



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CAMERINO

SCUOLA DI ARCHITETTURA E DESIGN “E. VITTORIA”

CORSO DI LAUREA IN

Design per l’innovazione digitale

TITOLO DELLA TESI

CONTINUUM THREAD

Il riflesso del gesto come motore dell’intelligenza luminosa

Laureando/a

Nome Aurora Simoni

Firma *Aurora Simoni*

Relatore

Nome.....Davide Paciotti.....

Firma.....*Davide Paciotti***.....**

Se presente eventuale Correlatore indicarne nominativo/i

Pierluigi Antonini

ANNO ACCADEMICO

2024/2025

ABSTRACT

Il presente lavoro di tesi documenta la progettazione e lo sviluppo di Continuum Thread, un sistema di illuminazione task lighting adattivo e bio-centrico, concepito per rispondere alle crescenti criticità ergonomiche e fisiologiche degli ambienti di lavoro contemporanei. Partendo da un'analisi cronobiologica sull'impatto della luce sui ritmi circadiani e sulla soppressione della melatonina, il progetto si pone l'obiettivo di superare i limiti dei sistemi di illuminazione statica tradizionale attraverso l'implementazione di tecnologie IoT e human centric lighting (HCL).

L'elemento centrale dell'innovazione risiede nell'integrazione di una logica di controllo algoritmica basata su microcontrollore Raspberry Pi, capace di modulare dinamicamente la temperatura di colore e l'intensità luminosa, sia in una modalità automatica che manuale, in funzione dell'orario e delle specifiche necessità dell'utente. Oltre alla componente biologica, il dispositivo introduce un sistema di interazione fluida basato sull'inseguimento spaziale della mano del lavoratore sul piano di lavoro, garantendo un'illuminazione costante e priva di zone d'ombra. Il progetto si distingue inoltre per un approccio di retrofit dato dalla modifica dei componenti metallici preesistenti in alluminio e ottone, e per l'integrazione di parti custom realizzate tramite stampante 3D.

Infine, l'ecosistema digitale del progetto include un'app mobile orientata al design persuasivo, che opera in sinergia con i feedback fisici del dispositivo. La lampada è infatti dotata di indicatori LED dedicati che avvertono l'utente in tempo reale in caso di sovraccarico luminoso o di un'esposizione spettrale non coerente con il ciclo circadiano. Il sistema monitora attivamente se l'utente scelga di assecondare il segnale o ignorarlo ed elabora questi dati per fornire una reportistica giornaliera sull'igiene luminosa e sensibilizzare la persona sul rischio di alterazioni del sonno. A questa funzione educativa si affianca la versatilità hardware garantita dalle uscite USB-C per la ricarica rapida dei dispositivi. Continuum Thread si configura così come un complemento d'arredo intelligente, in grado di armonizzare il benessere fisiologico del lavoratore con l'efficienza funzionale richiesta dal workspace moderno.

INDICE

CAPITOLO 1	7
1.1 Introduzione al capitolo	8
1.2 The First Purpose-built Office	9
1.3 L'impatto della rivoluzione industriale: disponibilità di spazio	12
1.4 Action office 1&2	15
1.5 Virtual office - Il ruolo della tecnologia	16
1.6 Activity based working	18
1.7 Timeline	20
1.8 Coworking space	22
1.9 Il profilo dell'utente: a chi si rivolge il nuovo spazio di lavoro?	25
CAPITOLO 2	26
2.1 Introduzione al capitolo	27
2.2 Il sistema di ricezione dello stimolo: l'occhio e la retina	28
2.3 Risposte umane alla radiazione ottica: gli effetti visivi	31
2.4 Discomfort biologico e sistema circadiano	32
2.6 Il ruolo della melatonina e la sensibilità spettrale	34
2.7 Gli ipRGC: il legame con il ritmo circadiano	35
2.8 Implicazioni applicative: la logica di controllo dinamico	36
2.9 Il cronotipo (morningness vs eveningness)	38
CAPITOLO 3	40
3.1 Introduzione al capitolo	41
3.2 Il deficit di illuminamento e l'inadeguatezza della luce	42
3.3 La risposta del design: human-centric lighting e illuminazione integrativa	44
3.4 Tra marketing e strategia progettuale	45
CAPITOLO 4	46
4.1 Introduzione al capitolo	47
4.2 L'inquadramento del persuasive design e la captology	48
4.3 Il Fogg behavior model (FBM) applicato alla postazione di lavoro	49
4.4 Analisi del grafico FBM: la curva di attivazione	50
4.5 Prospettive future: verso un'architettura narrativa e sostenibile	53
4.6 Casi studio	54
CAPITOLO 5	57
5.1 Collaborazione azienda TOOY	58
5.2 Introduzione al progetto	60
5.3 Concept e funzionalità	61
5.4 Architettura hardware del progetto	74
5.5 Diagramma di flusso	76
5.6 Introduzione al manufatto	78
5.7 Analisi hardware pre-esistente	79
5.9 Elenco delle componenti elettroniche	81
5.11 Dimensionamento delle componenti	90
5.12 Schema di connessione	92
5.13 Tavole tecniche	94
5.14 Posizionamento dei sensori per il calcolo dell'illuminamento	110
5.15 Layout di disposizione	113
5.16 Calcolo della massa	115
5.17 Calcolo della masse delle componenti	116

5.18 Analisi tecnologica e processo produttivo dell'artefatto	117
5.19 Rilavorazione meccanica e adattamento strutturale	119
5.20 Prototipazione e fabbricazione digitale dei componenti su misura	124
5.21 Istruzioni di smontaggio	128
5.22 Render	132
5.23 Foto	149
Conclusioni	156
BIBLIOGRAFIA & SITOGRAFIA	158

CAPITOLO 1

L'EVOLUZIONE DELL'UFFICIO

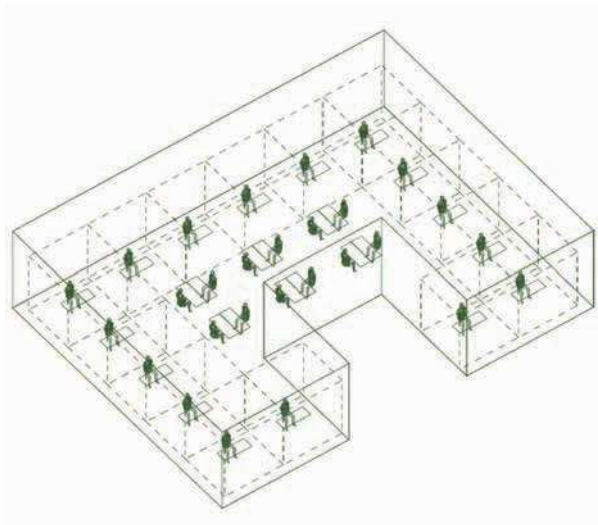
Dai primi open space al co-working

1.1 Introduzione al capitolo

Il concetto di spazio di lavoro ha subito trasformazioni radicali nel corso dell'ultimo secolo, passando dall'essere un luogo puramente funzionale e rigido a un ecosistema fluido, in cui si intrecciano architettura, tecnologia e benessere psicofisico dell'utente. L'obiettivo di questo primo capitolo non è quello di tracciare una storiografia esaustiva di ogni singola tipologia di ufficio esistita, ma piuttosto di analizzare quei modelli architettonici specifici che hanno segnato dei veri e propri punti di rottura, cambiando per sempre il nostro modo di vivere la scrivania. L'analisi si concentrerà su tre salti paradigmatici fondamentali: l'introduzione delle facciate continue in vetro a metà del Novecento, che ha radicalmente ridefinito il rapporto tra ambiente interno e luce naturale; la successiva rimozione delle barriere fisiche con l'avvento dell'open space; e infine l'attuale frammentazione della postazione nell'era dello smart working e degli spazi ibridi.

Analizzare questi passaggi chiave è fondamentale per comprendere come siano nate le criticità moderne legate all'abbagliamento, alla distrazione visiva e alla perdita di confini spaziali. Solo capendo i limiti dell'ambiente lavorativo di oggi, infatti, è possibile giustificare la necessità di un nuovo approccio al design dell'illuminazione: non più un oggetto statico che illumina una stanza, ma uno strumento personale, adattivo e interattivo, capace di supportare la concentrazione e la salute dell'utente in un mondo del lavoro sempre più ibrido.

1.2 The First Purpose-built Office



Il termine “ufficio” viene tradizionalmente definito come «una stanza, un insieme di stanze o un edificio utilizzato come luogo per lo svolgimento di attività commerciali, professionali o burocratiche». La sua etimologia affonda le radici nel termine latino officium, che indica letteralmente “l’esecuzione di un compito” [1]. È intuitivo comprendere come lo svolgimento di qualsiasi mansione richieda, per sua natura, uno spazio fisico di supporto.

Nel corso del tempo, di pari passo con l’evoluzione delle metodologie lavorative, anche il design dei luoghi di lavoro ha subito profonde trasformazioni, in particolar modo nell’ambito delle mansioni amministrative e manageriali. Storicamente, il concetto di ufficio ha assunto le forme più eterogenee: una singola stanza, un edificio di culto o, in determinati contesti storici, intere città hanno assolto a questa funzione.

Tuttavia, è solo nel XVIII secolo che assistiamo alla comparsa di edifici progettati esclusivamente per la gestione burocratica di un’organizzazione. Nel 1726 fu costruito a Londra il The Old Admiralty (noto anche come Ripley building), concepito per gestire l’enorme mole di documenti commerciali generata dalla Royal British Navy. Questa struttura rappresenta, di fatto, il primo edificio nella storia costruito appositamente per uso ufficio [2].

Il successo operativo del The Old Admiralty diede il via a una rapida diffusione di architetture simili: ne è un chiaro esempio la sede della East India Company, inaugurata solo tre anni più tardi, nel 1729. Ben presto, la necessità pratica di disporre di poli amministrativi centralizzati per la gestione delle organizzazioni divenne imprescindibile, portando alla proliferazione di edifici direzionali in tutta Londra [3].

[1] The future history of the government workplace - (<https://www.civilservice.blog.gov.uk/>)

[2] English Oxford languages - (<https://languages.oup.com/google-dictionary-en/>)

[3] Mansson, H. (2021). The history of the office: office trends through the centuries. HubbleHQ.

Questa prima fase storica offre una prospettiva chiara su come il design degli uffici sarebbe stato concepito in futuro: creare spazi dedicati per mansioni specifiche.

Da quel momento, l'architettura dei luoghi di lavoro si è trasformata radicalmente, spinta da una molteplicità di fattori trainanti quali i cambiamenti economici, la ricerca dell'efficienza produttiva, l'innovazione tecnologica e, sempre più centrale nel panorama contemporaneo, il benessere sociale e psicofisico dell'individuo. Nelle sezioni seguenti verrà tracciata una breve panoramica di come i paesaggi lavorativi siano mutati nel corso dell'ultimo secolo e di quali siano state le forze motrici alla base di questa evoluzione.

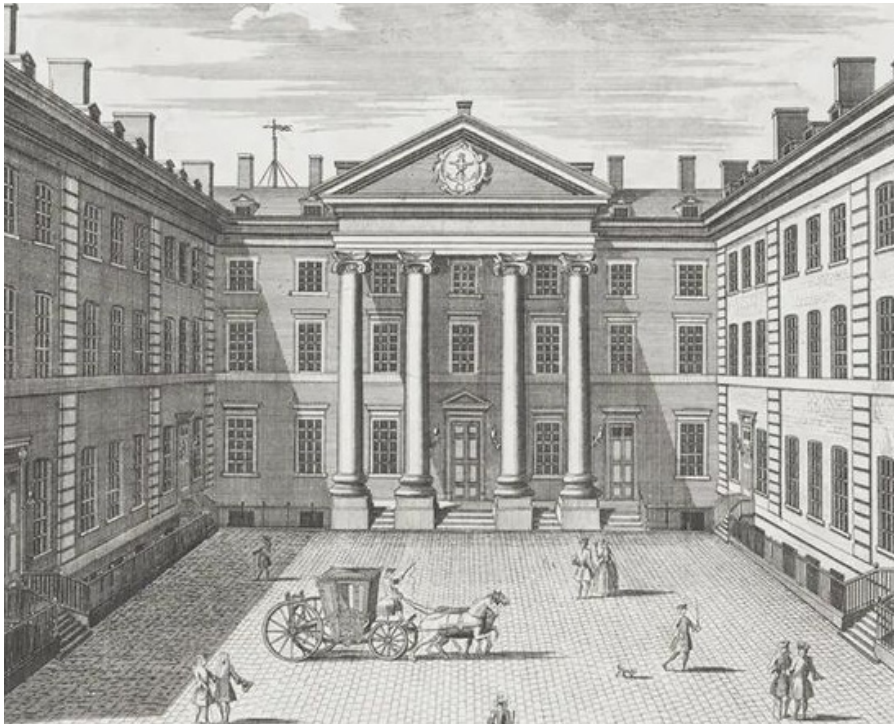


Figura.1
- The Admiralty (Ripley Building) nel 1760.

Progettato dall'architetto Thomas Ripley e ultimato a Londra nel 1726, questo edificio a tre piani con planimetria originaria a ferro di cavallo, noto all'epoca come The Admiralty e oggi come Ripley Building, rappresenta a tutti gli effetti il primo complesso direzionale della storia. Dal punto di vista puramente architettonico, la struttura non presentava elementi di particolare rilievo, aderiva in modo marcato agli stili dominanti dell'epoca; la sua importanza storica risiede quasi esclusivamente nella sua innovativa destinazione d'uso.

Al suo interno, l'edificio ospitava un ecosistema lavorativo e di rappresentanza completo: uffici operativi, saloni di stato, una sala riunioni direzionale (board room) e appartamenti privati destinati ad alcuni Lord. Nel 1788, l'aggiunta di una facciata a schermo ne modifica la planimetria, conferendogli un volume a pianta rettangolare. A dimostrazione della longevità di questa tipologia spaziale, l'edificio è ancora oggi operativo ed è utilizzato dalla sezione per lo Sviluppo Internazionale del Foreign, Commonwealth, and Development Office britannico [4].

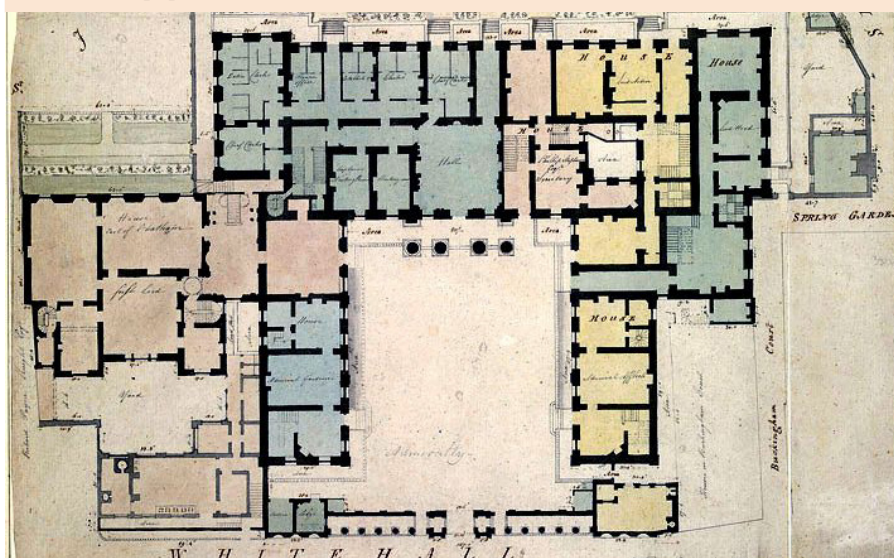
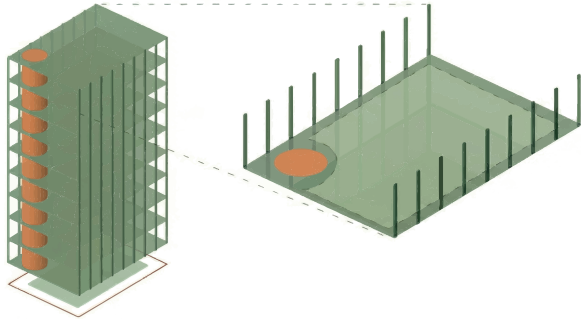


Figura.2
- The Admiralty complex nel 1794(pianta).

[4] Wikiwand. (s.d.). Admiralty (United Kingdom). Disponibile all'indirizzo: <https://www.wikiwand.com/en/Admiralty>

1.3 L'impatto della rivoluzione industriale: disponibilità di spazio



All'inizio del Novecento, l'evoluzione delle tecniche costruttive ha portato a innovazioni fondamentali come le facciate continue in vetro (curtain walls), le strutture a telaio in acciaio, gli ascensori, l'elettricità, i controsoffitti e l'aria condizionata. Questi cambiamenti hanno reso possibile costruire in altezza, riempiendo le città americane di grattacieli completamente vetrati. Allo stesso tempo, le nuove tecnologie di comunicazione, come il telegrafo, hanno permesso alle aziende di separare fisicamente gli uffici dalle fabbriche. Tutto questo ha dato ad architetti e designer una libertà progettuale enorme: potevano finalmente creare spazi ampi, senza grossi vincoli strutturali e ben illuminati da tutti i lati.

Per la progettazione degli uffici è stato un vero punto di svolta. I grattacieli permettevano di ospitare moltissimi dipendenti senza occupare troppo suolo (il cosiddetto footprint). Le piante libere (open plan) garantivano tanta luce naturale, che poteva essere gestita o integrata facilmente con quella artificiale. In più, l'aria condizionata centralizzata creava un ambiente protetto e isolato dagli sbalzi termici e dallo smog della città. C'erano quindi tutte le basi per modernizzare radicalmente gli spazi di lavoro degli impiegati (i cosiddetti white-collar) [5].

Un esempio perfetto di questo nuovo approccio, molto attento all'ottimizzazione degli spazi, è il Seagram Building di New York, progettato da Mies van der Rohe. Anche se occupa solo una parte del lotto disponibile, l'edificio si solleva dalla piazza lasciando a vista solo le lobby d'ingresso, i blocchi di servizio (service cores) e la struttura portante. I piani superiori sono concepiti a pianta libera, pensati per garantire la massima flessibilità nell'organizzazione degli spazi. L'esterno dell'edificio è una facciata continua in vetro grigio topazio, studiata appositamente per ridurre il calore del sole ma permettere comunque alla luce naturale di illuminare in profondità gli uffici [6].

[5] Morgan Lovell. (s.d.). The evolution of office design.

[6] ArchDaily. (2022). AD Classics: Seagram Building / Mies van der Rohe.

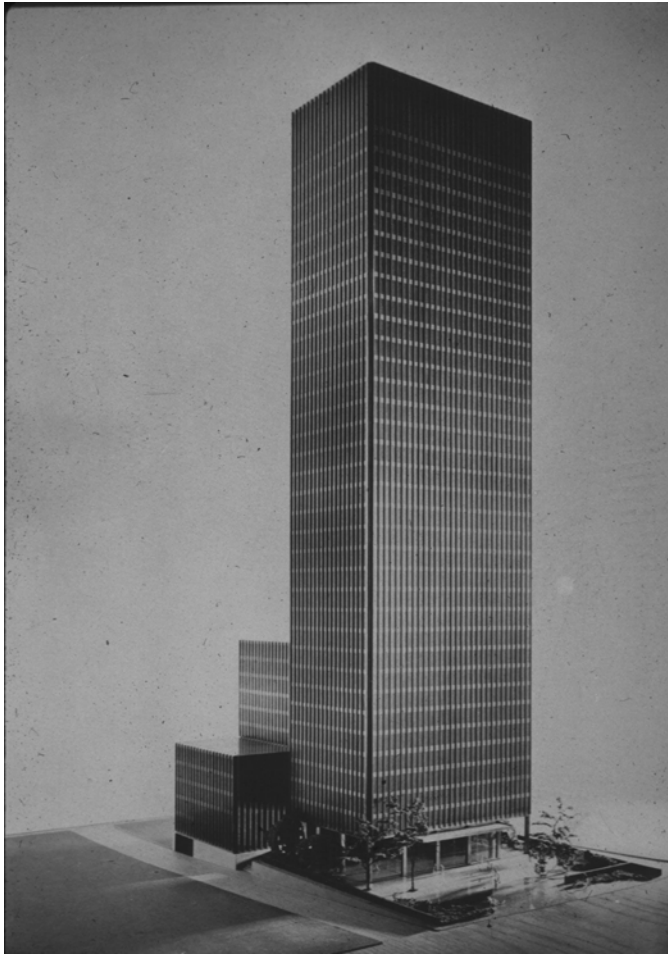
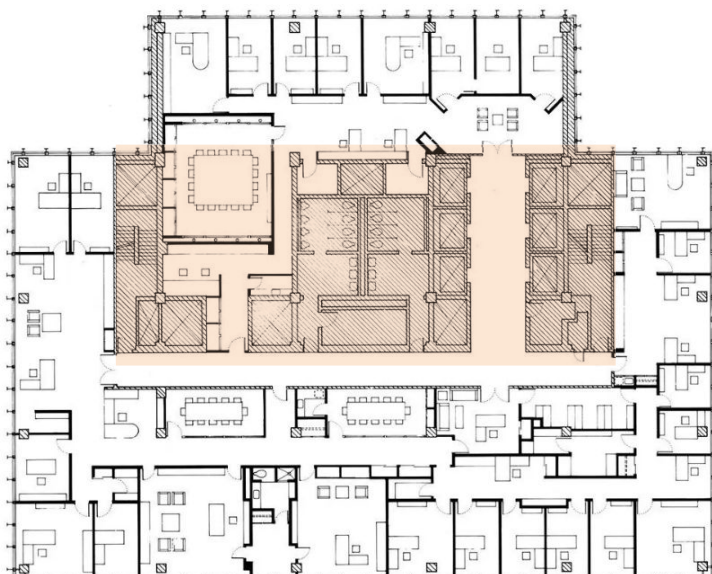


Figura.3
- Edificio Seagram.
Disegnato da Mies Van
Der Rohe e completato nel
1958.



● Spazi di servizio

Figura.4
- Pianta dell'edificio
Mies Van Der Rohe

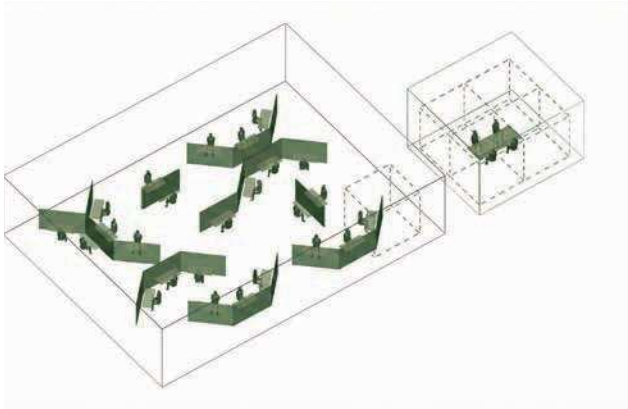


Oltre all'uso innovativo del vetro, c'è un dettaglio progettuale del Seagram Building che riguarda direttamente l'illuminazione e che lo rende cruciale per questa analisi. Per fare in modo che l'edificio risultasse sempre ordinato se visto dall'esterno, Mies van der Rohe impose un limite rigoroso: le tende interne potevano essere regolate solo in tre posizioni fisse (completamente aperte, a metà, o chiuse). Inoltre, gli interni furono dotati di un sistema pionieristico di "soffitti luminosi" a luce fluorescente, progettati per inondare l'intero piano con una luminosità forte e omogenea.

Questo approccio, seppur avveniristico per gli anni '50, ha generato un effetto collaterale che ci portiamo dietro ancora oggi: la standardizzazione del comfort visivo e la perdita di controllo da parte dell'utente. Il lavoratore diventava un soggetto passivo all'interno di una "scatola di vetro". La luce era uguale per tutti e rimaneva statica per tutta la giornata lavorativa. Chi aveva la scrivania vicino alla vetrata subiva spesso l'abbagliamento solare (glare), mentre chi lavorava nelle zone più centrali dipendeva totalmente dalla luce artificiale piatta dei controsoffitti, perdendo ogni contatto con la variazione naturale della luce diurna.

È esattamente in questo contesto architettonico che nasce il problema dell'illuminazione statica generalizzata: un modello che non tiene conto né delle esigenze visive specifiche del singolo task, né tantomeno del ritmo biologico dell'individuo.

1.4 Action office 1&2



Negli anni '60, la progettazione degli uffici diventa una vera e propria industria a sé stante. Le grandi aziende di arredamento, fiutando l'affare delle forniture di massa, iniziano a investire in ricerca per capire come migliorare il "paesaggio" lavorativo. Dopo anni di studi e prototipi, nel 1968 l'azienda Herman Miller lancia sul mercato un sistema d'arredo chiamato Action Office 1. L'idea di base era rivoluzionaria: offrire ai dipendenti una soluzione per l'ufficio flessibile e personalizzabile. Tuttavia, i costi di produzione erano così elevati che il prodotto non ebbe successo.

L'azienda decise di riprovarci poco dopo con un secondo modello, decisamente più accessibile dal punto di vista economico, che ottenne un riscontro enorme sul mercato. Questo sistema seguiva linee guida molto simili a quelle che oggi chiamiamo Activity-Based-Working (la progettazione basata sull'attività da svolgere), promuovendo un approccio quasi "fai da te" all'organizzazione della scrivania. Anche se si trattava "solo" di un'invenzione legata all'arredamento, l'Action Office ha un'importanza storica vitale: per la prima volta, l'utente finale veniva coinvolto attivamente nel processo di configurazione del proprio spazio [7].

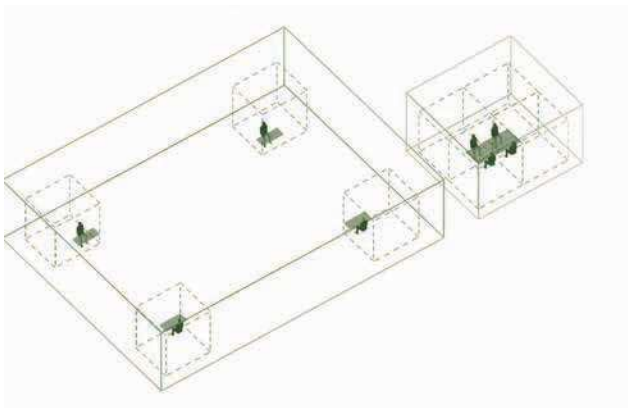
L'intento originario era quindi quello di restituire al lavoratore il controllo sul proprio micro-ambiente. Purtroppo, nei decenni successivi, per ragioni di pura ottimizzazione degli spazi da parte delle aziende, questa visione utopica è rapidamente degenerata nel famigerato modello dei "cubicoli" (le cosiddette cubicle farms degli anni '80 e '90). In queste configurazioni l'utente si ritrovava isolato in spazi angusti, spesso lontanissimo dalle finestre e illuminato solo da neon artificiali a basso costo, con conseguenze disastrose sull'ergonomia visiva.



Figura.4
- Action Office 1, 1968.

[7] Nast, C (2014). The cubicle you call hell was designed to set you free.

1.5 Virtual office - Il ruolo della tecnologia



L'accesso pubblico al World Wide Web nei primi anni '90 ha segnato l'inizio di una nuova era in quasi tutti gli aspetti della vita quotidiana. La tecnologia digitale stava per diventare la vera protagonista del panorama lavorativo e, di conseguenza, anche l'office design ne fu profondamente influenzato.

L'aspetto più dirompente di questa rivoluzione fu la nuova accessibilità alle informazioni. I computer portatili (laptop) iniziavano ad avere costi accessibili, il che significava che i lavoratori non erano più fisicamente vincolati alla stessa scrivania per tutta la giornata. L'arrivo di tecnologie come le e-mail, le prime connessioni internet dial-up, la digitalizzazione dei documenti e i telefoni cellulari resero le comunicazioni infinitamente più semplici e veloci. Dal punto di vista urbanistico e architettonico, le aziende non avevano più l'obbligo di concentrare tutti gli uffici nel centro delle metropoli; le sedi potevano ora essere disseminate in più città o persino in nazioni diverse [8].

L'arrivo del personal computer e degli schermi retroilluminati sulle scrivanie, tuttavia, cambiò radicalmente anche l'ergonomia visiva della postazione. Il piano di lavoro smise di essere solo una superficie per la lettura e la scrittura su carta, trasformandosi in un'interfaccia tecnologica. Questo cambiamento epocale rese improvvisamente obsoleti i vecchi sistemi di illuminazione: la tradizionale luce diffusa dai controsoffitti o le vecchie lampade fisse da tavolo iniziarono a creare gravi problemi di abbagliamento sui monitor (screen glare), portando a un drastico aumento dell'affaticamento visivo.

[8] The Muse. (s.d.). This is why open offices replaced cubicles.

Parallelamente all'evoluzione dell'illuminazione, gli anni '90 videro nascere un modello di business immobiliare del tutto inedito: i primi uffici virtuali. Nacquero agenzie che offrivano ad aziende e professionisti un indirizzo di prestigio in una posizione centrale, fornendo al contempo servizi amministrativi di base condivisi (come reception, fotocopiatrici, fax e sale conferenze). Invece di affittare un intero piano a una singola organizzazione, gli spazi venivano frammentati e venduti sotto forma di "servizi" a diverse entità. Questa frammentazione creò le basi per il lavoro da remoto, permettendo alle aziende di operare in più sedi controllate a distanza da un unico hub centrale.

Questo concetto di ufficio flessibile non rimase confinato al solo mercato americano. Un esempio emblematico in Europa è rappresentato da Regus: fondata a Bruxelles nel 1989 e oggi attiva a livello globale, l'azienda lanciò nel 1998 un servizio pionieristico chiamato LINK. È interessante notare come questo modello di business si sia evoluto nel tempo, gettando letteralmente le basi per l'odierno concetto di co-working. La rapida accettazione di questi nuovi spazi condivisi dimostra quanto il mondo del lavoro si stesse adattando rapidamente ai continui progressi tecnologici.



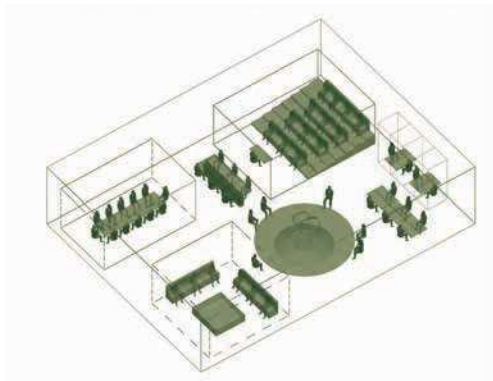
Figura.5
- Regus.

La reazione architettonica a questa estrema flessibilità, unita alla necessità delle aziende di abbattere i costi immobiliari, ci porta direttamente al modello dominante degli ultimi vent'anni: il ritorno all'open space totale e l'esplosione del coworking.

Oggi, le barriere fisiche sono state quasi completamente abbattute per favorire la collaborazione e la trasparenza. Tuttavia, questa libertà spaziale ha generato una nuova e grave criticità per l'ergonomia cognitiva: il sovraccarico visivo e la distrazione continua. Lavorare in un ambiente privo di filtri fisici significa essere costantemente esposti al movimento dei colleghi, al disordine periferico e a un rumore visivo di fondo che frammenta l'attenzione.

In un contesto in cui l'architettura non fornisce più "muri" per proteggere la concentrazione del singolo, emerge la necessità di trovare nuovi strumenti per isolare l'area di lavoro. Diventa quindi indispensabile usare la luce come strumento di attention management: una fonte luminosa capace di creare confini immateriali e di focalizzare l'attenzione dell'utente unicamente sul proprio task, escludendo le distrazioni esterne.

1.6 Activity based working



Negli ultimi due decenni, la progettazione degli spazi di lavoro ha compiuto passi da gigante. Imparando dagli errori del secolo scorso.

Dall'alienazione dei cubicoli al caos visivo dei primi open space i progettisti hanno riportato al centro del dibattito un concetto fondamentale, a lungo dimenticato negli anni '80: il benessere del lavoratore.

