispari. Per effettuare questa procedura si calcola la media (μ) e la deviazione standard (σ):

$$\mu = \frac{n(n+1)}{4} \quad \sigma = \sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}$$

A questo punto, si calcola il T_{value} come il minimo tra la somma dei ranghi positivi e quella dei ranghi negativi, e da esso si ricava la *z-score* pari a:

$$z = \frac{T - \mu}{\sigma}$$

La *z-score* viene confrontata con la *z-critica* pari a 1,96 per $\alpha = 0.05$. Se:

- $z\text{-value} > z\text{-critico}$ si accetta H_0 .
- $z\text{-value} < z\text{-critico}$ si rifiuta H_0 e si accetta H_1

Poiché, la tabella di Wilcoxon (*Figura 41*) non fornisce valori di $T_{critico}$ per campioni maggiori di 50 soggetti, si deve obbligatoriamente usare l'approssimazione normale; mentre per campioni compresi tra 20 e 50 si può far riferimento a entrambi i criteri di valutazione, sia T che z , poiché forniranno risultati analoghi.

3.6.2 T-test

Il *T-test* è un test parametrico per un repeated-measure design ed è stato applicato per lo studio della produttività dei soggetti nei tre test di funzioni cognitive. Si basa sull'analisi delle differenze dei punteggi tra due trattamenti. Il segno di ogni differenza indica la direzione del cambiamento. Il campione creato dalle differenze tra i punteggi serve per effettuare il test vero e proprio esaminando la media delle differenze (μ_D).

Anche nel *T-test* bisogna valutare l'accettazione o meno dell'ipotesi nulla rispetto a quella alternativa, essendo analogo al *Wilcoxon test* sono previste le stesse ipotesi:

- H0 (ipotesi nulla) $\mu_D=0$: la variazione della condizione sperimentale non provoca cambiamenti nei punteggi dei soggetti;
- H1 (ipotesi alternativa) $\mu_D\neq 0$: la variazione della condizione sperimentale provoca cambiamenti nei punteggi dei soggetti.

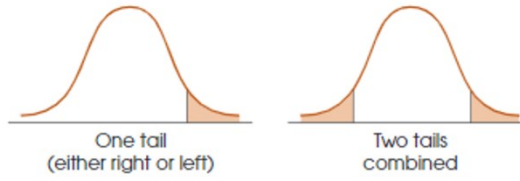
Operativamente si eseguono i seguenti passaggi:

- Si determina il t-value tramite l'ambiente software *RStudio*;
- Si definisce la regione critica sulla base del t-critico ($\pm t$ -critico) dai dati tabellati (*Figura 42*) sulla base del numero di soggetti costituenti il campione (n) e i gradi di libertà definiti come $df = n - 1$;
- Se t-value > t-critico, ovvero i valori calcolati ricadono al di fuori della regione critica, si rifiuta H0 e si accetta H1 e si hanno differenze significative tra le condizioni sperimentali.

Al contrario se t-value < t-critico, ovvero i valori ricadono all'interno della regione critica, si accetta H0.

TABLE B.2 THE *t* DISTRIBUTION

Table entries are values of *t* corresponding to proportions in one tail or in two tails combined.



df	Proportion in One Tail					
	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
	Proportion in Two Tails Combined					
	0.50	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01
1	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	0.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	0.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

Table III of R. A. Fisher and F. Yates, *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research*, 6th ed. London: Longman Group Ltd., 1974 (previously published by Oliver and Boyd Ltd., Edinburgh). Copyright ©1963 R. A. Fisher and F. Yates. Adapted and reprinted with permission of Pearson Education Limited

Figura 42

4. Risultati

Con la presente tesi verranno indagati l'*Ecological validity* del modello virtuale e l'impatto dell'esposizione a elementi biofilii multisensoriali su comfort e produttività degli utenti in ambiente virtuale.

Ai fini di questo lavoro è stato raccolto e analizzato un solo set di dati, formulando le conclusioni sulla base di questi. Dunque, i risultati ottenuti dalla sperimentazione condotta sul primo gruppo di campioni assegnati all'ambiente biofilo "Elementi verdi interni" saranno di seguito analizzati in tre sottoparagrafi. In primo luogo, nel *paragrafo 4.1*, verranno riportate le informazioni demografiche e una panoramica generale dei dati acquisiti dai soggetti tramite il questionario pre-sperimentale. Successivamente, nel *paragrafo 4.2*, verrà effettuata la validazione del modello virtuale tramite l'analisi dei voti sul senso di presenza e immersività e dei disturbi legati all'uso del visore (l'*Ecological validity*). Infine, nel terzo sottoparagrafo (*paragrafo 4.3*), verranno esplorati gli effetti dei vari scenari audio all'interno dell'ambiente biofilo sulla produttività e sul comfort percepito dagli utenti.

4.1 Descrizione del campione

Come esplicitato nel *paragrafo 3.2.1*, il campione preso in esame per la sperimentazione è composto da un totale di 66 soggetti.

Il campione è caratterizzato da un rapporto uomo-donna non perfettamente equilibrato, essendo il 59% di soggetti di sesso maschile e il restante 41% di sesso femminile.

Analizzando la distribuzione per fasce di età, si osserva inoltre che il 52% dei soggetti ha un'età compresa tra i 21 e i 25 anni (media =22.71, devst =1.47), il 24% tra 26 e i 30 anni (media =26.88 devst =1.15), il 18% tra i 18 e i 20 anni (media =19.83 devst = 0.39), e solo il 6% ha una età compresa tra i 31 e 35 anni (media =34.00 devst = 0.82).

La maggior parte del campione è rappresentato da studenti universitari con diploma di scuola superiore di secondo grado (52%), seguito da laureati (42%), e infine una piccola porzione di soggetti ha dichiarato di possedere un livello di istruzione superiore alla laurea (6%) quale dottorato, master, o scuola di specializzazione.

Ai fini della sperimentazione è stato chiesto ai partecipanti di riportare eventuali difetti visivi, e nel caso di esplicitare l'eventuale uso di lenti correttive durante la prova. A tal proposito il 56% dei soggetti ha riportato di essere miope o astigmatico, ma solo il 41% ha avuto bisogno di indossare lenti correttive durante lo svolgimento della prova.

I seguenti grafici (Figura 43) riportano la panoramica generale del campione partecipante.

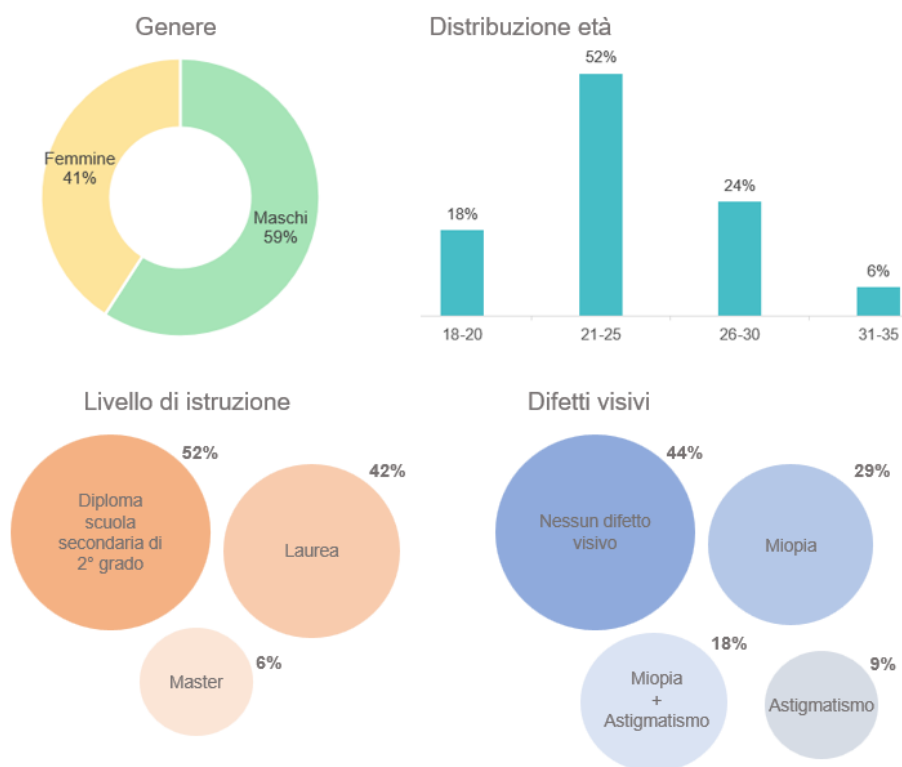


Figura 43

Tramite il questionario pre-sperimentale sono state raccolte anche informazioni riguardo abitudini o fattori che avrebbero potuto influenzare i risultati della prova. È stato quindi indagato se il soggetto avesse avuto esperienze precedenti con il visore per la realtà

virtuale; ed è stato chiesto con quale frequenza il soggetto è solito guardare programmi televisivi e/o giocare ai videogiochi. Questi dati sono interessanti per valutare l'esperienza del soggetto con gli ambienti virtuali immersivi.

Dunque, è stato riscontrato che il 59% dei partecipanti non aveva mai avuto precedenti esperienze di utilizzo della realtà virtuale né ai fini della ricerca né per il gaming.

La maggior parte dei partecipanti ha dichiarato di guardare raramente programmi televisivi (48%); mentre il 42% dei soggetti ha riportato di non aver mai giocato ai videogiochi.

I seguenti grafici (*Figura 44*) riportano gli ulteriori dati utili all'analisi del campione visti precedentemente.

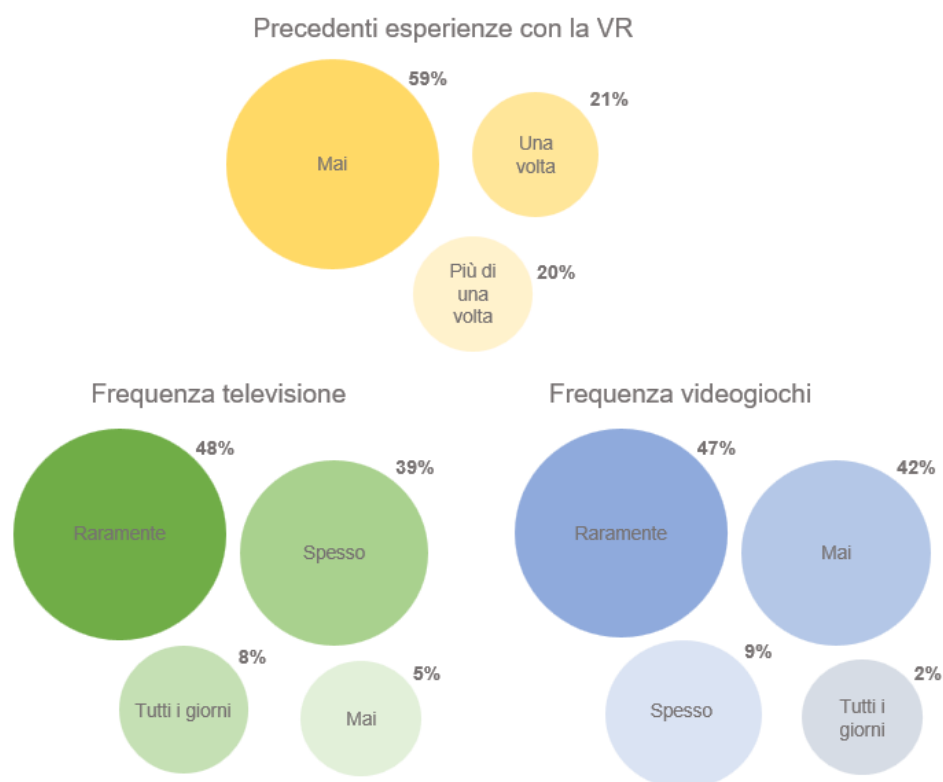


Figura 44

Nella seconda parte del questionario pre-sperimentale, è stato chiesto ai soggetti di riportare e valutare le caratteristiche del proprio ambiente di lavoro/studio.

L'analisi relativa al livello di gradimento del proprio spazio di lavoro o studio è stata condotta tramite le seguenti domande:

- Domanda 1 *“Sono soddisfatto del design del mio luogo di lavoro/studio”*
- Domanda 2 *“Sono soddisfatto delle caratteristiche sonore (es: tipologia di rumori) del mio luogo di lavoro/studio”*

Come riportato in *Figura 45*, il 41% dei soggetti non si ritiene mediamente soddisfatto del design del proprio ambiente abituale di lavoro o studio (38 % *“leggermente insoddisfatto”*, 3% *“insoddisfatto”*). Similmente, i soggetti non si ritengono altrettanto soddisfatti delle caratteristiche sonore del loro luogo di lavoro/studio, infatti, il 40% si è dichiarato almeno leggermente insoddisfatto (20 % *“leggermente insoddisfatto”*, 15% *“insoddisfatto”* e 5% *“totalmente insoddisfatto”*).

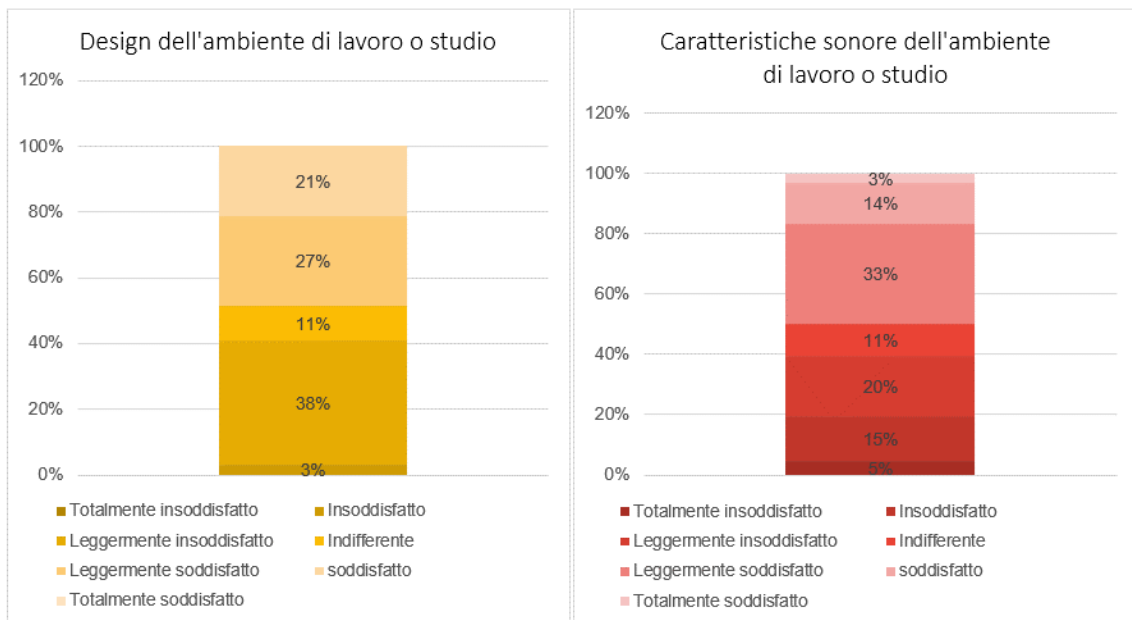


Figura 45

Di conseguenza, il 50% dei soggetti ha espresso il desiderio di voler migliorare il proprio ambiente di lavoro/studio con l'introduzione di piante verdi da interno, classificando questo elemento come il più desiderabile. Infatti, solo il 6% dei soggetti possiede degli elementi verdi all'interno del proprio luogo di lavoro o studio.

Inoltre, solo il 17% gode di una vista esterna naturale il cui panorama presenti elementi e paesaggi naturali, per questo il 48% dei soggetti l'ha indicata come il secondo elemento più desiderato (48%) dopo la presenza di piante da interno.

Allo stesso modo, per quanto riguarda il fattore acustico, il 58% del campione ha dichiarato di lavorare o studiare in un ambiente condiviso con altre persone e contestualmente il 42% vorrebbe uno spazio più silenzioso rispetto ai rumori provenienti da fonti interne.

La più alta percentuale di soggetti (88%) ha riportato di avere accesso a luce naturale all'interno dei propri spazi di lavoro/studio, infatti questo elemento è stato indicato come desiderabile, con finalità migliorative, solo dal 21% del campione totale intervistato.

Infine, una bassa percentuale di soggetti (27%) ha dichiarato che, all'interno del proprio ufficio o luogo abituale di studio, sono presenti arredamenti o elementi strutturali visibili in legno o pietra naturale. Tuttavia, solo il 35% desidera introdurre questi materiali.