Oggi, le aziende hanno finalmente compreso che esiste una correlazione diretta e proporzionale tra il comfort psico-fisico dei dipendenti e la loro produttività. Ribaltando completamente l'approccio rigido e meccanico del primo Novecento, in cui l'efficienza del processo veniva prima della persona, il design contemporaneo ha messo l'utente al centro del progetto. Nasce così il concetto di Activity-Based Working (ABW), un modello organizzativo che distrugge definitivamente il dogma della soluzione unica per tutti.

In un ufficio basato sull'ABW, i dipendenti non hanno più una scrivania fissa di proprietà, ma scelgono l'ambiente più adatto alla mansione che devono svolgere in quel preciso momento: che si tratti di un'area relax per confrontarsi, di una sala riunioni, o di una postazione isolata per il lavoro di massima concentrazione. Sebbene applicata oggi con tecnologie avanzate, l'essenza di questa ideologia affonda le radici nelle intuizioni dell'Action Office del 1968: lo spazio non può essere uguale per tutti, ma deve essere task-specific, ovvero specifico per l'attività da svolgere [9]. Un esempio eccellente di questa filosofia è l'headquarter di Microsoft nei Paesi Bassi (Microsoft NL). L'edificio è concepito come un ecosistema flessibile in cui la tecnologia è perfettamente integrata per massimizzare sia il benessere che la produttività. [10]

[9] Aihini, D. (2019). An interview with the founders of activity-based work, Veldhoen + Co. Robin Powered Blog.

[10] Archello. (s.d.). Microsoft HQ Amsterdam: D/dock.



Figura.6
- Microsoft NL Amsterdam
, Amsterdam, Headquarters
2018.

Tuttavia, in un contesto fluido come quello dell'activity based working o dell'attuale hot-desking (l'uso di scrivanie condivise a rotazione), emerge una nuova sfida per l'ergonomia. Se la scrivania diventa una postazione temporanea, come fa l'utente a mantenere il controllo sul proprio comfort visivo ed energetico? L'illuminazione generale dell'edificio, per quanto ben progettata, non può adattarsi alle esigenze specifiche di chi si siede in quel momento. Diventa quindi necessario ripensare la luce della scrivania: non più un semplice arredo, ma un vero e proprio dispositivo personale e adattivo, capace di trasformare istantaneamente qualsiasi piano d'appoggio temporaneo in una postazione di lavoro ottimizzata, familiare e biologicamente corretta.

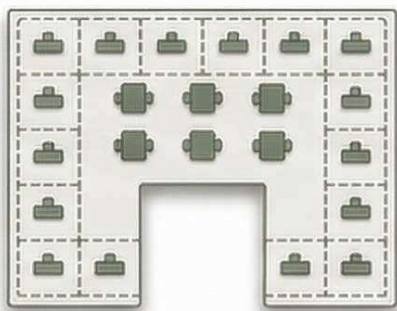
[11] Giang, V. (2014). 6 Incredible businesses that started in a garage. American express - business class: trends and insights.

[12] Coworker. (2013). coworking can change the world: amariit charoenphan at TE-DxChiangMai 2013.

1.7 Timeline

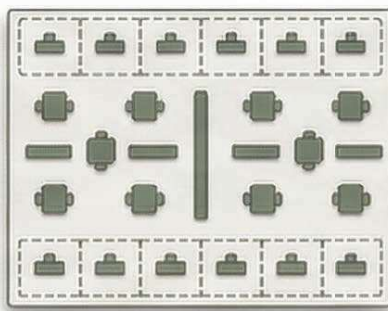
First office

L'ufficio originale conteneva una combinazione di uffici individuali e sale riunioni.



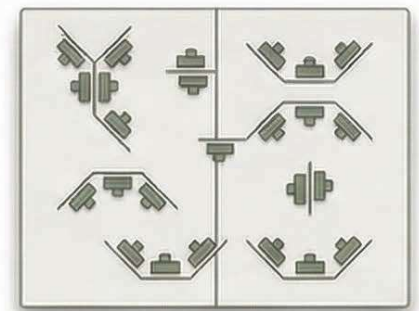
Open plan

Nell'America aziendale era utilizzato un approccio più umanizzato al metodo di progettazione taylorista.



Action office

Originariamente era composto d'arredi che davano all'ufficio molta più mobilità e libertà di personalizzare lo spazio di lavoro.



Before 19th Century

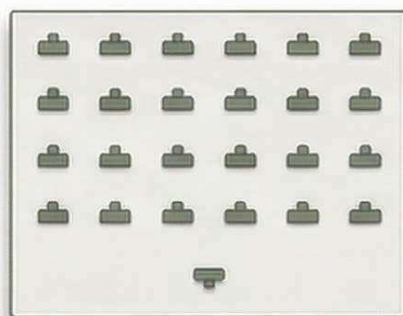
1900s

1930s

1950s

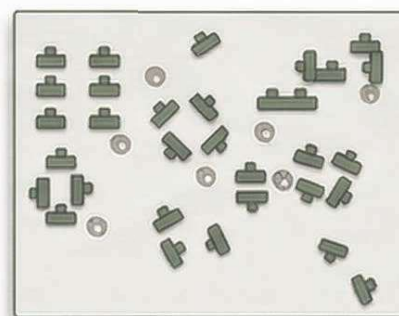
1960s

1970s



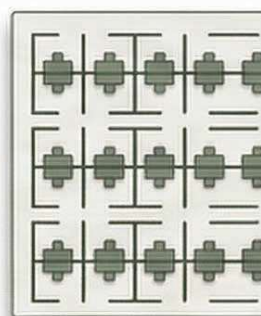
Taylorismo

L'ufficio taylorista era caratterizzato da una disposizione a file di lavoratori che venivano controllati da un supervisore.



Bürolandschaft

La disposizione dell'arredamento nell'ufficio permetteva ai lavoratori di sedersi ovunque si sentissero adatti a svolgere i propri compiti.

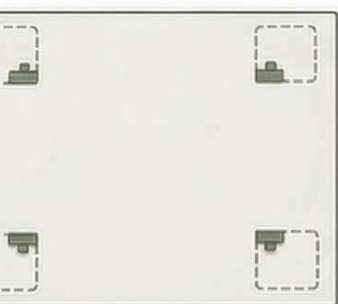


Cubicle farm

L'organizzazione degli uffici prevedeva una disposizione gerarchica e postazioni individuali delimitate da pannelli fonoassorbenti, in configurazioni chiuse su lati.

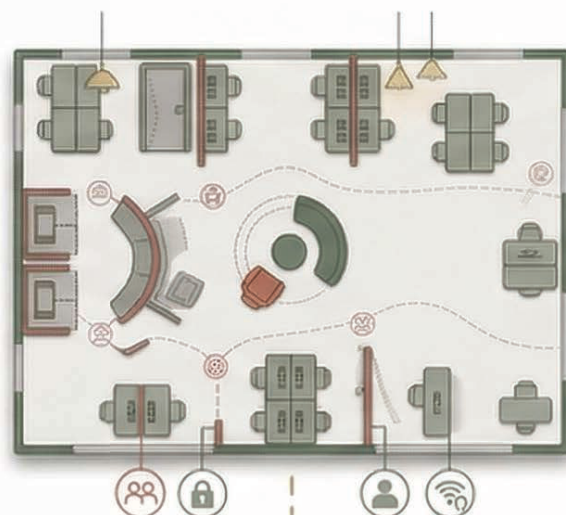
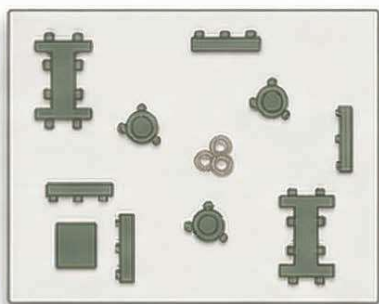
Virtual office

La tecnologia consente la possibilità di creare un ufficio/ non ufficio che poteva trovarsi in due posti contemporaneamente.



Casual office

L'ufficio contemporaneo si caratterizza per un ambiente più libero con colori e materiali particolari e vivaci.



1992 1995

2000s

2005

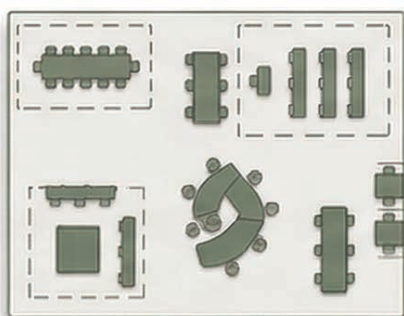
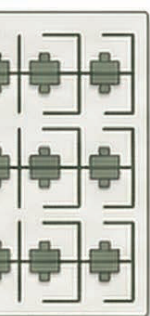
2010s

2020

2026

Co-Working

Oggi La frammentazione della postazione richiede strumenti personali e adattivi capaci di trasformare qualsiasi piano d'appoggio in una postazione biologicamente corretta.



Activity based working

Questa metodologia progettuale offriva una varietà di spazi pensati per adattarsi alle specifiche esigenze dell'utente.

1.8 Coworking space

Come visto ripercorrendo l'evoluzione dell'architettura aziendale, il modello dell'ufficio tradizionale rigido, gerarchico e basato sulla scrivania di proprietà è entrato progressivamente in crisi. In questo contesto di insoddisfazione spaziale e organizzativa che si afferma il fenomeno del coworking.

Tuttavia, è fondamentale inquadrare il coworking non semplicemente come un'alternativa al lavoro domestico, ma come una vera e propria radicale reinvenzione dello spazio ufficio stesso.

In questi nuovi ambienti, i metri quadri non vengono più assegnati in modo permanente a un singolo individuo o a un singolo dipartimento. Al contrario, l'ufficio si trasforma in un ecosistema fluido e condiviso: enormi open plan, aree lounge per il networking, e ampi tavoli condivisi (hot-desking) sostituiscono i vecchi uffici chiusi ed i cubicoli.

Questa filosofia spaziale ha avuto un impatto così influente da "contagiare" non solo freelance e startup, ma le stesse aziende tradizionali. Oggi, i nuovi headquarter aziendali sono progettati internamente seguendo le esatte dinamiche di un coworking: i dipendenti non hanno più una scrivania fissa, ma ruotano liberamente all'interno dell'edificio in base all'attività da svolgere.



Se da un lato questo modello spaziale massimizza la flessibilità, l'ottimizzazione immobiliare e la collaborazione, dall'altro introduce una nuova e complessa sfida per l'ergonomia. La smaterializzazione della "propria" scrivania ha infatti sottratto al lavoratore l'ultimo elemento di controllo sul proprio micro-ambiente. In uno spazio ufficio in cui la postazione cambia ogni giorno ed è immersa in un open space condiviso, l'utente è costretto a subire un'illuminazione generale standardizzata, pensata per illuminare la stanza e non per supportare il singolo individuo. In questo contesto di "ufficio fluido", nasce l'urgenza di progettare strumenti personali come sistemi di illuminazione smart e adattivi capaci di restituire all'utente il controllo visivo e biologico sul proprio piano di lavoro, trasformando istantaneamente qualsiasi scrivania anonima in una postazione altamente focalizzata ed ergonomica.

Le origini fisiche e concettuali di questo modello risalgono al 2005, quando il programmatore Brad Neuberg aprì il primo vero e proprio spazio di "coworking" a San Francisco. Neuberg, in cerca di un'alternativa alle rigidità dell'impiego aziendale tradizionale, desiderava l'indipendenza del lavoro autonomo senza però dover rinunciare alla struttura, alla dotazione tecnica e, soprattutto, al senso di comunità tipici di un vero ufficio.

Nacque così l'idea di un ambiente condiviso che offrisse tutti i servizi di una sede aziendale standard: postazioni di lavoro attrezzate, connessione Wi-Fi, sale riunioni e aree ristoro aperte però a liberi professionisti e piccole startup di qualsiasi settore. Dopo una primissima fase sperimentale, il modello dimostrò la sua dirompente validità, innescando una crescita esponenziale della domanda a livello globale e trasformandosi in un vero e proprio movimento architettonico e organizzativo [13].

[13] Di Risio, A. (2021). History of coworking spaces: from 2005 to 2021. Coworking resources.

Nell'adozione di questo nuovo paradigma, l'Italia non è rimasta indietro. Solo tre anni dopo l'esperimento californiano, nel 2008, nasce a Milano il primo vero spazio di coworking italiano, fondato da Massimo Carraro.

Da questa iniziativa pionieristica ha preso vita rete covo, che si è evoluta fino a diventare oggi uno dei network di spazi condivisi più capillari del Paese. Nel corso dell'ultimo decennio, il fenomeno ha registrato una crescita rapidissima, portando anche le principali catene internazionali a stabilirsi con successo nel mercato locale. Sebbene la mappa di densità mostri una distribuzione diversificata su tutto il territorio nazionale, si nota una predominanza nel Nord Italia: secondo uno studio condotto da Businesscoot, nel 2021 si contavano oltre 700 spazi di coworking attivi nella penisola, di cui 472 concentrati nelle sole regioni settentrionali [14].

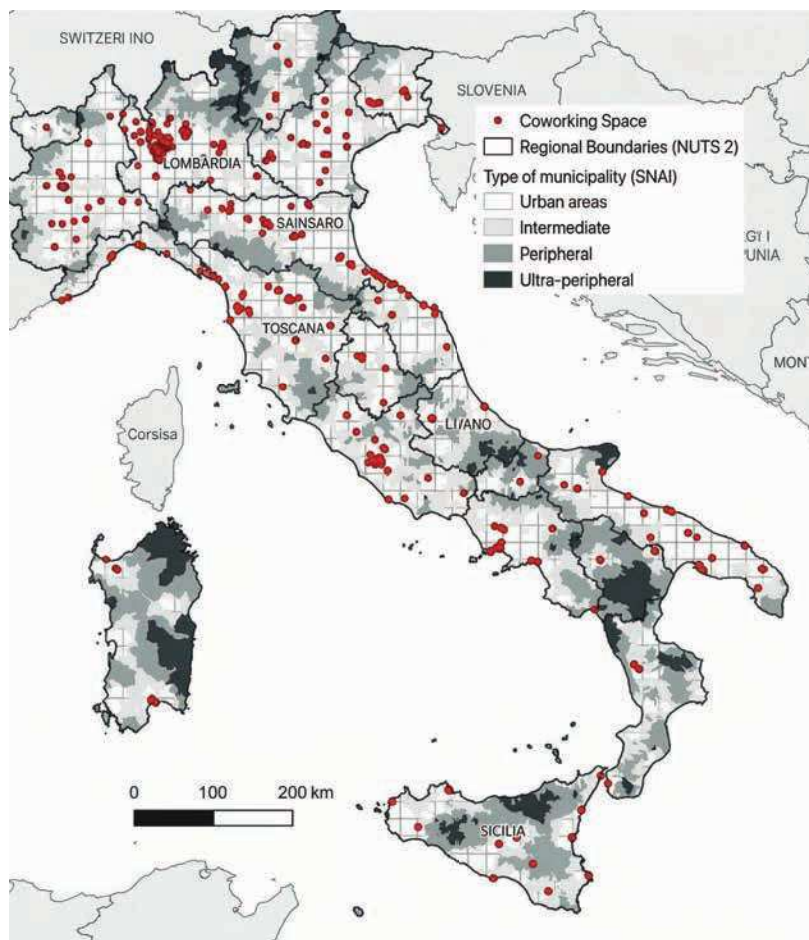


Figura.7
- Distribuzione spazi di
coworking - Italia

[14] Businesscoot. (2021). The coworking market | Italy. <https://www.businesscoot.com/en/study/the-coworking-market-italy>

1.9 Il profilo dell'utente: a chi si rivolge il nuovo spazio di lavoro?

Inizialmente, il modello del coworking era stato concepito quasi esclusivamente per ospitare entità singole, come neo-imprenditori o sviluppatori che necessitavano semplicemente di una connessione e di un piano d'appoggio. Tuttavia, con la maturazione e l'espansione di questo fenomeno, lo spettro degli utenti si è notevolmente ampliato e diversificato. Sebbene sia complesso catalogare ogni singola sfumatura, l'utenza contemporanea degli spazi condivisi si divide principalmente in tre macro-categorie [15].

Startup e neo-imprenditori: come anticipato storicamente, rimangono il target di riferimento originario. Professionisti e founder che, invece di avviare le proprie attività in isolamento domestico (i famosi "garage" degli anni '90), scelgono ambienti stimolanti dove poter lavorare fianco a fianco con realtà affini.

Freelance e liberi professionisti: questa vasta categoria include figure eterogenee come digital marketer, grafici, programmatori, ma anche consulenti legali o contabili. Si tratta di lavoratori a progetto svincolati dal classico orario d'ufficio. Per loro, la priorità assoluta è la flessibilità: non avendo bisogno di occupare una scrivania cinque giorni a settimana, necessitano di postazioni "plug-and-play" pronte all'uso.

Piccole e medie imprese (PMI): il coworking offre una soluzione agile anche per le aziende strutturate che desiderano espandersi senza l'onere di affittare o acquistare immobili. Fornendo spazi chiavi in mano completi di indirizzo fiscale, permette a un imprenditore attento al budget di operare contemporaneamente in più città. Sotto molti aspetti, questa evoluzione può essere considerata la discendente diretta degli "uffici virtuali" nati nel 1995 [16].

Tutte queste categorie, pur essendo profondamente diverse per struttura e obiettivi, condividono oggi un'esigenza fondamentale: la mobilità. Nessuno di loro è più vincolato a una postazione fissa.

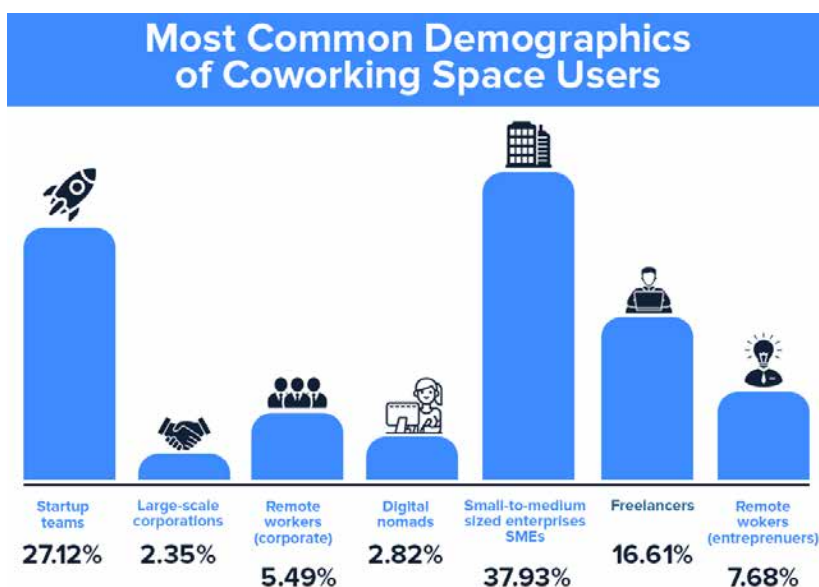


Figura.8
- 2019 CMCAS Official
data report coworker

[15] Tucker, J., n.d. Who uses coworking spaces? Headspace.

[16] Elam, L., 2017. 2018 Global coworking forecast: 30,432 Spaces and 5.1 Million members by 2022 - GCUC Community.



CAPITOLO 2

LA LUCE COME FATTORE BIOLOGICO

Fisiologia visiva e human-centric lighting

2.1 Introduzione al capitolo

L'evoluzione delle esigenze lavorative e spaziali analizzata nel capitolo precedente, unita alle recenti scoperte medico-scientifiche, confluisce oggi in un nuovo paradigma progettuale: lo human centric lighting (HCL).

Questo approccio segna il definitivo superamento di una progettazione illuminotecnica basata esclusivamente su parametri quantitativi e normativi, ponendo invece al centro dell'indagine l'essere umano e le sue necessità biologiche, emotive e psicologiche. Lo HCL si fonda sulla consapevolezza che la luce non è un mero strumento per la visione, ma il più potente sincronizzatore dei nostri ritmi circadiani, capace di regolare il ciclo sonno-veglia, la produzione ormonale e, di conseguenza, lo stato di vigilanza e l'umore dell'individuo. Tuttavia, limitare il concetto di "centralità dell'uomo" alla sola fornitura di una corretta illuminazione generale dell'edificio rischia di essere riduttivo in un contesto contemporaneo fluido e frammentato dove la postazione di lavoro è spesso fonte di un invisibile ma impattante stress visivo e cognitivo.

È esattamente in questo scenario che il progetto di tesi si inserisce, proponendo un'interpretazione estesa e "personale" dello Human Centric Lighting. La luce, portata direttamente sulla scrivania dell'utente, influenza il benessere quotidiano giocando un ruolo cruciale nelle performance cognitive e nella salute psicofisica a lungo termine.

Tuttavia, per sviluppare un dispositivo capace di interagire efficacemente con l'uomo e di modulare la luce in modo realmente benefico, non è sufficiente affidarsi esclusivamente all'integrazione di tecnologie o sorgenti LED avanzate; è necessario prima comprendere a fondo come il nostro corpo riceve ed elabora lo stimolo luminoso.

Per definire le corrette azioni progettuali, come le temperature di colore e le intensità adatte alle diverse fasi della giornata lavorativa, occorre compiere un'analisi di tutte le fasi della percezione della radiazione. L'indagine deve ora concentrarsi sul responsabile fisiologico primario di questa interazione: l'occhio umano.

È infatti utile approfondire il funzionamento delle cellule fotosensibili contenute al suo interno, i fotorecettori, poiché è proprio attraverso la loro stimolazione che la luce cessa di essere un semplice fenomeno fisico e diviene un potente segnale biologico.

2.2 Il sistema di ricezione dello stimolo: l'occhio e la retina

Parallelamente agli studi sulla natura fisica delle onde elettromagnetiche, la biologia ha indagato a lungo i meccanismi attraverso cui l'organismo umano è in grado di captare ed elaborare tali segnali. Come sottolineato in letteratura, l'occhio funge da "mediatore" fondamentale: è l'interfaccia primaria attraverso cui la radiazione luminosa stimola i fotorecettori per essere convertita in impulsi nervosi diretti al cervello [17].

Per comprendere appieno questa dinamica ai fini progettuali, risulta utile l'analogia tra l'anatomia oculare e il funzionamento di un sistema ottico. La luce attraversa una serie di lenti naturali (la cornea, la pupilla e il cristallino) che hanno il compito di mettere a fuoco l'immagine e proiettarla sulla parete di fondo dell'occhio: la retina. Quest'ultima è il componente più affascinante e complesso dell'intero sistema visivo, un vero e proprio "tessuto intelligente" in grado di tradurre l'energia fotonica in un linguaggio elettrochimico decodificabile dal sistema nervoso centrale.

Una volta elaborato dalla retina, il segnale viaggia verso il cervello seguendo due percorsi neurali distinti, la cui comprensione è il fondamento teorico del paradigma human centric lighting:

- La via visiva (image-forming): Il segnale raggiunge la corteccia visiva primaria, situata nel lobo occipitale, permettendo al cervello di elaborare le informazioni spaziali e di percepire forme, colori e movimenti.
- La via non visiva (non-image forming): Un secondo percorso, noto come tratto retino-ipotalamico, bypassa la corteccia visiva e invia le informazioni direttamente all'ipotalamo, più precisamente al nucleo soprachiasmatico (SCN). Quest'area funge da vero e proprio "orologio biologico" centrale, regolando i nostri ritmi vitali in base all'esposizione luminosa e sincronizzando la fisiologia del corpo con l'alternanza naturale di giorno e notte.

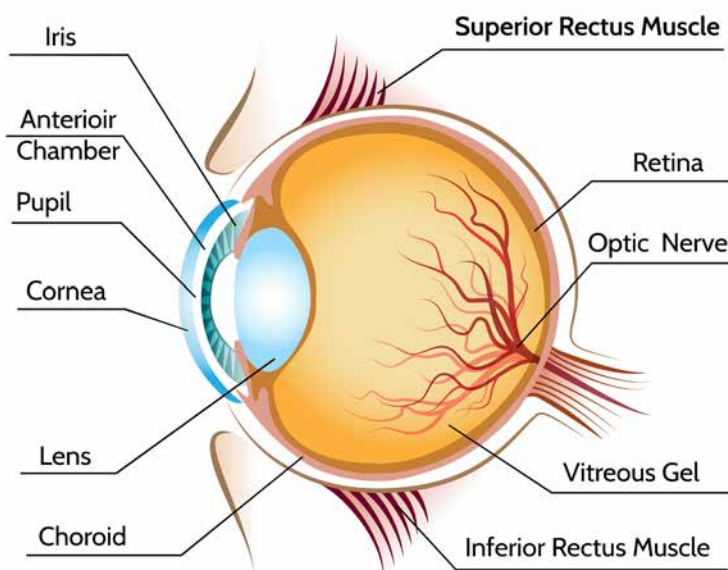


Figura.9
- Anatomia dell'occhio umano

[17] Lucas, R. J., Peirson, S. N., Berson, D. M., Brown, T. M., Cooper, H. M., Czeisler, C. A., ... & Brainard, G. C. (2014). Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends in neurosciences*, 37(1), 1-9.

I protagonisti assoluti della trasduzione di questo segnale sono i fotorecettori, cellule fotosensibili specializzate situate sulla retina. Fino a pochi decenni fa, la comunità scientifica riteneva che esistessero esclusivamente due tipologie di sensori deputati alla visione:

- I Coni: responsabili della visione diurna (visione fotopica), si attivano ad alti livelli di illuminamento e ci permettono di distinguere i colori e percepire i dettagli fini.
- I Bastoncelli: specializzati nella visione notturna (visione scotopica), sono estremamente sensibili alla luce ma incapaci di decodificare le frequenze cromatiche (restituendo una visione in scala di grigi).

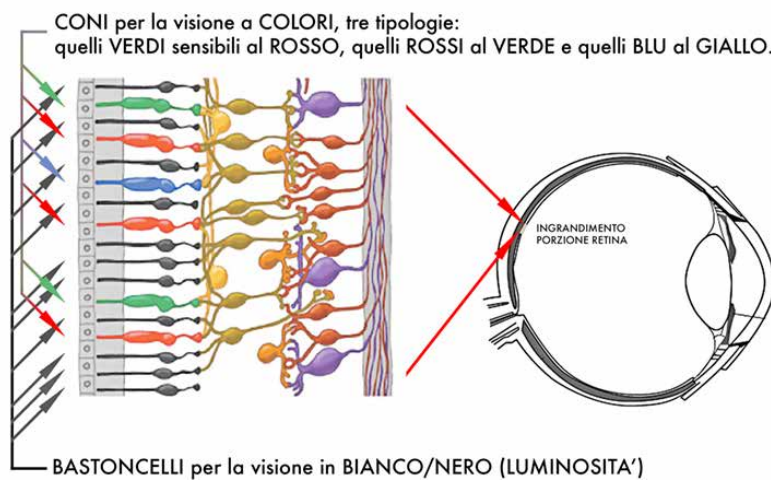


Figura.10
- Coni e bastoncelli dell'occhio umano

Tuttavia, la scoperta che ha radicalmente rivoluzionato l'illuminotecnica contemporanea è avvenuta all'inizio degli anni 2000, con l'individuazione di una terza classe di fotorecettori: le cellule gangliari intrinsecamente fotosensibili (ipRGC - intrinsically photosensitive retinal ganglion cells) [18][19].

Queste cellule non contribuiscono alla formazione delle immagini, ma agiscono come veri e propri sensori di irradianza ambientale. Essendo particolarmente sensibili alle lunghezze d'onda corte (la luce blu tipica del cielo diurno), le ipRGC comunicano in tempo reale con l'orologio biologico, innescando l'attivazione cognitiva durante il giorno o, in assenza di stimolo, favorendo il riposo notturno.

2.3 Gli ipRGC: il legame con il ritmo circadiano

Le recenti scoperte scientifiche hanno dimostrato in modo inequivocabile che i fotorecettori retinici non servono esclusivamente a "vedere". Come anticipato, esiste una terza classe di recettori, le cellule gangliari intrinsecamente fotosensibili (ipRGC), che giocano un ruolo del tutto marginale nella formazione delle immagini, ma risultano determinanti per la regolazione dei cicli biologici dell'organismo [20].

Queste cellule contengono uno specifico fotopigmento, la melanosina, e presentano un picco di sensibilità concentrato attorno ai 480-490 nm, ovvero nella regione della radiazione ottica corrispondente alla luce blu/azzurra. Questa caratteristica fisiologica ha implicazioni fondamentali per il progetto illuminotecnico: significa che le sorgenti luminose ricche di frequenze blu (dette "fredde" o a temperatura di colore elevata) stimolano fortemente gli ipRGC, inviando al cervello un inequivocabile segnale di "giorno" e attivando così lo stato di veglia. Al contrario, una luce priva di queste lunghezze d'onda (calda) riduce la stimolazione, favorendo il rilassamento. La comprensione di questo picco di sensibilità a 490 nm è la chiave ingegneristica e di design per progettare dispositivi capaci di supportare attivamente il benessere psicofisico dell'utente.

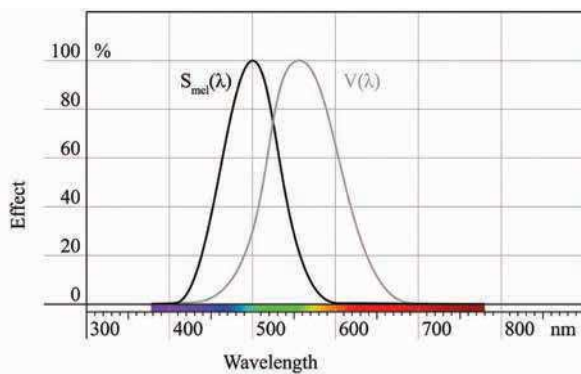


Figura.11
- funzioni di sensibilità spettrale
per la melanopsina e la visione fotonica

[18] Brainard, G. C., Hanifin, J. P., Greeson, J. M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E., & Rollag, M. D. (2001). Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *The journal of neuroscience*, 21(16), 6405-6412.

[19] Thapan, K., Arendt, J., & Skene, D. J. (2001). An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *The journal of physiology*, 535(1), 261-267.

[20] Berson, D. M., Dunn, F. A., & Takao, M. (2002). Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*, 295(5557), 1070-1073.

Lucas, R. J., Peirson, S. N., Berson, D. M., Brown, T. M., Cooper, H. M., Czeisler, C. A., ... & Brainard, G. C. (2014).

2.3 Risposte umane alla radiazione ottica: gli effetti visivi

Le risposte del corpo umano allo stimolo luminoso si dividono in due macro-categorie. La prima è la "risposta visiva" (o image-forming), che rappresenta l'esito immediato dell'elaborazione neurale compiuta dal cervello sugli impulsi inviati dai fotorecettori tradizionali (coni e bastoncelli). Non si tratta di un semplice meccanismo fisiologico che consente la vista, ma di un processo complesso che include la prestazione visiva, l'interpretazione dello spazio e l'esperienza emotiva derivante dall'ambiente.

Dal punto di vista percettivo, la qualità della luce definisce la gerarchia visiva dello spazio: una corretta direzione del flusso luminoso e un equilibrato rapporto tra luci e ombre sono essenziali per la modellazione plastica degli oggetti, esaltandone la tridimensionalità e la texture. È proprio attraverso questi parametri che si determina l'atmosfera percepita, ovvero l'esperienza soggettiva dell'utente all'interno dello spazio architettonico. La luce, infatti, non è un elemento neutro ma possiede una forte carica emotiva, capace di evocare sensazioni di spaziosità, intimità, relax o dinamismo.

Tuttavia, in un contesto prettamente funzionale come quello lavorativo, l'obiettivo primario del progetto non è solo estetico, ma riguarda la massimizzazione del comfort visivo. Comunemente, è più semplice identificare il comfort "per negazione", ovvero come assenza di disagio. Una cattiva illuminazione si manifesta attraverso sintomi clinici tangibili come l'affaticamento oculare (astenopia), causato da una luce insufficiente sul piano di lavoro o, al contrario, da fenomeni di abbagliamento (glare). Quest'ultimo si verifica in presenza di eccessivi contrasti di luminanza nel campo visivo, generati sia dalla luce naturale non filtrata, sia da sorgenti artificiali mal schermate.