In *Figura 46* sono riportati in percentuale quali elementi i soggetti vorrebbero introdurre all'interno del proprio luogo di lavoro o studio per migliorarlo:

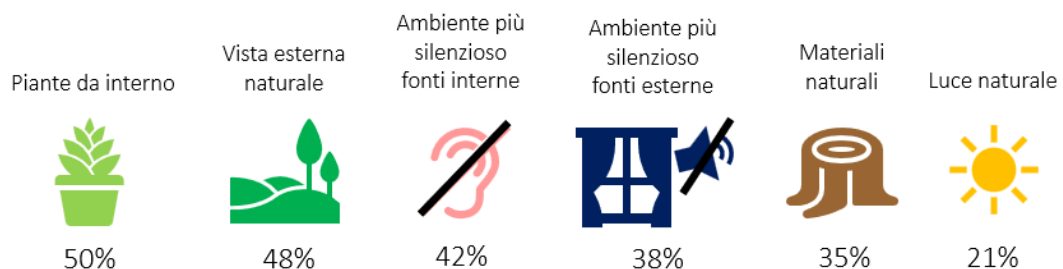


Figura 46

Il grafico (*Figura 47*) mostra, invece, quali elementi sono presenti all'interno dell'ambiente di lavoro o studio secondo l'indagine condotta sui soggetti partecipanti allo studio:

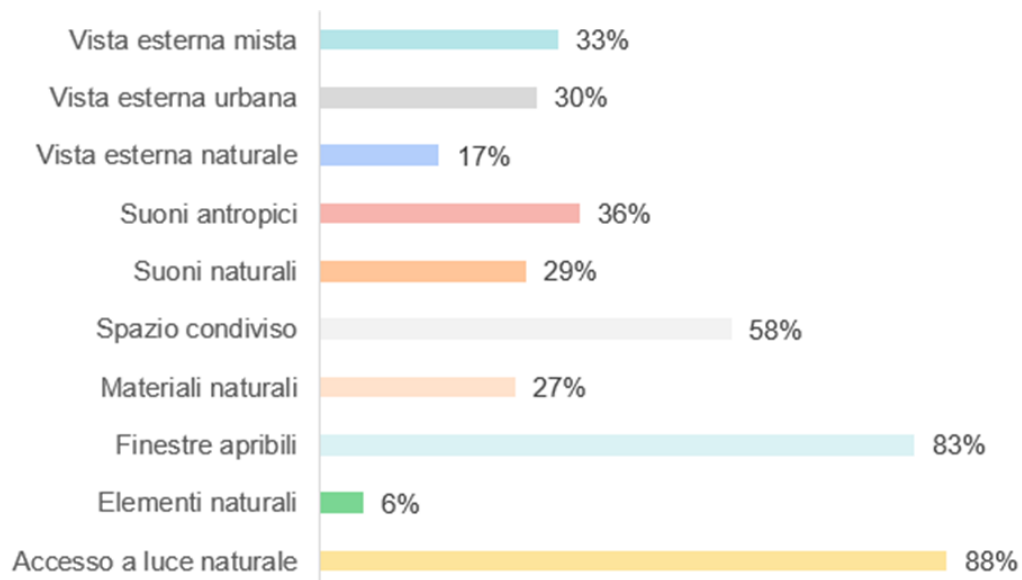


Figura 47

4.2 Ecological validity del modello

Per indagare la capacità dell'IVE di rappresentare adeguatamente gli ambienti reali, nei seguenti sottoparagrafi l'*Ecological validity* dell'ambiente virtuale creato per condurre lo studio verrà valutata tramite l'analisi dei voti del Senso di Presenza e Immersività (IPQ) e dei disturbi legati all'uso del visore (*Virtual Reality Sickness Questionnaire*, VRSQ).

4.2.1 Analisi del senso di presenza e analisi dei risultati dell'indagine di immersività

Per analizzare il livello di immersività nell'IVE, e quindi verificare se il modello possa essere ritenuto come adeguata rappresentazione della realtà e quindi come strumento efficace per valutare comfort e produttività, senza confronto con la sua controparte reale, sono stati esaminati i voti del questionario IPQ. Questa prima analisi è essenziale poiché se non è verificato che i soggetti siano stati adeguatamente immersi all'interno del modello non sarà possibile garantire l'attendibilità dei risultati, ad esempio, in termini di relazioni causa-effetto.

In particolare, sono stati analizzati i voti espressi dai partecipanti per ogni fattore indagato nell'IPQ riportato di seguito:

- Apprezzamento grafico (GA): l'apprezzamento della grafica del modello;
- Presenza spaziale (SP): si intende il senso di presenza nell'ambiente fisico;
- Coinvolgimento (INV): si intende il coinvolgimento all'interno del modello;
- Realismo sperimentato (REAL): si intende il senso di realtà.

In generale, più alti sono i valori dei quattro attributi, più i partecipanti si sono sentiti presenti e immersi all'interno dell'ambiente virtuale, verificando così l'efficacia dello studio.

Nella **Tabella 19** si riportano le medie (η) e le deviazioni standard (σ) dei punteggi ottenuti tramite i voti espressi da ogni soggetto relativi ai quattro fattori sondati:

	Domanda	Scala di riferimento	η (σ)
GA	<i>Ho apprezzato la grafica e le immagini del modello virtuale</i>	1 =totalmente in disaccordo 7 = totalmente d'accordo	6.29 (0.52)
SP	<i>Ho percepito lo SPAZIO UFFICIO come un luogo realmente visitato piuttosto che come un'immagine</i>	1 =totalmente in disaccordo 7 = totalmente d'accordo	6.17 (0.78)
	<i>Durante la prova, mi sono sentito presente nello SPAZIO UFFICIO</i>	1 =totalmente in disaccordo 7 = totalmente d'accordo	6.11 (0.73)
	<i>Ho percepito il modello virtuale dello SPAZIO UFFICIO come immersivo ovvero come adeguata illusione della realtà</i>	1 =totalmente in disaccordo 7 = totalmente d'accordo	6.17 (0.71)
INV	<i>Durante la prova, non ero consapevole del mondo reale circostante</i>	1 =totalmente in disaccordo 7 = totalmente d'accordo	5.91 (0.92)
REAL	<i>Ho percepito gli oggetti dello SPAZIO UFFICIO come proporzionalmente corretti (cioè, avevano circa la giusta dimensione e distanza in relazione a me e ad altri oggetti virtuali)</i>	1 =totalmente in disaccordo 7 = totalmente d'accordo	6.45 (0.59)
	<i>Ho avuto la sensazione di poter interagire con lo SPAZIO UFFICIO (ad esempio per afferrare degli oggetti)</i>	1 =totalmente in disaccordo 7 = totalmente d'accordo	6.12 (0.85)
	<i>Quanto ti è sembrato realistico il modello virtuale dello SPAZIO UFFICIO?</i>	1 = totalmente non reale 7 = totalmente reale	5.98 (0.75)

Tabella 19

I punteggi ottenuti dal presente studio sono stati confrontati con la letteratura esistente che si è occupata di applicare la tecnologia VR e l'IPQ per la ricerca sul comfort e sulla produttività. A questo scopo sono stati presi a riferimento un totale di sei studi precedenti [36,42,48,56–58]. Tuttavia, a seconda della sperimentazione e della volontà dei ricercatori, i fattori misurati con dati ordinali differiscono in termini di *scala Likert* a 5 o 7 punti. Pertanto, le valutazioni medie sono state ridimensionate su una scala a 5 punti per consentirne il confronto, in quanto risulta più efficace passare da un test con più informazioni ad uno con meno.

La formula utilizzata è la seguente:

$$y_{5pt} = (x_{7pt} - 1) \cdot (4/6) + 1$$

La prima parte della formula $(x_{7pt} - 1)$ consente di regolare la scala per avere come unico polo 0. La moltiplicazione per $4/6$ (il valore massimo di una scala di 0-6 punti diviso per il valore massimo di una scala di 0-4 punti) serve per allungare la scala. Infine, si deve aggiungere di nuovo 1 per regolare nuovamente la scala, avendo 1 come polo iniziale.

Tramite questo processo di *re-scaling* si altera la scala in modo tale possa essere direttamente confrontabile con le altre.

La **Tabella 20** riassume il confronto tra le medie dei quattro fattori dell'indagine IPQ, opportunamente scalate ove necessario:

		GA	SP	INV	REAL
Questo studio	7 pt.	6,29	6,15	5,91	6,19
	5 pt.	4,53	4,43	4,27	4,46
<i>Latini et al.</i> [48]	5 pt.	4,58	4,21	4,15	4,47
<i>Tawil et al.</i> [36]	5 pt.	3,93	3,44	3,27	2,68
<i>Hong et al.</i> [42]	7 pt.	4,98	4,58	4,35	3,59
	5 pt.	3,65	3,39	3,23	2,73
<i>Yeom et al.</i> [56]	5 pt.	-	4,24	4,11	3,54
<i>Abd-Alhamid et a</i> [58]	5 pt.	-	3.74	-	3.21
<i>Chimalothori et al.</i> [57]	5 pt.	-	3.68	-	3.75

Tabella 20

In generale, i risultati mostrano come i punteggi medi dell'IPQ del presente studio sono superiori al livello moderato, pari a 2.5 su una *scala Likert* a 5 punti, per tutti e quattro i fattori indagati. In particolare, l'apprezzamento grafico (GA = 4.53) presenta il valore più elevato, seguito dal realismo vissuto (REAL = 4.46). Inoltre, dai risultati si evince che i partecipanti si sono sentiti coinvolti (INV = 4.27) e presenti (SP = 4.43) nell'ambiente.

Dal confronto emerge che i punteggi in *scala Likert* a 5 punti ottenuti dal presente studio sono superiori ai punteggi medi di tutte le sperimentazioni prese in considerazione, ad eccezione (in rosso) dell'apprezzamento grafico (GA) e del realismo sperimentato (REAL), i quali presentano un livello comunque moderato ma leggermente inferiore allo studio condotto da *Latini et al.* [48]. Tuttavia, la differenza è trascurabile (0.05 per GA, e 0.01 per REAL), quindi si conclude che il modello virtuale ha permesso agli utenti di sperimentare un ottimo senso di presenza e immersività.

Si specifica che nello studio condotto da *Yeom et al.* [56] l'apprezzamento grafico non è stato indagato non essendo stata somministrata nessuna domanda a riguardo, per cui risulta mancante il punteggio di riferimento per il confronto del GA con tale studio. Allo

stesso modo *Abd-Alhamid et al.*[58] e *Chimalothori et al.* [57] hanno scelto di non indagare la grafica (GP) e il coinvolgimento (INV) all'interno del modello.

Di seguito (*Figura 48*) si riporta il grafico di confronto tra i punteggi IPQ, opportunamente scalati in *scala Likert* a 5, ottenuti dai vari studi precedentemente analizzati:

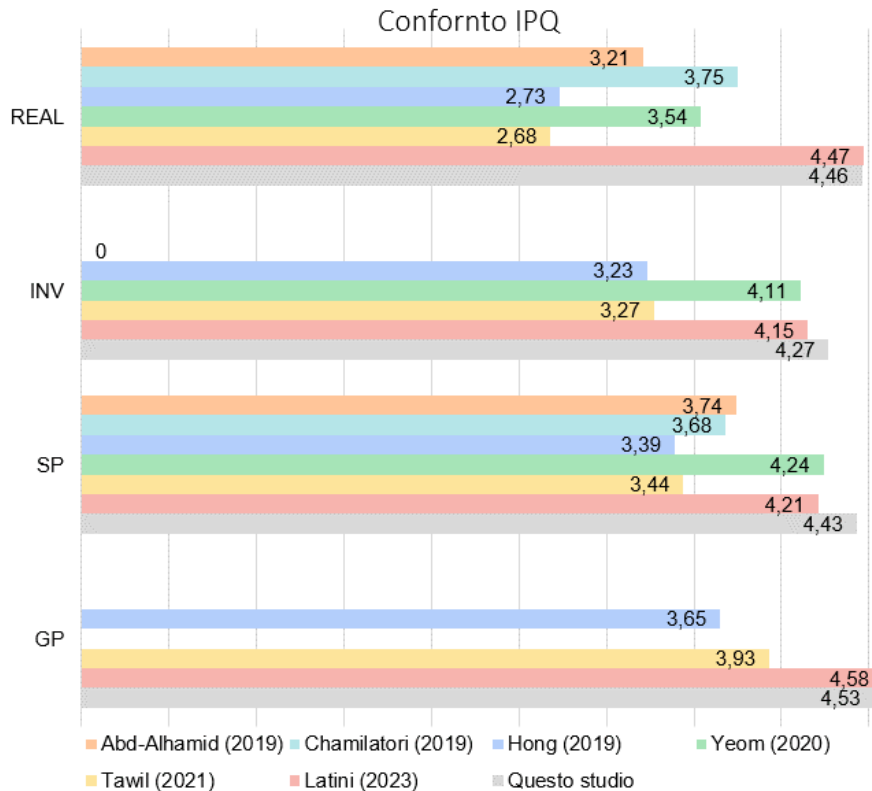


Figura 48

In conclusione, è stato appurato che l'ambiente virtuale riprodotto dal modello ha offerto un ottimo senso di presenza e immersività ai soggetti per analizzare la produttività e il comfort nell'ambiente ad uso ufficio.

4.2.2 Analisi del Virtual Reality Sickness Questionnaire

L'altro aspetto di cui si è tenuto conto per valutare l'*Ecological validity* è la *Cybersickness*, ovvero l'insieme di disturbi relativi alla cinetosi che si verifica quando non c'è coerenza tra ciò che vediamo e le percezioni provenienti dagli altri sensi. È stata quindi condotta una analisi qualitativa basata sui voti assegnati dai soggetti ai vari sintomi nel *Virtual Reality Sickness Questionnaire* (VRSQ).

Osservando gli istogrammi (**Figura 49**) si nota che nessun soggetto ha sofferto di *vertigini* durante la prova, infatti, questa è stata svolta in condizioni statiche e quindi senza differenza tra movimento percepito e sperimentato. Inoltre, disturbi quali *disagio generale*, *stanchezza* e *mal di testa* possono essere trascurati poiché quasi la totalità dei soggetti (tra il 95% e il 100%) ha assegnato voti pari a "0 = per niente" e "1 = leggermente". Per quanto riguarda i restanti sintomi, solo l'8% dei soggetti ha riportato almeno un moderato *affaticamento degli occhi* (da "2 = moderatamente" a "3 = molto"), mentre una percentuale più elevata di soggetti (25%) ha riportato almeno una moderata *difficoltà di messa a fuoco* (da "2 = moderatamente" a "3 = molto") causata dalle immagini leggermente sfocate proiettate dal visore.

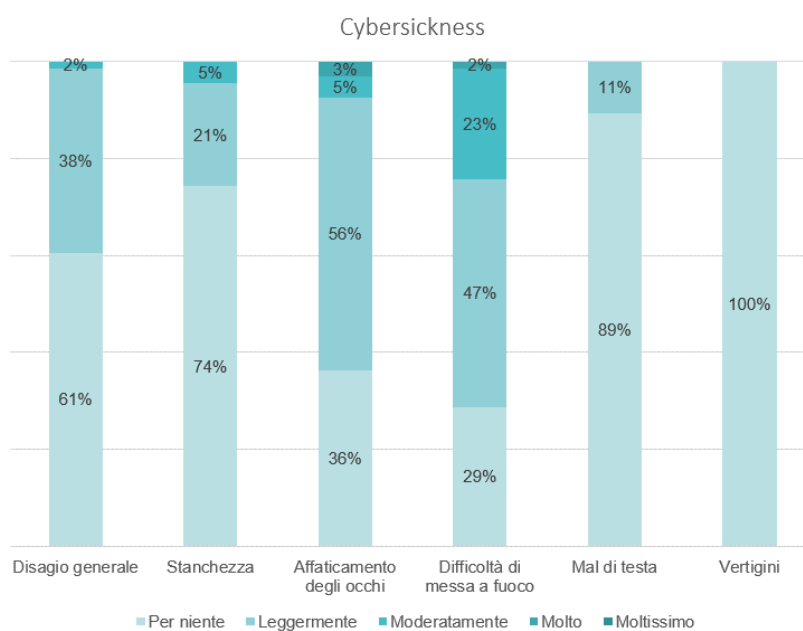


Figura 49

4.3 Valutazione dell'impatto degli elementi biofilari visivi e non visivi in IVE

Il secondo obiettivo del presente studio prevede l'analisi dell'influenza degli scenari sonori sulla *produttività* studiata con i tre test per le funzioni cognitive, sul *comfort*, e sui *parametri fisiologici*.

Le variabili sonore scelte sono le tracce audio di:

- suoni classici da ufficio (O);
- il rumore del traffico (T);
- un audio di suoni naturali (B).

Rispetto alla baseline (O) si è voluto verificare se:

- a) il suono biofilo (B) ha portato ad un miglioramento della funzione cognitiva in esame;
- b) il rumore del traffico (T) ha portato ad un peggioramento della funzione cognitiva.