A differenza delle risposte biologiche, che presentano un'elevata variabilità soggettiva, la risposta visiva è sostanzialmente uniforme negli esseri umani sani. Questa omogeneità ha permesso di codificare requisiti precisi per garantire che l'illuminazione supporti adeguatamente le attività quotidiane (visual tasks). Oggi disponiamo di strumenti normativi consolidati: la norma europea di riferimento per la progettazione negli ambienti di lavoro è la UNI EN 12464-1 (aggiornata nel 2021) [21]. Questo standard definisce i parametri quantitativi imprescindibili come l'illuminamento medio mantenuto sul piano di lavoro e l'uniformità della distribuzione luminosa che costituiscono la base tecnica (il requisito minimo) su cui innestare le più avanzate funzionalità di benessere proposte in questa tesi.

Tabella 1.3: Uffici

3 Uffici					
N. rif.	Tipo di interno compito o attività	E_m	UGR L	R_a	Note
		lx	-	-	
3.1	Archiviazione, copiatura	300	19	80	
3.2	Scrittura, dattilografia, lettura, elaborazione dati	500	19	80	
3.3	Disegno tecnico	750	16	90	
3.4	Postazioni CAD	500	19	80	
3.5	Sale conferenze e riunioni	500	19	80	L'illuminazione deve essere regolabile
3.6	Ricezione (reception)	300	22	80	
3.7	Archivi	200	25	80	

Figura.12
- UNI EN 12464-1

[21] UNI EN 12464-1:2021. Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni. Ente italiano di normazione (UNI).

2.4 Discomfort biologico e sistema circadiano

Il primo e più pervasivo fattore di stress ambientale negli spazi confinati non riguarda la mera capacità o efficienza visiva, bensì la corretta regolazione dei ritmi vitali. Il sistema circadiano dipende in modo critico dalla luce, che agisce come suo principale sincronizzatore (Zeitgeber).

Quando l'illuminazione all'interno dell'ambiente architettonico, e in particolare sul piano di lavoro, risulta insufficiente per intensità o inadeguata per composizione spettrale, si verifica una profonda frattura tra il tempo solare esterno e il tempo biologico interno dell'individuo. Questa discrepanza genera una desincronizzazione silenziosa che trasforma l'ambiente lavorativo in una fonte cronica di stress fisiologico, portando a quello che viene definito "discomfort biologico".

Data la centralità assoluta di questo meccanismo per la salute sistemica e la produttività dell'occupante, la comprensione delle implicazioni fisiologiche derivanti dalla carenza di luce diviene uno snodo progettuale cruciale. È proprio per arginare questa problematica che i più recenti protocolli internazionali sulla salubrità degli edifici come il WELL Building Standard e le pubblicazioni tecniche della CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) hanno iniziato a definire parametri rigorosi e metriche specifiche, considerati oggi indispensabili per garantire una corretta "igiene luminosa" indoor e prevenire i gravi rischi a lungo termine associati a questa desincronizzazione [22][23].



[22] International WELL building institute (IWBI). (2020). The WELL building standard. Feature L03: circadian lighting design. New York: delos living LLC.

[23] ISO/CIE. (2022). ISO/CIE TR 21783:2022 Light and lighting — Integrative lighting: non visual effects of light. Vienna: CIE Central Bureau.

2.5 Sincronizzazione biologica

Il funzionamento biologico dei mammiferi, e nello specifico dell'essere umano, è scandito da cicli ritmici endogeni che si ripetono con una periodicità di circa 24 ore. A livello microscopico, ogni singola cellula del corpo possiede un proprio ritmo naturale, guidato da un meccanismo interno definito "orologio circadiano cellulare".

Questo sistema locale è fondamentale per la sopravvivenza dell'organismo, poiché regola processi vitali quali il metabolismo, le risposte immunitarie, la funzione mitocondriale e i meccanismi di riparazione del DNA.

Tuttavia, questi miliardi di orologi cellulari periferici non operano in autonomia. Studi cronobiologici hanno dimostrato l'esistenza di una struttura gerarchica coordinata dal nucleo soprachiasmatico (SCN), situato nell'ipotalamo. L'SCN agisce come un vero e proprio master clock (orologio principale), un direttore d'orchestra che sincronizza la vasta rete di orologi periferici, assicurando che le varie funzioni biologiche avvengano nel momento ottimale della giornata. Tra i parametri fisiologici coordinati da questo sistema vi sono la temperatura corporea centrale (CBT - Core Body Temperature), i modelli di metabolismo energetico e, soprattutto, la modulazione dei livelli ormonali, in particolare di cortisolo e melatonina.

L'elemento che garantisce la costante sincronizzazione di questo complesso orologio interno con il mondo esterno è la radiazione luminosa, che funge da principale Zeitgeber.

Tuttavia, questo delicato equilibrio è estremamente sensibile: l'impatto della luce sul ritmo circadiano dipende strettamente dal momento dell'esposizione (timing), generando fenomeni di sfasamento dell'orologio biologico noti come phase shift:

- Ritardo di fase (phase delay): un'esposizione a una luce intensa (o ricca di frequenze blu) durante le prime ore della notte biologica tende a spostare l'orologio "in avanti", ritardando l'insorgenza del sonno e rendendo fisiologicamente difficile il risveglio al mattino.
- Anticipo di fase (phase advance): al contrario, l'esposizione alla luce nelle ultime ore della notte o al primissimo mattino sposta l'orologio "indietro", anticipando i tempi di risveglio e addormentamento.

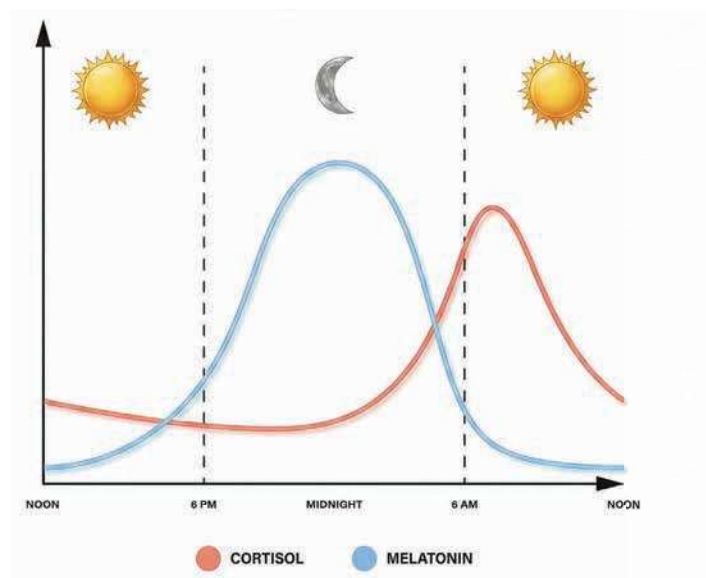


Figura.13

- Ciclo circadiano e andamento dei livelli ormonali di cortisolo e melatonina nell'arco delle 24 ore

2.6 Il ruolo della melatonina e la sensibilità spettrale

Gran parte dell'attuale comprensione del sistema circadiano deriva dallo studio della correlazione tra esposizione luminosa e produzione di melatonina. Questo ormone, una volta secreto nel flusso sanguigno, raggiunge ogni distretto cellulare, fungendo da "messaggero chimico" del buio e sincronizzando l'attività di riposo dell'intero organismo.

Il meccanismo di regolazione è di tipo inibitorio: quando la luce colpisce la retina, le cellule ipRGC si attivano e inviano un segnale diretto al nucleo soprachiasmatico. Quest'ultimo ordina alla ghiandola pineale (epifisi) di interrompere immediatamente la sintesi di melatonina. Essendo questo l'ormone deputato a indurre la sonnolenza, la sua repentina soppressione determina un immediato aumento dello stato di veglia e di allerta.

Un parametro fondamentale per la progettazione illuminotecnica riguarda la specifica qualità della luce in grado di innescare questo processo. La sensibilità spettrale delle ipRGC presenta un picco di massima efficacia nelle lunghezze d'onda corte. Studi di riferimento collocano questo picco attorno ai 460 nm, con una banda di assorbimento significativa (FWHM) di circa 110 nm [13]. Ciò implica che le sorgenti luminose con una forte componente in questa regione (luce fredda) sono le più potenti nel sopprimere la melatonina.

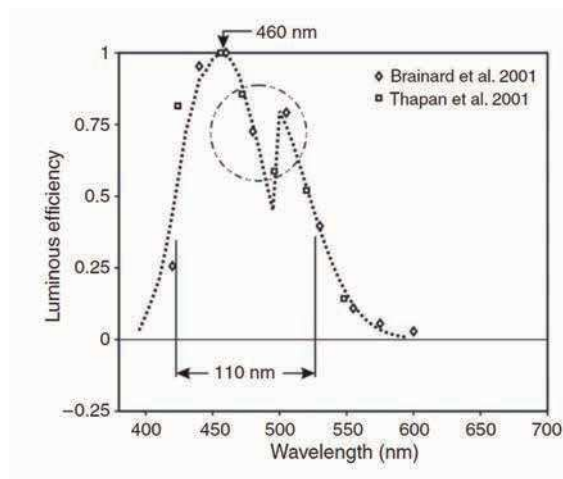


Figura.14
- Curva di sensibilità spettrale per la soppressione della melatonina.

Tuttavia, la scoperta che ha radicalmente rivoluzionato l'illuminotecnica contemporanea è avvenuta all'inizio degli anni 2000, con l'individuazione di una terza classe di fotorecettori: le cellule gangliari intrinsecamente fotosensibili (ipRGC - intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells) [18][19].

Queste cellule non contribuiscono alla formazione delle immagini, ma agiscono come veri e propri sensori di irradianza ambientale. Essendo particolarmente sensibili alle lunghezze d'onda corte (la luce blu tipica del cielo diurno), le ipRGC comunicano in tempo reale con l'orologio biologico, innescando l'attivazione cognitiva durante il giorno o, in assenza di stimolo, favorendo il riposo notturno.

2.7 Gli ipRGC: il legame con il ritmo circadiano

Le recenti scoperte scientifiche hanno dimostrato in modo inequivocabile che i fotorecettori retinici non servono esclusivamente a "vedere". Come anticipato, esiste una terza classe di recettori, le cellule gangliari intrinsecamente fotosensibili (ipRGC), che giocano un ruolo del tutto marginale nella formazione delle immagini, ma risultano determinanti per la regolazione dei cicli biologici dell'organismo [24].

Queste cellule contengono uno specifico fotopigmento, la melanosina, e presentano un picco di sensibilità concentrato attorno ai 480-490 nm, ovvero nella regione della radiazione ottica corrispondente alla luce blu/azzurra. Questa caratteristica fisiologica ha implicazioni fondamentali per il progetto illuminotecnico: significa che le sorgenti luminose ricche di frequenze blu (dette "fredde" o a temperatura di colore elevata) stimolano fortemente gli ipRGC, inviando al cervello un inequivocabile segnale di "giorno" e attivando così lo stato di veglia. Al contrario, una luce priva di queste lunghezze d'onda (calda) riduce la stimolazione, favorendo il rilassamento. La comprensione di questo picco di sensibilità a 490 nm è la chiave ingegneristica e di design per progettare dispositivi capaci di supportare attivamente il benessere psicofisico dell'utente.

[24] Figueiro, M. G., Steverson, B., Heerwagen, J., Kampschroer, K., Hunter, C. M., Gonzales, K., ... & Rea, M. S. (2017). The impact of daytime light exposures on sleep and mood in office workers. *Sleep health*, 3(3), 204-215.

2.8 Implicazioni applicative: la logica di controllo dinamico

Passando dalla teoria neurobiologica all'applicazione pratica del lighting design, gli studi hanno evidenziato schemi operativi di riferimento. L'efficacia della luce nel regolare l'orologio interno dipende dalla temperatura corporea interna (CBT), che raggiunge il suo minimo solitamente verso le 06:00 del mattino (considerando un ciclo di sonno standard 00:00-08:00). Questo orario rappresenta una vera e propria "fase critica": uno stimolo luminoso ricevuto prima o in corrispondenza di questo minimo termico provoca un ritardo di fase, mentre la stessa luce ricevuta successivamente genera un anticipo di fase, supportando il risveglio.

Sulla base di queste inoppugnabili evidenze cronobiologiche, è possibile suddividere la giornata lavorativa dell'utente in tre fasce orarie strategiche, che andranno a costituire la logica di controllo algoritmica del dispositivo progettato:

1. Fase di attivazione (06:00 - 10:00): È necessaria una luce con elevata "potenza biologica" (alta intensità e spettro freddo/blu) per favorire l'anticipo di fase, sopprimere la melatonina residua e garantire l'attivazione cognitiva dell'utente.
2. Fase di mantenimento (10:00 - 18:00): Alti livelli di illuminamento focalizzato (task lighting) servono a mantenere alta la vigilanza e la concentrazione sul piano di lavoro, attenuando progressivamente la componente blu per non provocare sfasamenti eccessivi dell'orologio biologico.
3. Fase di rilassamento (18:00 - 06:00): La priorità si inverte. È imperativo abbattere l'emissione di radiazioni a lunghezza d'onda corta (luce blu), poiché biologicamente troppo attive, fornendo uno spettro caldo che non inibisca la secrezione serale di melatonina, preparando il corpo al naturale riposo.

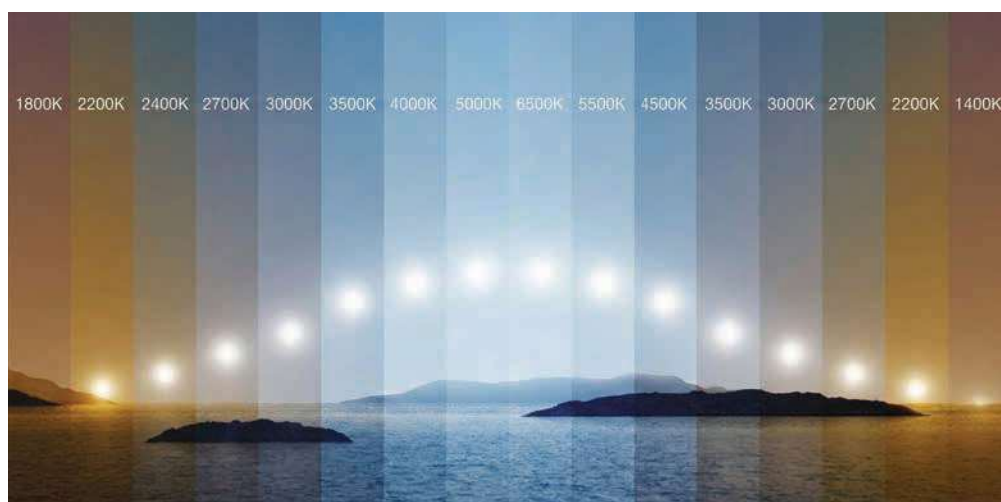


Figura.15

- Variazione della temperatura di colore correlata (CCT) della luce solare nell'arco della giornata, espressa in gradi Kelvin (K).

[25] Smith, M. R., Revell, V. L., & Eastman, C. I. (2009). Phase advancing the human circadian clock with blue enriched polychromatic light. *Chronobiology international*, 26 (2), 287-301. [15] Chang, A. M., Scheer, F. A., & Czeisler, C. A. (2011).

Nella pratica illuminotecnica, la composizione spettrale viene comunemente relazionata alla temperatura di colore correlata (CCT), espressa in gradi Kelvin (K). Esiste una chiara relazione tra la lunghezza d'onda dominante e la CCT:

- Luci calde (2000 K – 3300 K): ricche di lunghezze d'onda lunghe (rosso/arancio), risultano povere di stimolo circadiano e favoriscono il rilassamento.
- Luci neutre (3300 K – 5300 K): offrono un bilanciamento tra comfort visivo e moderata attivazione.
- Luci fredde (> 5300 K): ricche di lunghezze d'onda corte (blu), sono altamente attivanti e sopprimono efficacemente la melatonina.

Nell'ottica di un approccio Human-Centric, volto a sincronizzare i ritmi circadiani, l'utilizzo di apparecchi a temperatura di colore statica risulta limitante. Al contrario, sistemi dinamici dotati di tecnologia tunable white permettono di replicare la variabilità della luce diurna. Le evidenze sperimentali confermano il potere della CCT sull'orologio biologico: in uno studio condotto da Smith, Revell ed Eastman [25], è stato dimostrato che una sorgente a CCT estremamente elevata (17.000 K) con intensità di 4.000 lux produce un ritardo di fase paragonabile a una sorgente neutra (4.100 K) a oltre 5.000 lux.

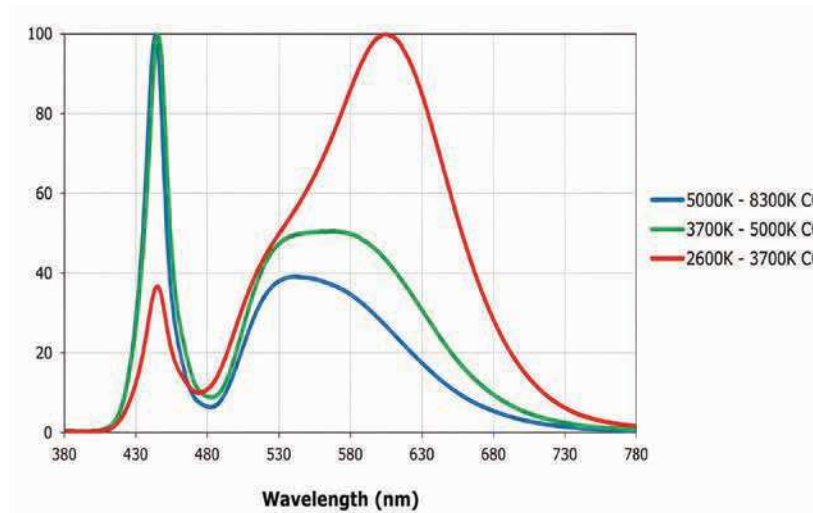


Figura.1.6
- Curva di sensibilità spettrale per la soppressione della melatonina.

Il fattore determinante, capace di influenzare sia la grandezza che la direzione dello sfasamento circadiano (phase shift), è il momento esatto in cui viene somministrato lo stimolo luminoso. Mentre la sensibilità spettrale e l'intensità determinano la "potenza" del segnale, il timing determina l'effetto sull'orologio biologico, secondo il principio della curva di risposta di fase (PRC).

La letteratura scientifica si è concentrata prevalentemente sugli effetti dell'esposizione durante la notte biologica, mentre l'impatto della luce diurna è un campo di indagine più recente. È ormai appurato che l'esposizione alla luce nelle ore serali (dopo il tramonto e nel periodo pre-coricamento) induce un ritardo di fase (phase delay). Questo slittamento spinge l'orologio circadiano in avanti, posticipando il rilascio di melatonina e rendendo fisiologicamente difficile l'addormentamento, con conseguenze negative sulla durata e sulla qualità del sonno.

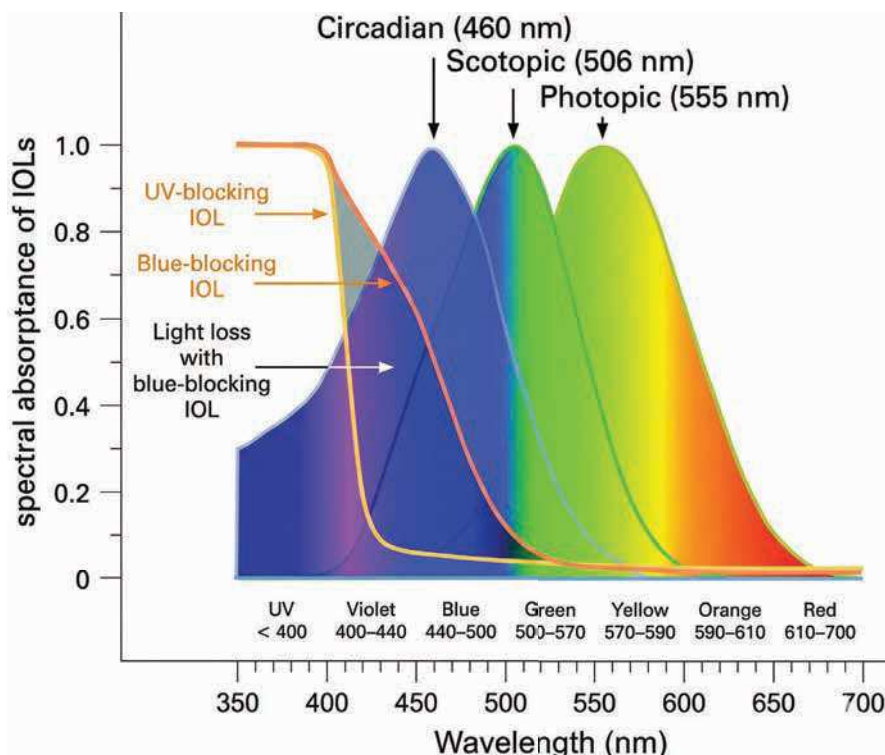


Figura.17
- Curve di sensibilità visiva e assorbanza spettrale.

Studi autorevoli, come quelli condotti da Turner e Mainster [26], stimano che una persona di 60 anni riceva sulla retina circa un terzo della luce che riceve un ventenne esposto alle stesse identiche condizioni ambientali. Per quanto riguarda lo spettro blu circadiano, la perdita è ancora più marcata. Di conseguenza, per ottenere la stessa soppressione di melatonina o lo stesso livello di vigilanza cognitiva, un utente anziano necessita di livelli di illuminamento verticale e di contenuti spettrali blu significativamente superiori rispetto a un utente giovane. Questo dato giustifica pienamente la necessità ingegneristica di dotare i dispositivi task lighting di ampie riserve di potenza luminosa (come i 1500 lumen previsti in questo progetto di tesi) e di avanzate capacità di dimmerazione, per potersi adattare con flessibilità alle diverse età e necessità fisiologiche dell'utenza lavorativa.

2.9 Il cronotipo (morningness vs eveningness)

La seconda variabile fondamentale è il cronotipo, ovvero la predisposizione individuale (parzialmente genetica) che determina la naturale preferenza per gli orari di attività e di riposo. Questa caratteristica divide la popolazione in tre macro-categorie:

- Gufi (tipi serotini): tendono a svegliarsi tardi e raggiungono il picco di attività nelle ore serali. Il loro rilascio di melatonina è fisiologicamente ritardato.
- Allodole (tipi mattutini): si svegliano presto e sono altamente attivi nella primissima parte della giornata.

[26] Turner, P. L., & Mainster, M. A. (2008). Circadian photoreception: ageing and the eye's important role in systemic health. *British journal of ophthalmology*, 92(11), 1439-1444.

- Tipi intermedi: Costituiscono la maggior parte della popolazione.

L'impatto della luce varia drasticamente a seconda del cronotipo. Un'esposizione a una luce fredda e intensa al mattino presto risulta estremamente benefica per i "gufi", poiché favorisce l'anticipo di fase aiutandoli a sincronizzare il loro orologio ritardato con l'orario sociale e lavorativo standard. Al contrario, per un'"Allo-dola" estrema, la stessa dose di luce mattutina potrebbe risultare superflua o persino eccessiva, causando un'indesiderata iperattivazione. La progettazione di un sistema di illuminazione personale (personal circadian light) deve quindi svincolarsi dall'imposizione di cicli rigidi centralizzati per l'intero edificio, consentendo invece al singolo utente di regolare il timing, lo spettro e l'intensità in perfetta armonia con il proprio orologio biologico interno.

A close-up photograph of a hand holding a glowing, coiled wire. The wire is illuminated from within, creating a warm, orange-yellow light that contrasts with the cool blue background. The hand is positioned in the upper right, with fingers gently gripping the wire. The overall composition is artistic and evocative, suggesting themes of light, design, and human interaction.

CAPITOLO 3

TASK LIGHTING E PERFORMANCE COGNITIVA

La risposta del design allo stress visivo

3.1 Introduzione al capitolo

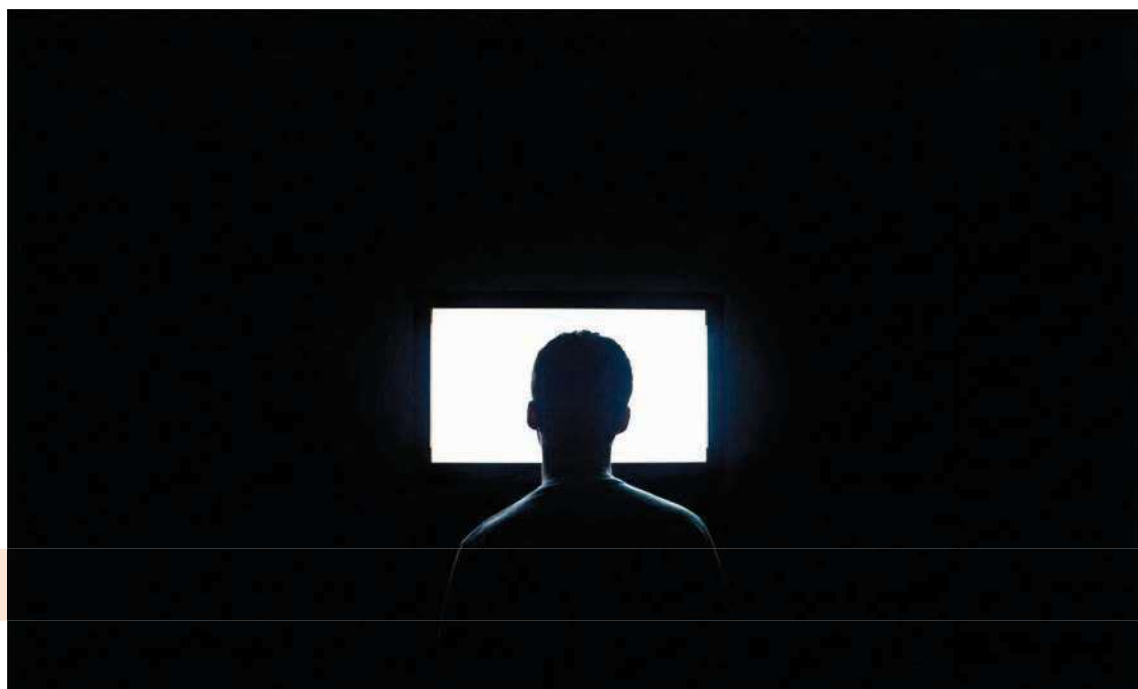
La qualità dell'ambiente di lavoro non è una condizione statica, ma un ecosistema dinamico in cui molteplici fattori fisici interagiscono costantemente con la fisiologia e la psicologia dell'occupante. Dopo aver analizzato i complessi meccanismi attraverso i quali la luce agisce come fondamentale sincronizzatore biologico, è ora necessario traslare questi principi teorici nello spazio fisico dell'ufficio contemporaneo. In questo scenario, l'illuminazione cessa di essere un semplice elemento di sfondo: quando non è adeguata alle reali esigenze dell'individuo, diventa una causa diretta di affaticamento visivo e psicofisico. Tali fattori non compromettono solo il comfort a breve termine, ma innescano ricadute negative sulla salute e sull'efficienza cognitiva a lungo termine. Il presente capitolo definisce il quadro delle criticità quotidiane vissute dall'utente alla propria postazione — dal deficit di illuminamento all'adeguatezza della luce generale delineando i problemi specifici che il dispositivo progettato in questa tesi intende risolvere.

Attraverso l'analisi del concetto di task lighting e delle sue implicazioni sulla vigilanza e sulla produttività, si tratterà il passaggio verso una nuova consapevolezza progettuale: l'Illuminazione Integrativa. Questa visione non si limita alla fornitura di un flusso luminoso statico, ma propone un sistema dinamico capace di supportare attivamente l'essere umano, ponendo le basi per un design realmente human-centric.

3.2 Il deficit di illuminamento e l'inadeguatezza della luce

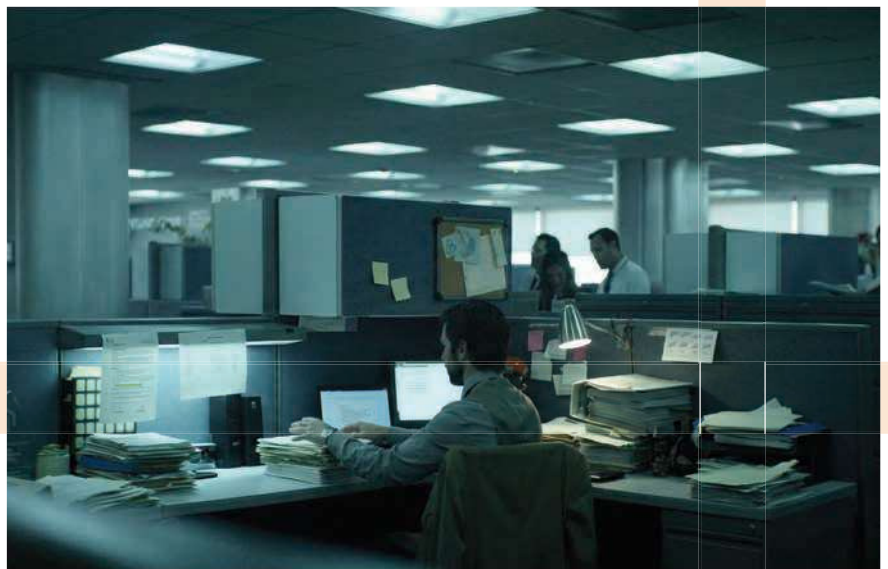
Nel moderno scenario lavorativo sempre più caratterizzato da modelli ibridi, hot-desking e spazi condivisi il lavoratore si trova frequentemente a operare in ambienti non ottimizzati per le sue specifiche necessità. Il problema più diffuso e sempre trascurato è l'eccessiva dipendenza dall'illuminazione generale dell'edificio. I sistemi di illuminazione installati a soffitto sono tradizionalmente progettati per garantire un livello di luce medio e uniforme sull'intera pianta della stanza, rispondendo a requisiti normativi standardizzati per la sicurezza e la viabilità. Tuttavia, questo approccio si rivela spesso inadeguato quando si scende alla scala del singolo individuo: ostacoli fisici, ombre proiettate dal corpo stesso dell'utente o dai monitor, e la distanza dalla sorgente luminosa generano un frequente e severo deficit di illuminamento sul piano di lavoro (la scrivania).

Quando la luce sul piano visivo primario risulta insufficiente o mal direzionata, l'utente va incontro a un rapido deterioramento del comfort. Il sintomo clinico più immediato è l'affaticamento oculare, noto in ambito medico come astenopia [27]. Questo disturbo si manifesta con secchezza oculare, bruciore, cefalea e visione offuscata. Inoltre, il deficit visivo innesca una reazione a catena sul piano ergonomico: per compensare la scarsa visibilità, il lavoratore è istintivamente indotto ad assumere posture scorrette ad esempio curvandosi in avanti verso i documenti o avvicinandosi eccessivamente allo schermo innescando tensioni muscolo-scheletriche croniche a carico della zona cervicale e lombare [28].



[27] Blehm, C., Vishnu, S., Khattak, A., Mitra, S., & Yee, R. W. (2005). Computer vision syndrome: a review. *Survey of ophthalmology*, 50(3), 253-262.

[28] Hemphälä, H., & Janssen, D. (2006). Lighting, visual demands and neck/shoulder musculoskeletal disorders. *WORK: a journal of prevention, assessment and rehabilitation*, 26(4), 435-442.