Inoltre, per trarre una conclusione su quale sia lo scenario migliore ai fini della produttività, è stato verificato anche se:

- c) il suono biofilo (B) ha portato un miglioramento della funzione cognitiva in esame rispetto alla condizione rumorosa (T)

4.3.1 Produttività

I dati sulla produttività sono stati inizialmente analizzati in maniera qualitativa, poi le ipotesi risultanti sono state verificate con una successiva analisi statistica condotta tramite l'ambiente software *RStudio*.

Essendo i dati in scala razionale è stato possibile applicare test di analisi parametrica. Inoltre, nel presente studio il numero di soggetti costituente il campione è pari a 66, dunque, avendo un campione costituito da un numero elevato di partecipanti ($n > 30$), è verificato l'assunto di normalità della distribuzione dei dati.

4.3.1.1 Magnitude-Parity test

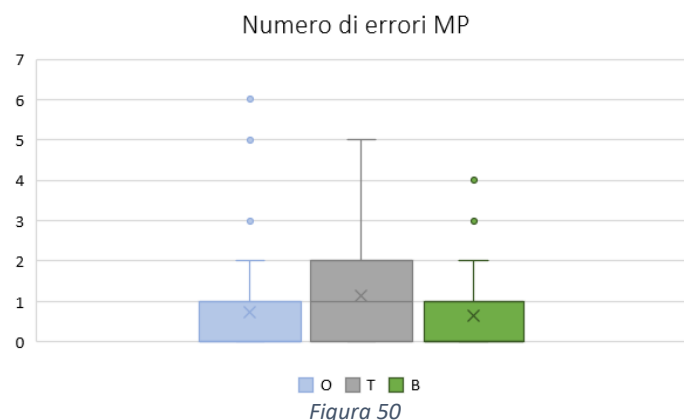
Gli errori del *Magnitude-Parity test* sono stati computati contando il numero di volte in cui il soggetto ha sbagliato a classificare le cifre pari/dispari e maggiori/minori di 5.

Le medie e le deviazioni standard (*Tabella 21*) dei punteggi ottenuti nelle diverse condizioni sonore indicano una non sostanziale differenza (Δ medie = -0,10) tra gli errori commessi dai soggetti durante la condizione baseline (O) e quella migliorativa (B). Mentre vi è una differenza leggermente più significativa (Δ medie = 0,40) tra la condizione di traffico (T) e le restanti due tracce audio B e O.

Scenario	Errori - Media (DevSt)	Δm rispetto a O
O	0,74 (1,26)	-
T	1,14 (1,33)	0,40
B	0,64 (0,92)	-0,10

Tabella 21

Dall'analisi dei *boxplot* (*Figura 50*) si notano distribuzioni congruenti per la baseline (O) e la condizione B con un numero di errori compreso tra 0 (estremo inferiore) e 2 (estremo superiore). Si possono notare solo alcuni *outlier* fino a 6 errori per la condizione di baseline (O), confermato dalla più elevata deviazione standard, e fino a 4 errori per la condizione migliorativa (B). In entrambe queste condizioni di prova (O e B), la media degli errori si concentra intono a 1, questo sembrerebbe indicare la scarsa influenza dei suoni ufficio e biofilo sul primo test cognitivo. Diversamente, la condizione T ha un numero di errori compreso tra 0 (estremo inferiore) e 5 (estremo superiore), tuttavia, la media degli errori è sempre nell'intorno di 1.



Quindi, considerata come *baseline* la condizione O, le differenze dei punteggi tra i diversi trattamenti sono state analizzate statisticamente conducendo due diversi *t-test* tramite il software *RStudio*.

Per il primo *t-test* (ipotesi a), l'*ipotesi nulla* afferma che non c'è alcun effetto del suono B sulla produttività registrata dal test cognitivo ($\mu_D = 0$, ovvero la differenza media tra il numero di errori alla condizione O e quella alla condizione B è nulla).

Il valore di *t* ottenuto ($t = 0.5528$) cade all'interno della regione critica ($t_{\text{critico}} = \pm 1.997$ per $d_f=65$, $\alpha=0.05$) e il *p-value* (= 0.58) è superiore alla soglia di significatività ($\alpha=0.05$). Dunque, è possibile accettare l'*ipotesi nulla* e confermare l'esito dell'analisi qualitativa, ovvero la funzione cognitiva del task switching non è migliorata con lo scenario B rispetto a O.

Per il secondo *t-test* (ipotesi b), l'*ipotesi nulla* afferma che non c'è alcun effetto del suono T sulla produttività registrata dal test cognitivo ($\mu_D = 0$, ovvero la differenza media tra il numero di errori alla condizione O e quella alla condizione T è nulla).

Il valore di *t* ottenuto ($t = -1.746$) cade all'interno della regione critica ($t_{\text{critico}} = \pm 1.997$ per $d_f=65$, $\alpha=0.05$) e il *p-value* (= 0.08) è di poco superiore alla soglia di significatività ($\alpha=0.05$). Dunque, è ancora possibile accettare l'*ipotesi nulla* e smentire l'esito dell'analisi qualitativa, ovvero la funzione cognitiva del task switching non è peggiorata con lo scenario T rispetto a O.

Inoltre, per stabilire se ci sono differenze statisticamente significative tra le medie dei punteggi tra la condizione B e T è stato condotto un ulteriore *t-test* (ipotesi c).

In questo caso, l'*ipotesi nulla* afferma che la variazione della condizione sperimentale da B a T non provoca cambiamenti nella produttività dei soggetti ($\mu_D = 0$, ovvero la differenza media tra il numero di errori alla condizione B e quella alla condizione T è nulla).

Il valore di *t* ottenuto ($t = -2.504$) cade fuori della regione critica ($t_{\text{critico}} = \pm 1.997$ per $d_f=65$, $\alpha=0.05$) e il *p-value* (= 0.014) è inferiore alla soglia di significatività ($\alpha=0.05$). Dunque, in

questo caso, non è possibile accettare l'ipotesi nulla, questo significa che la funzione cognitiva del task switching è migliorata con lo scenario B rispetto a T.

Di seguito la tabella riassuntiva dei vari t-test (*Tabella 22*), dove *in rosso* vengono riportati i valori di t-value e p-value per i quali non è possibile accettare l'ipotesi nulla (in riferimento a un $t_{critico} = \pm 1.997$ per $df=65$, $\alpha=0.05$):

	O vs B	O vs T	B vs T
t value	0,553	-1,746	-2,504
p-value	0,580	0,083	0,014

Tabella 22

Per riassumere, l'analisi statistica ha rivelato che:

- a) Il suono biofilo (B) non ha portato ad un miglioramento della funzione cognitiva del task switching rispetto alla condizione di *baseline* (O);
- b) Il rumore del traffico (T) non ha determinato un peggioramento della funzione cognitiva del task switching rispetto alla condizione di *baseline* (O);
- c) Il suono biofilo (B) ha portato ad un miglioramento della funzione cognitiva del task switching rispetto alla condizione di traffico (T) del 78,6%.

I risultati di cui sopra sono stati confrontati con precedenti studi di letteratura condotti in ambienti virtuali immersivi.

Il risultato **b)** ottenuto si pone in contrasto con quanto ottenuto dallo studio precedentemente condotto da *Latini et al.* [59], mentre nulla si può dire per i risultati **a)** e **c)** il quale non ha precedenti studi che abbiano indagato la connessione non visiva (suoni) con la natura che permettano un confronto.

4.3.1.2 Stroop test

Durante lo *Stroop test* è stato cronometrato il tempo di risposta in secondi e contato il numero di errori, ovvero il numero di colori non correttamente pronunciati.

Per quanto riguarda il numero di errori commessi, osservando la seguente tabella (**Tabella 23**), non sembrerebbero esserci sostanziali differenze tra i tre trattamenti:

Scenario	Errori - Media (DevSt)	Δm rispetto a O
O	0,45 (0,90)	-
T	0,50 (1,00)	0,05
B	0,44 (0,66)	-0,01

Tabella 23

Anche dall'analisi dei *boxplot* (**Figura 51**) si notano distribuzioni simili per tutte le condizioni acustiche, con un numero medio di errori generalmente vicino allo 0 e alcuni *outlier* che per la condizione O si estendono a massimo 5 errori, e per la condizione T fino a 6, come confermato anche dalle più elevate deviazioni standard.

Il tutto sembrerebbe indicare la non influenza dei suoni sul test cognitivo.

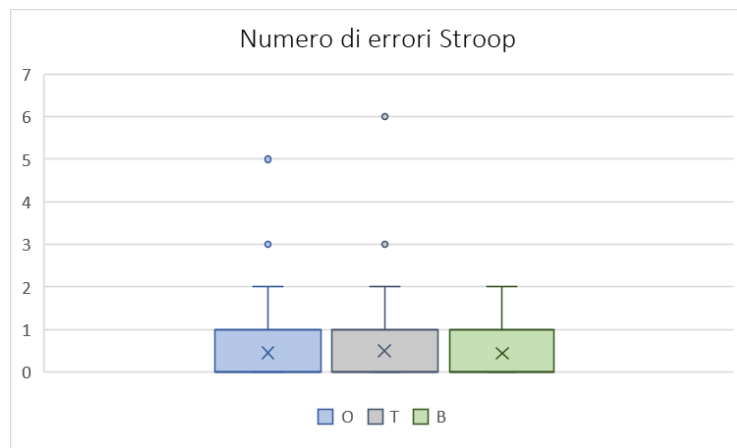


Figura 51

Per confermare le ipotesi dell'analisi qualitativa è stata condotta una successiva analisi statistica tramite t- test, effettuato all'interno dell'ambiente software RStudio.

Per il primo t-test (ipotesi a), l'*ipotesi nulla* afferma che non c'è alcun effetto del suono B sulla produttività registrata dal test cognitivo ($\mu_D = 0$, ovvero la differenza media tra il numero di errori alla condizione O e quella alla condizione B è nulla).

Il valore di t ottenuto ($t = 0.1105$) cade all'interno della regione critica ($t_{critico} = \pm 1.997$ per $d_f=65$, $\alpha=0.05$) e il p-value (= 0.91) è superiore alla soglia di significatività ($\alpha=0.05$).

Dunque, è possibile accettare l'ipotesi nulla e confermare l'esito dell'analisi qualitativa, ovvero la funzione cognitiva dell'inibizione non è migliorata con lo scenario B rispetto a O.

Per il secondo t-test (ipotesi b), l'*ipotesi nulla* afferma che non c'è alcun effetto del suono T sulla produttività registrata dal test cognitivo ($\mu_D = 0$, ovvero la differenza media tra il numero di errori alla condizione O e quella alla condizione T è nulla).

Il valore di t ottenuto ($t = -0.2754$) cade all'interno della regione critica ($t_{\text{critico}} = \pm 1.997$ per $d_f=65$, $\alpha=0.05$) e il p-value ($= 0.78$) è superiore alla soglia di significatività ($\alpha=0.05$). Dunque, è possibile accettare l'ipotesi nulla e confermare l'esito dell'analisi qualitativa, ovvero la funzione cognitiva dell'inibizione non è peggiorata con lo scenario T rispetto a O.

Per il terzo t-test (ipotesi c), l'*ipotesi nulla* afferma che la variazione della condizione sperimentale da B a T non provoca cambiamenti nella produttività dei soggetti ($\mu_D = 0$, ovvero la differenza media tra il numero di errori alla condizione B e quella alla condizione T è nulla). Il valore di t ottenuto ($t = -0.4121$) cade all'interno della regione critica ($t_{\text{critico}} = \pm 1.997$ per $d_f=65$, $\alpha=0.05$) e il p-value ($= 0.68$) è superiore alla soglia di significatività ($\alpha=0.05$). Anche in questo caso è possibile accettare l'ipotesi nulla e confermare l'esito dell'analisi qualitativa, ovvero la funzione cognitiva dell'inibizione non è migliorata con lo scenario B rispetto a T.

Analizzando invece la velocità di esecuzione del task (*Tabella 24*), ovvero i secondi impiegati per la lettura delle 32 parole costituenti il test, si notano valori medi simili. Sembrerebbe quindi che l'ascolto di suoni diversi potrebbe non aver influenzato la velocità di esecuzione del task, nonostante vi sia uno scarto leggermente più evidente (2.55 sec) tra la condizione rumorosa (T) e quella biofila (B).

Scenario	Tempo - Media (DevSt)	Δm rispetto a O
O	28,15 (5,60)	-
T	30,16 (6,82)	2,01
B	27,61 (5,38)	-0,54

Tabella 24

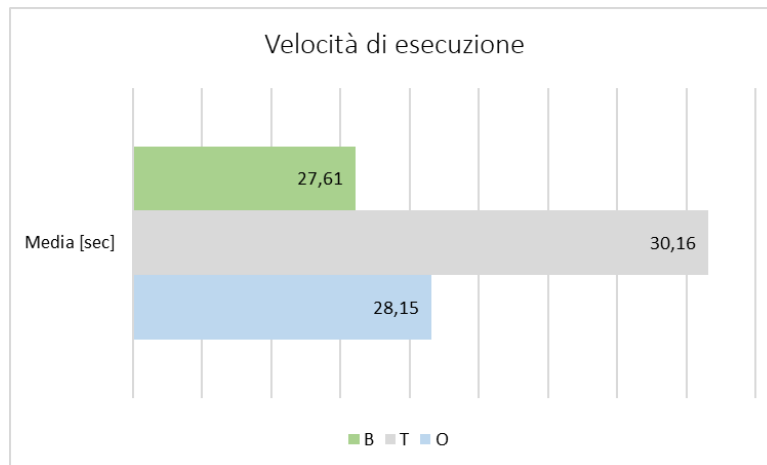


Figura 52

Dunque, l'influenza da parte dei suoni ascoltati sulla velocità di esecuzione del test è stata ulteriormente indagata tramite l'analisi statistica conducendo tre diversi t- test.

Per il primo t-test (ipotesi a), l'*ipotesi nulla* afferma che non c'è alcun effetto del suono B sulla velocità registrata dal test cognitivo ($\mu_D = 0$, ovvero la differenza media tra la velocità di esecuzione alla condizione O e quella alla condizione B è nulla).

Il valore di t ottenuto ($t = 0.353$) cade all'interno della regione critica ($t_{critico} = \pm 1.997$ per $d_f=65$, $\alpha=0.05$) e il p-value (= 0.59) è superiore alla soglia di significatività ($\alpha=0.05$).
Dunque, è possibile accettare l'ipotesi nulla e confermare l'esito dell'analisi qualitativa, ovvero la funzione cognitiva dell'inibizione non è migliorata con lo scenario B rispetto a O.

Per il secondo t-test (ipotesi b), l'*ipotesi nulla* afferma che non c'è alcun effetto del suono T sulla velocità registrata dal test cognitivo ($\mu_D = 0$, ovvero la differenza media tra la velocità di esecuzione alla condizione O e quella alla condizione T è nulla).

Il valore di t ottenuto ($t = -1.838$) cade all'interno della regione critica ($t_{\text{critico}} = \pm 1.997$ per $d_f=65$, $\alpha=0.05$) e il p-value (= 0.068) è superiore alla soglia di significatività ($\alpha=0.05$). Dunque, è possibile accettare l'ipotesi nulla e confermare l'esito dell'analisi qualitativa, ovvero la funzione cognitiva dell'inibizione non è peggiorata con lo scenario T rispetto a O

Per il terzo t-test (ipotesi c), l'*ipotesi nulla* afferma che la variazione della condizione sperimentale da B a T non provoca cambiamenti nella la velocità di esecuzione dei soggetti ($\mu_D = 0$, ovvero la differenza media tra la velocità espressa in secondi alla condizione B e quella alla condizione T è nulla).

Il valore di t ottenuto ($t = -2.3461$) non rientra all'interno della regione critica ($t_{\text{critico}} = \pm 1.997$ per $d_f=65$, $\alpha=0.05$) e il p-value (= 0.021) è inferiore alla soglia di significatività ($\alpha=0.05$). In questo caso non è possibile accettare l'ipotesi nulla e quindi viene smentito l'esito dell'analisi qualitativa, ovvero la funzione cognitiva dell'inibizione testata con il *test di Stroop* è migliorata dalla condizione acustica B (+9,2%) rispetto alla condizione di traffico T.

Inoltre, per ogni soggetto è stato calcolato il numero di parole pronunciate al secondo. Nella tabella (*Tabella 25*) si riportano le medie e le deviazioni standard per ogni trattamento, la differenza tra le medie rispetto a O:

Scenario	Parole/sec - Media (DevSt)	Δm rispetto a O
O	0,88 (0,17)	-
T	0,94 (0,21)	0,06
B	0,86 (0,17)	-0,02

Tabella 25

Dall'analisi dei *boxplot* (*Figura 53*) si nota una congruenza tra le medie di tutte le condizioni sperimentate, che si collocano attorno a 0.9 parole/sec. Anche la dispersione

nelle tre condizioni sonore, ossia la variabilità della distribuzione statistica quantitativa, è simile per tutti i trattamenti.