3.3 La risposta del design: human-centric lighting e illuminazione integrativa

Se da un lato l'esposizione incontrollata alla luce artificiale rappresenta un comprovato fattore di rischio per l'insorgenza di disturbi del sonno e patologie a lungo termine, dall'altro la luce stessa costituisce la soluzione progettuale primaria, a patto che venga modulata per assecondare i reali fabbisogni biologici dell'organismo. Grazie al contributo sinergico di neuroscienziati, cronobiologi e lighting designer, si è giunti oggi a una nuova consapevolezza progettuale che ha trovato la sua rigorosa formalizzazione nel concetto di Illuminazione Integrativa (Integrative Lighting). La Commissione Internazionale per l'Illuminazione (CIE) la definisce ufficialmente come:

"Un'illuminazione che integra specificamente effetti sia visivi che non visivi e produce effetti fisiologici e/o benefici psicologici sull'uomo." [22]

Parallelamente alla terminologia accademica, il settore industriale e il mercato internazionale hanno adottato la dicitura Human-Centric Lighting (HCL) o "illuminazione circadiana". Per definire questa strategia in modo operativo e misurabile, risulta fondamentale fare riferimento al WELL building standard, uno dei protocolli internazionali più avanzati per la salubrità degli edifici, che descrive il design circadiano come una metodologia intenzionale e scientificamente fondata:

"Circadian lighting design is an intentional method of artificial lighting that supports human health by aligning light exposure with the body's natural 24-hour biological clock, or circadian rhythm. This design modulates light intensity and spectral composition throughout the day to stimulate non-visual biological responses effectively." [23]

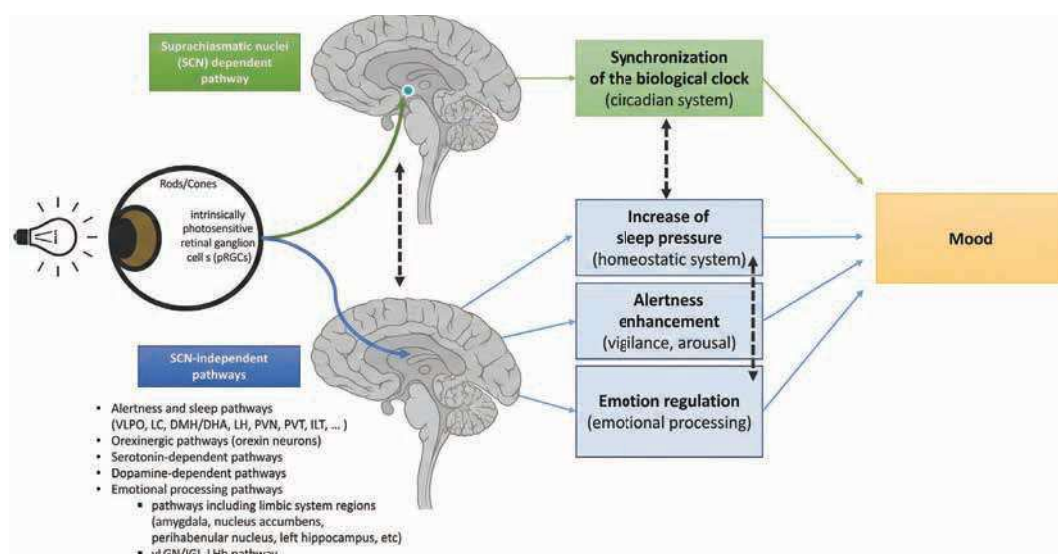


Figura.18

- Rappresentazione schematica dei percorsi neurali per la mediazione degli effetti non visivi della luce.

3.4 Tra marketing e strategia progettuale

Nel panorama contemporaneo, è lecito chiedersi se la definizione Human-Centric Lighting rappresenti una concreta metodologia scientifica o se sia divenuta principalmente una leva di marketing. La realtà del mercato comprende entrambi gli aspetti: sebbene il termine sia ampiamente utilizzato dai produttori per promuovere nuove tecnologie LED, esso sottende una reale evoluzione nella pratica del design, che sposta definitivamente il focus dalla semplice efficienza energetica al benessere olistico dell'utente.

Tuttavia, esiste una distinzione sostanziale nell'applicazione. Mentre l'approccio commerciale tende spesso a ridurre l'HCL a un "bollino" da applicare sul singolo prodotto hardware, la visione progettuale corretta definita propriamente come Illuminazione Integrativa considera la complessa interazione tra dispositivo, ambiente e logica di controllo algoritmica.

A definire i confini operativi e normativi di questa strategia interviene nuovamente la pubblicazione tecnica della CIE, che chiarisce l'applicazione del termine attraverso tre note fondamentali [11]:

- Note 1: *The term 'integrative lighting' applies only to humans.*
- Note 2: *Lighting primarily for therapeutic purposes (light therapy) is not included.*
- Note 3: *The term 'human centric lighting' is used with a similar meaning.*

Queste precisazioni istituzionali sono cruciali per l'esatta definizione del progetto di tesi. La Nota 2, in particolare, sancisce che l'illuminazione integrativa non coincide con la terapia medica (light therapy). Di conseguenza, il dispositivo Task Lighting progettato non si configura come uno strumento terapeutico per il trattamento clinico di patologie, bensì come un sistema di supporto ergonomico e preventivo al benessere quotidiano. Il prodotto utilizza la tecnologia Human-Centric come manifesto di un design attento e subordinato ai ritmi biologici dell'essere umano.



A silhouette of a person wearing a long coat and a hat, standing with their back to the camera. They are holding a bag in their right hand. Behind them is a large, glowing pink circular light source, creating a halo effect. The floor is dark and reflective, showing a faint reflection of the person and the light source.

CAPITOLO 4

IL DESIGN PERSUASIVO

La lampada come agente di cambiamento comportamentale

4.1 Introduzione al capitolo

Nei capitoli precedenti è emerso quanto sia complessa la rete di fattori ambientali che determinano la salubrità di una postazione di lavoro. Si è visto come la luce agisca da “regista” dei nostri ritmi biologici e come il deficit di illuminamento causi astenopia e tensioni posturali. Tuttavia, in fase di progettazione, sorge un problema metodologico: l’integrazione di sensori avanzati e luci dinamiche risolve l’aspetto ingegneristico, ma non garantisce l’uso corretto da parte dell’essere umano.

Il limite di molti dispositivi smart oggi sul mercato risiede nella loro natura “passiva”: delegano all’utente la responsabilità di configurare e adattare la luce, causando spesso frustrazione o, peggio, l’abbandono delle funzioni avanzate (ad esempio, un utente potrebbe impostare la luce alla massima potenza fredda e lasciarla così anche di notte, annullando i benefici circadiani).

È proprio qui che il progetto di tesi propone un salto paradigmatico: passare dal semplice smart lighting al Persuasive Design. Il dispositivo progettato non è un mero strumento tecnico, ma un “agente attivo” capace di instaurare un dialogo non verbale con l’occupante per guidarlo istintivamente verso abitudini visive e posturali corrette.

4.2 L'Inquadramento del persuasive design e la captology

L'idea di progettare una lampada intelligente che diventi il motore di un comportamento sano poggia sui principi della Persuasive Technology. Si tratta di un ambito di ricerca formalizzato da B.J. Fogg della Stanford University [29], il quale coniò il termine "Captology" per definire lo studio dei computer come tecnologie persuasive.

Il cuore della Captology risiede nel progettare sistemi interattivi nati con l'intento specifico di guidare i comportamenti umani verso obiettivi desiderati dall'utente stesso, che si tratti di migliorare la propria salute o di essere più produttivi. Il persuasive design, infatti, punta all'empowerment: la tecnologia diventa il mezzo per superare barriere come l'inerzia, lo stress o la mancanza di consapevolezza che spesso ci impediscono di agire nel nostro interesse. Fogg suggerisce che queste tecnologie possano assumere tre ruoli (functional triad): strumento (tool), media, o agente sociale. La lampada sviluppata agisce primariamente come tool (riducendo la fatica cognitiva di regolare la luce) e come agente sociale, comunicando attraverso feedback luminosi lo stato dell'ambiente.

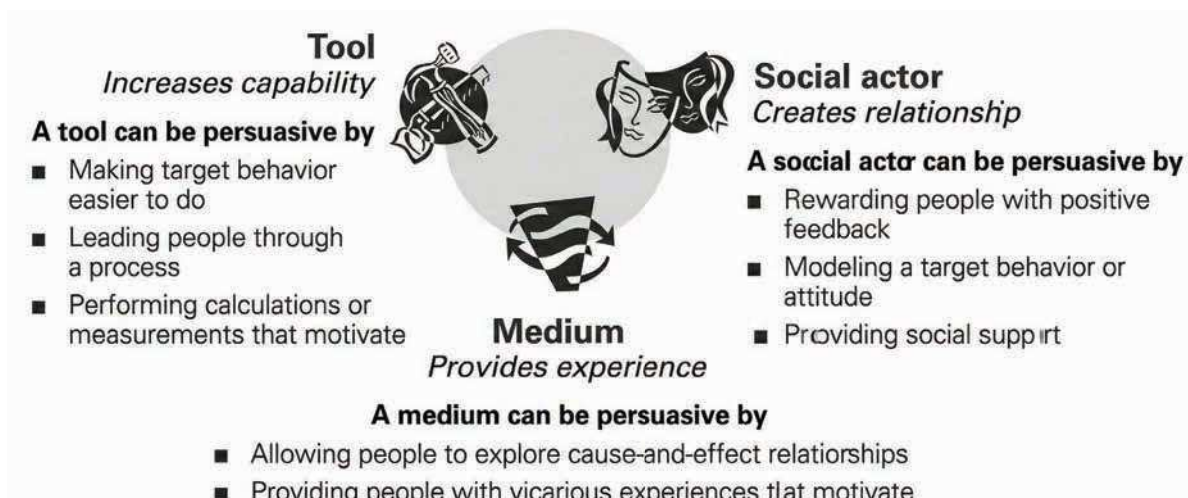


Figura.19

I tre ruoli fondamentali secondo Fogg (functional triad): strumento (tool), media, o agente sociale.

[29] Fogg, B. J. (2003). Persuasive technology: using computers to change what we think and do.

4.3 Il Fogg behavior model (FBM) applicato alla postazione di lavoro

L'uso di un vettore comunicativo efficace come la luce non basta da solo a decretare il successo di un intervento, specialmente se privo di una solida base metodologica; l'efficacia di una tecnologia persuasiva non può fare affidamento sulla sola intuizione del progettista. Al contrario, molti progetti falliscono proprio perché manca un piano capace di decodificare le variabili reali che guidano il cambiamento comportamentale. Senza un ancoraggio sistematico ai modelli psicologici, il design rischia di ridursi a una serie di ipotesi empiriche o a una piatta imitazione di soluzioni preesistenti.

In questo scenario, il modello comportamentale di Fogg (FBM) si è rivelato uno strumento di analisi indispensabile, offrendo un metodo rigoroso per concettualizzare le dinamiche dell'azione [30].

Formalizzato nel 2009, l'FBM postula che un comportamento target (B) si manifesti esclusivamente quando tre fattori convergono in modo sincronico:

motivazione (M), abilità (A) e la presenza di un trigger (T).

Questa relazione essenziale è sintetizzata nella formula:

$$B = M * A * T$$

Sotto il profilo operativo, l'intervento del designer deve focalizzarsi sulla semplificazione dell'azione (elevare l'abilità) in modo che il segnale della lampada (il trigger) risulti efficace anche quando l'utente è stanco o poco motivato. Ecco come il modello è stato tradotto nelle specifiche ingegneristiche e funzionali del prototipo:

- La motivazione (speranza e paura): L'utente è guidato dalla volontà di evitare l'astenopia e il dolore cervicale (paura) e dal desiderio di mantenere alta la concentrazione lavorativa e l'igiene del sonno (speranza).
- L'abilità (la semplificazione cognitiva): Il progetto mira ad azzerare il carico cognitivo (brain cycles). In assenza del sistema, l'utente dovrebbe percepire attivamente la stanchezza, valutare la luce esterna e decidere come dimmerare la lampada. Il prototipo, invece, opera in modalità automatica, regolando autonomamente l'intensità per mantenere i 500 Lux normativi sul piano e modificando la temperatura di colore (CCT) in base all'orario solare. L'abilità dell'utente è portata al massimo: non deve fare nulla, l'ambiente si cura di lui.
- Il trigger (ambient light communication): l'interfaccia non utilizza schermi o app distraenti, ma sfrutta la visione periferica attraverso la luce stessa.

4.4 Analisi del grafico FBM: la curva di attivazione

Sotto il profilo operativo, l'FBM trova la sua rappresentazione in un sistema di assi cartesiani che pone in relazione la Motivazione, sull'asse delle ordinate (Y), e l'Abilità, su quello delle ascisse (X).

Il cardine analitico di tale modello è costituito dalla cosiddetta Action Line (o curva di attivazione): una soglia iperbolica che definisce i limiti entro cui un comportamento può effettivamente manifestarsi. Al di sotto di questa pendenza si estende la regione in cui l'azione non giunge a concretizzazione, mentre lo spazio soprastante identifica l'area in cui il comportamento target viene eseguito con successo.

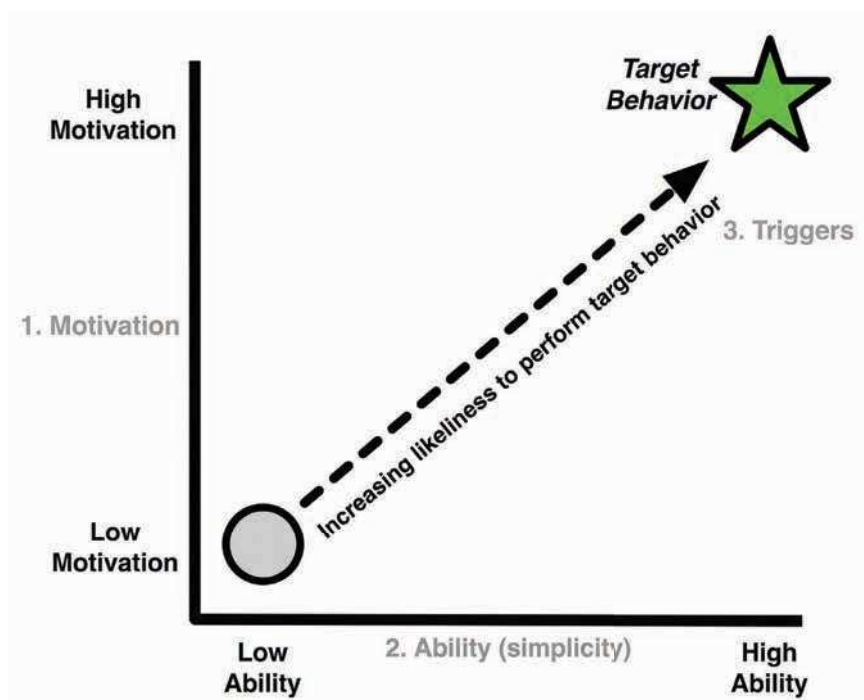


Figura 20: Il modello comportamentale Fogg prevede tre fattori: motivazione, abilità e fattori scatenanti.

La rilevanza di questa configurazione in ambito progettuale risiede nel principio di compensazione tra le due variabili principali; qualora l'occupante presenti una condizione frequente in contesti lavorativi caratterizzati da elevato carico cognitivo, l'intervento del designer deve focalizzarsi sulla semplificazione dell'azione (in questo caso il mantenimento di un'illuminazione e di una postura ottimali) al fine di elevarne l'abilità percepita. Incrementando sistematicamente il fattore abilità, è possibile ricondurre l'utente nella zona del grafico in cui il trigger (T) risulta efficace.

In tale scenario, la luce assume la funzione di trigger (T), configurandosi come un segnale visivo immediato. L'obiettivo finale consiste nel far sì che l'impulso luminoso intercetti l'utente nel punto di minor resistenza della curva, riducendo lo sforzo richiesto per l'azione e massimizzando la probabilità di una risposta ergonomica positiva.

Motivazione (M): la leva del benessere visivo e cognitivo

La motivazione che alimenta il progetto della lampada è intrinsecamente legata ai concetti di speranza (hope) e paura (fear), i motivatori fondamentali di Fogg.

La lampada sfrutta il potere persuasivo di questi due motori agendo su un doppio fronte:

- Motivazione alla paura: l'utente è motivato dalla consapevolezza di due minacce concomitanti alla propria salute lavorativa. Da un lato, vi è il rischio del social jetlag e dell'insonnia, causati da un'eccessiva esposizione serale alla luce fredda dei monitor. Dall'altro, vi è il rischio tangibile del disagio fisico: un illuminamento insufficiente sul piano di lavoro costringe il sistema visivo a uno sforzo accomodativo eccessivo, causando astenopia (affaticamento oculare), cefalee e l'assunzione involontaria di posture scorrette (come la cifosi cervicale) nel tentativo di avvicinarsi all'area illuminata.

- Motivazione alla speranza: L'utente è guidato dalla prospettiva di operare in un micro-ambiente ottimizzato che promette non solo la massima performance cognitiva e di concentrazione diurna, ma anche la tutela della salute visiva e posturale a lungo termine.

Abilità (A): la semplificazione cognitiva dell'automazione

Il progetto mira a massimizzare l'Abilità dell'utente, agendo in particolare sulla riduzione del carico cognitivo (brain cycles), identificato dall'FBM come uno dei fattori chiave che limitano la semplicità di un'azione. In assenza del sistema, l'utente dovrebbe compiere un'analisi complessa: valutare la luce solare esterna, percepire l'affaticamento visivo e ricordarsi di dimmerare continuamente la lampada.

Il prototipo sviluppato, operando in modalità automatica, trasforma questo problema in una variabile invisibile. Attraverso i sensori di luminosità, regola la potenza dei LED per mantenere costanti i 500 Lux normativi, agendo come uno strumento di riduzione che semplifica la gestione dello spazio al massimo grado. Nel grafico FBM, questa automazione sposta costantemente la posizione dell'utente sull'asse X verso destra (zona di high-ability).

I Trigger applicati alla lampada: scintille, facilitatori e segnali

Il terzo elemento costitutivo del modello FBM è rappresentato dai trigger (stimoli o inviti all'azione). Fogg distingue tre tipologie specifiche, che nel dispositivo di tesi sono state tradotte in precise funzionalità hardware e di ambient light communication:

1. Spark (scintilla) come motivatore: quando un individuo manca della motivazione, il trigger deve essere associato a un elemento motivazionale (paura/speranza).

- o applicazione nel progetto: quando l'utente utilizza la lampada in modalità manuale e imposta un'intensità luminosa eccessiva rispetto a quella ambientale, i LED RGB laterali della lampada si illuminano di colore arancione. Questo feedback cromatico funge da Spark: avverte visivamente l'utente che sta sprecando energia o causando potenziale abbagliamento, invitandolo ad abbassare l'intensità (che tornerà di colore verde una volta raggiunto il livello corretto).

2. Facilitator (facilitatore) come semplificatore: Indicato per utenti motivati ma che mancano di abilità. L'obiettivo è innescare il com-

portamento rendendolo più facile.

o Applicazione nel progetto: la modalità "Follow-Me". L'utente è motivato a vedere bene il documento che sta leggendo o scrivendo, ma spostare fisicamente la lampada sulla scrivania è un'azione meccanica dispendiosa (bassa abilità). La telecamera integrata agisce da facilitatore supremo: individuando la posizione delle mani, sposta istantaneamente il "centro focale" dei LED direttamente sull'area di lavoro. L'utente non deve fare nulla; l'ambiente si adatta dinamicamente a lui. L'accensione di questa modalità è validata da un feedback luminoso morbido (soft breath di 1 secondo).

3. Signal (segnale) come promemoria: funziona quando le persone hanno già sia abilità che motivazione; serve solo da reminder.

o applicazione nel progetto: La variazione della Temperatura di Colore (CCT). Alle ore 17:00, passando dalla work mode alla relax mode, la lampada effettua una transizione autonoma da una luce bianca neutra/fredda a una luce calda e rilassante. Questa transizione non costringe l'utente a smettere di lavorare, ma funge da perfetto signal biologico: ricorda all'occupante, in modo subconscio e periferico, che la giornata operativa sta terminando ed è il momento di allentare lo stress.

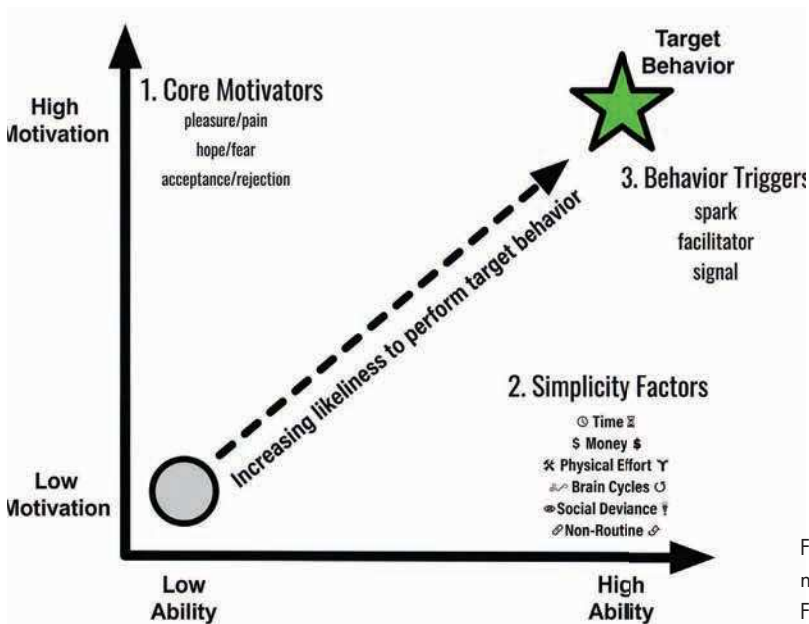


Figura 21: tutti e tre i fattori nel modello comportamentale Fogg hanno sottocomponenti.

4.5 Prospettive future: verso un'architettura narrativa e sostenibile

Nonostante le potenzialità tecnologiche descritte fino ad adesso, si osserva ancora una discrepanza nell'applicazione pratica. Gran parte della progettazione illuminotecnica segue metodologie consolidate, spesso limitandosi all'aspetto puramente funzionale. Tuttavia, negli ultimi anni, i progressi nell'IoT e l'approccio sempre più multidisciplinare dei designer hanno favorito l'integrazione di installazioni luminose dinamiche e interattive, inizialmente negli spazi pubblici e artistici, e progressivamente negli ambienti di lavoro, come visto precedentemente nello stato dell'arte.

Lo scenario futuro prevede che gli edifici incorporino queste tecnologie su scala sempre maggiore, evolvendo verso nuove forme architettoniche "responsive". In questi contesti, la comunicazione tramite luce ambientale trascende la mera funzione estetica o di comfort visivo; essa diventa un layer informativo fondamentale per gli occupanti.



Questa interazione ha il potenziale di stimolare comportamenti virtuosi e questa dinamica trova un'applicazione diretta e tangibile nel dispositivo progettato in questa tesi. Il feedback visivo fornito dai LED RGB laterali nei tappi del cilindro ne è l'esempio perfetto: quando il sensore rileva una sovrabbondanza di luce sul piano di lavoro (causata ad esempio da una forte luce solare o da un'illuminazione a soffitto eccessiva), l'anello luminoso assume una colorazione arancione.

Questo segnale, operando ai margini della consapevolezza visiva, non si limita a prevenire l'abbagliamento e lo stress oculare, ma agisce come un vero e proprio nudge (spinta gentile) ecologico. L'utente è istintivamente portato a reagire per ripristinare l'equilibrio (colore verde), diminuendo l'intensità della lampada task o, ancora meglio, spegnendo l'illuminazione generale superflua della stanza, quando si è nella modalità automatica. In questo modo, la luce cessa di essere un mero strumento di visione e si trasforma in un vettore di consapevolezza, migliorando l'esperienza dell'utente e promuovendo attivamente un reale risparmio di elettricità e la sostenibilità dell'intero ambiente lavorativo.

4.6 Casi studio

Dyson lightcycle morph

Descrizione: è una lampada da scrivania dal design ingegneristico avanzato, dotata di un braccio snodabile che le permette di offrire luce diretta da lavoro o luce d'ambiente indiretta. Utilizza un algoritmo proprietario e dati GPS per tracciare e replicare l'andamento della luce solare locale. Inoltre, la struttura integra direttamente nello stelo porte USB-C per la ricarica di device personali, ottimizzando lo spazio sul piano di lavoro.

Validazione: Giustifica sia l'uso della modalità automatica sia l'integrazione di porte per la ricarica (funzionalità prevista nel prototipo di tesi). Dimostra che regolare continuamente la temperatura di colore (CCT) e l'intensità luminosa in base all'orario solare è la strategia ottimale contro l'affaticamento visivo e per il supporto circadiano.



BenQ wit e-reading lamp

Descrizione: Creata specificamente per chi trascorre molte ore davanti ai monitor digitali, questa lampada presenta un design curvo (a forma di sorriso) per espandere il fascio luminoso in orizzontale. La sua caratteristica distintiva è l'integrazione di un sensore di luce ambientale collegato a un anello indicatore LED posto sul pannello di controllo. L'anello luminoso fornisce un feedback cromatico immediato, indicando se l'illuminazione sulla scrivania è insufficiente, corretta o abbagliante.

Validazione: valida in modo diretto l'utilizzo degli anelli LED di feedback proposti nel progetto. Conferma che un nudge visivo cromatico (come il feedback verde/arancio della lampada di tesi) è essenziale per educare l'utente a mantenere i corretti Lux sul piano di lavoro, senza costringerlo a interpretare grafici o dati numerici complessi.



LINK: <https://www.dyson.it/lampade/solarcycle-morph>
<https://www.benq.eu/it-it/lighting/e-reading-desk-lamp/e-reading.html>

Philips healwell

Descrizione: È un sistema di illuminazione ambientale sviluppato da Philips per strutture ospedaliere e di degenza. Il sistema simula artificialmente la curva dinamica della luce naturale (dall'alba al tramonto), variando impercettibilmente l'intensità e le lunghezze d'onda emesse dalle plafoniere a soffitto durante l'intero arco della giornata.

Validazione: conferma la validità clinica del passaggio autonomo del dispositivo di tesi dalla "fase diurna" (fredda e attivante) alla "fase serale" (calda e riposante, attivata dopo le 17:00). L'eliminazione delle frequenze blu prima del riposo serale si è dimostrata scientificamente essenziale per non inibire la melatonina e migliorare il recupero psicofisico.



Sense by Hello

Descrizione: si tratta di un dispositivo IoT per il monitoraggio dell'igiene del sonno (rumore, particolato, luce), racchiuso in una piccola sfera con design a reticolo. L'interfaccia è priva di schermi fisici: l'utente passa la mano sopra l'oggetto e i LED interni "respirano" (Breathing effect) emettendo una morbida luce verde (se l'ambiente è ottimizzato) o arancione (se sono presenti disturbi che richiedono attenzione).

Validazione: giustifica l'uso dell'interazione gestuale/tattile abbinata a specifiche animazioni luminose. L'adozione del Soft Breath (utilizzato nel prototipo per confermare l'attivazione della funzione follow-me) dona un carattere organico ed empatico all'oggetto, comunicando lo stato operativo senza risultare ansioso o meccanico.



Netatmo healthy home coach

Descrizione: dispositivo domestico smart a forma di cilindro in alluminio che monitora umidità, temperatura, rumore e CO2. Invece di mostrare valori numerici, al semplice tocco della parte superiore del cilindro l'apparecchio illumina un'elegante feritoia LED verticale di colore blu (ambiente sano), verde (qualità media) o rosso/arancio (necessità di intervenire).

Validazione: dimostra l'efficacia del persuasive design applicato alla riduzione del carico cognitivo (reduction technology di Fogg). Validando la scelta di design del prototipo, dimostra che un dato ambientale complesso può essere felicemente tradotto in un minimale codice a tre colori per un'immediata comprensione da parte di chiunque.



IKEA DEJSA LAMP

Descrizione: è una presa intelligente, inserita nel recente ecosistema smart home del brand svedese, dotata di capacità di monitoraggio dell'energia. La sua caratteristica principale è un design innovativo che integra un indicatore visivo a colori per rappresentare in tempo reale lo stato o il livello di consumo energetico dell'elettrodomestico a cui è collegata.

Validazione: giustifica in modo estremamente contemporaneo l'utilizzo della leva motivazionale dell'eco - feedback integrata nell'hardware. Questo dispositivo dimostra che un indicatore luminoso con codice cromatico è uno strumento efficace per aiutare gli utenti a tracciare visivamente l'uso di energia e prendere decisioni informate per abbassare i consumi elettrici. Allo stesso modo, il LED arancione del prototipo di tesi avvisa del surplus luminoso, spingendo istintivamente l'utente a spegnere le luci generali della stanza per evitare sprechi.



LINK: <https://www.netatmo.com/it-it/smart-indoor-air-quality-monitor?srsltid=AfmBOorXkDDsMsz5QzhXqgEWCEgQs4qHKiOpa2pOnj6920fb4jQ-qMjQr>
https://www.ikea.com/it/it/p/dejsa-lampada-da-tavolo-beige-bianco-opalino-vetro-90404983/?utm_source=google&utm_medium=organic-shopping&utm_campaign=shopping_feed&utm_content=free_google_shopping_clicks_Lighting_Homeelectronics

CAPITOLO 5

PROGETTO



5.1 Collaborazione azienda TOOY

Il passaggio dalla ricerca teorica alla creazione del prodotto vero e proprio è avvenuto grazie a un'esperienza diretta sul campo. Questo progetto di tesi, infatti, non è nato esclusivamente su carta, ma si è sviluppato concretamente durante un periodo di tirocinio formativo presso TOOY, un'azienda italiana di eccellenza nel settore dell'illuminazione decorativa e tecnica con sede ad Amandola (Fermo).

La collaborazione con il team di TOOY è stata fondamentale per il progetto: l'obiettivo non era solo immaginare un dispositivo "intelligente", ma realizzare una lampada che fosse realmente producibile, modulare e curata dal punto di vista estetico. È proprio da questo equilibrio tra la ricerca sul benessere dell'utente e la fattibilità aziendale che hanno preso forma il design, i materiali e l'hardware.

TOOY





5.2 Introduzione al progetto

Questo capitolo descrive il passaggio dalla ricerca teorica alla realizzazione fisica del dispositivo. Per tradurre in pratica i principi di ergonomia visiva e interazione ambientale finora analizzati, si è scelto di non ripartire da zero, ma di applicare un processo di reverse engineering su un corpo illuminante pre-esistente, alla cui progettazione ho contribuito attivamente durante il periodo di tirocinio formativo presso l'azienda TOOY.

Piuttosto che procedere con una modellazione formale ex novo, ho scelto di intervenire su un'architettura fisica consolidata, ridefinendone radicalmente il comportamento e le capacità operative. Il processo di riprogettazione ha preso avvio con la declinazione esatta delle nuove funzionalità (dal supporto circadiano al monitoraggio ambientale e posturale), per poi tradursi in un'attenta valutazione dei vincoli tecnici dell'oggetto.

L'ingegnerizzazione del sistema ha richiesto, in primo luogo, un'analisi degli ingombri interni; è stato necessario mappare i volumi a disposizione per verificare la fattibilità di inserimento della complessa componentistica elettronica comprensiva di microprocessore, sensori e moduli LED aggiuntivi, indispensabile per l'esecuzione delle logiche di controllo avanzate.

Conseguentemente allo studio dimensionale, ho proceduto alla modifica fisica dello chassis originale. L'intervento ha comportato l'alterazione di specifiche sezioni della lampada per permettere l'alloggiamento non invasivo del nuovo hardware e per aprire le vie di comunicazione necessarie ai sensori e ai feedback visivi.

Infine, per garantire la massima stabilità strutturale e ottimizzare l'integrazione tra i circuiti elettronici e la scocca modificata, il progetto si è avvalso della fabbricazione additiva. La modellazione CAD e la successiva realizzazione di componentistica custom tramite stampa 3D (come supporti interni e incastri dedicati) si sono rivelate determinanti per risolvere le criticità di assemblaggio, consentendo di finalizzare un prototipo funzionante e coerente con le premesse di ricerca.

5.3 Concept e funzionalità

Il dispositivo è una lampada da scrivania intelligente progettata per una o due postazioni indipendenti. La sua caratteristica distintiva è la capacità di modulare la luce nello spazio e nel tempo: individua la posizione delle mani dell'utente per focalizzare la luce dove serve, modifica la temperatura colore in base all'orario biologico e funge da stazione di energia per i dispositivi personali.

Layout operativo

Il design della lampada deve garantire la sua usabilità a zone di lavoro condivise.

Posizionamento: la lampada deve essere collocata centralmente sulla scrivania, agendo come elemento divisorio funzionale.

Utenza Multipla: la struttura della lampada deve essere progettata per servire contemporaneamente due utenti distinti, posizionati rispettivamente sul lato Destro e sul lato Sinistro della lampada.

Indipendenza: nonostante il corpo unico, il sistema deve garantire a ciascun utente un'illuminazione dedicata e personalizzabile, senza che le preferenze dell'uno interferiscano con il comfort visivo dell'altro.

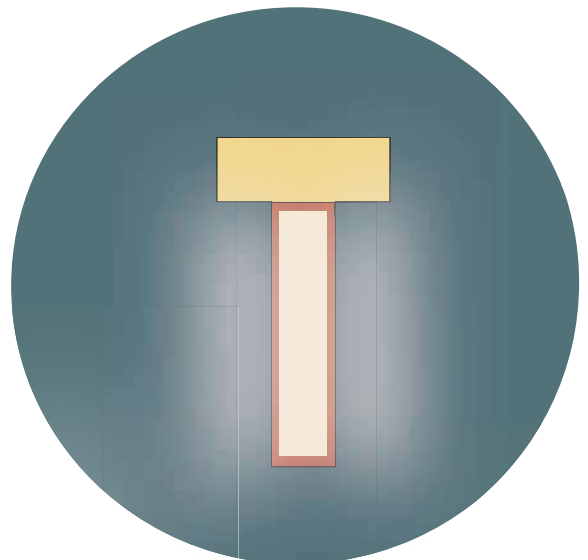
Illuminazione zonale dinamica (funzione "Follow-Me")

Quando l'utente sposta le mani (es. per scrivere o disegnare), il sistema sposta istantaneamente il "centro focale" dell'illuminazione.

VISTA SUPERIORE



VISTA INFERIORE



VERSATILITÀ DI CONFIGURAZIONE E SCENARIO DI RIFERIMENTO

Il design morfologico della struttura è stato concepito secondo principi di scalabilità e modularità, per adattarsi alle diverse esigenze degli uffici contemporanei e degli spazi di co-working. La geometria lineare e l'illuminazione a zone indipendenti permettono l'installazione in tre configurazioni principali:

Single desk (executive): Utilizzo centrale su scrivania singola direzionale, offrendo massima copertura luminosa sia in posizione centrale che laterale.

Dual desk (face-to-face): configurazione ideale per isole di lavoro condivise frontali, dove la lampada funge da elemento divisorio funzionale sia centrale che laterale.

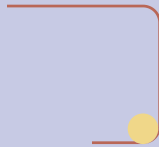
Bench (serial layout): possibilità di allineare più unità in sequenza per illuminare lunghe tavolate operative continue (es. open space)



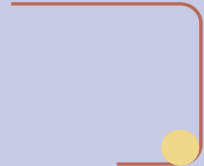
Varianti Dimensionali

Il sistema è stato concepito come una famiglia di prodotti declinata in due dimensioni distinte, per rispondere alle specifiche esigenze ergonomiche dei diversi set-up informatici odierni:

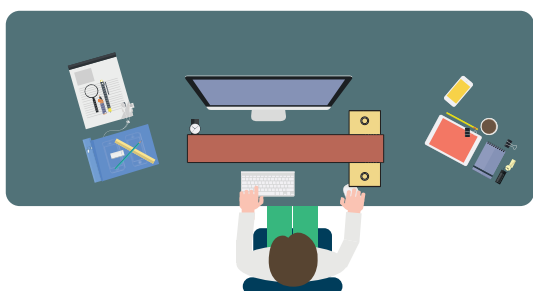
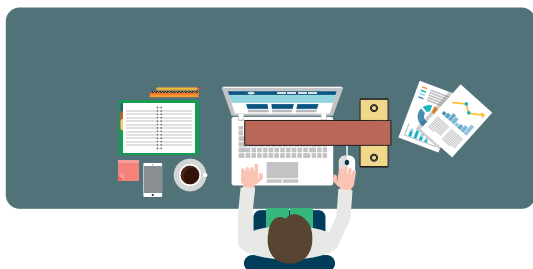
Size S (laptop edition): variante compatta pensata per lo smart working e postazioni flessibili. Le dimensioni ridotte (in larghezza e altezza) sono calibrate per l'uso esclusivo con computer portatili, dove l'asse visivo è più basso e lo spazio scrivania è spesso limitato.



Size L (desktop edition): variante estesa progettata per uffici tecnici e postazioni fisse. La geometria è calibrata per il posizionamento nello spazio retrostante il monitor: l'altezza maggiorata permette alla traversa luminosa di "scavalcare" il display, garantendo che il fascio di luce raggiunga l'area operativa frontale (tastiera/documenti) senza essere intercettato dallo schermo.



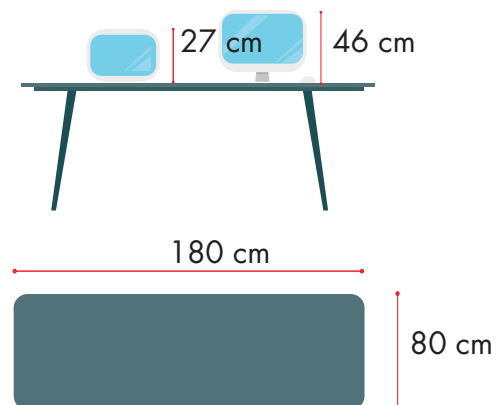
SINGLE DESK



Piano di lavoro: scrivania con dimensioni 180 cm (lunghezza) x 80 cm (profondità).

Ingombri verticali:
Presenza di un monitor/computer con altezza di 46 cm (computer fisso).

Presenza di un monitor/computer con altezza di 26 cm (portatile).



DUAL DESK

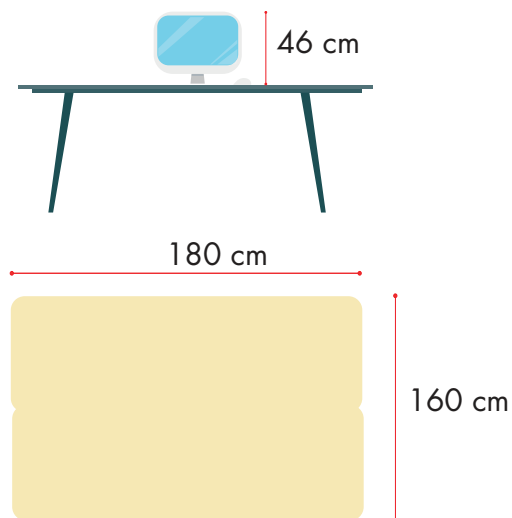
Face to face



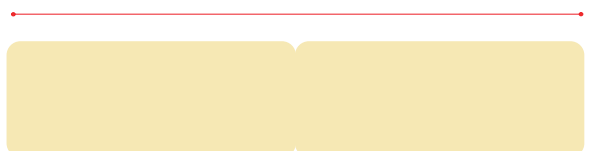
Piano di lavoro: scrivania con dimensioni 180 cm (lunghezza) x 160 cm (profondità).

Ingombri verticali:

Presenza di un monitor/computer con altezza di 46 cm (computer fisso).



260 cm

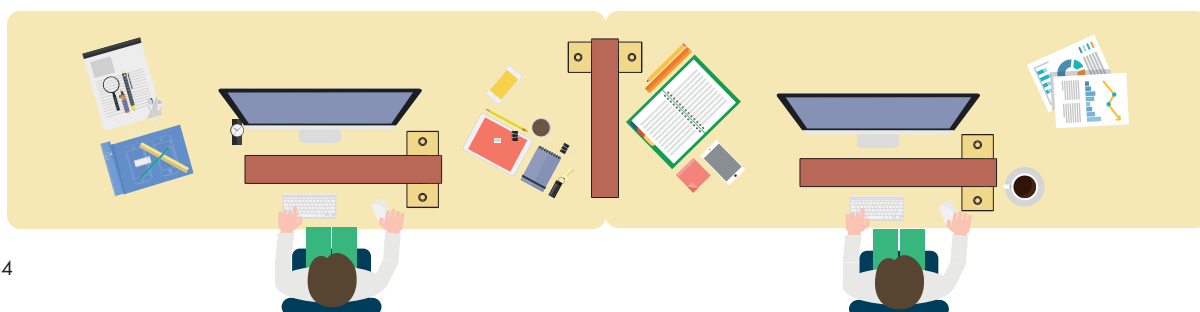
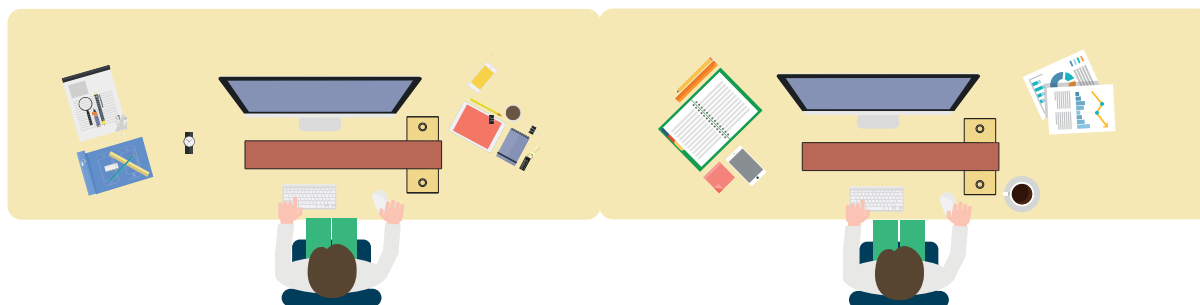


Piano di lavoro: scrivania con dimensioni 260 cm (Lunghezza) x 80 cm (Profondità).

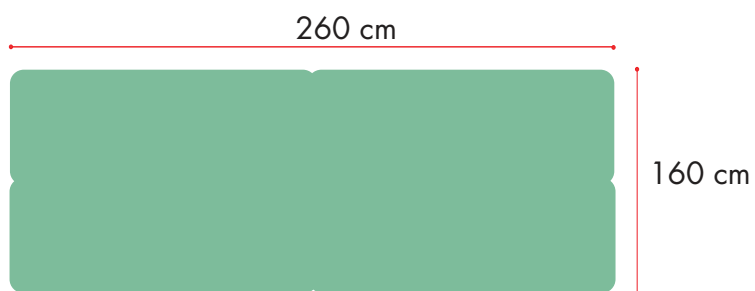
Ingombri verticali:

80 cm Presenza di un monitor/computer con altezza di 46 cm (computer fisso).

Presenza di un monitor/computer con altezza di 26 cm (portatile).



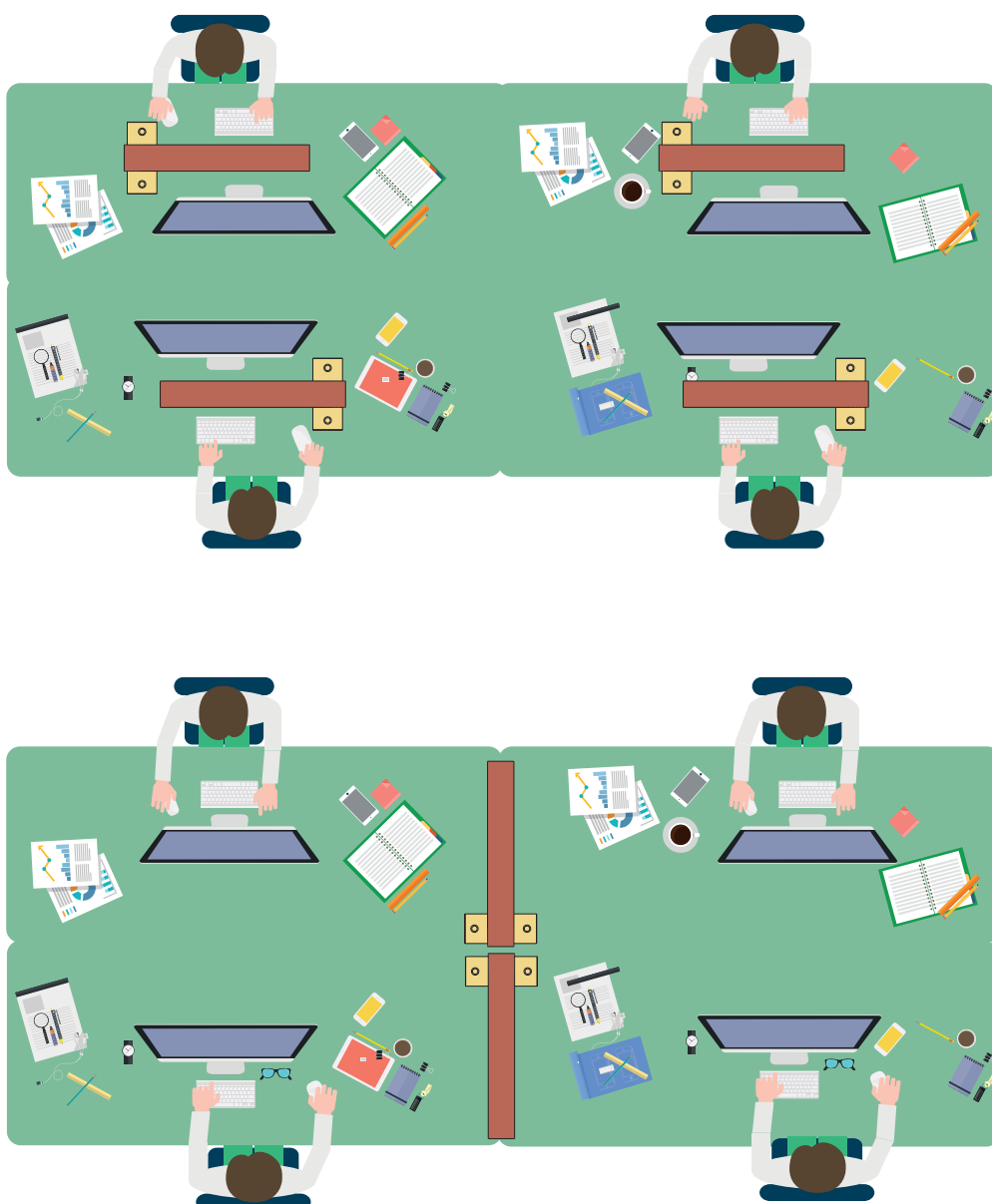
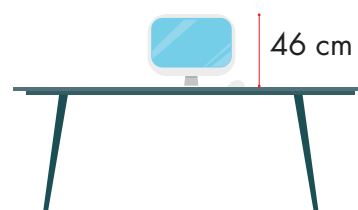
BENCH (SERIAL LAYOUT)



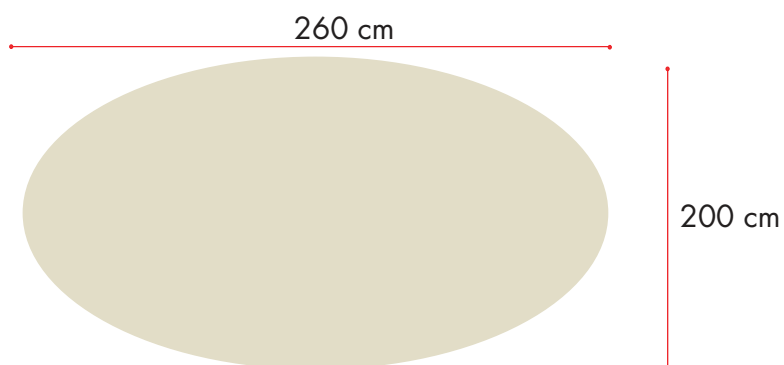
Piano di lavoro: scrivania con dimensioni 260 cm (lunghezza) x 160 cm (profondità).

Ingombri verticali:
presenza di un monitor/computer con altezza di 46 cm (computer fisso).

Presenza di un monitor/computer con altezza di 26 cm (portatile).



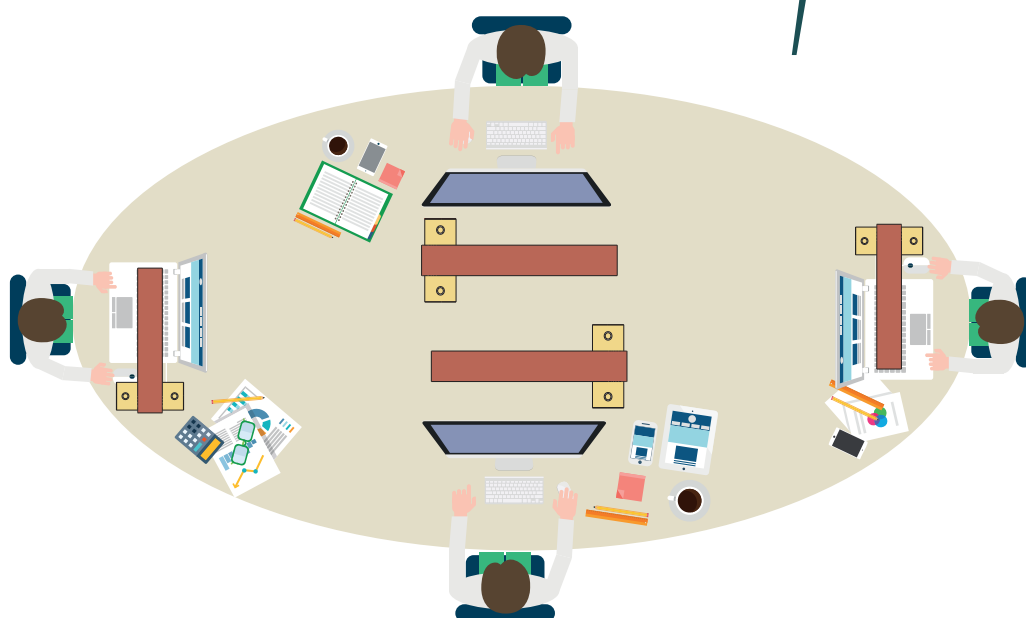
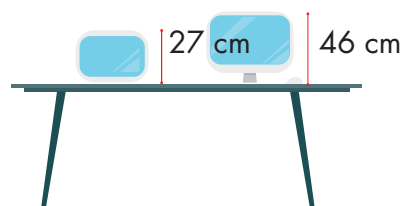
BENCH (SERIAL LAYOUT)



Piano di lavoro: scrivania con dimensioni 260 cm (lunghezza) x 200 cm (profondità).

Ingombri verticali:
Presenza di un monitor/computer con altezza di 46 cm (computer fisso).

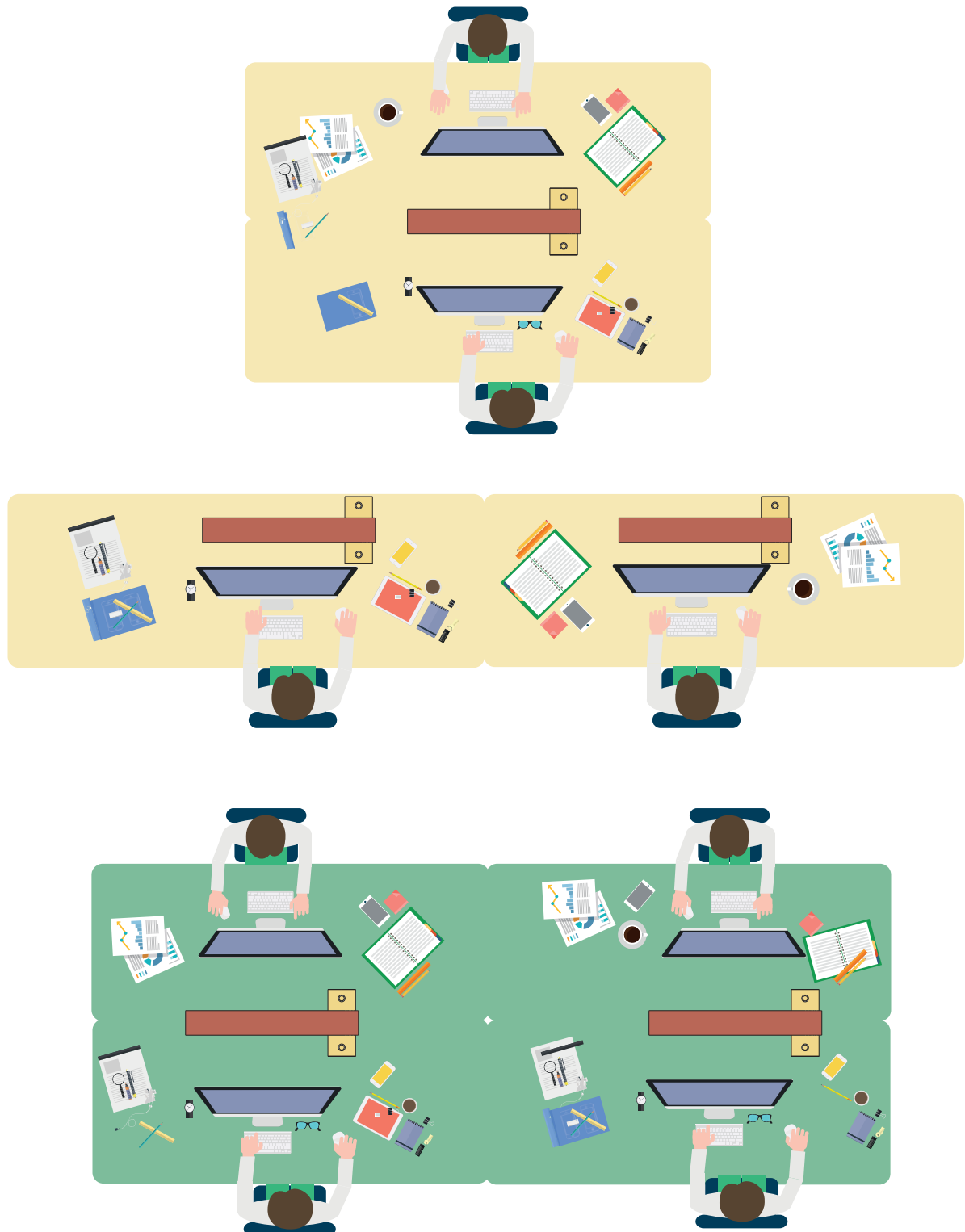
Presenza di un monitor/computer con altezza di 26 cm (portatile).



Configurazioni aggiuntive

In queste collocazioni, la lampada assolve alla funzione di Bias Lighting (illuminazione di bias), proiettando una luce diffusa sulla parete di fondo che riduce l'affaticamento visivo e migliora il contrasto percepito dello schermo.

Tuttavia, si segnala che in questa specifica configurazione di "sottofondo", le funzionalità intelligenti della lampada non vengono sfruttate appieno. Poiché il campo visivo della telecamera risulta parzialmente o totalmente ostruito dal monitor.



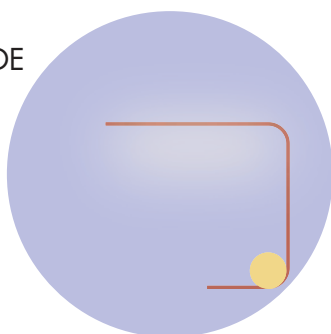
Adattamento circadiano (gestione temperatura colore)

La lampada regola automaticamente la tonalità della luce bianca in base all'orario della giornata.

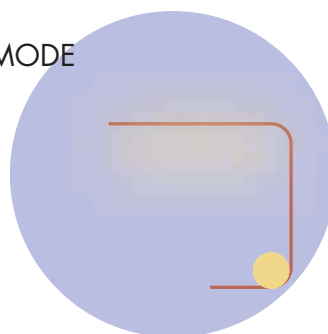
Fase diurna (work mode): dalle ore 07:00 alle 17:00, la lampada emette una luce a tonalità fredda/neutrale. Questo spettro stimola la concentrazione e la produttività durante le ore lavorative.

Fase serale (relax mode): dalle ore 17:00 alle 07:00, la lampada passa automaticamente a una tonalità calda. Questo spettro riduce l'emissione di luce blu, favorendo il rilassamento.

WORK MODE



RELAX MODE



Gestione automatica della presenza

La lampada rileva la presenza dell'operatore alla scrivania e attiva l'illuminazione autonomamente.

la lampada rileva se l'utente è nella postazione di destra o sinistra ed attiva l'illuminazione nella zona specifica.

In assenza di movimento rilevato per un tempo predefinito (10 minuti), il sistema entra in standby e la lampada si spegne.

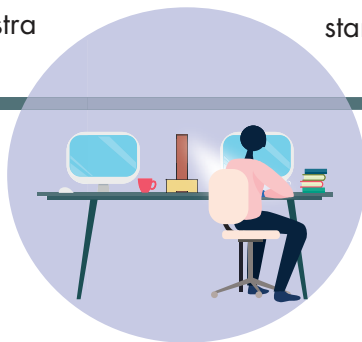
RILEVAZIONE UTENTE A SINISTRA

standby a destra



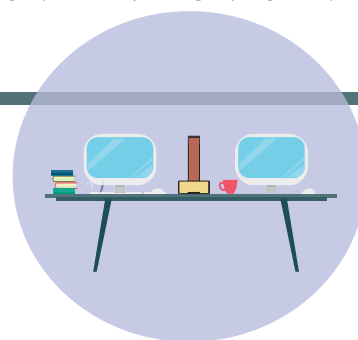
RILEVAZIONE UTENTE A DESTRA

standby a sinistra



RILEVAZIONE UTENTE A DESTRA E SINISTRA

NESSUNA RILEVAZIONE UTENTE



Regolazione adattiva della luminosità (auto-dimming)

La lampada quando è in modalità automatica regola la potenza dei LED per mantenere sul piano di lavoro un livello costante di circa 500 Lux, indipendentemente dalle condizioni esterne.

Modalità operative

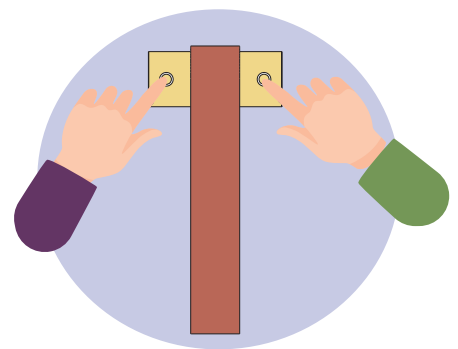
Modalità AUTOMATICA: la lampada gestisce autonomamente, temperatura della luce e intensità.

Modalità MANUALE: l'utente disabilita gli automatismi (temperatura della luce, intensità) e imposta un livello di luce fisso.

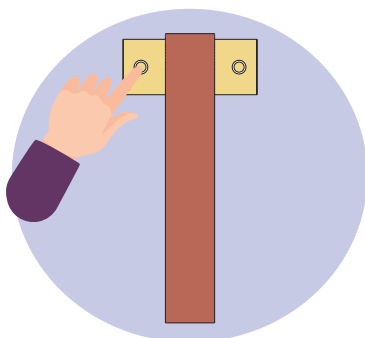
Comandi rapidi

La lampada deve permettere l'interazione utente-dispositivo gestita tramite due pulsanti touch indipendenti, integrati lateralmente nel supporto cilindrico alla base della struttura (uno sul lato destro e uno sul lato sinistro).

Controllo separato: ogni pulsante governa esclusivamente la propria zona di competenza. L'utente di destra e l'utente di sinistra possono quindi operare in totale autonomia senza interferire l'uno con l'altro.



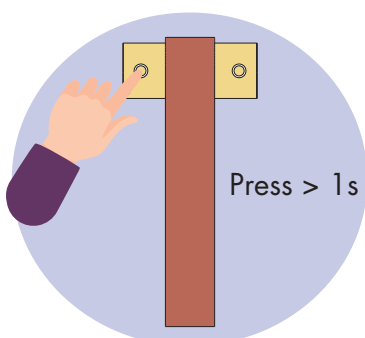
Single Click



Azione: ON / OFF.

Funzione: accensione e spegnimento immediato della zona luce corrispondente.

Long Press

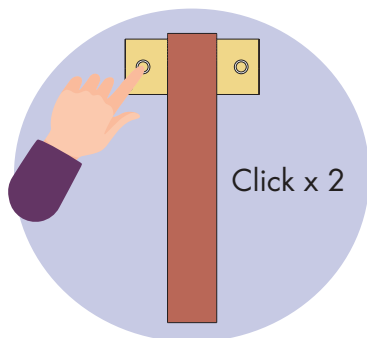


Pressione prolungata > 1s, solo in modalità manuale.

Azione: dimming dinamico.

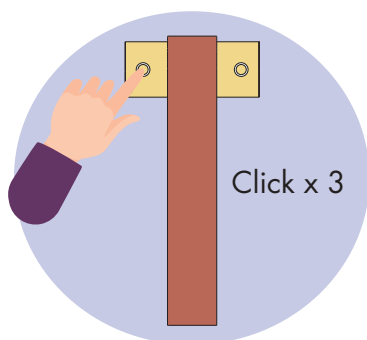
Funzione: regolazione dell'intensità luminosa (dal 10% al 100%) finché il dito rimane a contatto.

Double click



Funzione: passaggio dalla modalità "manuale" (controllo utente) alla modalità "automatica" (adattiva alla luce ambientale) e viceversa

Triple click

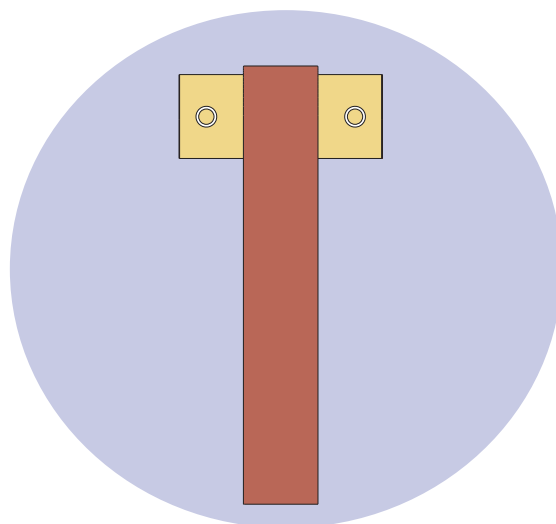
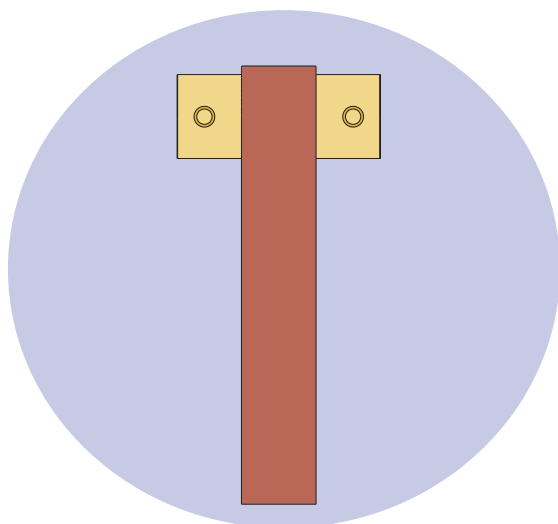


Funzione: attiva o disattiva il layer di tracciamento presenza ("Follow Me"). Questa funzione può essere attivata e disattivata sia in modalità manuale che in modalità automatica.

Visualizzazione modalità operativa

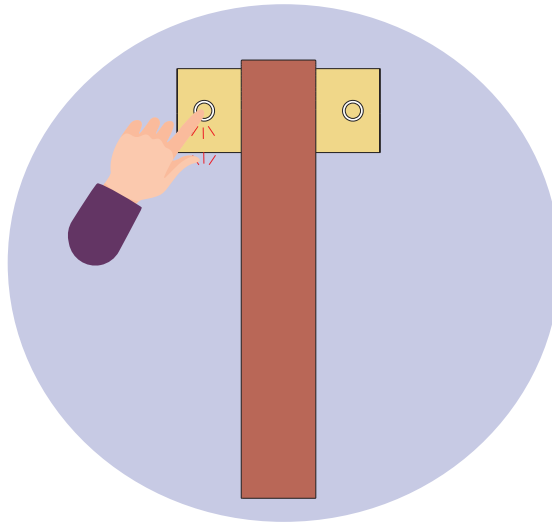
Feedback BIANCO GHIACCIO: l'utente si trova in modalità automatica.

Feedback BIANCO CALDO: l'utente si trova in modalità manuale.



Feedback Transitorio

La lampada deve comunicare l'attivazione e lo spegnimento della modalità follow me tramite animazione: "soft breath" (respiro lento) in cui l'anello esegue una pulsazione lenta e profonda della durata di 1 secondo.