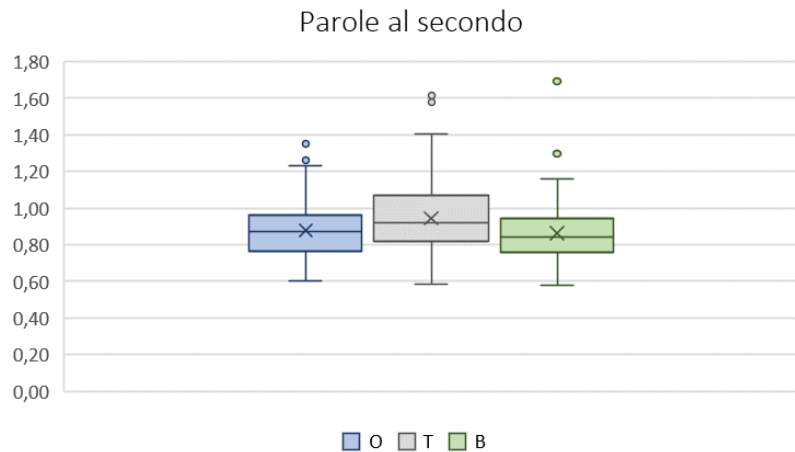


Figura 53

Tramite l'analisi statistica effettuata con il t- test è stata verificata l'analisi qualitativa effettuata sul numero di parole al secondo pronunciate dai soggetti durante l'esecuzione del *task*. Anche in questo caso, sono stati condotti dei *t test* per sondare la significatività statistica.

Nuovamente, i valori di *t* ottenuti dai primi due *t-test* (rispettivamente $t_B = 0.5510$ e $t_T = -1.937$) effettuati per sondare la condizione B e poi T rispetto alla baseline (O), cadono all'interno della regione critica ($t_{critico} = \pm 1.997$ per $df=65$, $\alpha=0.05$) e i p-value (rispettivamente $p_B = 0.582$ e $p_T = 0.055$) sono superiori alla soglia di significatività $\alpha=0.05$. È possibile, quindi, accettare l'ipotesi nulla e confermare l'esito dell'analisi qualitativa, ovvero il numero di parole pronunciate al secondo non è influenzato dalle condizioni sonore.

Invece, per il terzo t-test (ipotesi c), l'*ipotesi nulla* afferma che la variazione della condizione sperimentale da B a T non provoca cambiamenti nel punteggio parole/sec ($\mu_D = 0$, ovvero la differenza media tra il punteggio alla condizione B e quella alla condizione T è nulla).

Il valore di *t* ottenuto ($t = -2.461$) non rientra all'interno della regione critica ($t_{critico} = \pm 1.997$ per $df=65$, $\alpha=0.05$) e il p-value (= 0.0152) è inferiore alla soglia di significatività

($\alpha=0.05$). In questo caso, quindi, non è possibile accettare l'ipotesi nulla e viene smentito l'esito dell'analisi qualitativa, ovvero il punteggio parole/sec ottenuto è migliore alla condizione acustica B (+9,5%) rispetto alla condizione di traffico T.

Di seguito la tabella riassuntiva dei vari t-test (*Tabella 26*), dove *in rosso* vengono evidenziati i valori di *t-value* e *p-value* per i quali non è possibile accettare l'ipotesi nulla (in riferimento a un $t_{critico} = \pm 1.997$ per $df=65$, $\alpha=0.05$):

	<i>Errori</i>		<i>Tempo</i>		<i>Parole al secondo</i>	
	<i>t value</i>	<i>p-value</i>	<i>t value</i>	<i>p-value</i>	<i>t value</i>	<i>p-value</i>
<i>O vs B</i>	0,11	0,91	0,353	0,59	0,551	0,582
<i>O vs T</i>	-0,275	0,78	-1,838	0,068	-1,937	0,055
<i>B vs T</i>	-0,412	0,68	-2,346	0,021	-2,461	0,015

Tabella 26

Per riassumere, l'analisi statistica ha rivelato che:

- a) Il suono biofilo (B) non ha portato ad un miglioramento della funzione cognitiva dell'inibizione rispetto alla condizione di *baseline* (O);
- b) Il rumore del traffico (T) non ha determinato un peggioramento della funzione cognitiva dell'inibizione rispetto alla condizione di *baseline* (O);
- c) Il suono biofilo (B) ha portato ad un miglioramento della funzione cognitiva dell'inibizione rispetto alla condizione di traffico (T), sia per quanto riguarda il tempo medio di esecuzione (+9,2%) e sia riguardo le parole pronunciate al secondo (+9,5%). Invece il numero medio di errori commessi durante lo *Stroop* test non ha riportato differenze significative tra i diversi scenari acustici.

Il risultato **b)** ottenuto si pone in contrasto con quanto ottenuto dallo studio precedentemente condotto da *Latini et al.* [59], mentre nulla si può dire per i risultati **a)** e **c)** i quali non ha precedenti studi che permettano un confronto per l'indagine della connessione non visiva (suoni) con la natura.

4.3.1.3 OSPAN test

In accordo con lo studio sulla cui base è stato costruito il test OSPAN automatizzato [60], i dati analizzati riguardano:

- numero di errori nella risoluzione dei vero/falso;
- corretto ordine delle lettere riportato;
- l'OSPAN score, ovvero la somma assoluta del numero di vero/falso correttamente riportati e dell'ordine di esposizione delle lettere.

Come riportato nella **Figura 54**, da una prima valutazione qualitativa delle medie e delle deviazioni standard riportate tra parentesi (**Tabella 27**), non sembrerebbero esserci differenze significative da imputare alle tre condizioni sonore sperimentate.

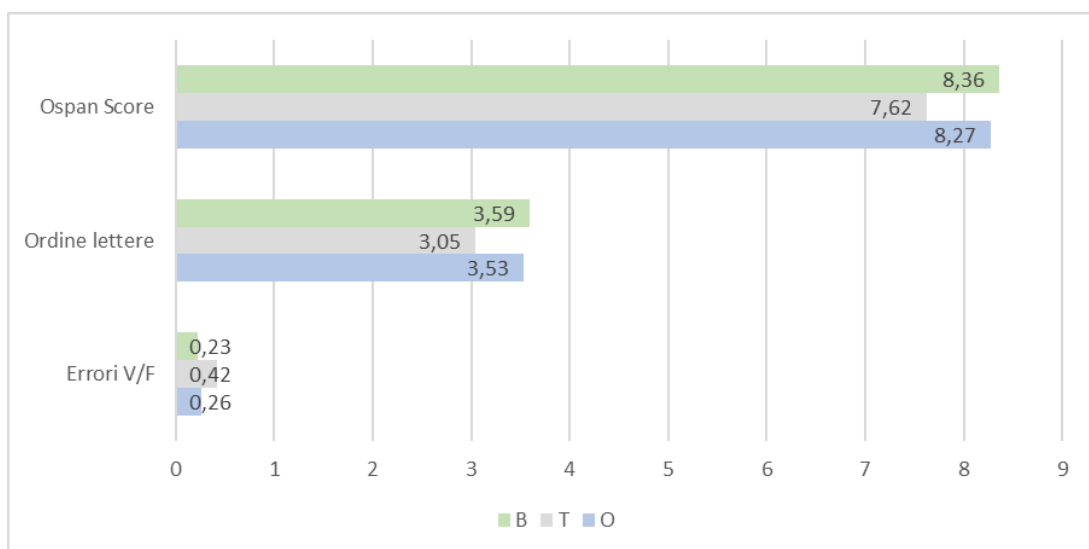


Figura 54

Scenario	Errori V/F - Media (DevSt)	Δm rispetto a O	Ordine Lettere - Media (DevSt)	Δm rispetto a O	OS - Media (DevSt)	Δm rispetto a O
O	0,26 (0,54)	-	3,53 (1,62)	-	8,27 (1,87)	-
T	0,42 (0,70)	0,16	3,05 (1,49)	-0,48	7,62 (1,74)	-0,65
B	0,23 (0,52)	-0,03	3,59 (1,59)	0,06	8,36 (1,77)	0,09

Tabella 27

Per verificare l'analisi qualitativa è stata, anche in quest'ultimo caso, effettuata l'analisi statistica con il t- test, condotta all'interno dell'ambiente software *RStudio*. Per l'ipotesi che non ci sia alcun effetto del suono B sulla memoria di lavoro rispetto alla *baseline* (O), i valori di t (*Tabella 28* O vs B), ottenuti per tutti e tre i punteggi (*Errori V/F*, *Ordine corretto delle lettere*, *Ospan score*), cadono all'interno della regione critica ($t_{\text{critico}} = \pm 1.997$ per $df=65$, $\alpha=0.05$) e i p-value sono superiori alla soglia di significatività $\alpha=0.05$.

Invece, per l'ipotesi che non ci sia alcun effetto dei rumori del traffico sulla memoria di lavoro, i valori di t ottenuti (*Tabella 28* O vs T), ad eccezione dell'*Ospan score*, cadono all'interno della regione critica ($t_{\text{critico}} = \pm 1.997$ per $df=65$, $\alpha=0.05$) e i p-value sono superiori alla soglia di significatività $\alpha=0.05$. Dunque, l'analisi statistica relativa all'*Ospan score*, per la condizione di traffico (T) rispetto alla *baseline* (O), portano a rifiutare l'ipotesi nulla e smentire l'esito dell'analisi qualitativa, ovvero globalmente la memoria di lavoro è influenzata negativamente dalla condizione sonora T, con un decremento dell'8% dalla condizione base (O) a quella rumorosa (T). Quest'ultimo risultato supporta la letteratura, infatti anche *Latini* [59] ha ottenuto una diminuzione, sebbene più sostanziale (65%), nella performance dell'*Ospan score*.

Infine, per l'ipotesi che non ci sia alcuna differenza nei punteggi del task Ospan tra le condizioni di suono B e T, i *t-value* ottenuti per l'ordine corretto delle lettere e per l'*Ospan score* (*Tabella 28* B vs T), non sono contenuti nella regione critica ($t_{\text{critico}} = \pm 1.997$ per $df=65$, $\alpha=0.05$) e i p-value sono inferiori alla soglia di significatività $\alpha=0.05$; a differenza del numero di errori nel vero/falso per il quale il t-test non ha rilevato nessuna differenza statisticamente significativa tra la condizione B e T.

	<i>Errori V/F</i>		<i>Ordine lettere</i>		<i>Ospan score</i>	
	<i>t value</i>	<i>p-value</i>	<i>t value</i>	<i>p-value</i>	<i>t value</i>	<i>p-value</i>
<i>O vs B</i>	0,3298	0,7421	-0,2171	0,8285	-0,2870	0,7746
<i>O vs T</i>	-1,5325	0,1280	1,7884	0,0761	2,0709	0,0404
<i>B vs T</i>	-1,829	0,0697	2,033	0,044	2,428	0,016

Tabella 28

In conclusione, l'analisi statistica globale ha rivelato che:

- a) Il suono biofilo (B) non ha portato ad un miglioramento della funzione cognitiva della memoria di lavoro rispetto alla baseline (O);
- b) Il suono del traffico (T) ha determinato un peggioramento della funzione cognitiva della memoria di lavoro del 7,9% solo per quanto riguarda il punteggio totale *Ospan score*.
- c) Il suono biofilo (B) ha portato ad un miglioramento della funzione cognitiva della memoria di lavoro rispetto alla condizione di traffico (T), sia per quanto riguarda l'ordine corretto medio delle lettere restituito (+15,2%) e sia riguardo L'*Ospan score* medio (+8,9%). Invece il numero medio di errori V/F commessi non ha riportato differenze significative tra i diversi scenari acustici B e T.

Il risultato b) ottenuto supporta la ricerca condotta dallo studio di *Latini et al.* [59], mentre nulla si può dire per i risultati a) e c) i quali non ha precedenti studi che permettano un confronto per l'indagine della connessione non visiva (suoni) con la natura.

Nella seguente **Tabella 29** vengono raggruppati i risultati del *t test* dei tre test cognitivi, per ogni confronto tra scenari audio, riportando (in rosso) i valori per cui il test ha rilevato una differenza statisticamente significativa:

<i>Test cognitivo</i>	<i>Parametri</i>	<i>Confronto scenari audio</i>	<i>t-value</i>	<i>p-value</i>
<i>Magnitude-Parity test</i>	N. errori pari/dispari e maggiore/minore di "5"	O vs B	0,553	0,58
		O vs T	-1,746	0,08
		B vs T	-2,504	0,01
	N. di errori nel nominare i nomi corretti dei colori	O vs B	0,110	0,91
		O vs T	-0,275	0,78
		B vs T	-0,412	0,68
<i>Stroop test</i>	Velocità di esecuzione	O vs B	0,353	0,59
		O vs T	-1,84	0,07
		B vs T	-2,346	0,02
	Parole al secondo	O vs B	0,551	0,58
		O vs T	-1,937	0,05
		B vs T	-2,461	0,01
<i>OSPAN test</i>		O vs B	0,330	0,74

N. errori nella sequenza vero/falso	O vs T	-1,532	0,13
	B vs T	-1,829	0,07
Ordine corretto delle lettere memorizzate	O vs B	-0,217	0,83
	O vs T	1,788	0,08
	B vs T	2,033	0,04
Ospan score	O vs B	-0,287	0,77
	O vs T	2,071	0,04
	B vs T	2,428	0,02

Tabella 29

In conclusione, viene riportata la tabella riassuntiva (*Tabella 30*) delle variazioni percentuali ($\Delta\eta\%$) dei punteggi medi ottenuti nei rispettivi *task* per tutti i test di produttività somministrati nelle 3 diverse condizioni (O, B e T):

<i>Test</i>	<i>Parametri</i>	$\Delta\eta\%$ di B rispetto a O	$\Delta\eta\%$ di T rispetto a O	$\Delta\eta\%$ di B rispetto a T
<i>MP</i>	Numero di errori	-	-	+79%
<i>Stroop</i>	Numero di errori	-	-	-
	Velocità di esecuzione	-	-	+9%
	Parole al sec.	-	-	+10%
<i>Ospan</i>	Numero di errori V/F	-	-	-
	Ordine lettere	-	-	+15%
	Ospan score	-	-8%	+9%

Tabella 30

4.3.2 Comfort

Per la valutazione dell'influenza dei tre scenari acustici sul *comfort* percepito dai soggetti è stata prima condotta un'analisi qualitativa dell'andamento complessivo dei punteggi in percentuale espressi dai partecipanti sugli attributi del *Circumplex model*, e poi ne è stata effettuata un'analisi statistica per supportare le ipotesi.

I punteggi dei questionari sul comfort sono riferibili a una *scala Likert* a 5 punti (da "1 = totalmente in disaccordo" a "5 = totalmente d'accordo").

Essendo i dati raccolti ordinali non numerici, per l'analisi qualitativa ci si è riferito non ai valori medi ma percentuali (%), e per la successiva analisi statistica è stato necessario applicare un test non parametrico, ovvero il *Wilcoxon Signed-Rank test*.

Di seguito (*Figura 55*) viene riportato il grafico che mostra la percentuale di voti assegnati ai 12 attributi del *Circumplex model* per ognuno dei tre scenari acustici (O, T, B), con il fine di valutarne il *comfort* percepito.