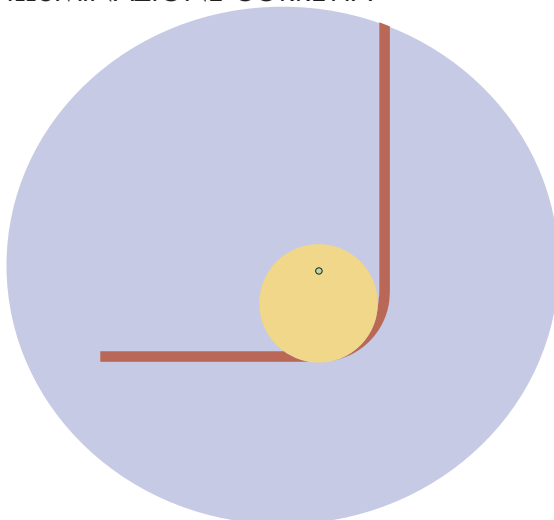
Feedback visivo intelligente

La lampada comunica l'illuminazione dell'ufficio/stanza e la modalità in cui l'utente si trova tramite feedback cromatici:

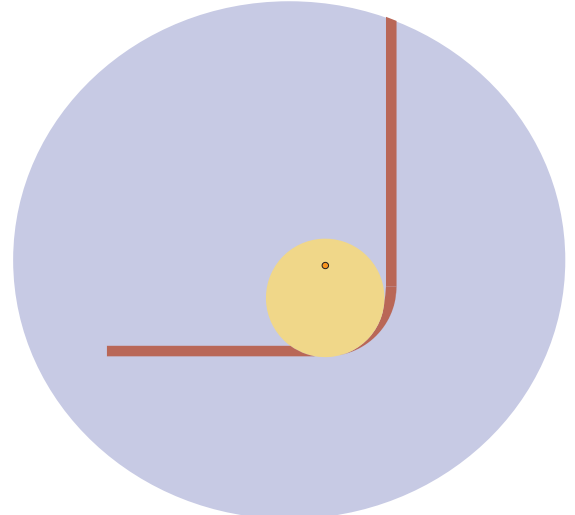
Feedback VERDE: illuminazione corretta (range ottimale 500 Lux).

Feedback ARANCIO/ROSSO: avviso di sovra-illuminazione, solo in modalità manuale. (> 500 Lux).

ILLUMINAZIONE CORRETTA



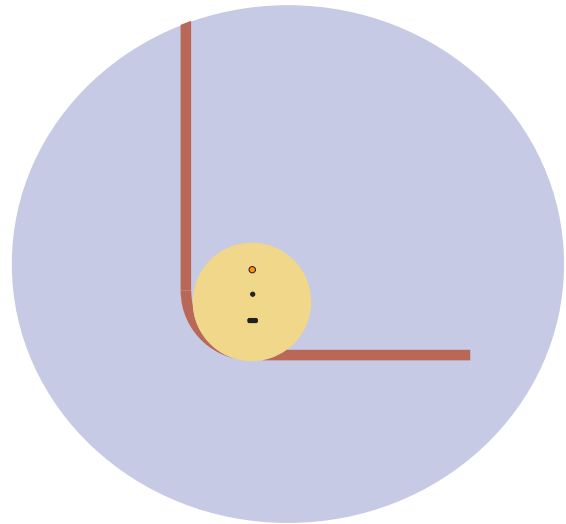
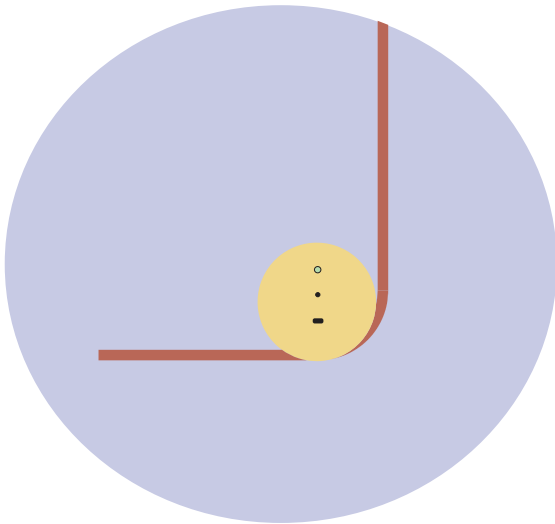
SOVRA-ILLUMINAZIONE



HUB di ricarica integrato

La lampada deve integrare un sistema di ricarica per massimizzare l'utilità sulla scrivania.

Posizionamento: due porte USB-C sono incassate (due sia a destra che a sinistra) lateralmente nel supporto cilindrico alla base della lampada.



App integrata



L'applicazione mobile di Continuum Thread agisce come uno strumento di monitoraggio e sensibilizzazione per il benessere circadiano dell'utente.

Il sistema è progettato per educare a una corretta "igiene luminosa", quando la lampada viene utilizzata in modalità manuale, aggirando le automazioni di sistema.

Se durante le ore lavorative l'utente forza parametri luminosi non adeguati all'orario.

Ad esempio impostando un'intensità eccessiva ed ignorando il feedback arancione sul tappo del cilindro, l'applicazione registra i log di sistema, conteggiando quante volte l'utente sceglie di ignorare questo avvertimento e di mantenere un'eccessiva illuminazione sul piano di lavoro.

Sulla base di questi dati, l'interfaccia dell'app elabora un report progressivo durante la giornata lavorativa e un resoconto finale serale. Il software stima l'eccesso di esposizione luminosa (in particolare alle frequenze blu) accumulato fuori orario e fornisce una proiezione di come questo "sovraccarico fotico" andrà ad influire negativamente sulla qualità del sonno e sui tempi di addormentamento.

In questo modo, la tecnologia non impone un limite fisico al lavoro, ma responsabilizza l'utente, rendendolo consapevole dell'impatto che le proprie scelte ambientali hanno sulla salute a lungo termine.

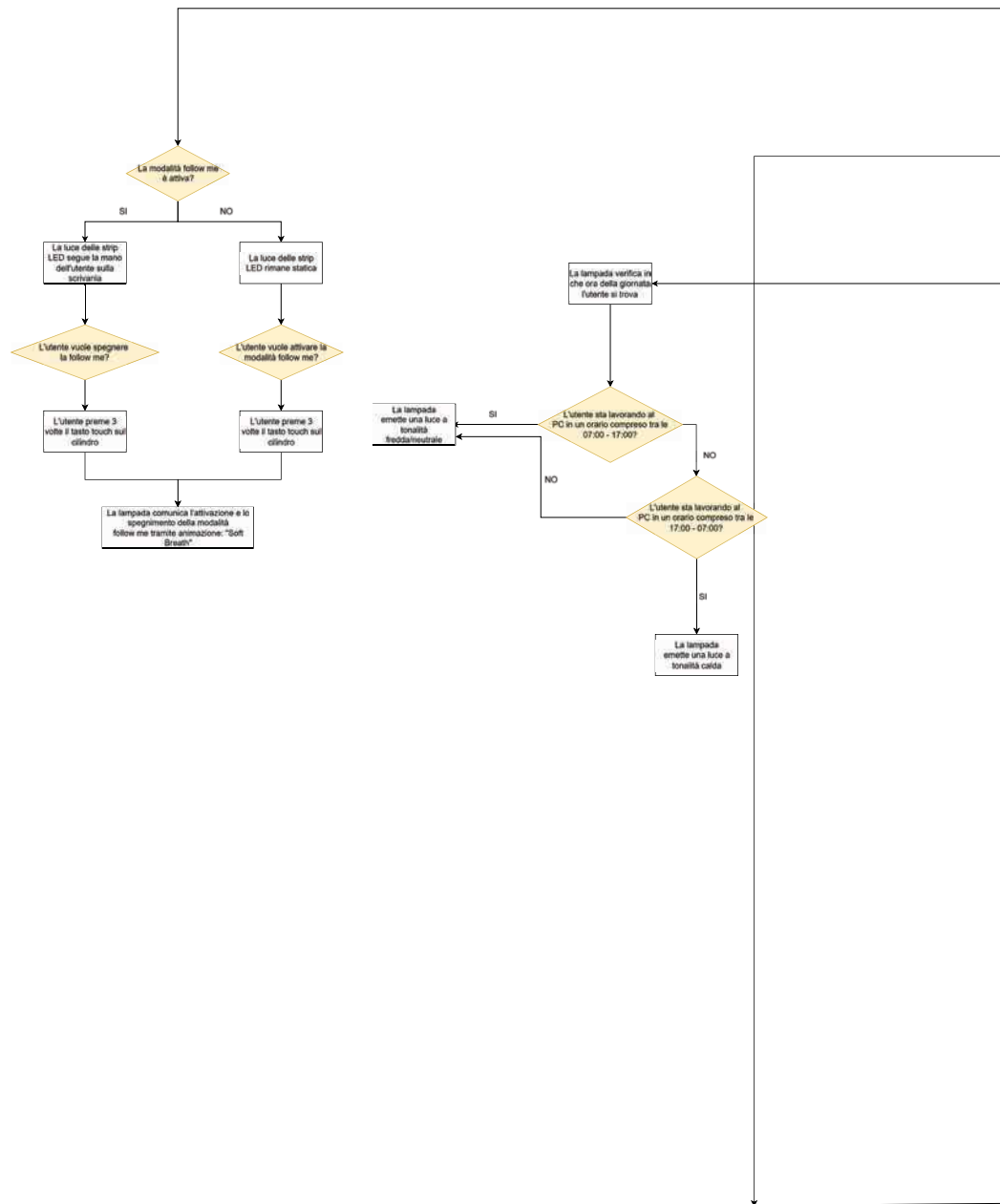
5.4 Architettura hardware del progetto

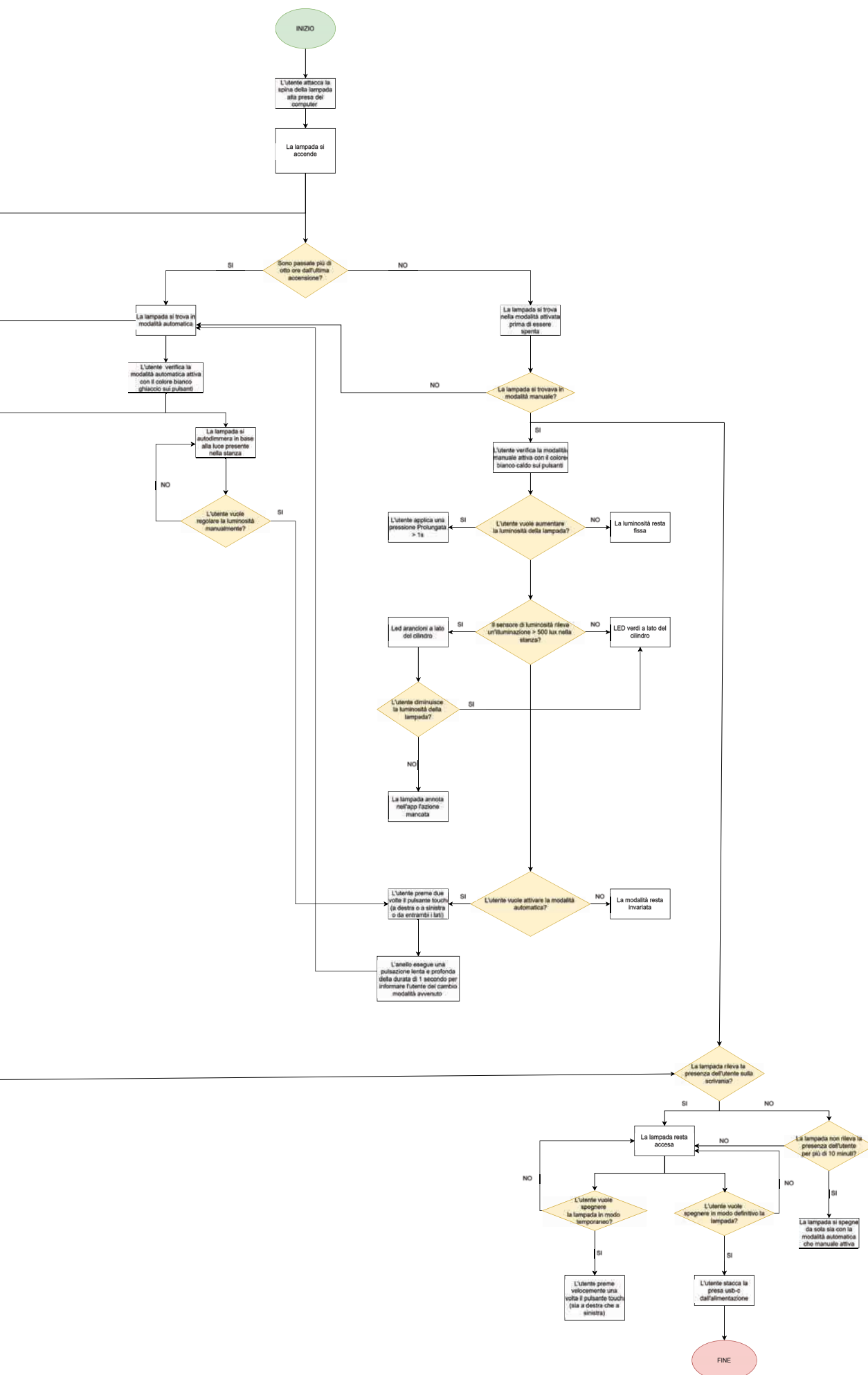
Sommario delle funzioni e dei requisiti

ID	NOME FUNZIONE	DESCRIZIONE	PRIORITA'	COMPONENTE IDENTIFICATO	QUANTITA'
R01	Accensione/ spegnimento del sistema	Togliere fisicamente la spina dalla presa della corrente.	A	Charger usb-c	1
R02	Elaborazione e visione	Il sistema analizza i dati dei sensori per gestire l'automazione e interpretare i gesti della mano dell'utente	A	Raspberry Pi zero 2 W	1
R03	Acquisizione immagini	Acquisizione del flusso video per il rilevamento della presenza e dei gesti dell'utente	A	Raspberry Pi camera module	1
R04	Illuminazione circadiana	Emissione di luce con temperatura variabile (CCT) da caldo (2700K) a freddo (3500K) per simulare il ciclo solare e non intaccare il ciclo di sonno dell'utente.	A	Striscia LED CCT 24V	4
R05	Regolazione potenza della luce	Gestione della potenza (dimming) e della miscelazione dei canali bianco caldo/ freddo tramite segnali PWM	A	Modulo MOSFET	2
R06	Alimentazione logica	Conversione della tensione principale (24V) a 5V stabili per alimentare il Raspberry ed i sensori senza danneggiarli	A	Convertitore MP1584EN	2
R07	Sincronizzazione temporale	Mantenimento dell'orario preciso (anche in assenza di alimentazione) per garantire che il ciclo circadiano segua l'orario reale.	M	RTC DS3231	1
R08	Controllo tattile (Backup)	Interfaccia di backup per accensione/spegnimento manuale, dimming in modalità manuale, passaggio da modalità manuale ad automatica e viceversa e spegnimento della modalità follow-me, tramite tocco del pulsante touch	M	Sensore touch	2
R09	Ricarica dispositivi esterni	Presenza di 2 porte USB-C (1 a destra e 1 a sinistra) integrate nella scocca per la ricarica di dispositivi elettronici	M	Prese USB-C	2
R10	Feedback luminoso anelli	Segnalazione visiva (bianco caldo e bianco ghiaccio) per indicare la modalità in cui si trova l'utente (manuale/automatica) e lo spegnimento/accensione della modalità follow me	M	MICRO LED RGB	8

R11	Adattamento luminosità	Rilevamento della luce ambientale nella stanza per regolare automaticamente l'intensità della lampada (funzione auto-dimming)	M	Sensore luce	2
R12	Feedabck ambientale	Presenza di LED laterali RGB che si illuminano per segnalare troppa luce ambientale (arancio, solo in modalità manuale) o corretta luce ambientale (verde)	M	Pixel LED	2

5.5 Diagramma di flusso





5.6 Introduzione al manufatto

Come detto il punto di partenza del progetto di tesi è l'analisi di un corpo illuminante sviluppato in contesto industriale, caratterizzato da un design minimale e da una logica costruttiva di alta precisione.

Tuttavia, la comprensione del ciclo di lavorazione originale non è stata condotta con finalità puramente descrittive, ma come indagine propedeutica indispensabile alla fase operativa.

L'obiettivo del progetto, infatti, prevedeva un intervento fisico diretto sul manufatto ("Retrofit") per integrare la nuova architettura hardware IoT.

Per operare modifiche strutturali in officina – come forature, fresature per i nuovi alloggiamenti e adattamenti dei cablaggi – è stato fondamentale comprendere a fondo la natura dei materiali e le tecnologie di genesi del pezzo.



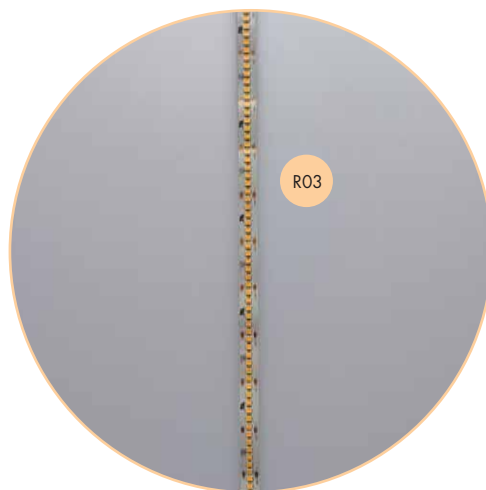
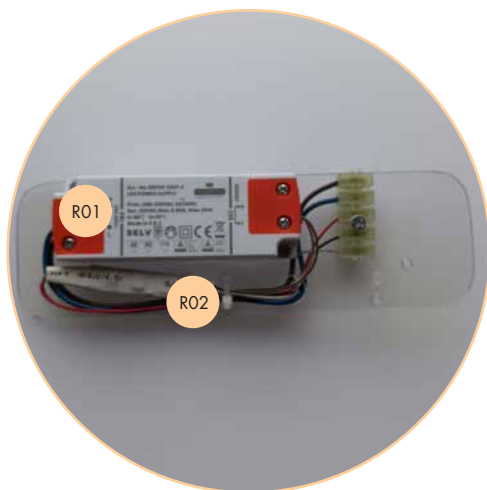
5.7 Analisi hardware pre-esistente

Stato di fatto

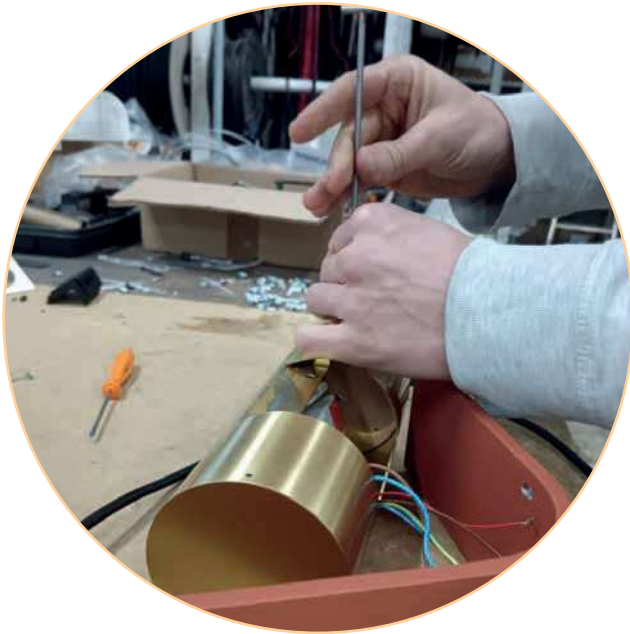
Dopo aver smontato ed esaminato l'interno della lampada, è stato possibile capire che l'elettronica originale non era adatta agli obiettivi del nuovo progetto. Il problema principale era la mancanza di potenza: il vecchio alimentatore da 20 W, che sono troppo pochi per far funzionare contemporaneamente il microcontrollore, la telecamera e la ricarica dei dispositivi elettronici tramite USB-C.

Inoltre, il vecchio circuito che regolava la luce non può elaborare l'edge AI (intelligenza artificiale a bordo) per distinguere i gesti intenzionali dell'utente dai semplici movimenti casuali. Per questo motivo è stata rimossa tutta la componentistica interna e si utilizzerà soltanto la scocca esterna come contenitore per il nuovo sistema.

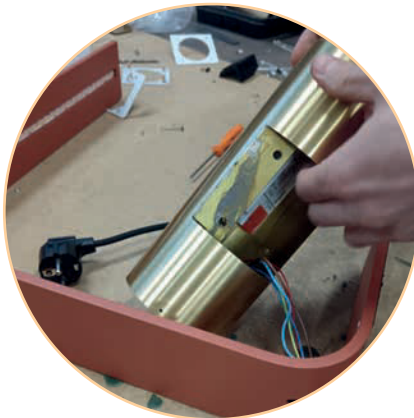
ID	COMPONENTE / MODELLO RILEVATO	FUNZIONE ORIGINALE	CRITICITÀ RISCONTRATA	AZIONE DI PROGETTO
R01	Alimentatore interno Snappy SNP20-24VF-E	Driver LED da incasso (input 220 - 240 V, output 24V) potenza max 20W	Potenza insufficiente per il nuovo hardware che richiede > 70W	Rimozione e sostitu- zione con alimentato- re USB-C 36W
R02	Modulo touch dimmer CTT007	Scheda elettronica per accensione e regolazione luce al tocco	Sistema chiuso che non è possibile programmare ed interfacciare con Raspber- ry Pi e Vision AI	Rimozione e sostitu- zione con Raspberry + MOSFET
R03	Sorgente luminosa striscia LED SMD	Illuminazione base (consu- mo 9W)	Luminosità limitata e resa cromatica standard	Rimozione e sostitu- zione con striscia COB ad alta densità
R04	Cablaggio 220V cavo bipolare diretto	Portava la corrente di rete direttamente dentro la base	Rischio sicurezza (alta tensione nel corpo della lampada)	Installazione connetto- re DC per operare solo a bassa tensione 24V



5.8 Reverse engineering



Prima di definire la strategia di intervento, si è reso indispensabile procedere al disassemblaggio completo del corpo illuminante per indagarne la costruzione interna. Questa operazione di Reverse Engineering ha permesso di rimuovere e catalogare la componentistica elettronica originale (driver, strip LED e cablaggi), ma soprattutto ha consentito di comprendere i volumi tecnici reali (housing) nascosti all'interno del profilo estruso e del cilindro in ottone.



5.9 Elenco delle componenti elettroniche

MICROCONTROLLORE

Raspberry Pi zero 2 W

Codice articolo: SC0510



CARATTERISTICHE:

Processore (SoC): Broadcom BCM2710A1
Quad-core 64-bit ARM Cortex-A53 @ 1GHz
Memoria (RAM): 512MB LPDDR2 SDRAM
(integrata nel SiP)

Dimensioni: 65 x 30 x 5 mm (L x P x S)

Peso: 9 g

Interfaccia Camera: Connettore CSI-2 dedicato

Archiviazione: Slot per MicroSD card (per sistema operativo e script Python).

CONSUMO ENERGETICO:

A riposo: ~100 mA

Sotto Carico : ~ 280 - 450 mA

CONNETTIVITÀ:

Wireless: Wi-Fi 2.4GHz IEEE 802

Bluetooth 4.2 / BLE.

GPIO: 40-pin Header

ALIMENTAZIONE:

Tensione operativa (Logica GPIO): 3.3 V

Tensione di alimentazione: 5 V

Ingresso alimentazione: Via porta Micro-USB "PWR"

LINK:

<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-zero-2-w/>

MEMORIA DI MASSA

San-Disk ultra microSDXC (64GB)

Codice articolo: GY 302



CARATTERISTICHE:

Misure: 14 x 10 x 1.02 mm

Capacità: 64 GB

Fattore di Forma: microSDXC.

Classe di Velocità: Class 10

Classe Prestazioni App: A1

Velocità di Lettura: Fino a 140 MB/s

ALIMENTAZIONE:

Tensione di alimentazione v: 3.3V ~ 5V

CONSUMO ENERGETICO:

Corrente: ~ 7 mA

LINK:

https://www.amazon.it/gp/aw/d/B09Y82QHL/?encoding=UTF8&pd_r

VIDEOCAMERA

Raspberry Pi camera module 3

Codice articolo: BOBRY6MVXL



CARATTERISTICHE:

Dimensioni: 25 x 24 x 5,5 mm

Peso: 4 g

Risoluzione Foto: 4608 x 2592 pixel

Video: 1080p @ 50fps / 720p @ 100fps

Messa a Fuoco: Autofocus (Motorizzato)

Angolo di Visione (FoV): 75°

ALIMENTAZIONE:

Tensione Operativa: 3.3 V

Fonte di Alimentazione: tramite interfaccia CSI-2

CONSUMO ENERGETICO:

In Standby: ~ 80 mA

In Attività (Streaming 1080p + Autofocus):
~ 250 - 300 mA

LINK:

https://www.amazon.it/Raspberry-Pi-Camera-Module-3/BRY6MVXL/ref=asc_df_BOBRY6MVXL?mcid=6c

Convertitore DC-DC Step Down

Modulo discendente convertitore

Codice articolo: XL4015



CARATTERISTICHE:

Dimensioni: 54 x 23 x 18 mm

Peso : 16 g

Efficienza di Conversione: Fino al 96%

Frequenza di Switching: 180 KHz

Ondulazione in Uscita (Output Ripple): < 30mV

Regolazione del Carico (Load Regulation): $\pm 0.5\%$

Regolazione di Tensione (Voltage Regulation): $\pm 2.5\%$

ALIMENTAZIONE:

Alimentazione Ingresso (Input): 20 V

Alimentazione Uscita (Output): 5

CONSUMO ENERGETICO:

Corrente Max: 5A

LINK:

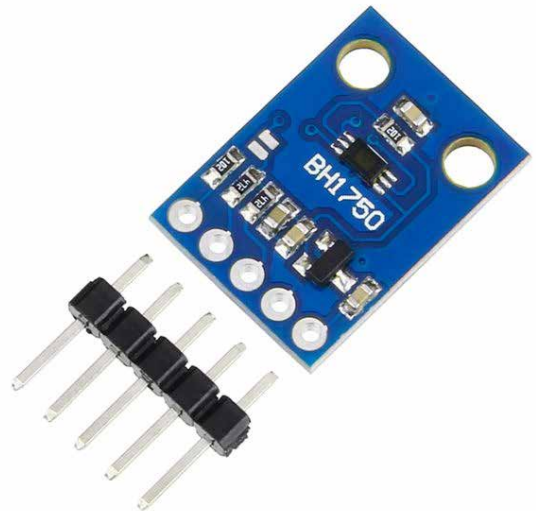
<https://www.amazon.it/AYWHP-regolabile-efficienza-compatibi->

SENSORE LUMINOSIT

À

AZDelivery GY-302 BH170

Codice articolo: GY 302



CARATTERISTICHE:

Dimensioni: 104 x 61 x 20 mm

Peso : 20 g

Intervallo operativo di temperatura: -35°C - 70°C

Risoluzione: 16bit

Portata del sensore: 1 to 65535 lx

ALIMENTAZIONE:

Tensione di alimentazione v: 3.3V ~ 5V

CONSUMO ENERGETICO:

Corrente: ~ 7 mA

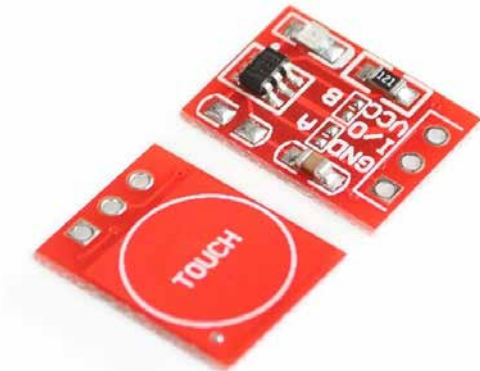
LINK:

<https://www.amazon.it/AZDelivery-GY-302-Parent/dp/B07TKWNGZ4?th=1>

SENSORE TOUCH

Digital touch sensor switch module

Codice articolo: M467706U



CARATTERISTICHE:

Dimensioni: 14 x 12 x 2,5 mm

Peso : 10 g

Modalità operativa: On-off

Chipset: TTP223-BA6 (TonTouch™)

Tecnologia: Rilevamento a variazione di capacità parassita

Tempo di Risposta: ~60ms

ALIMENTAZIONE:

Tensione di alimentazione: 2,5 ~ 5 V

CONSUMO ENERGETICO:

Modalità Standby: 1.5 µA

Modalità Attiva (Tocco): ~13 µA

LINK:

https://www.amazon.it/JZK-TTP223-Self-Lock-Capacitivo-Switch/dp/B09VPK9N7F/ref=sr_1_1_sspa?adgrpid=66

MODULO DI PRECISIONE

TEMPO REALE

Real time clock DS3231

Codice articolo: AT24C32



CARATTERISTICHE:

Dimensioni: 38 x 22 x 14 mm

Peso : 8 g

Chipset Principale: Maxim Integrated DS3231SN

Tipo di Oscillatore: TCXO

Precisione Temporale: 2ppm (parti per milione)
0°C ~ +40°C

ALIMENTAZIONE:

Tensione di alimentazione: 3,3-5 V

CONSUMO ENERGETICO:

Consumo Chip: ~200 µA (0.2 mA)

Consumo Totale Modulo: ~1.5 mA - 3.0 mA

LINK:

https://www.amazon.it/WINGONEER-Piccolo-AT24C32-precisione-Orologio/dp/B01H5NAFUY/ref=asc_df_B01

PRESA USBC

Presa USB-C 3A 2 poli

Codice articolo: VL53L0X



CARATTERISTICHE:

Dimensioni: 32 x 20 x 2 mm

Peso : 21 g

Tensioni di Uscita Supportate:

5V / 3A

9V / 3A

12V / 3A

20V / 3.25A

ALIMENTAZIONE:

Tensione di ingresso: DC 8-30V

Tensione di uscita: 3,3 - 21 V

CONSUMO ENERGETICO:

Corrente: 10mA - 30mA

LINK:

https://www.amazon.it/dp/B0G2BPGBBX?ref=cm_sw_r_cso_wa_apan_dp_78RPODDQP04KXEAXS6BZ&ref_=cm_sw_r_c

PIXEL LED RGB SINGOLI

Chip LED indirizzabili individuali
con dissipatore

Codice articolo: WS2812BLEDB-B100pcs-ECO



CARATTERISTICHE:

Dimensioni: 10 x 10 x 3 mm

Peso : 3 g

Chipset: WorldSemi WS2812B
(integrato nel corpo del LED)

Risoluzione Colore: 24-bit

Interfaccia: Single-Wire (Dati su un solo filo).

Velocità Dati: 800 Kbps.

ALIMENTAZIONE:

Tensione di alimentazione: 5 V

CONSUMO ENERGETICO:

Massimo (Bianco 100%): ~60 mA

Tipico (Colore puro o mix tenue): ~20 mA

Standby: < 1 mA

LINK:

<https://www.amazon.it/BTF-LIGHTING-indirizzabili-indivi-duali-dissipatore-incorporato/dp/B088K8DVMQ?th=1>

MODULO DRIVER

Moduli driver MOSFET schede driver
PWM

Codice articolo: MOS-irf



CARATTERISTICHE:

Dimensioni: 33 x 24 x 15 mm

Peso : 15 g

Frequenza PWM: Supporta frequenze
0 – 20 kHz

ALIMENTAZIONE:

Tensione di alimentazione: 5V – 36V

CONSUMO ENERGETICO:

Corrente Continua: Fino a 15A

Corrente di Picco (Max): 30A

STRISCIA LED COB TUNABLE

WHITE (CCT)

Striscia LED COB CCT 24V 5M interno
2700K-6500K

Codice articolo: COB-640-CCT



CARATTERISTICHE:

Taglio del segmento: ogni 2,5 cm tagliabile

Tecnologia: COB (Chip on Board)

Densità LED: 640 LED al metro

Resa Cromatica (CRI): Ra > 90

Potenza: 90W

Tipo di LED: COB

Temperatura di colore: 2700K-6500K

Lumen: 2000LM/M, 10000LM totale

ALIMENTAZIONE:

Tensione di alimentazione: 24V

CONSUMO ENERGETICO:

Corrente: 10 - 12 Watt al metro

ALIMENTATORE WALL CHARGER USB-C

Alimentatore switching AC/DC 65W

Codice articolo: A2663311



CARATTERISTICHE:

Dimensioni: 360 x 420 x 420 mm

Peso : 120 g

Tensione di Ingresso (Input): 100-240V AC, 50/60Hz (Universale).