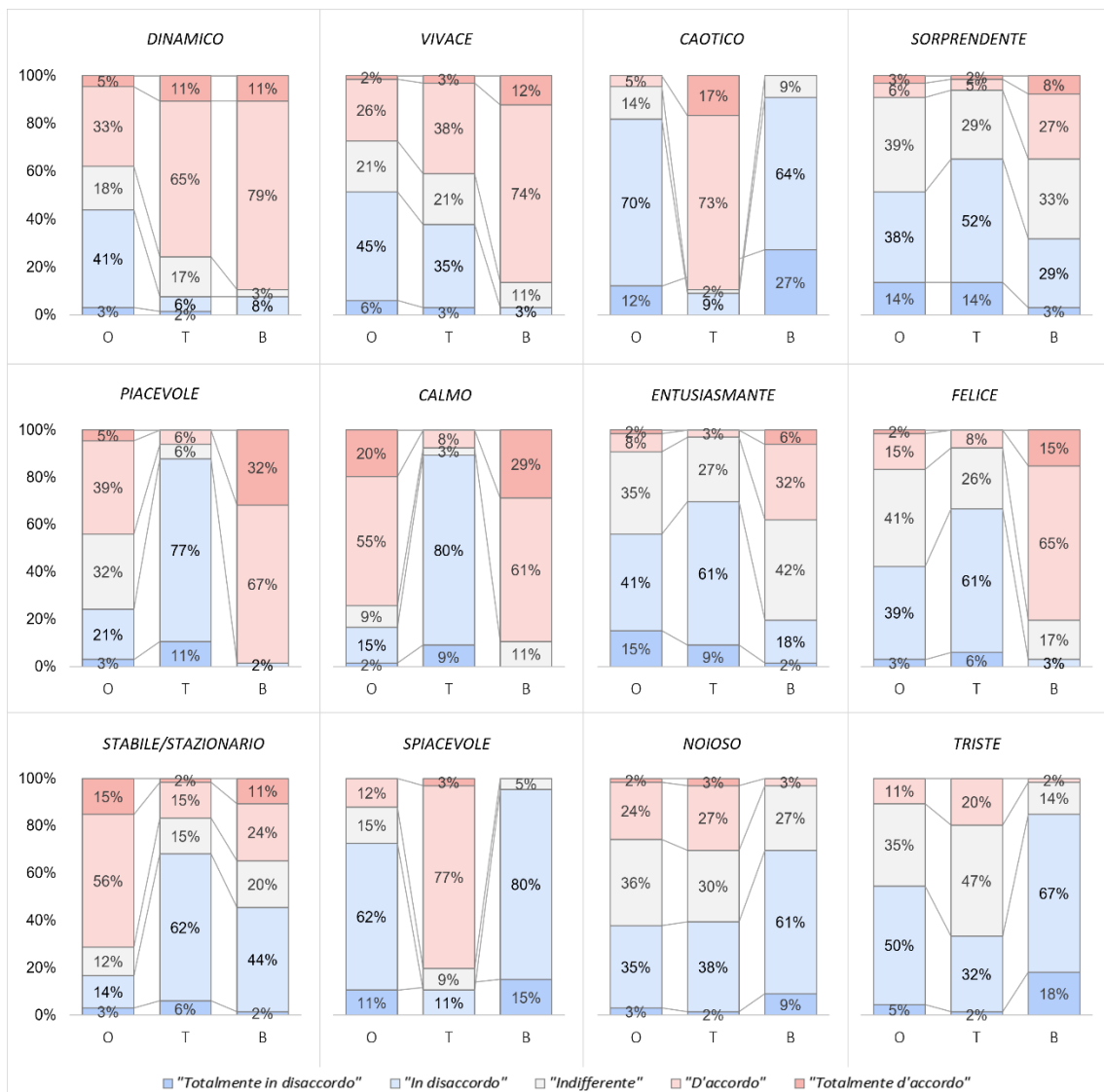


Figura 55

Gli aggettivi che meglio descrivono lo scenario acustico dei soli rumori di ufficio (O) risultano essere “Calmo” e “Stabile/Stazionario”. Infatti, rispettivamente il 75% e il 71% dei partecipanti si è espresso come almeno “d’accordo” nel descrivere tale scenario acustico con questi attributi.

Invece, per quanto riguarda lo scenario con il rumore del traffico (T), la percezione maggiormente sentita è stata quella di essere immersi in un ambiente “Caotico”,

“Spiacevole” e “Dinamico”: infatti, rispettivamente il 90%, l’80% e il 76% dei partecipanti ha riportato di essere almeno “D’accordo”.

Infine, lo scenario sonoro biofilo (B) è stato maggiormente valutato come “*Piacevole*”, in quanto il 99% dei soggetti è stato almeno “D’accordo” ad attribuirgli tale aggettivo, ma anche “Calmo” (90%), “Vivace” (86%) e “Felice” (80%).

Inoltre, da una prima analisi qualitativa, emerge che, tra lo scenario acustico biofilo (B) e i restanti due (O e T), sembrerebbero esserci differenze importanti per la valutazione di tutti gli aggettivi. Invece, aggettivi come “Noioso”, “Sorpriendente”, “Entusiasmante” e “Vivace” sembrano essere stati riferiti in egual misura sia allo scenario O sia allo scenario T, quasi a sottolineare come, per questi aspetti, le due variabili audio siano simili tra loro.

Per verificare se effettivamente vi è una differenza significativa tra i voti manifestati, è stata condotta un’analisi statistica tramite *test di Wilcoxon*, effettuata all’interno dell’ambiente software *RStudio*, comparando le seguenti situazioni:

- a) Confronto scenario acustico biofilo (B) con baseline (O);
- b) Confronto scenario acustico rumoroso (T) con baseline (O);
- c) Confronto scenario acustico biofilo (B) con scenario acustico rumoroso (T).

L’ipotesi nulla (H_0) è che non vi è nessuna differenza significativa tra i voti manifestati nelle due condizioni sonore.

Poiché il campione è relativamente grande ($n = 66 > 20$), i valori statistici (*T-value*) di *Wilcoxon* tendono ad approssimare una distribuzione normale. Quindi, in questa situazione, le ipotesi sono state valutate riferendosi alla distribuzione normale e allo *z-value* ($z\text{-critico} = \pm 1,96$ per $\alpha=0.05$) calcolato tramite lo *T-value*.

Nel confronto statistico tra gli scenari O e B (*Tabella 31*), si evince che tutti gli attributi sono caratterizzati da un basso numero di *ties* ($\Delta\mu_{O-B} = 0$), ovvero il numero di casi in cui la differenza tra i voti nelle due differenti condizioni acustiche è pari a zero. Questa situazione è un primo segnale del fatto che vi sono differenze significative tra i voti degli

aggettivi tra queste due condizioni acustiche. L'ulteriore conferma è data dallo *z-value* che risulta essere minore dello *z-critico* per tutti gli aggettivi, e dal *p-value* < 0.05 per tutti gli aggettivi. Quindi, l'ipotesi nulla viene rifiutata e si può affermare che per tutti gli aggettivi vi è una differenza significativa tra i voti manifestati nelle condizioni O e B. In generale, rispetto allo scenario O, lo scenario B è stato giudicato come più "Entusiasmante", "Felice", "Piacevole", "Calmo", "Sorpriendente", "Dinamico", "Vivace", e meno "Stabile/Stazionario", "Noioso", "Triste", "Spiacevole", "Caotico".

<i>O vs B</i>	<i>Ties</i> ($\Delta\mu_{O-B}=0$)	$\Delta\mu_{O-B}$	<i>T-value</i>	<i>z-value</i>	<i>p-value</i>
<i>Entusiasmante</i>	17	-0,83	102	-5,078	< 0,00001
<i>Felice</i>	16	-1,20	34,5	-5,820	< 0,00001
<i>Piacevole</i>	18	-1,08	36	-5,662	< 0,00001
<i>Calmo</i>	37	-0,42	66,5	-3,265	0,00108
<i>Stabile/Stazionario</i>	24	0,68	128	-4,045	< 0,00001
<i>Noioso</i>	25	0,62	112	-4,127	< 0,00001
<i>Triste</i>	29	0,53	75	-4,171	< 0,00001
<i>Sorpriendente</i>	21	-0,61	175	-3,866	0,0001
<i>Dinamico</i>	20	-0,97	64	-5,206	< 0,00001
<i>Vivace</i>	15	-1,24	43,5	-5,807	< 0,00001
<i>Spiacevole</i>	40	0,39	40	-3,441	0,00058
<i>Caotico</i>	39	0,29	72	-2,811	0,00496

Tabella 31

Nel confronto statistico tra gli scenari O e T (Tabella 32), vi è una disomogeneità tra il numero di *ties* ($\Delta\mu_{O-T}=0$) riferiti ai diversi aggettivi. Notiamo in particolare che il *T-value* risulta essere minore del *T-critico* per tutti gli aggettivi, ad eccezione (in rosso) di 4 aggettivi: "Entusiasmante", "Noioso", "Sorpriendente", e "Vivace". Dunque, solo per questi attributi, l'ipotesi nulla (H_0) viene accettata, e di conseguenza si afferma che non vi è una differenza significativa tra i voti manifestati negli scenari audio O e T. In generale, rispetto allo scenario O, lo scenario T è stato giudicato come più "Triste", "Dinamico", "Spiacevole", "Caotico", e meno "Felice", "Piacevole", "Calmo", "Stabile/Stazionario".

<i>O vs T</i>	<i>Ties</i> ($\Delta\mu_{O-T}=0$)	$\Delta\mu_{O-T}$	<i>T-value</i>	<i>z-value</i>	<i>p-value</i>
<i>Entusiasmante</i>	37	0,15	154	-1,3731	0,17068
<i>Felice</i>	33	0,38	119,5	-2,8767	0,00398
<i>Piacevole</i>	20	1,14	0	-5,9052	< 0,00001

<i>Calmo</i>	10	1,67	13	-6,4033	< 0,00001
<i>Stabile/Stazionario</i>	14	1,23	89,5	-5,4596	< 0,00001
<i>Noioso</i>	31	-0,06	248	-0,5078	0,61006
<i>Triste</i>	26	-0,33	246	-2,2044	0,0278
<i>Sorprendente</i>	27	0,18	295	-1,3257	0,18352
<i>Dinamico</i>	22	-0,82	114,5	-4,4405	< 0,00001
<i>Vivace</i>	22	-0,32	334	-1,8789	0,0601
<i>Spiacevole</i>	9	-1,44	77	-5,9549	< 0,00001
<i>Caotico</i>	4	-1,86	13	-6,7552	< 0,00001

Tabella 32

Nel confronto statistico tra gli scenari B e T (*Tabella 33*), si nota che tutti gli attributi, ad eccezione dell'aggettivo "Dinamico", sono caratterizzati da un basso numero di *ties* ($\Delta\mu_{B-T} = 0$), lo *z-value* risulta minore dello *z-critico*, e il *p-value* è minore del livello di significatività pari a $\alpha = 0.05$. Dunque, per questi aggettivi si rifiuta l'ipotesi nulla e si stabilisce che vi è una differenza significativa tra i voti manifestati nelle condizioni B e T. Si conclude che solo l'attributo "Dinamico" ha una differenza di voti tra B e T non significativa per un livello di confidenza del 95% ($p\text{-value} > \alpha = 0.05$), ovvero entrambi gli scenari acustici sono stati parimenti valutati come dinamici. In generale, rispetto allo scenario T, lo scenario B è stato giudicato come più "Entusiasmante", "Felice", "Piacevole", "Calmo", "Stabile/Stazionario", "Sorprendente", "Vivace", e meno "Noioso", "Triste", "Spiacevole", "Caotico".

<i>B vs T</i>	<i>Ties</i> ($\Delta\mu_{B-T}=0$)	$\Delta\mu_{B-T}$	<i>T-value</i>	<i>z-value</i>	<i>p-value</i>
<i>Entusiasmante</i>	18	-0,98	51,5	-5,5026	< 0,00001
<i>Felice</i>	9	-1,58	20	-6,4078	< 0,00001
<i>Piacevole</i>	4	-2,21	2,5	-6,8288	< 0,00001
<i>Calmo</i>	3	-2,09	5	-6,8666	< 0,00001
<i>Stabile/Stazionario</i>	14	-0,55	89,5	-5,4596	< 0,00001
<i>Noioso</i>	35	0,68	17	-4,5268	< 0,00001
<i>Triste</i>	17	0,86	87,5	-5,2223	< 0,00001
<i>Sorprendente</i>	18	-0,79	165,5	-4,3334	< 0,00001
<i>Dinamico</i>	37	-0,15	163,5	-1,1677	0,2420
<i>Vivace</i>	19	-0,92	75	-5,1747	< 0,00001
<i>Spiacevole</i>	6	1,83	0	-6,7359	< 0,00001
<i>Caotico</i>	1	2,15	5	-6,976	< 0,00001

Tabella 33

In sintesi, si riporta la tabella riassuntiva (*Tabella 34*) dell'analisi statistica condotta su tutti gli aggettivi per i confronti tra i tre scenari acustici, specificando per ognuno il numero di casi in cui la differenza tra i voti nelle due differenti condizioni acustiche è pari a zero (Ties $\Delta u = 0$), la media delle differenze tra i voti (Δu medio), e i rispettivi T-value, z-value e p-value. Riferendosi a uno z -critico = $\pm 1,96$ per $\alpha = 0.05$, vengono segnalati, in rosso, i valori per i quali è possibile accettare l'ipotesi nulla (H_0).

Aggettivi	Confronto	Ties ($\Delta u = 0$)	Δu medio	T-value	z-value	p-value
Entusiasmante	O vs B	17	-0,83	102	-5,0781	< ,00001
	O vs T	37	0,15	154	-1,3731	0,17068
	B vs T	18	-0,98	51,5	-5,5026	< ,00001
Felice	O vs B	16	-1,20	34,5	-5,82	< ,00001
	O vs T	33	0,38	119,5	-2,8767	0,00398
	B vs T	9	-1,58	20	-6,4078	< ,00001
Piacevole	O vs B	18	-1,08	36	-5,6616	< ,00001
	O vs T	20	1,14	0	-5,9052	< ,00001
	B vs T	4	-2,21	2,5	-6,8288	< ,00001
Calmo	O vs B	37	-0,42	66,5	-3,2651	0,00108
	O vs T	10	1,67	13	-6,4033	< ,00001
	B vs T	3	-2,09	5	-6,8666	< ,00001
Stabile/Stazionario	O vs B	24	0,68	128	-4,0449	< ,00001
	O vs T	14	1,23	89,5	-5,4596	< ,00001
	B vs T	14	-0,55	89,5	-5,4596	< ,00001
Noioso	O vs B	25	0,62	112	-4,1272	< ,00001
	O vs T	31	-0,06	248	-0,5078	0,61006
	B vs T	35	0,68	17	-4,5268	< ,00001
Triste	O vs B	29	0,53	75	-4,1714	< ,00001
	O vs T	26	-0,33	246	-2,2044	0,0278
	B vs T	17	0,86	87,5	-5,2223	< ,00001
Sorprendente	O vs B	21	-0,61	175	-3,866	0,0001
	O vs T	27	0,18	295	-1,3257	0,18352
	B vs T	18	-0,79	165,5	-4,3334	< ,00001
Dinamico	O vs B	20	-0,97	64	-5,2059	< ,00001
	O vs T	22	-0,82	114,5	-4,4405	< ,00001
	B vs T	37	-0,15	163,5	-1,1677	0,242
Vivace	O vs B	15	-1,24	43,5	-5,8069	< ,00001
	O vs T	22	-0,32	334	-1,8789	0,0601
	B vs T	19	-0,92	75	-5,1747	< ,00001
Spiacevole	O vs B	40	0,39	40	-3,4414	0,00058
	O vs T	9	-1,44	77	-5,9549	< ,00001
	B vs T	6	1,83	0	-6,7359	< ,00001

Caotico	O vs B	39	0,29	72	-2,8109	0,00496
	O vs T	4	-1,86	13	-6,7552	< ,00001
	B vs T	1	2,15	5	-6,976	< ,00001

Tabella 34

In conclusione, sono stati ottenuti i seguenti risultati:

- a) Vi sono differenze statisticamente significative tra tutti gli aggettivi che descrivono l'ambiente acustico B rispetto all'ambiente acustico O;
- b) Vi sono differenze statisticamente significative tra tutti gli aggettivi che descrivono l'ambiente acustico B rispetto all'ambiente acustico T, ad eccezione dell'attributo "Dinamico". Ovvero, il suono biofilo è stato percepito "Dinamico" tanto quanto il rumore del traffico;
- c) Vi sono differenze statisticamente significative la maggior parte degli aggettivi che descrivono l'ambiente acustico O rispetto all'ambiente acustico T, ad eccezione di quattro attributi: ovvero, il rumore di ufficio è stato percepito "Entusiasmante", "Noioso", "Sorprendente" e "Vivace" tanto quanto il rumore del traffico;
- d) In generale all'ambiente sonoro biofilo (B) sono stati attribuiti aggettivi positivi e in particolare è stato descritto maggiormente come "Piacevole" (99%), Calmo" (90%), "Vivace" (86%) e "Felice" (80%).
- e) In generale all'ambiente sonoro *baseline* (O) sono stati attribuiti aggettivi neutri e in particolare è stato descritto maggiormente come "Calmo" (75%) e "Stabile/Stazionario" (71%);
- f) In generale all'ambiente sonoro rumoroso (T) sono stati attribuiti aggettivi negativi e in particolare è stato descritto maggiormente come "Caotico" (90%), "Spiacevole" (80%) e "Dinamico" (76%).

Poiché nessuno studio precedente ha indagato le connessioni non visive con la natura (suoni naturali), i risultati **a) b) e d)** sono stati confrontati con la letteratura che si è occupata di dimostrare la correlazione tra la presenza di elementi biofilo (non solo suoni) e la risposta emotiva positiva dei soggetti, supportandola [34,40].