Protocollo di Negoziazione: USB Power Delivery 3.0 (PD)

Profilo di Uscita Richiesto: erogazione di 20V a un minimo di 3.25A.

Potenza Totale Max: 65 Watt.

ALIMENTAZIONE:

Tensione di alimentazione: 20 V

CONSUMO ENERGETICO:

Corrente: 3.25A

SPARKFUN POWER DELIVERY BOARD

USB-C PD Trigger

Codice articolo: A26524-63311



CARATTERISTICHE:

Dimensioni: 250 x 250 x 70 mm

Peso : 5 g

Chip Controller: STUSB4500 (STMicroelectronics)

Protocollo Supportato: USB Power Delivery

Tensioni Negoziabili (Output): 5V, 9V, 12V, 15V, 20V

Potenza Massima Supportata: 100 Watt

Connettore di Ingresso: USB Type-C (Femmina).

Interfaccia di Uscita: Piazzole VBUS (Positivo) e GND (Negativo) passo 2.54mm.

Interfaccia di Configurazione: I2C

ALIMENTAZIONE:

Tensione di alimentazione: 20 V

CONSUMO ENERGETICO:

Corrente: 5 A (Max)

DC-DC STEP-UP

Modulo Step-Up XL6009

Codice articolo: DM0049



NEO PIXEL MINI

LED RGBW con chip driver integrato

Codice articolo: SK6812MINI



CARATTERISTICHE:

Dimensioni: 430 x 210 x 140 mm

Peso: 11 g

ALIMENTAZIONE:

Alimentazione Ingresso (Input): 20 V

Alimentazione Uscita (Output): 24 V

CONSUMO ENERGETICO:

Corrente: 4 A (Max)

CARATTERISTICHE:

Dimensioni: 3,5 x 3,5 x 0,95 mm

Peso: 1 g

Colori: RGB (Rosso, Verde, Blu)

Risoluzione Colore: 24-bit totali

Interfaccia: Single-Line (One-Wire)

Usa un solo filo per i dati (oltre a VCC e GND)

Tipo di Segnale: NRZ (Non-Return-to-Zero)

Velocità Trasmissione: 800 Kbps

Refresh Rate: > 30 fps (fino a 1024 pixel)

ALIMENTAZIONE:

Alimentazione: 5V

CONSUMO ENERGETICO:

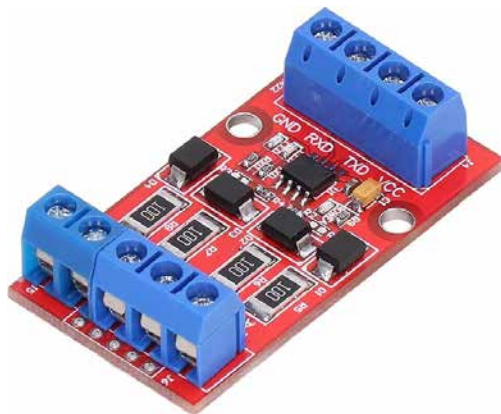
Corrente a Riposo: < 1 mA

Consumo Massimo (Bianco Pieno):
60 mA per pixel

LOGIC LEVEL CONVERTER

Logic Level Converter Bidirezionale

Codice articolo: SK6812



CARATTERISTICHE:

Dimensioni: 23 x 16 x 3 mm

Peso: 3 g

Chipset: TXS0108E (Texas Instruments).

Funzione: 3.3V - 5V.

Tensione Lato Bassa (VCCA - Input): 3.3 V
(Connesso al Raspberry Pi).

Tensione Lato Alta (VCCB - Output): 5 V
(Connesso ai Driver/LED).

Numero di Canali: 8 Bit (Bidirezionali)

ALIMENTAZIONE:

Alimentazione (Tensione/Voltaggio): 3.3V

CONSUMO ENERGETICO:

Corrente: < 1 mA

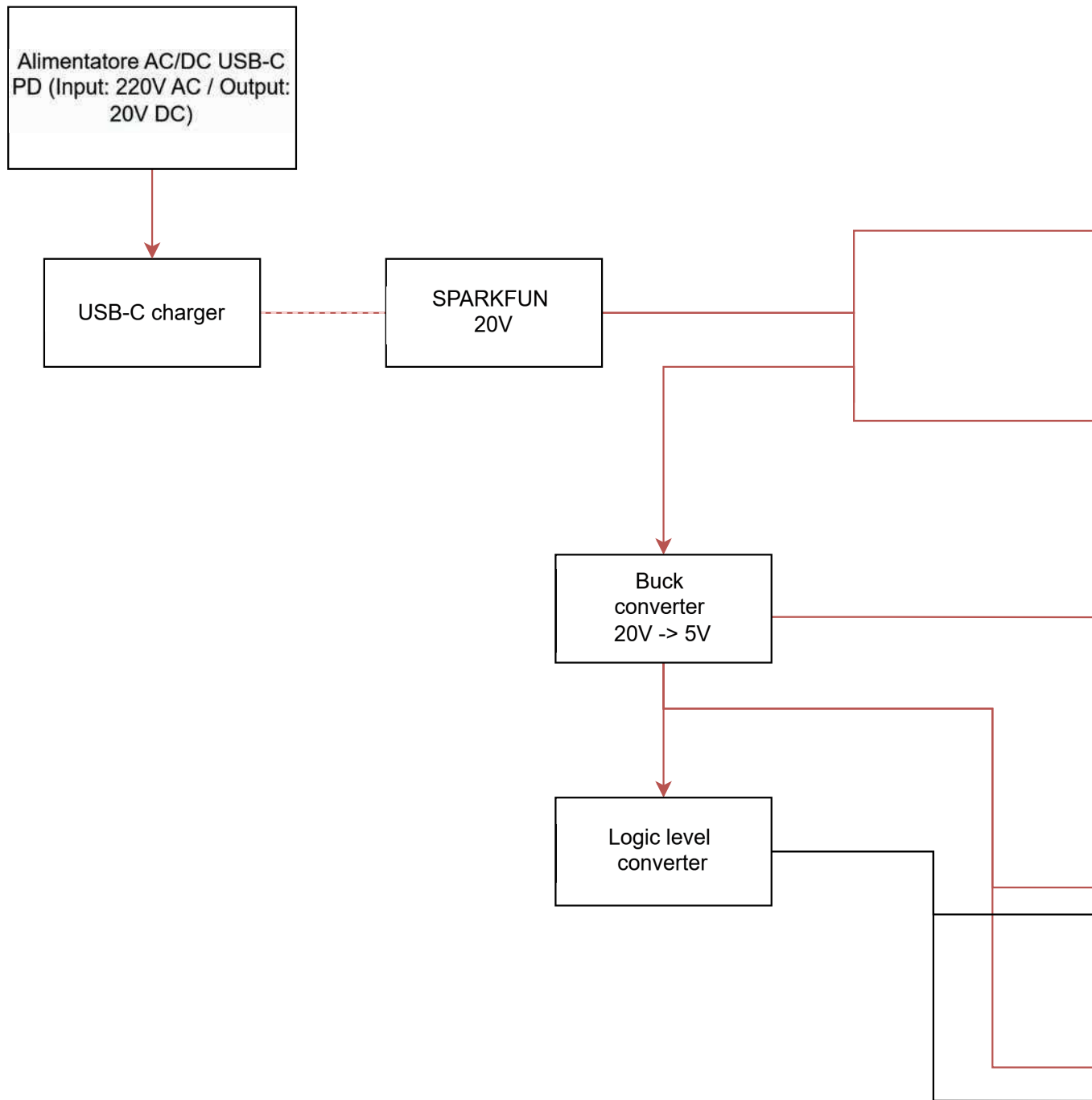
5.11 Dimensionamento delle componenti

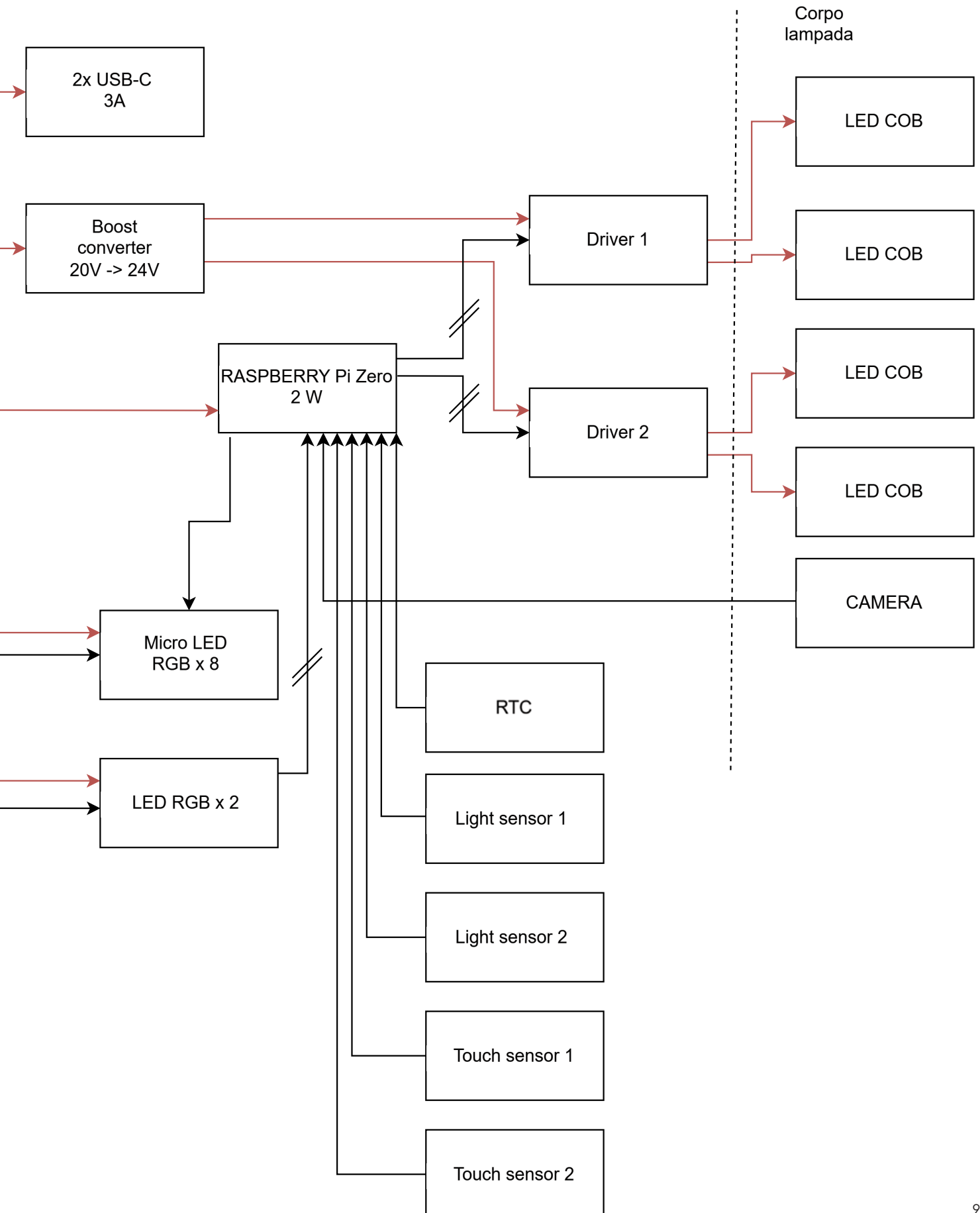
Calcolo delle potenze

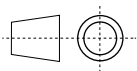
COMPONENTE	QUANTITÀ	TENSIONE (V ₀)	CORRENTE (I ₀)
Raspberry Pi Zero 2 w	1	5V	0,50mA
Camera module 3	1	5V	0,30mA
Micro SD Card	1	3,3V	0,06mA
Sensore touch	2	3,3V	0,01mA
Modulo RTC	1	3,3V	0,01mA
Level converter	1	3,3/5V	//
Striscia LED COB	4 (1 metro)	24V	0,19 mA
Driver MOSFET	2	5V	0,01 mA
Neo pixel RGBW	8	5V	0,06 mA
Sensori luce	2	5V	0,01 mA
LED RGB	2	5V	0,06 mA
Boost converter	1	//	//
Buck converter	1	//	//
SparkFun PD board	1	20V	0,01mA
TOTALE			

POTENZA SINGOLO COMPONENTE	POTENZA TOTALE	% DI UTILIZZO	POTENZA %
2,5W	2,50W	100%	2,50W
1,5W	1,50W	100%	1,50W
0,20W	0,20W	50%	0,20W
0,03W	0,06W	100%	0,06W
0,03W	0,03W	100%	0,03W
0,01W	0,01W	100%	0,01W
4,50W	10W	50%	5W
0,05W	0,10W	100%	0,10W
0,30W	2,40W	100%	2,40W
0,05W	0,10W	100%	0,10W
0,30W	0,60W	50%	0,30W
2,00W	2,00W	70%	1,40W
1,00W	1,00W	100%	1,00W
0,20W	0,20W	100%	0,20W
20,06W			14,40W

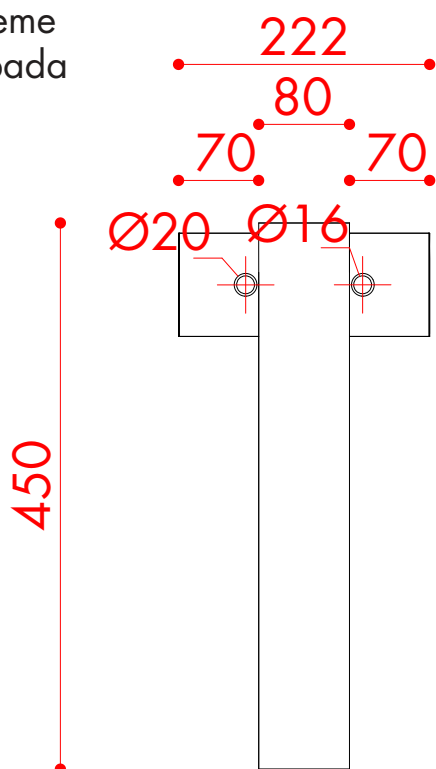
5.12 Schema di connessione



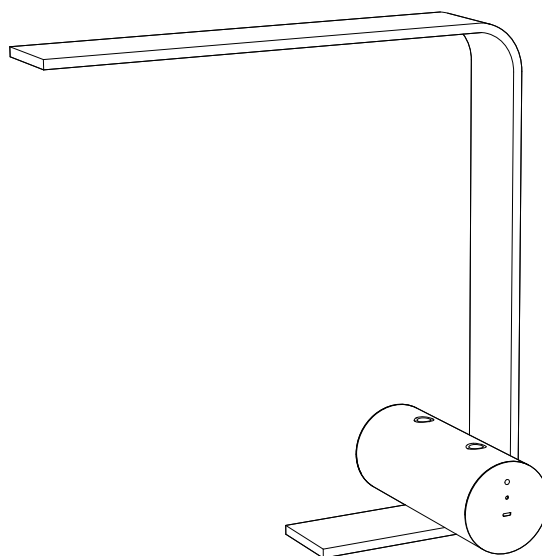




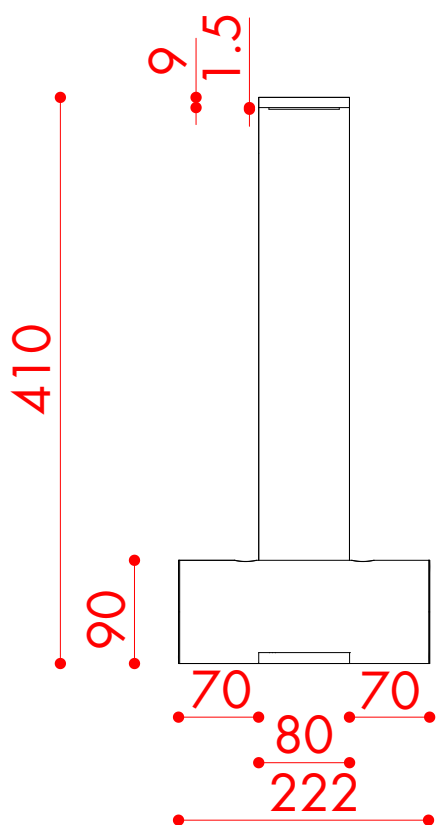
Assieme
lampada



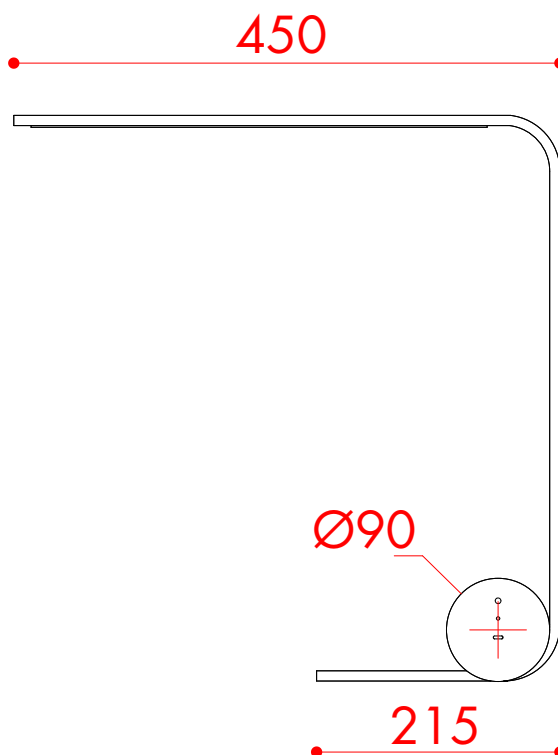
PIANTA



PROSPETTIVA

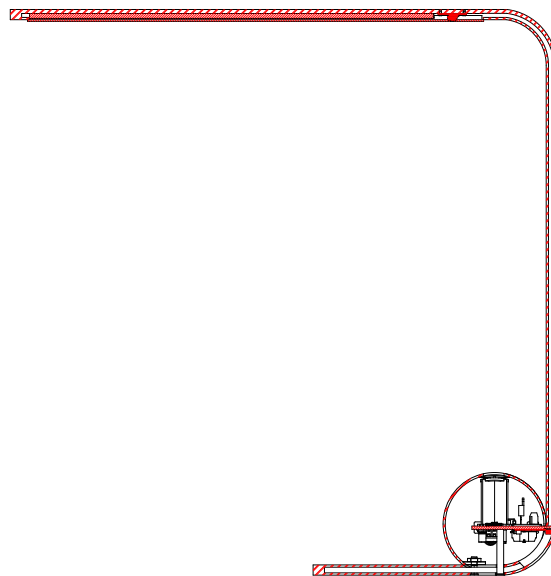
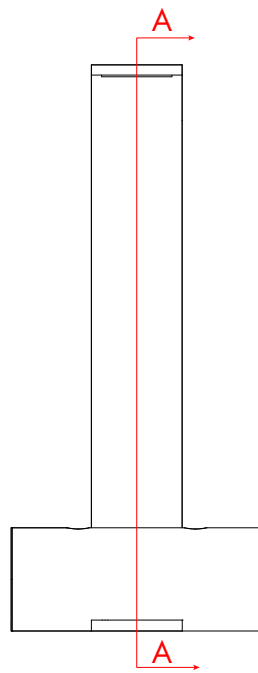


PROSPETTO
FRONTALE



PROSPETTO
LATERALE

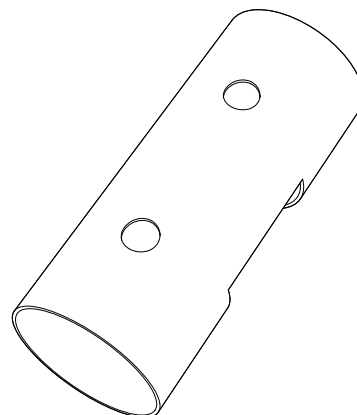
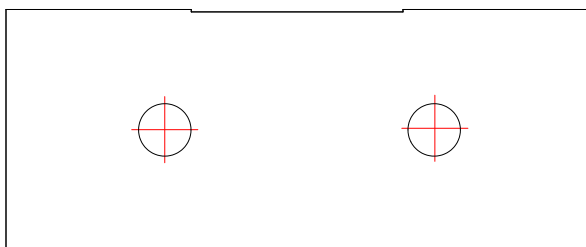
SCALA 3:20



SEZIONE A:A

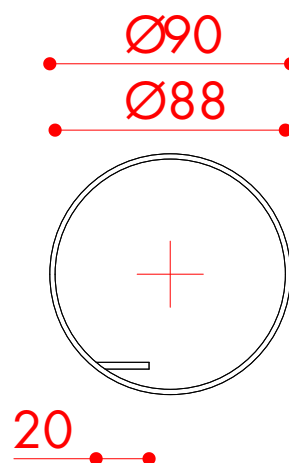
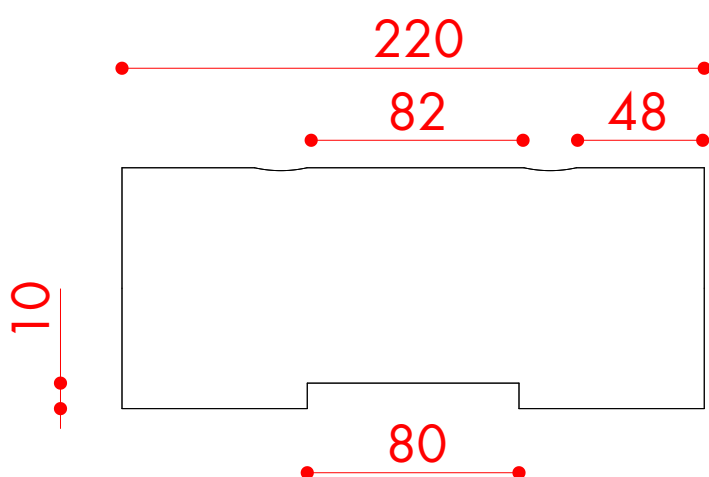
Base in ottone

2 x Ø20



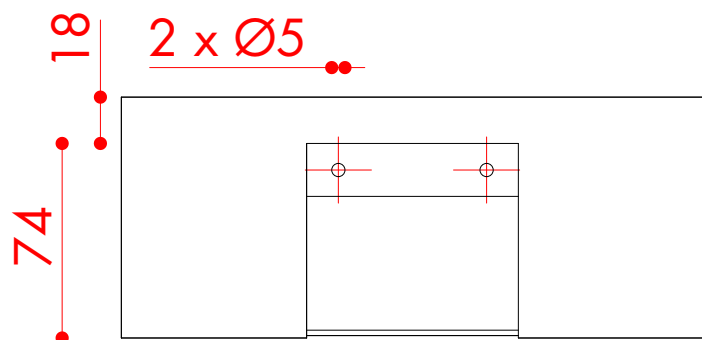
PIANTA

PROSPETTIVA

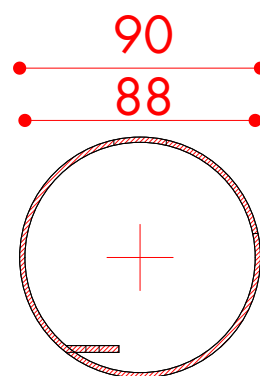
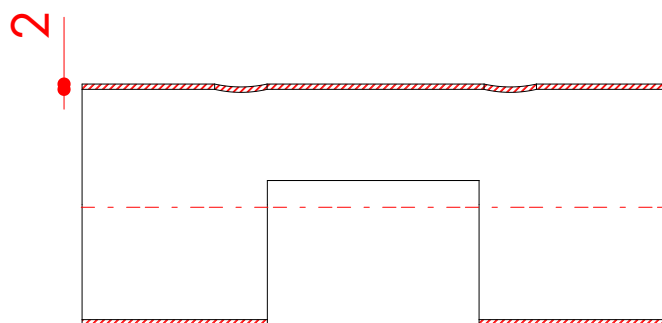
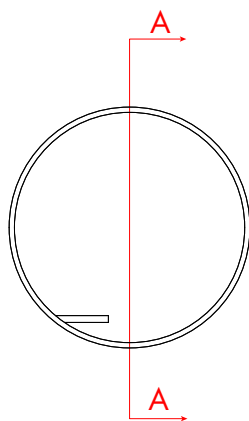


PROSPETTO
FRONTALE

PROSPETTO
LATERALE

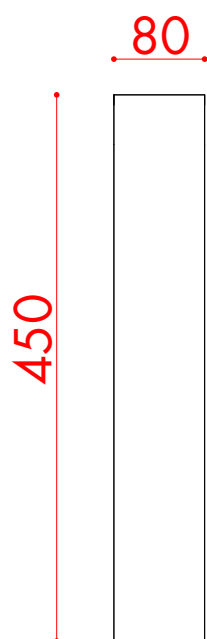


PROSPETTO
INFERIORE

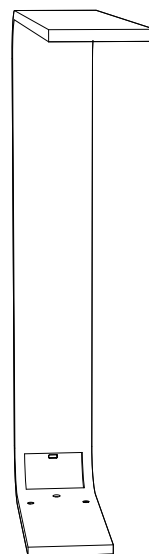


SEZIONE A:A

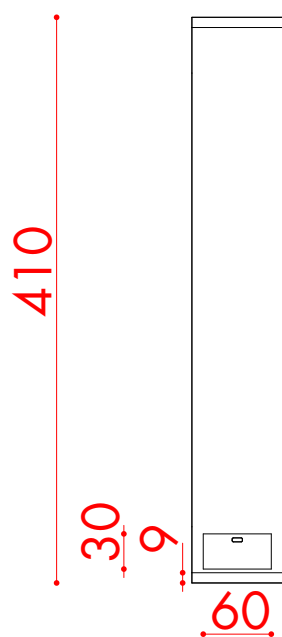
Struttura



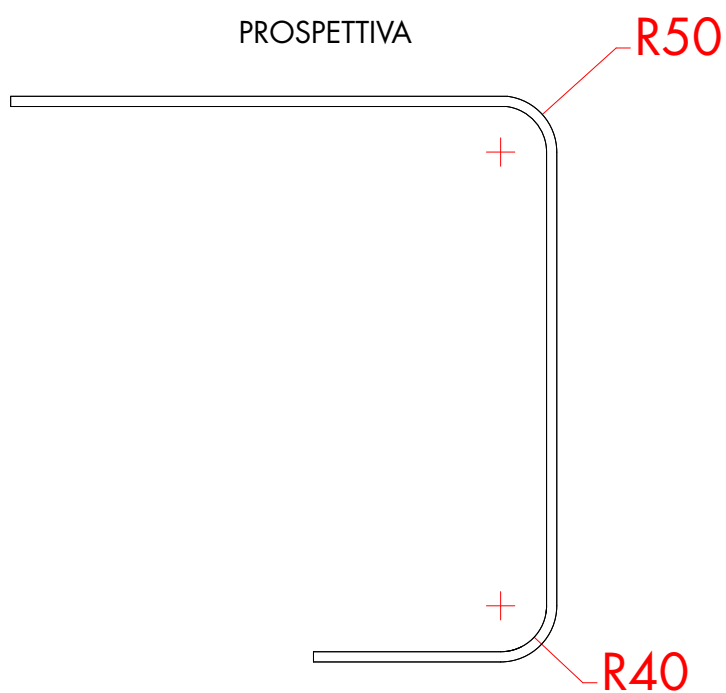
PIANTA



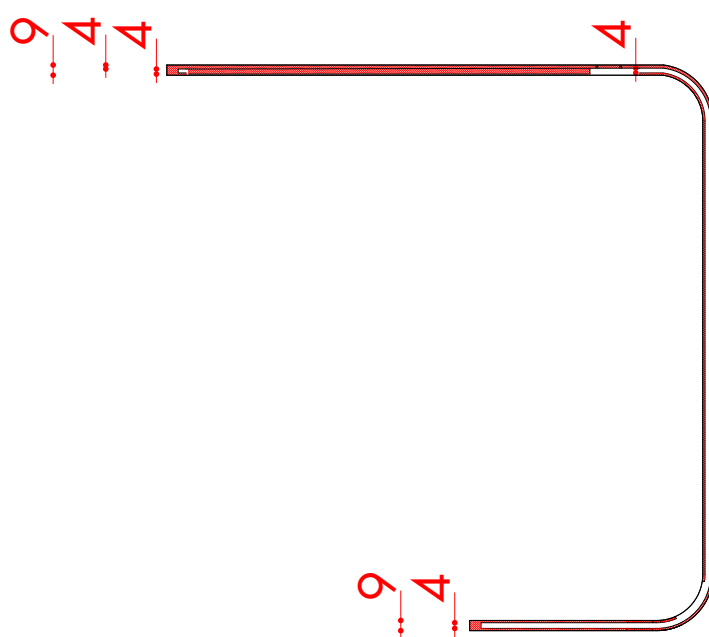
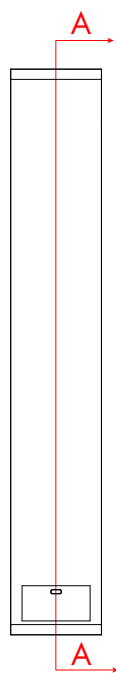
PROSPETTIVA



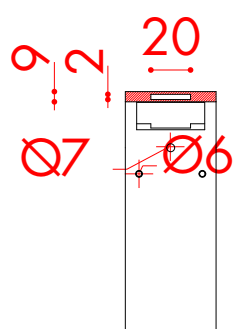
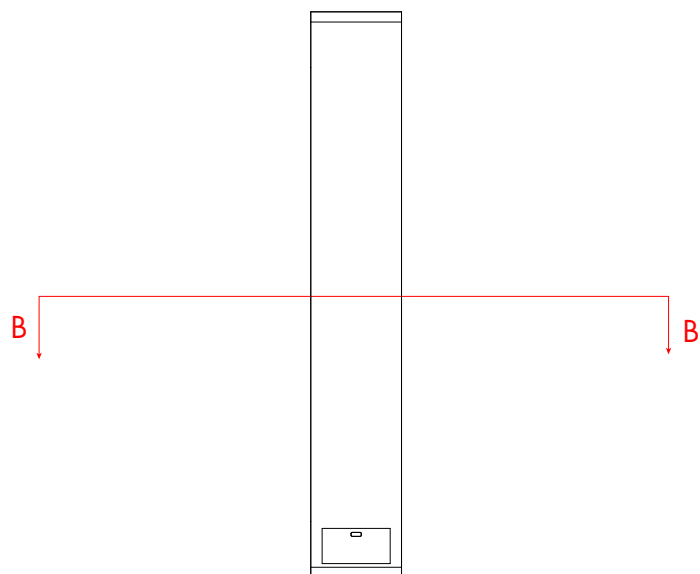
PROSPETTO
FRONTALE



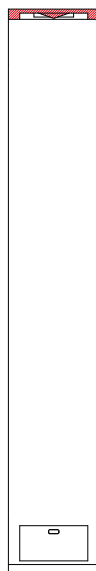
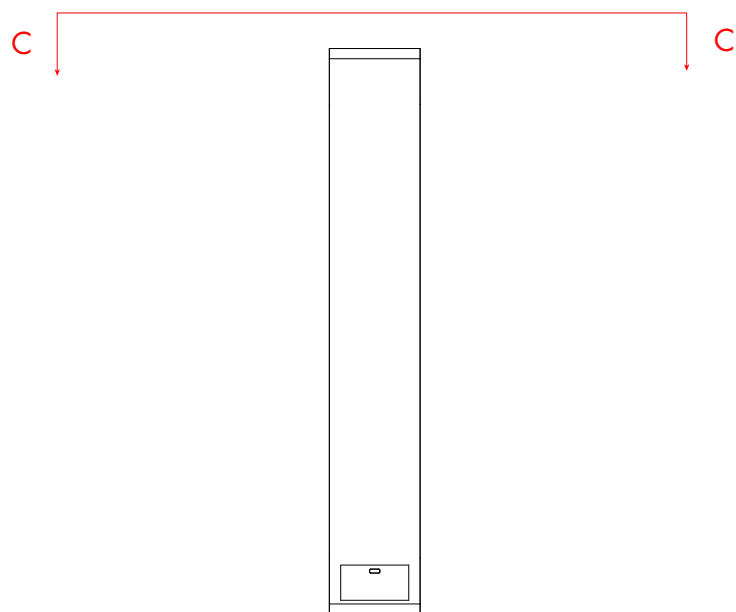
PROSPETTO
LATERALE