4.3.3 Misure fisiologiche

Per questo studio sono stati raccolti i dati fisiologici di 13 soggetti.

Le risposte fisiologiche sono state valutate tramite monitoraggio

- delle pulsazioni, ovvero la frequenza cardiaca (HR) misurata in battiti al minuto (bpm);
- dell'attività elettrodermica (EDA), misurata in microsiemens (μS), la quale misura le variazioni nelle proprietà di conduttanza elettrica della pelle, dovute alla secrezione di sudore da parte delle ghiandole sudoripare encrine;
- della temperatura cutanea (ST) misurata in $^{\circ}\text{C}$.

I dati misurati di HR, EDA e ST sono stati restituiti dalla piattaforma Health Care Empatica come dati aggregati in intervalli regolari di 60 secondi.

Secondo l'SRT [5], gli elementi naturali (visivi e uditivi) attivano il nostro sistema parasimpatico che provoca una diminuzione della frequenza cardiaca, della pressione sanguigna, e della conduttanza cutanea. Dunque, valori bassi di HR e EDA indicano uno stato di rilassamento nel soggetto. Mentre, in condizione di stress, si osserva una vasocostrizione cutanea periferica, con conseguente diminuzione della ST.

Il riepilogo dei valori medi delle misurazioni di EDA, HR e ST ottenute dai 13 partecipanti è mostrato in *Figura 56*, dove le barre di errore corrispondono alla deviazione standard.

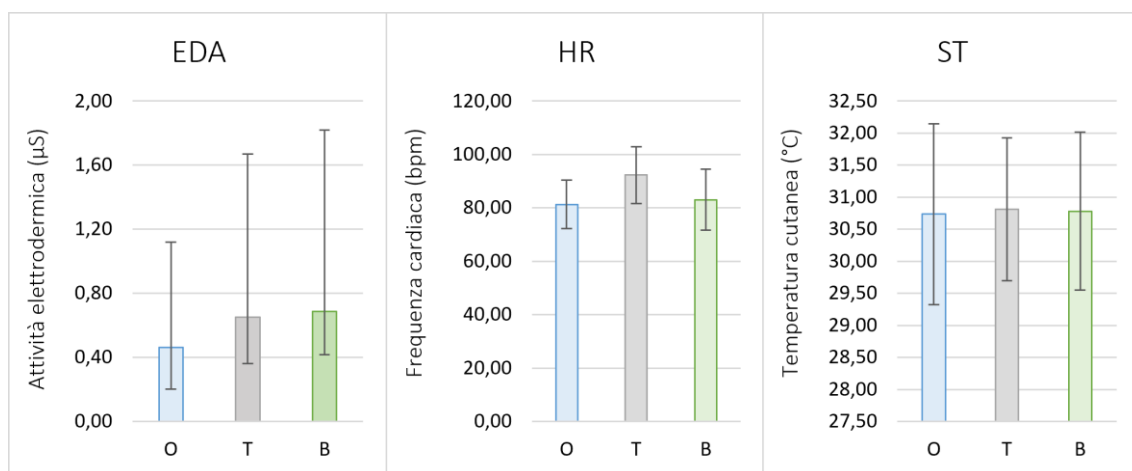


Figura 56

Le stime dell'attività elettrodermica media sono pari a 0,46 μS (DevSt = 0,66) per la baseline (O), e rispettivamente 0,65 μS (1,13) e 0,69 μS (1,02) per gli scenari audio T e B. Invece, il livello medio di HR osservato nella baseline (scenario acustico O) è 81,29 bpm (DevSt = 9,05). Similmente, le medie della frequenza cardiaca e le rispettive deviazioni standard, registrate durante le condizioni uditive T e B sono 92,32 bpm (11,41) e 83,02 bpm (10,61).

Infine, la ST media misurata per la condizione di baseline (O) è pari a 30,73 $^{\circ}\text{C}$ (DevSt = 1,41), e allo stesso modo la ST media per la condizione T è pari a 30,81 $^{\circ}\text{C}$ (1,23) e 30,78 $^{\circ}\text{C}$ (1,12) per la condizione B.

Come mostrato nella seguente tabella (*Tabella 35*), non è stata osservata una differenza significativa tra il valore medio ST registrato nella baseline (O) e le condizioni T ($\Delta m_{O-T} = 0,08$ $^{\circ}\text{C}$) e B ($\Delta m_{O-B} = 0,05$ $^{\circ}\text{C}$).

Invece, nella condizione rumorosa di traffico (T), si è riscontrato un peggioramento della condizione psicofisica dei soggetti, rilevabile dall'aumento di entrambi i valori medi di EDA (+41%) e HR (+14%) rispetto alla baseline (O).

Tuttavia, anche nella condizione uditiva biofila (B) si è rilevato un aumento del 49% del valore medio di EDA nei soggetti; mentre non è stata osservata una differenza importante di HR ($\Delta m_{O-B} = 1,73$) corrispondente a un leggero aumento del 2% rispetto al valore di baseline (O).

	EDA (μS)			ST ($^{\circ}\text{C}$)			HR (bpm)		
	M (SD)	Δm	$\Delta m\%$	M (SD)	Δm	$\Delta m\%$	M (SD)	Δm	$\Delta m\%$
O	0,46 (0,66)	-	-	30,73 (1,41)	-	-	81,29 (9,05)	-	-
T	0,65 (1,13)	0,19	41%	30,81 (1,23)	0,08	0%	92,32 (11,41)	11,03	14%
B	0,69 (1,02)	0,22	49%	30,78 (1,12)	0,05	0%	83,02 (10,61)	1,73	2%

Tabella 35

Per i parametri HR e EDA, nelle seguenti figure (rispettivamente *Figura 57* e *Figura 58*), viene mostrata una rappresentazione puntuale dei parametri fisiologici, per ogni soggetto monitorato durante l'esecuzione della prova.

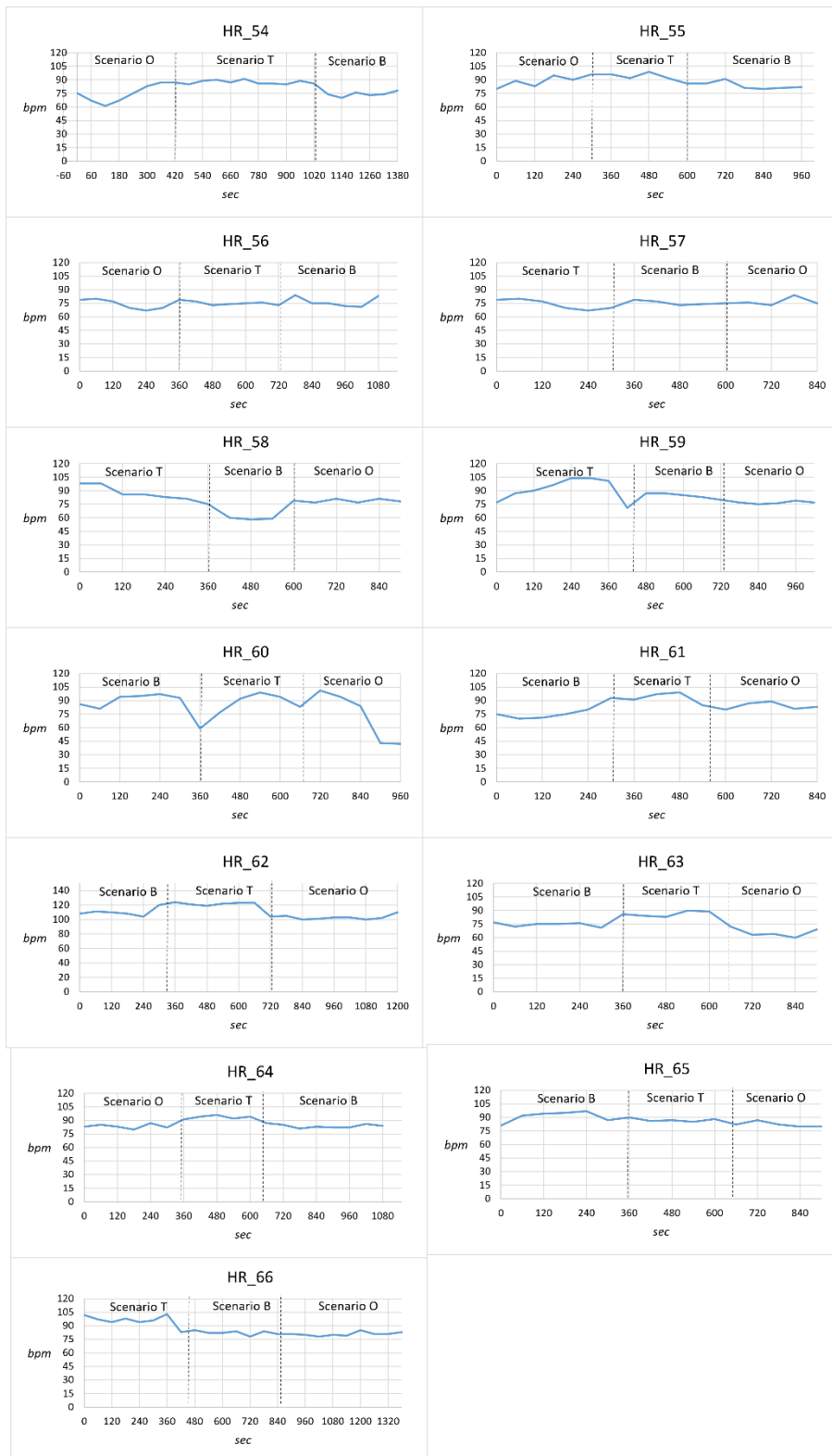


Figura 57



Figura 58

Nei grafici HR e EDA (*Figura 57 e Figura 58*), è riportato sull'asse orizzontale il tempo misurato in secondi e, poiché i soggetti hanno sperimentato gli scenari con ordine diverso, vengono indicati sull'asse temporale i cambi scenari riportandone per ciascuno l'ambiente acustico riferito. Per i valori di HR, per ogni soggetto si nota, quindi, un maggior numero di battiti al minuto rilevati durante lo scenario acustico T.

Per i valori di EDA individuali, notiamo che, a prescindere dall'ordine di scenario sperimentato, più della metà dei soggetti riporta un andamento crescente nel tempo. Considerano, quindi, gli impatti dell'orario sui valori di EDA, i risultati indicano che i partecipanti hanno avvertito più stress verso la fine della prova.

In conclusione, è stato ottenuto un peggioramento dei valori fisiologici misurati nella condizione acustica rumorosa (T), ad eccezione del parametro ST per cui non si sono riscontrati cambiamenti rispetto alla *baseline* di riferimento (O).

Mentre, non sono stati riscontrati miglioramenti nei parametri fisiologici dovuti all'ascolto di suoni biofili (scenario B rispetto alla *baseline* O). Nonostante non vi sia nessuno studio precedente che abbia indagato in modo specifico i suoni naturali tramite VR, considerando, invece, studi tradizionali, i risultati ottenuti sono analoghi [19] [61].

Si precisa che, per lo studio [19] i parametri sono stati continuamente rilevati durante un'intera giornata lavorativa, per cui il tempo di esposizione è stato significativamente lungo. Mentre, per lo studio [61], i partecipanti sono stati esposti ai due scenari acustici, rumori del traffico e suoni naturali, per tre minuti ciascuno, alternati da 3 minuti di silenzio costituente la *baseline*. Sebbene, quindi, quest'ultimo esperimento è simile per tempo di esposizione allo studio condotto per la presente tesi (5 minuti di esposizione ad ogni scenario acustico), esso non ha sottoposto i partecipanti a task potenzialmente stressanti durante l'esecuzione della prova.

4.4 Eye-tracking

Per trovare l'elemento biofilo di maggiore interesse per i soggetti all'interno dell'IBE, sono stati post-processati i dati di Eye-tracking tramite il software di analisi *iMotion* [62].

Una volta distinti gli elementi biofilo presenti nella scena, ovvero la parete verde, i vasi di fiori e la pianta in vaso, per ognuno di questi è stata creata una *Gaze map* selezionando gli intervalli di tempo corrispondenti alla "fase di adattamento", ovvero il primo momento di visualizzazione del modello da parte dei partecipanti alla prova. Gli intervalli di mappatura Gaze sono stati manualmente corretti in modo individuale per ogni soggetto, in quanto l'orario di inizio e fine della fase di adattamento è diversa per ogni partecipante in relazione al momento di avvio della registrazione dello schermo dopo la fase di calibrazione dell'eye-tracking.

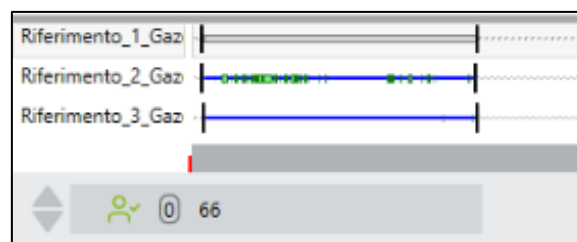


Figura 59

Per ottenere un livello di accuratezza maggiore nel processo di mappatura, sono stati aggiunti manualmente dei key frames per istruire l'algoritmo (Figura 60).

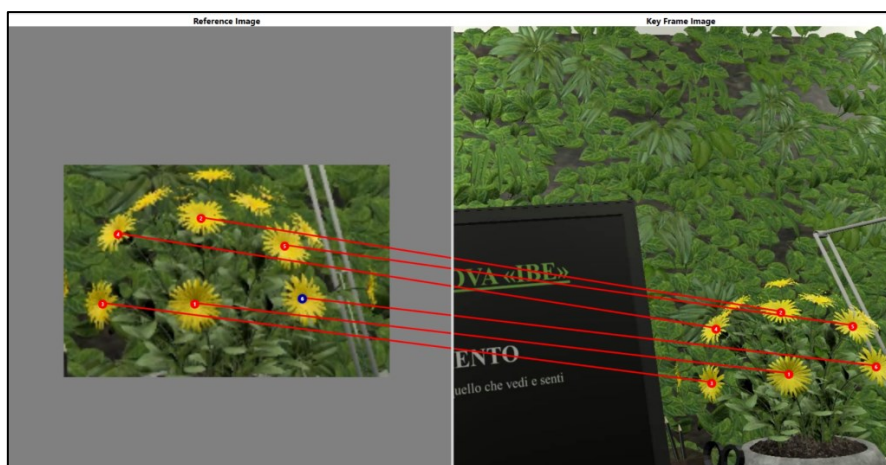


Figura 60

Il passaggio di creazione delle *Gaze maps* è stato fondamentale poiché i soggetti durante la prova hanno ruotato liberamente la testa, e questo ha comportato l'ottenimento di dati registrati in un ambiente dinamico. La Gaze map ha permesso, quindi, di trasferire su un'immagine statica di "riferimento" gli stessi movimenti oculari rilevati nell'ambiente virtuale (*Figura 61*).

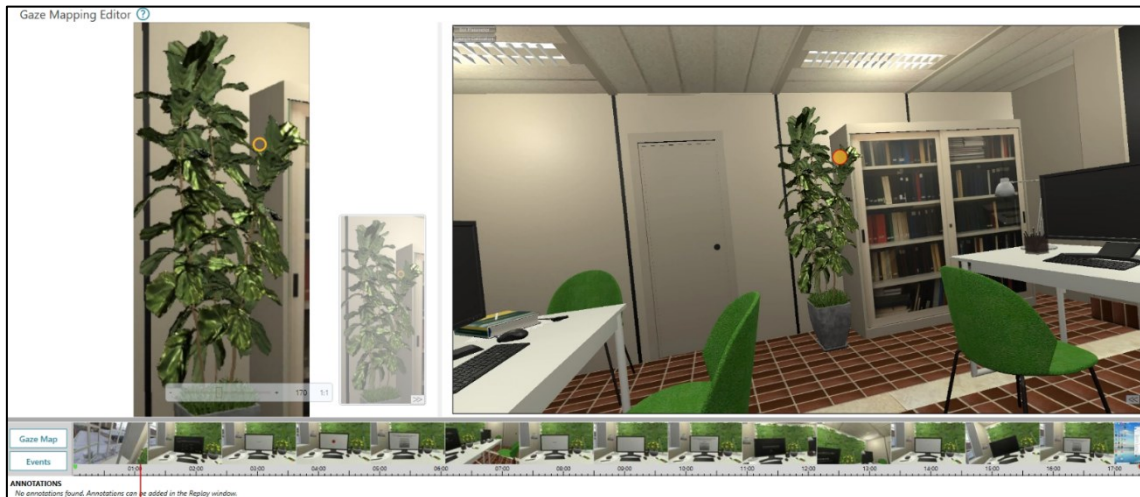


Figura 61

Il passaggio successivo ha previsto la creazione dell'*AOI*, ovvero l'area di interesse, ottenuta disegnando all'interno della Gaze map un'area attorno a ciascuno degli elementi biofilari tramite il tool fornito da iMotion (*Figura 62*).

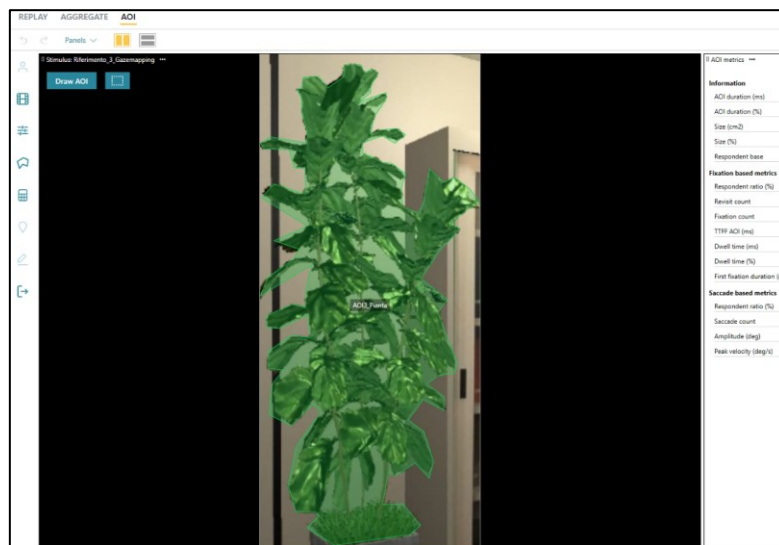


Figura 62

A questo punto, essendo le *Gaze maps* degli stimoli statici, questi sono stati aggregati per applicare automaticamente gli *AOI* a tutti i soggetti.

Infine, sono state esportate in formato .csv le metriche *AOI* individuali, che riportano per ogni singolo soggetto il conteggio di tutte le fissazioni rilevate all'interno dell'*AOI* e il tempo totale durante il quale lo sguardo del soggetto è stato rilevato all'interno dell'*AOI*.

L'interesse dei partecipanti è stato, quindi, misurato in funzione del tempo trascorso a fissare l'elemento biofilo $A_{(o,t)}$ [%] e in funzione del numero di fissazioni $A_{(o,f)}$ [%], calcolati ciascuno come *Bernardini et al.* [63]. Si precisa che, in accordo con il software di analisi *iMotion*, una "fissazione" dell'oggetto è stata considerata tale se ha avuto una durata di almeno 300 ms ($gaze\ event \geq 300ms$). Una percentuale alta di $A_{(o,t)}$, ha indicato un'elevata attenzione verso l'oggetto, e maggiore è $A_{(o,f)}$, maggiore è il numero di occasioni in cui il soggetto è stato attratto dall'oggetto.

La **Figura 63** mostra l'attenzione dei partecipanti in termini di $A_{(o,t)}$ e $A_{(o,f)}$, per ognuno degli elementi biofilari presenti, ovvero la parete verde, i vasi di fiori e la pianta in vaso.

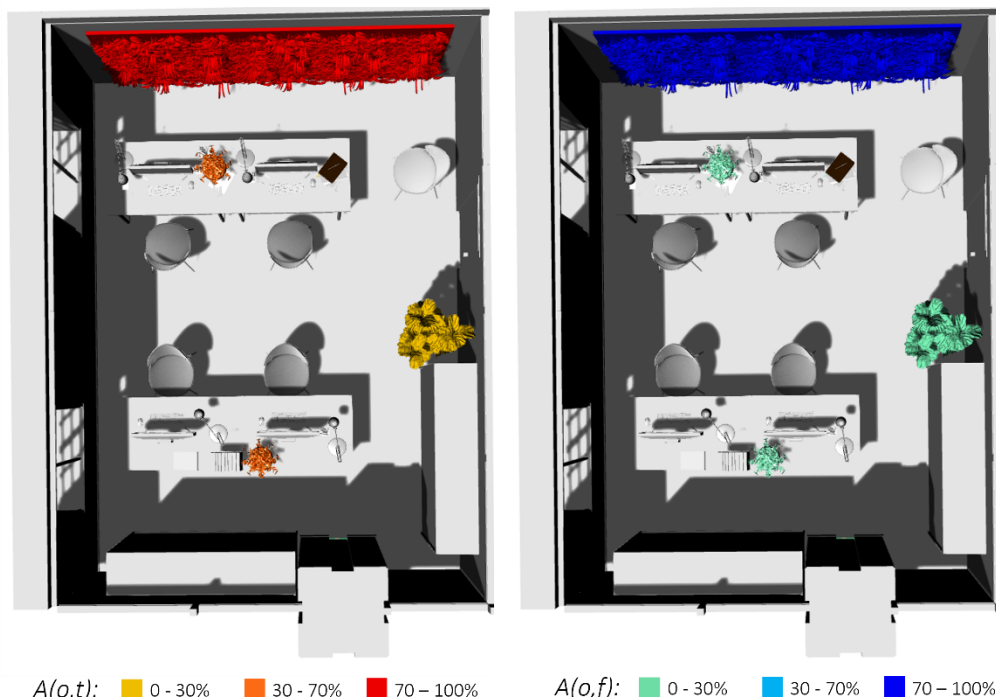


Figura 63

La parete verde, avendo $A_{(o,t)}$ e $A_{(o,f)}$ più elevati, viene individuata come elemento biofilo dominante per l'ambiente virtuale sperimentato. Mentre, i vasi di fiori disposti sulle scrivanie e la pianta in vaso a terra hanno attratto in egual misura i soggetti ($A_{(o,f)} = 30\%$); invece, esaminando gli $A_{(o,t)}$, si nota che i soggetti hanno trascorso un tempo maggiore a fissare i vasi di fiori (70%) piuttosto che la pianta in vaso (28%).

Per ogni soggetto, quindi, è possibile ottenere anche una *Heatmap* che mostra, in termine di visualizzazione grafica, il tracciamento oculare, per avere un riscontro su quali oggetti nella scena sono stati guardati maggiormente. Nella seguente figura (*Figura 64*) è mostrata la *Heatmap* creata per un singolo soggetto, visualizzando i dati di tracciamento oculare tramite immagine. Per ottenerla è stato, quindi, necessario tagliare un frame del video e analizzarlo separatamente.

Una combinazione del fattore durata di fissazione e del numero di fissazioni contribuisce alla colorazione della *Heatmap*, stabilendo dove il soggetto ha guardato e per quanto tempo. Al colore rosso corrispondono i punti in cui maggiormente è stata rivolta l'attenzione visiva, ovvero il numero o la durata massimi di fissazione; al verde corrisponde invece il minimo dell'attenzione prestata.

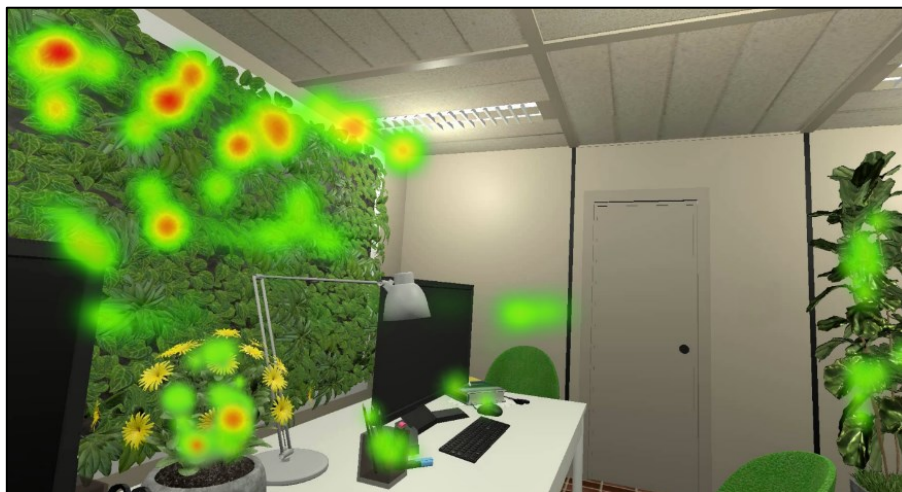


Figura 64

5. Conclusioni

La presente tesi ha avuto come obiettivo l'esplorazione del potenziale della VR impiegata come strumento di ricerca per la valutazione dell'impatto di un approccio multisensoriale. In particolare, è stata affrontata la validazione degli IVE biofili, sperimentando le variabili visive e non visive per uno spazio ad uso ufficio. I vantaggi dell'uso di ambienti virtuali per queste applicazioni sono: i costi ridotti e l'elevata ripetibilità e velocità di esecuzione, nonché la raccolta di dati complessi in un ambiente che consente un controllo facile delle variabili desiderate.

Le possibilità offerte dall'impiego di tali strumenti per ricreare ambienti di lavoro reali sono state esplorate per incrementare la ricerca multi-dominio nei campi del comfort e della produttività, a supporto del Biophilic Design nei luoghi interni di lavoro/studio, combinando lo stimolo visivo con quello acustico.

Per studiare l'obiettivo di ricerca è stata organizzata un'attività sperimentale composta da tre sessioni di prova in ambiente virtuale immersivo caratterizzate da differenti scenari visivi, per realizzare uno studio *independent measures design*. All'interno di questo, ogni soggetto, assegnato a un singolo scenario visivo, ripeterà la prova sperimentando tre scenari audio differenti, realizzando così uno studio *repeated measure design*.

Un totale di 66 partecipanti è stato reclutato per eseguire la sessione di prova a misure ripetute, monitorando i parametri ambientali tramite una stazione microclimatica.

Le variabili sperimentali, scelte per dare vita all'approccio multi-dominio e multisensoriale, hanno portato a modellare tre diversi scenari visivi virtuali (*NB* - scenario non biofilo; *OV* - scenario biofilo con vista naturale esterna; *IG* - scenario biofilo con elementi verdi interni) combinati con tre scenari acustici (*O* - suoni di ufficio; *T* - rumore del traffico; *B* - suoni naturali biofili). La generazione degli stimoli acustici come seconda variabile dello studio sperimentale multi-dominio è stata effettuata in collaborazione con l'University College di Londra, e con il centro di ricerca EURAC e l'Università Degli Studi di Ferrara.

Ai fini di questo lavoro è stato raccolto e analizzato un solo set di dati, relativo allo scenario visivo biofilo con elementi verdi all'interno sperimentato con tutte e tre le combinazioni di suono (*IG_O*, *IG_T*, *IG_B*).

La fase operativa è stata preceduta dalla compilazione di un questionario introduttivo, per raccogliere le generalità dei soggetti e un questionario pre-sperimentale volto ad indagare la qualità degli spazi di lavoro o studio abituali, e gli elementi biofili maggiormente desiderati per migliorarli.

Durante la sessione di prova i soggetti hanno completato sondaggi per analizzare senso di presenza e immersività, Cybersickness, e comfort percepito all'interno dell'ambiente sonoro. Inoltre, per analizzare la produttività è stato somministrato un insieme di tre task di breve durata esaminando tre diverse funzioni cognitive: il task switching con il Magnitude-Parity test; l'inibizione attraverso lo Stroop test; la memoria di lavoro tramite l'OSPAN test. Per comprendere meglio l'effetto dell'esposizione virtuale agli elementi biofili, è stata registrata l'attenzione focale di un sottogruppo del campione, composto da 13 soggetti, durante l'immersione nell'ambiente virtuale, utilizzando il dispositivo di tracciamento oculare (*Eye-tracking*). Inoltre, lo stesso sottogruppo ha indossato un dispositivo per il rilevamento dei parametri fisiologici, quali: attività elettrodermica (EDA), frequenza cardiaca (HR) e temperatura cutanea (ST).

Per non incorrere nella manifestazione di sintomi legati alla cinetosi, il tempo di esposizione all'IVE è stato limitato, concludendo la prova in un massimo di 20/25 minuti.

I risultati sono stati strutturati per indagare l'obiettivo di verificare l'efficacia della VR come strumento di ricerca utile all'analisi dell'impatto dei diversi scenari biofili immersivi multisensoriali sulla produttività e sul comfort degli occupanti nei luoghi di lavoro.

L'*Ecological Validity* del modello virtuale, ovvero la sua capacità di replicare fedelmente l'ambiente reale simulato, è stata analizzata attraverso quattro sezioni del questionario sul senso di presenza e immersività (IPQ): apprezzamento grafico (GA), presenza spaziale (SP), coinvolgimento (INV): si intende il coinvolgimento, e realismo sperimentato (REAL)

all'interno del modello. Questi quattro attributi (GS, REAL, INV, SP) sono stati confrontati con studi precedenti simili, e hanno rivelato che l'IVE ha creato un eccellente livello di presenza e immersività. Inoltre, l'analisi condotta con il questionario sulla Cybersickness (VRSQ) non ha rivelato nessun disturbo elevato, ad eccezione di una moderata difficoltà di messa a fuoco, riportata dal 25% dei soggetti, causata dalle immagini leggermente sfocate proiettate dal visore che hanno portato anche a un moderato affaticamento degli occhi nell'8% dei soggetti. Tuttavia, l'analisi della letteratura ha rivelato la stessa tendenza a sviluppare questi sintomi. Pertanto, si conclude che, tramite le analisi delle risposte date nell'IPQ e nel VRSQ, si può affermare la validità ecologica del modello virtuale creato.

Per quanto riguarda l'impatto dell'esposizione a elementi biofilari multisensoriali, è stata analizzata inizialmente la produttività, confrontando i set di dati dei test cognitivi ottenuti nei tre scenari audio (O, T, B). Rispetto alla baseline (O) si è voluto verificare se:

- a) il suono biofilo (B) portasse ad un miglioramento della funzione cognitiva in esame;
- b) il rumore del traffico (T) portasse ad un peggioramento della funzione cognitiva.

Inoltre, per trarre una conclusione su quale sia lo scenario migliore ai fini della produttività, è stato voluto verificare anche se:

- c) il suono biofilo (B) ha portato un miglioramento della funzione cognitiva in esame rispetto alla condizione rumorosa (T).

I principali risultati qualitativi e statistici, hanno permesso di concludere che l'ambiente sonoro B non ha migliorato la produttività rispetto alla condizione O (ipotesi a). Per l'ipotesi b, l'ambiente sonoro T non ha peggiorato la produttività rispetto alla condizione O, in accordo con precedente studio [59], con un'eccezione dovuta a un punteggio più basso ottenuto nell'Ospan-score il quale ha determinato un peggioramento della memoria di lavoro del 9% rispetto a O. Diversamente, paragonando B con lo scenario T (ipotesi c) è stato riscontrato un miglioramento statisticamente significativo della produttività, ottenuto per tutte le funzioni cognitive (+79% del task switching, +9÷15% dell'inibizione e della memoria di lavoro).

Per l'indagine del comfort sono stati analizzati i dati ottenuti dal questionario Circumplex Model. In generale, all'ambiente sonoro B sono stati attribuiti aggettivi positivi (es. "Piacevole", "Vivace" e "Felice"), all'ambiente sonoro O aggettivi neutri (es. "Calmo" e "Stabile/Stazionario") e all'ambiente sonoro T aggettivi negativi (es. "Caotico", "Spiacevole" e "Dinamico"). Inoltre, è stato effettuato un confronto degli scenari. I risultati ottenuti hanno evidenziato differenze statisticamente significative tra la percezione degli ambienti acustici B e O, e tra gli ambienti acustici B e T. In particolare, il suono B è stato valutato rispetto ad O come più "Entusiasmante", "Felice", "Piacevole", "Calmo", "Sorpriendente", "Dinamico", "Vivace", e meno "Stabile/Stazionario", "Noioso", "Triste", "Spiacevole", "Caotico". Mentre il suono T, rispetto ad O, come più "Triste", "Dinamico", "Spiacevole", "Caotico", e meno "Felice", "Piacevole", "Calmo", "Stabile/Stazionario". Poiché nessuno studio precedente si è mai occupato di indagare il comfort delle connessioni non visive con la natura (suoni biofilii) in ambienti virtuali immersivi, i risultati ottenuti possono invece ritenersi in linea con quelli ottenuti da chi si è occupato di dimostrare la correlazione tra la presenza di elementi biofilii in generale e la risposta emotiva positiva.

Invece, i set di dati delle misurazioni fisiologiche ottenute nei diversi scenari B e T sono stati confrontati con la baseline di riferimento (scenario O). L'analisi non ha riscontrato un miglioramento dell'ascolto di suoni biofilii nei parametri. Al contrario, è stato ottenuto un peggioramento dei valori fisiologici misurati nella condizione acustica T, indice di un aumento della condizione di stress dei soggetti, ad eccezione del parametro ST per cui non si sono riscontrati cambiamenti rispetto alla baseline. Per questi risultati, non vi sono studi precedenti che abbia indagato i suoni naturali tramite VR, ma, considerando studi tradizionali, i risultati ottenuti nella presente tesi sono analoghi.

Tuttavia, per non incorrere nello sviluppo dei sintomi relativi alla cinetosi, il tempo di esposizione ad ogni scenario acustico è stato di 5 minuti, e questo probabilmente ha

determinato un tempo relativamente breve per valutare in modo completo i cambiamenti nei parametri vitali.

Future ricerche potrebbero sottoporre il soggetto ad un solo scenario acustico per più tempo, magari integrando test cognitivi che richiedono un tempo di esecuzione più lungo.

Con l'analisi dei dati dell'Eye-tracking è stato possibile individuare l'elemento visivo biofilo di maggiore interesse per i soggetti all'interno dell'IBE, sulla base dell'Area Of Interest (AOI) durante la fase di adattamento, ovvero il primo momento di visualizzazione del modello. I risultati hanno indicato che, considerando tutti gli elementi biofilo presenti nell'ambiente, i soggetti hanno concentrato la loro attenzione maggiormente verso la parete verde. Questa, infatti, viene individuata come elemento biofilo dominante per l'IBE sperimentato sia in termini di tempo trascorso a fissare l'elemento biofilo e sia in termini di numero di fissazioni.

Uno step futuro potrebbe essere quello di applicare lo stesso metodo per valutare i dati di tracciamento oculare durante la fase operativa, ovvero quando i soggetti sono impegnati nell'esecuzione dei test cognitivi. In questo modo i dati potrebbero essere utilizzati per misurare l'eventuale livello di distrazione causato dagli elementi biofilo circostanti.

Si conclude che la VR si è rivelata uno strumento efficace per la valutazione di comfort e produttività nelle diverse condizioni di prova, permettendo di confrontare in modo ottimale tra loro le variabili biofile e non.

Studi futuri saranno condotti per sviluppare e completare l'analisi degli scenari visivi (non biofilo, vista verso l'esterno) modellati con la presente tesi, sperimentandoli con lo stesso approccio multi-dominio e multi-sensoriale.

Inoltre, nonostante questi test cognitivi siano ritenuti efficaci, le proposte per degli sviluppi futuri sono quelle di sottoporre i partecipanti ad ulteriori, ampliandone la varietà, ad esempio associando a test di funzioni cognitive anche strumenti di valutazione della comprensione di lettura, che è una comune attività svolta in ambienti di lavoro/studio.

Infine, si potrebbero indagare più a fondo i parametri fisiologici sottoponendo il soggetto ad un solo scenario acustico per più tempo, e somministrando task che richiedano un tempo di esecuzione più lungo.

6. Bibliografia

- [1] T. Hartig, H. Staats, Linking preference for environments with their restorative quality, in: *From Landscape Research to Landscape Planning*, Springer Netherlands, 2007: pp. 279–292. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5363-4_19.
- [2] E. von Lindern, F. Lymeus, T. Hartig, The restorative environment: A complementary concept for salutogenesis studies, in: *The Handbook of Salutogenesis*, Springer International Publishing, 2016: pp. 181–195. https://doi.org/10.1007/978-3-319-04600-6_19.
- [3] M. Nousiainen, H. Lindroos, P. Heino, M. Valta, J. Häkkinen, Restorative environment design Kymenlaakso university of applied sciences publication 2016 restorative environment design content, in: 2016.
- [4] T. Hartig, *Restorative Environments*, 2004.
- [5] R.S. Ulrich, R.F. Simonst, B.D. Lositot, E. Fioritot, M.A. Milest, M. Zelsont, *Stress Recovery during Exposure to Natural and Urban Environments*, 1991.
- [6] S. Kaplan, *The Restorative Environment: Nature and Human Experience*, 1995.
- [7] World Health Organization Regional Office for Europe, *Sick building syndrome* By: World Health Organization Regional Office for Europe, n.d.
- [8] W.D. Browning, C.O. Ryan, J.O. Clancy, 14 *Patterns of Biophilic Design: Improving health & wellbeing in the built environment*, Terrapin Bright Green. 1 (2014) 1–64.
- [9] M. Burchett, *Final Report to Horticulture Australia Ltd Greening the Great Indoors for Human Health and Wellbeing*, 2010.
- [10] B. Browning, C. Cooper, *HUMAN SPACES: The Global Impact of Biophilic Design in the Workplace*, 2015.
- [11] M. Noordzij, T. Verghagen, M. Vollenbroek, E.C. Nelson, *CBRE Healthy Offices - The snowball effect of Healthy Offices*, (2016).
- [12] Kellert SR, Heerwagen J, Mador M, *Biophilic design : the theory, science, and practice of bringing buildings to life*, 2008.
- [13] A. Smith, M. Tucker, M. Pitt, *Healthy, productive workplaces: Towards a case for interior plantscaping*, *Facilities*. 29 (2011) 209–223. <https://doi.org/10.1108/02632771111120529>.
- [14] H. Ikei, C. Song, M. Igarashi, T. Namekawa, Y. Miyazaki, *Physiological and psychological relaxing effects of visual stimulation with foliage plants in high school students*, (2014).

- [15] J. Ayuso Sanchez, T. Ikaga, S. Vega Sanchez, Quantitative improvement in workplace performance through biophilic design: A pilot experiment case study, *Energy Build.* 177 (2018) 316–328. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.065>.
- [16] N. Hähn, E. Essah, T. Blanus, Biophilic design and office planting: a case study of effects on perceived health, well-being and performance metrics in the workplace, *Intelligent Buildings International.* 13 (2021) 241–260. <https://doi.org/10.1080/17508975.2020.1732859>.
- [17] B. Friedman, N.G. Freier, P.H. Kahn, P. Lin, R. Sodeman, Office window of the future? Field-based analyses of a new use of a large display, *International Journal of Human Computer Studies.* 66 (2008) 452–465. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2007.12.005>.
- [18] Y. Al-dmour, V. Garaj, D. Clements-croome, The flourishing of Biophilic workplaces : ‘ Second Home ’ offices as a case study, *Intelligent Buildings International.* 0 (2020) 1–14. <https://doi.org/10.1080/17508975.2020.1807895>.
- [19] S. Aristizabal, K. Byun, P. Porter, N. Clements, C. Campanella, L. Li, A. Mullan, S. Ly, A. Senerat, I.Z. Nenadic, W.D. Browning, V. Loftness, B. Bauer, Biophilic office design: Exploring the impact of a multisensory approach on human well-being, *J Environ Psychol.* 77 (2021) 101682. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2021.101682>.
- [20] C.P. Yu, H.Y. Lee, W.H. Lu, Y.C. Huang, M.H.E.M. Browning, Restorative effects of virtual natural settings on middle-aged and elderly adults, *Urban For Urban Green.* 56 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126863>.
- [21] A.B. Ünal, R. Pals, L. Steg, F.W. Siero, K.I. van der Zee, Is virtual reality a valid tool for restorative environments research?, *Urban For Urban Green.* 74 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127673>.
- [22] D. Valtchanov, C. Ellard, Physiological and affective responses to immersion in virtual reality: Effects of nature and urban settings, 2010. <https://www.researchgate.net/publication/286055436>.
- [23] A. Latini, E. di Giuseppe, M. D’Orazio, C. di Perna, Exploring the use of immersive virtual reality to assess occupants’ productivity and comfort in workplaces: An experimental study on the role of walls colour, *Energy Build.* 253 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111508>.
- [24] F. Pind, C. Jeong, H.S. Llopis, K. Kosikowski, J. Strømmandersen, Acoustic Virtual Reality – Methods and challenges, *Baltic-Nordic Acoustics Meeting.* (2018) 1–11.
- [25] J. Yin, S. Zhu, P. MacNaughton, J.G. Allen, J.D. Spengler, Physiological and cognitive performance of exposure to biophilic indoor environment, *Build Environ.* 132 (2018) 255–262. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.006>.

- [26] J. Yin, N. Arfaei, P. MacNaughton, P.J. Catalano, J.G. Allen, J.D. Spengler, Effects of biophilic interventions in office on stress reaction and cognitive function: A randomized crossover study in virtual reality, *Indoor Air*. 29 (2019) 1028–1039. <https://doi.org/10.1111/ina.12593>.
- [27] Z. Kaan, S.-Y. Yoon, Predicting Brand Experience Performance Using Virtual Reality: A Pilot Study with Automobile Showrooms Featuring Biophilic & Experiential Retail Design Healthcare environments View project, 2019. <https://www.researchgate.net/publication/337059766>.
- [28] J. Yin, J. Yuan, N. Arfaei, P.J. Catalano, J.G. Allen, J.D. Spengler, Effects of biophilic indoor environment on stress and anxiety recovery: A between-subjects experiment in virtual reality, *Environ Int*. 136 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105427>.
- [29] A. Emamjomeh, Y. Zhu, M. Beck, The potential of applying immersive virtual environment to biophilic building design: A pilot study, *Journal of Building Engineering*. 32 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101481>.
- [30] Q. Huang, M. Yang, H. ann Jane, S. Li, N. Bauer, Trees, grass, or concrete? The effects of different types of environments on stress reduction, *Landsc Urban Plan*. 193 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103654>.
- [31] F. Abd-Alhamid, M. Kent, J. Calautit, Y. Wu, Evaluating the impact of viewing location on view perception using a virtual environment, *Build Environ*. 180 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106932>.
- [32] Y.A. Lotfi, M. Refaat, M. el Attar, A. Abdel Salam, Vertical gardens as a restorative tool in urban spaces of New Cairo, *Ain Shams Engineering Journal*. (2020). <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.12.004>.
- [33] S. Yeom, H. Kim, T. Hong, H.S. Park, D.E. Lee, An integrated psychological score for occupants based on their perception and emotional response according to the windows' outdoor view size, *Build Environ*. 180 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107019>.
- [34] D. Haryndia, T. Ayu, Effects of Biophilic Virtual Reality Interior Design on positive emotion of university students responses, 2020. <https://ssrn.com/abstract=3808042>.
- [35] S. Yeom, H. Kim, T. Hong, Psychological and physiological effects of a green wall on occupants: A cross-over study in virtual reality, *Build Environ*. 204 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108134>.
- [36] N. Tawil, I.M. Sztuka, K. Pohlmann, S. Sudimac, S. Kühn, The living space: psychological well-being and mental health in response to interiors presented in virtual reality, *Int J Environ Res Public Health*. 18 (2021). <https://doi.org/10.3390/ijerph182312510>.

- [37] K. Chamilothoni, J. Wienold, C. Moscoso, B. Matusiak, M. Andersen, Subjective and physiological responses towards daylight spaces with contemporary façade patterns in virtual reality: Influence of sky type, space function, and latitude, *J Environ Psychol.* 82 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2022.101839>.
- [38] A. Sedghikhanshir, Y. Zhu, Y. Chen, B. Harmon, Exploring the Impact of Green Walls on Occupant Thermal State in Immersive Virtual Environment, *Sustainability (Switzerland)*. 14 (2022). <https://doi.org/10.3390/su14031840>.
- [39] N. Kim, J. Gero, Neurophysiological Responses to Biophilic Design: A Pilot Experiment Using VR and EEG Biomimetic Inspired Architectural Design View project Design Neurocognition View project, 2022. <https://www.researchgate.net/publication/359892380>.
- [40] L.A. Sharam, K.M. Mayer, O. Baumann, Design by nature : The influence of windows on cognitive performance and affect, *J Environ Psychol.* 85 (2023) 101923. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2022.101923>.
- [41] S. Roundtable, *The Nature of the Post-Pandemic Workplace*, n.d.
- [42] T. Hong, M. Lee, S. Yeom, K. Jeong, Occupant responses on satisfaction with window size in physical and virtual built environments, *Build. Environ.* (2019).
- [43] Faul F., Erdfelder E., Buchner A., Lang A.-G., Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses., *Behav Res Methods.* (2009). <https://www.psychologie.hhu.de/arbeitsgruppen/allgemeine-psychologie-und-arbeitspsychologie/gpower> (accessed January 10, 2023).
- [44] J.A. Russell, A circumplex model of affect, *J Pers Soc Psychol.* 39 (1980) 1161–1178. <https://doi.org/10.1037/h0077714>.
- [45] Ö. Axelsson, M.E. Nilsson, B. Berglund, A principal components model of soundscape perception, *J Acoust Soc Am.* 128 (2010) 2836–2846. <https://doi.org/10.1121/1.3493436>.
- [46] W.H. Ko, S. Schiavon, H. Zhang, L.T. Graham, G. Brager, I. Mauss, Y.W. Lin, The impact of a view from a window on thermal comfort, emotion, and cognitive performance, *Build Environ.* 175 (2020) 106779. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106779>.
- [47] H.K. Kim, J. Park, Y. Choi, M. Choe, Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment, *Appl Ergon.* 69 (2018) 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.12.016>.
- [48] A. Latini, E. di Giuseppe, M. D’Orazio, Immersive virtual vs real office environments: A validation study for productivity, comfort and behavioural research, *Build Environ.* (2023) 109996. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2023.109996>.

- [49] Empatica Health Monitoring Platform for Research Studies, (n.d.). <https://www.empatica.com/en-eu/company/#contacts> (accessed January 19, 2023).
- [50] Cockos, REAPER Digital Audio Workstation, (2022). <https://www.reaper.fm/> (accessed November 1, 2022).
- [51] Sennheiser, AMBEO, (2022). [https://www.sennheiser-sites.com/responsive-manuals/AMBEO_VR_MIC/EN/index.html#page/AMBEO VR Mic/VR_MIC_04_Software_EN.4.1.html](https://www.sennheiser-sites.com/responsive-manuals/AMBEO_VR_MIC/EN/index.html#page/AMBEO_VR_Mic/VR_MIC_04_Software_EN.4.1.html) (accessed November 1, 2022).
- [52] HMS II.3 LN, Fullband artificial head with very low inherent noise, (n.d.). <https://www.head-acoustics.com/products/artificial-head-binaural-recording/hms-ii3-ln> (accessed December 7, 2022).
- [53] Marialuisa Diodato, *La Postazione di Lavoro al Videoterminale*, Bologna, n.d.
- [54] M. Saxena, *Windows and Offices: A Study of Office Worker Performance and the Indoor Environment*, 2003. <https://www.researchgate.net/publication/328416566>.
- [55] DeltaOHM HD32.1 Datalogger per la Misura del Microclima, (n.d.). <https://www.deltaohm.com/it/support/software/datalog-10/> (accessed January 20, 2023).
- [56] S. Yeom, H. Kim, T. Hong, M. Lee, Determining the optimal window size of office buildings considering the workers' task performance and the building's energy consumption, *Build Environ.* 177 (2020) 106872. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106872>.
- [57] K. Chamilothoni, J. Wienold, M. Andersen, Adequacy of Immersive Virtual Reality for the Perception of Daylit Spaces: Comparison of Real and Virtual Environments, *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America.* 15 (2019) 203–226. <https://doi.org/10.1080/15502724.2017.1404918>.
- [58] F. Abd-Alhamid, M. Kent, C. Bennett, J. Calautit, Y. Wu, Developing an Innovative Method for Visual Perception Evaluation in a Physical-Based Virtual Environment, *Build Environ.* 162 (2019) 106278. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106278>.
- [59] A. Latini, S. di Loreto, E. di Giuseppe, M. D'Orazio, C. di Perna, V. Lori, F. Serpilli, Assessing people's efficiency in workplaces by coupling immersive environments and virtual sounds, in: *Smart Innovation, Systems and Technologies, 2022*: pp. 120–129. https://doi.org/10.1007/978-981-19-8769-4_12.
- [60] N. Unsworth, R.P. Heitz, J.C. Schrock, R.W. Engle, An automated version of the operation span task, *Behav Res Methods.* 37 (2005) 498–505. <https://doi.org/10.3758/BF03192720>.

- [61] J. Li, G. Wang, Z. Wang, W. Wang, H. Chen, M. He, Comparative study of the physiological and psychological effects of forest and urban auditory stimulus on humans, *International Journal of Geoheritage and Parks*. 9 (2021) 363–373. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2021.09.001>.
- [62] iMotions Software Products, (n.d.). <https://imotions.com/blog/learning/best-practice/eye-tracking/> (accessed January 23, 2023).
- [63] M.; Bernardini, G.; Gregorini, B.; Quagliarini, E.; D’Orazio, How do visitors perceive the architectural heritage? Eye-tracking technologies to promote sustainable fruition of an artistic-valued hypogeum, *TEMA*. 7 (2021).
- [64] F. Abd-Alhamid, M. Kent, J. Calautit, Y. Wu, Evaluating the impact of viewing location on view perception using a virtual environment, *Build Environ*. 180 (2020) 106932. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106932>.