SEZIONE A:A

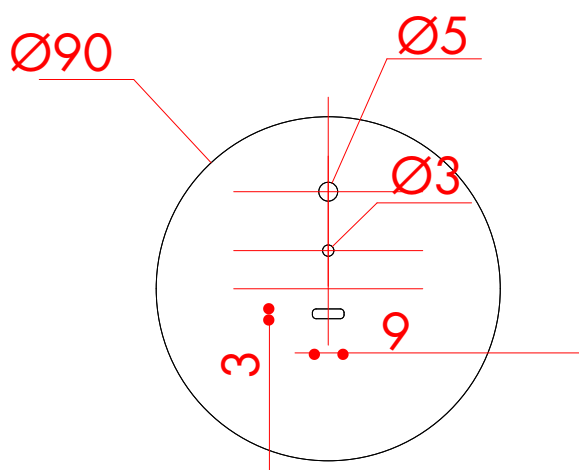


SEZIONE B:B

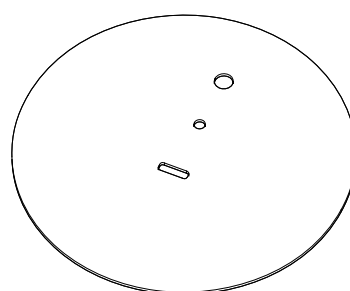


SEZIONE C:C

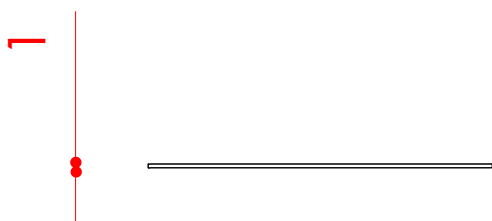
Tappi del cilindro



PIANTA



PROSPETTIVA

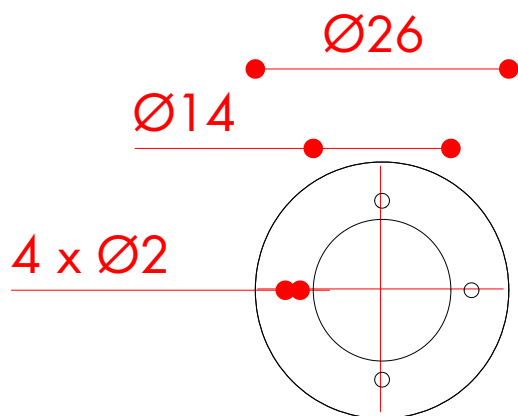


PROSPETTO
FRONTALE

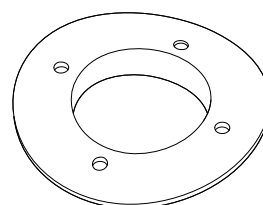


PROSPETTO
LATERALE

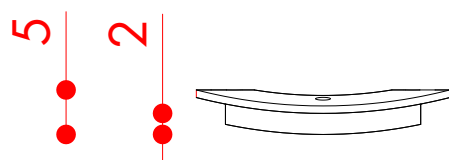
Holo LED



PIANTA



PROSPETTIVA

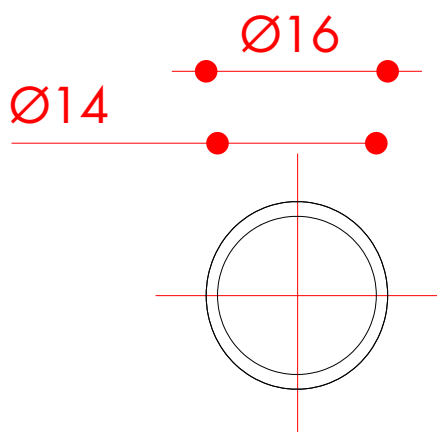


PROSPETTO
FRONTALE

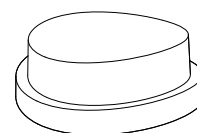


PROSPETTO
LATERALE

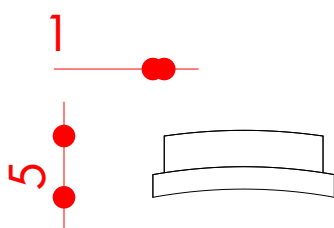
Pulsante touch



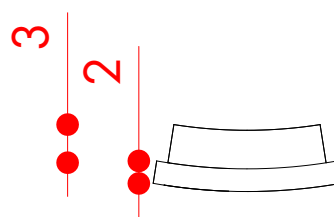
PIANTA



PROSPETTIVA

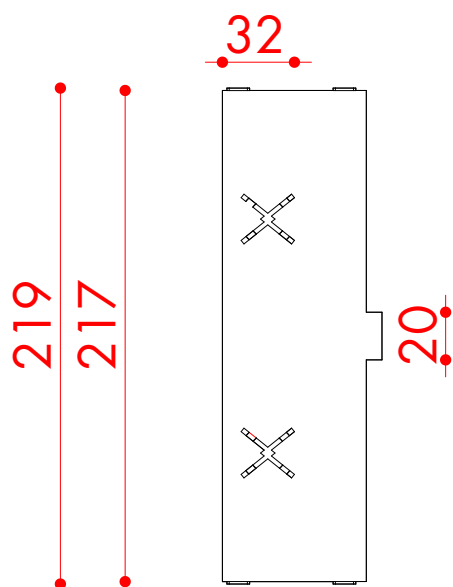


PROSPETTO
FRONTALE

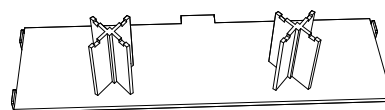


PROSPETTO
LATERALE

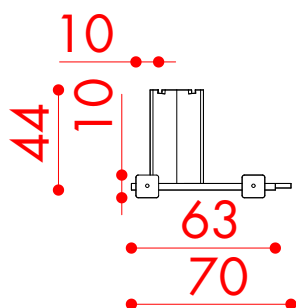
Base componenti



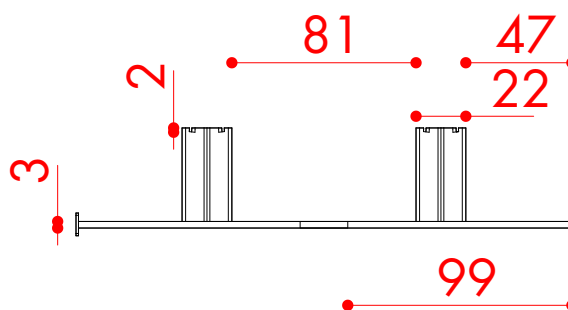
PIANTA



PROSPETTIVA

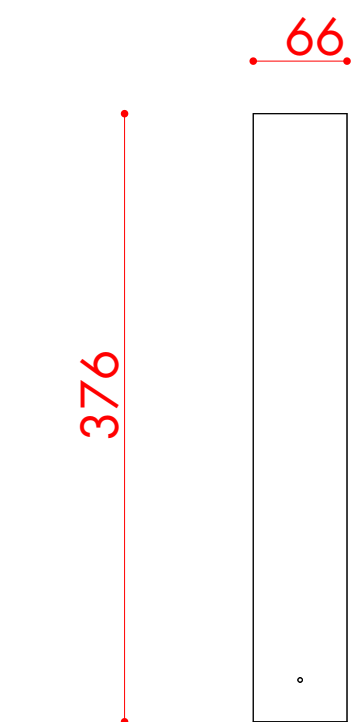


PROSPETTO
FRONTALE

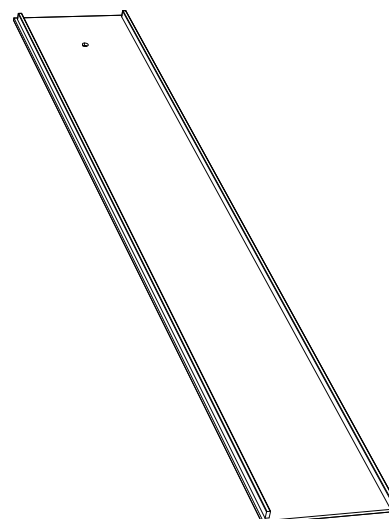


PROSPETTO
LATERALE

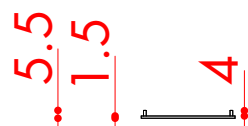
Cover strip LED



PIANTA



PROSPETTIVA

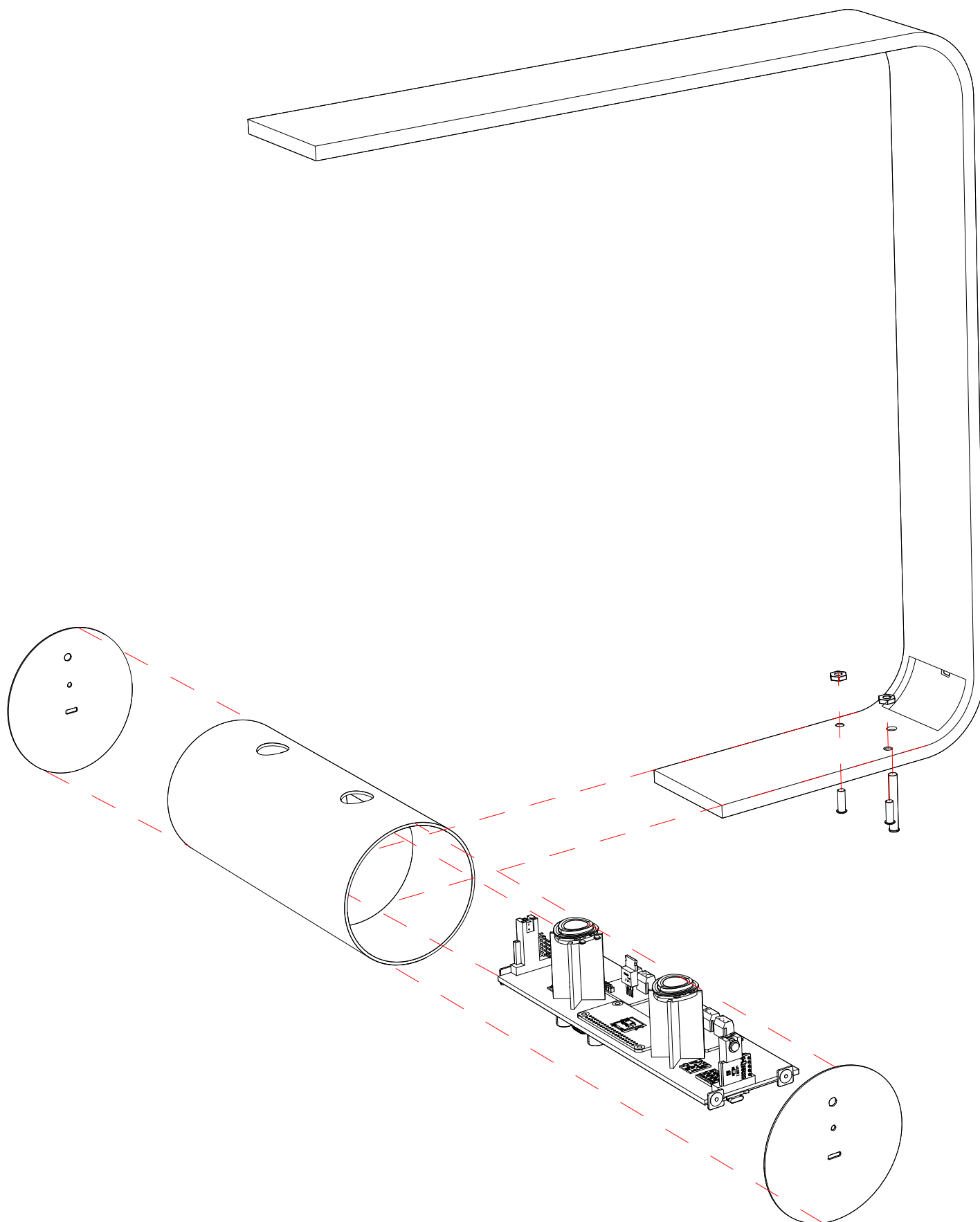


PROSPETTO
FRONTALE

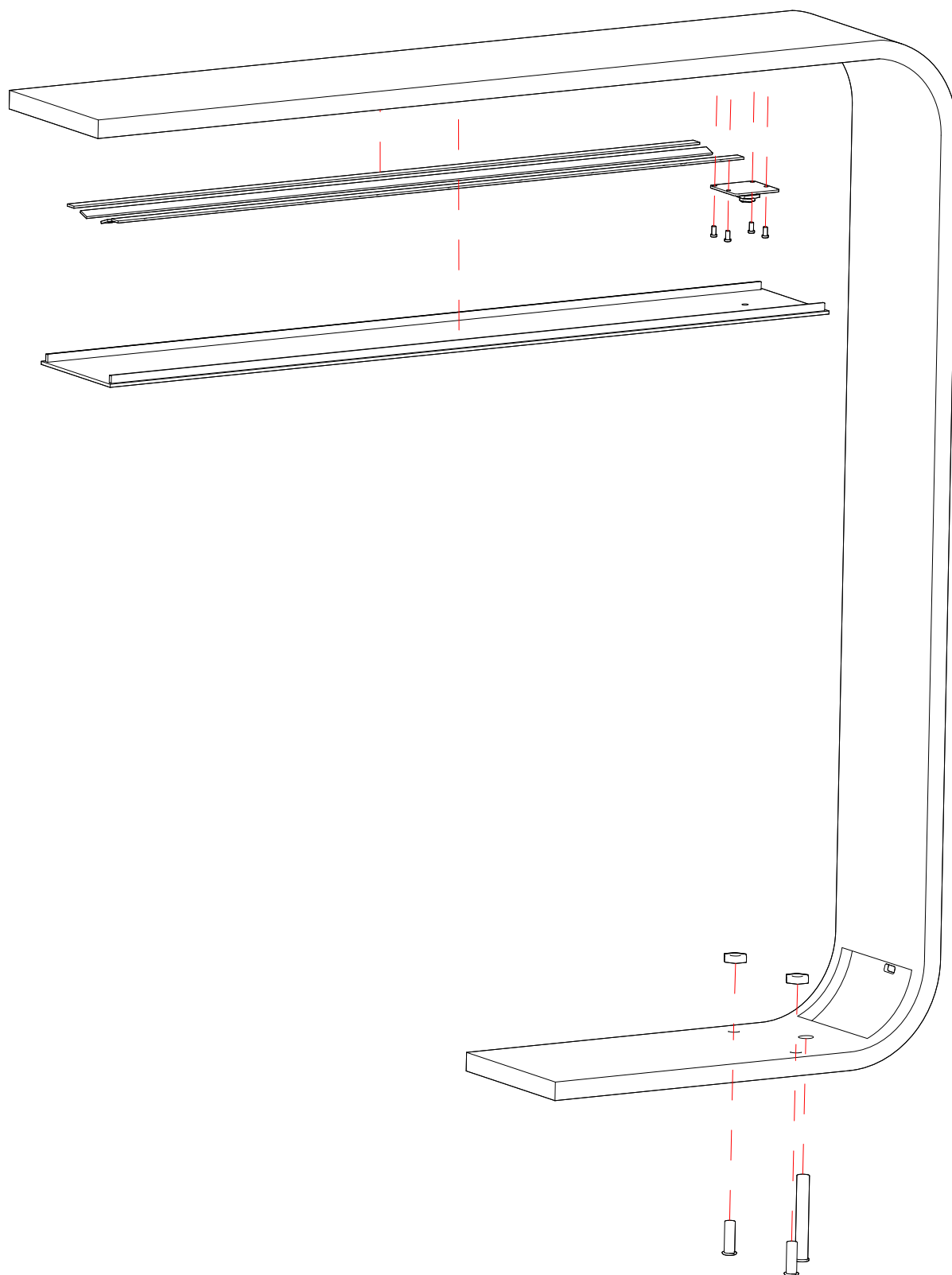


PROSPETTO
LATERALE

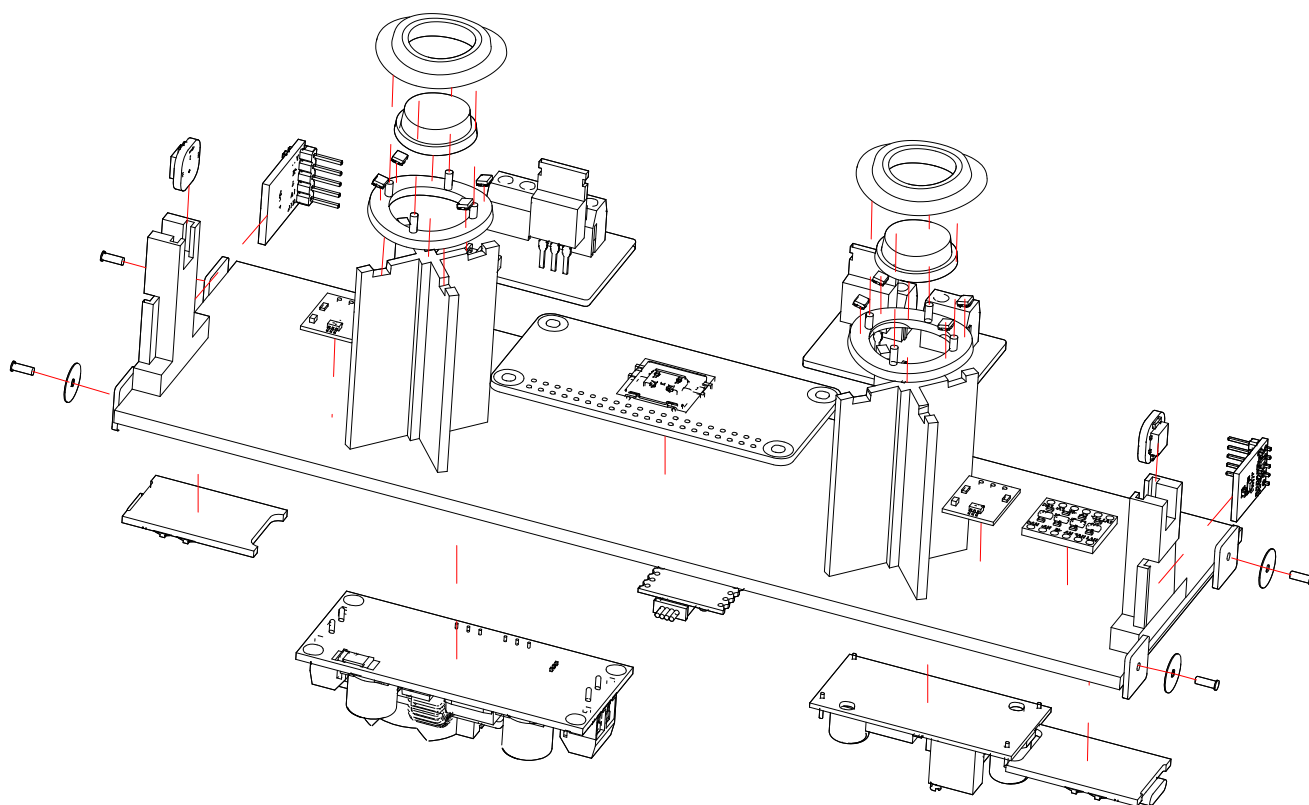
Esploso lampada



Esploso struttura



Esploso supporto componenti



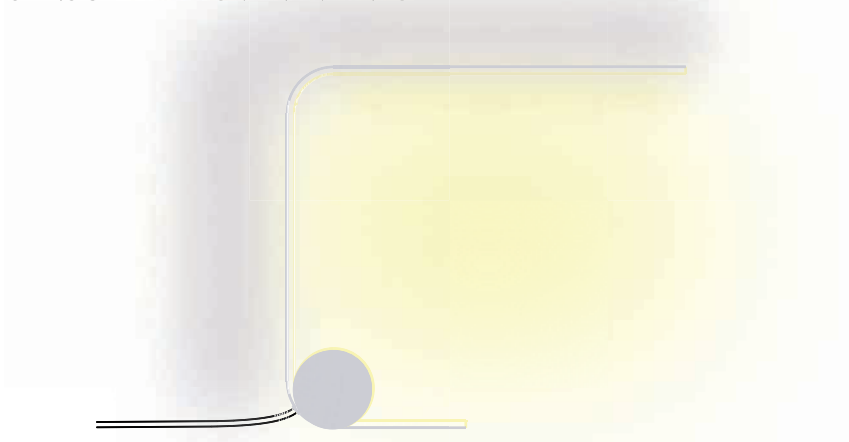
5.14 Posizionamento dei sensori per il calcolo dell'illuminamento

Un aspetto cruciale nella progettazione del sistema riguarda il posizionamento dei sensori per la rilevazione dell'illuminamento, una scelta che non potevo lasciare al caso poiché era necessario sottostare a vincoli ottici imprescindibili. La sfida tecnica principale è rappresentata dal fenomeno della Self-Interference (auto-interferenza): se il sensore fosse posizionato in un punto raggiunto dal cono di luce emesso dalla lampada stessa, restituirebbe un valore falsato, ovvero un "falso positivo". In una simile configurazione, il sistema percepirebbe l'ambiente come correttamente illuminato anche in condizioni di buio totale, impedendo di conseguenza l'attivazione dei feedback visivi di allerta necessari per la salute visiva dell'utente.

Per risolvere questo problema, ho optato per una soluzione morfologica specifica: l'integrazione dei sensori all'interno della fascia perimetrale del tappo cilindrico in ottone. Questa collocazione non è casuale, poiché individua una precisa area di ombra geometrica del dispositivo. Trovandosi sulla faccia verticale laterale e in posizione arretrata rispetto al diffusore luminoso, il sensore rimane isolato dal flusso diretto dei LED. Questa schermatura fisica garantisce che la lettura sia "pulita" e focalizzata esclusivamente sulla luminanza ambientale, permettendo al software di distinguere correttamente tra la luce prodotta dalla lampada e quella presente nella stanza.

Grazie a questo accorgimento, il sistema mantiene un'elevata sensibilità operativa, reagendo in modo puntuale alle variazioni della luce naturale o artificiale esterna senza essere influenzato dalla propria sorgente luminosa.

SENSORE DI ILLUMINAMENTO

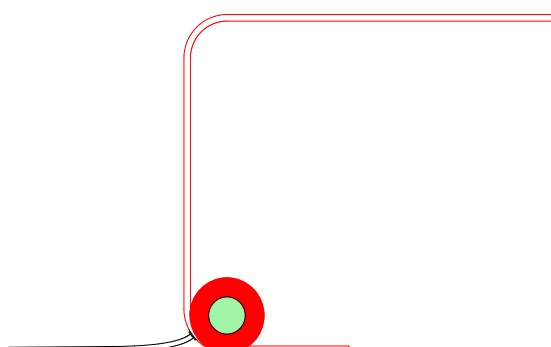


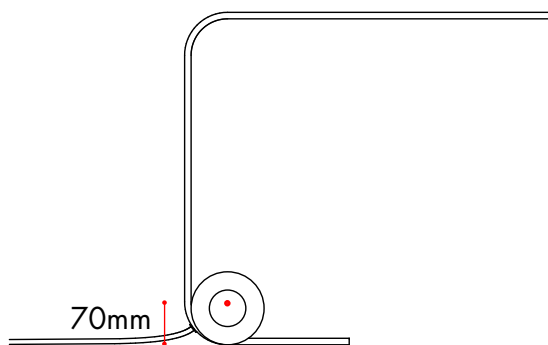
ANALISI ZONE D'OMBRA

- zona illuminata
- zona d'ombra

POSIZIONE

- non ideale
- ideale

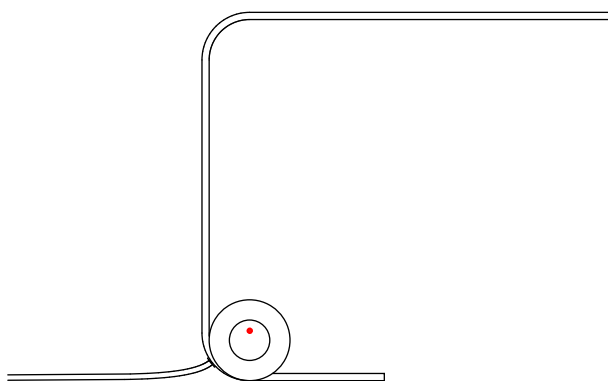




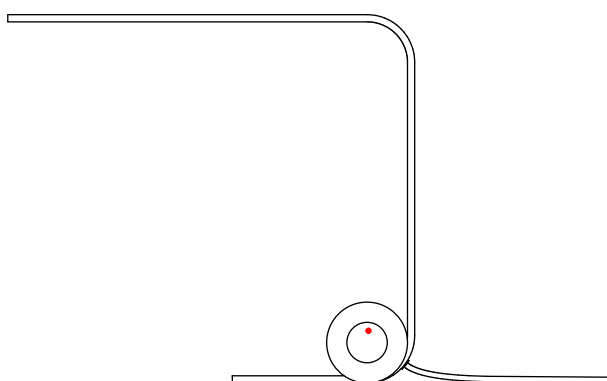
● distanza dal piano di lavoro

● sensori —

DESTRA

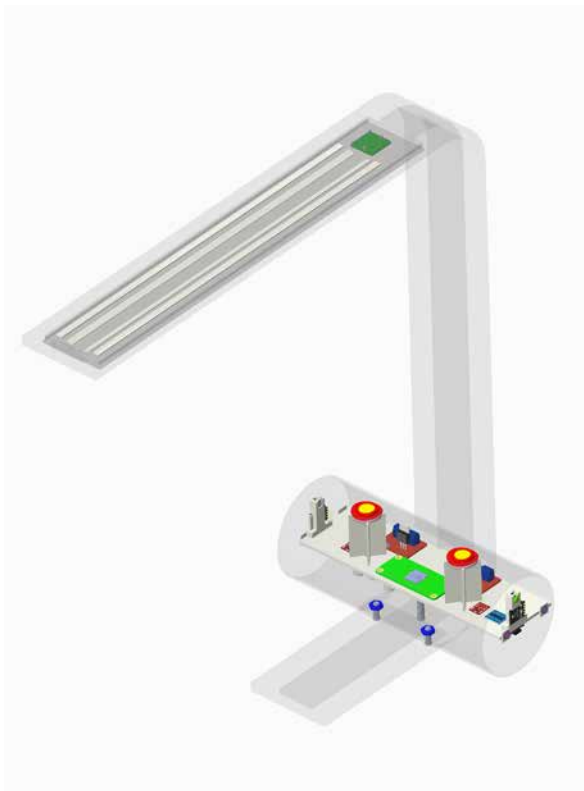


SINISTRA

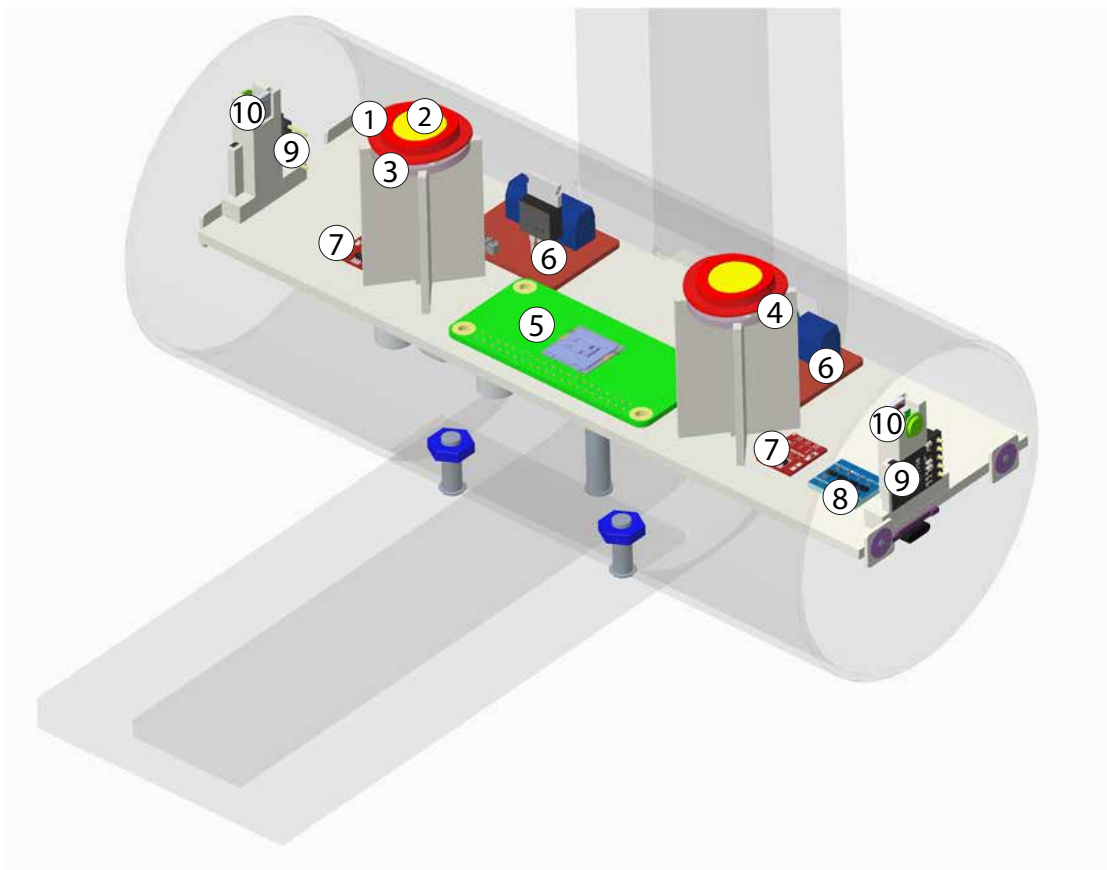


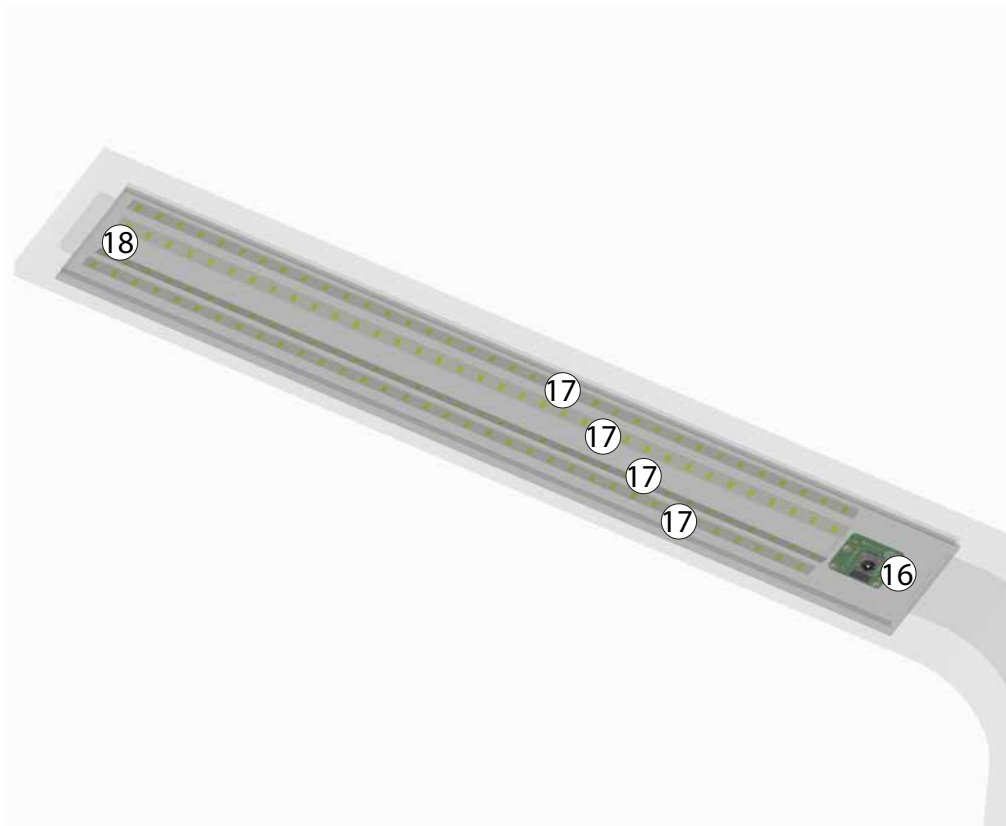
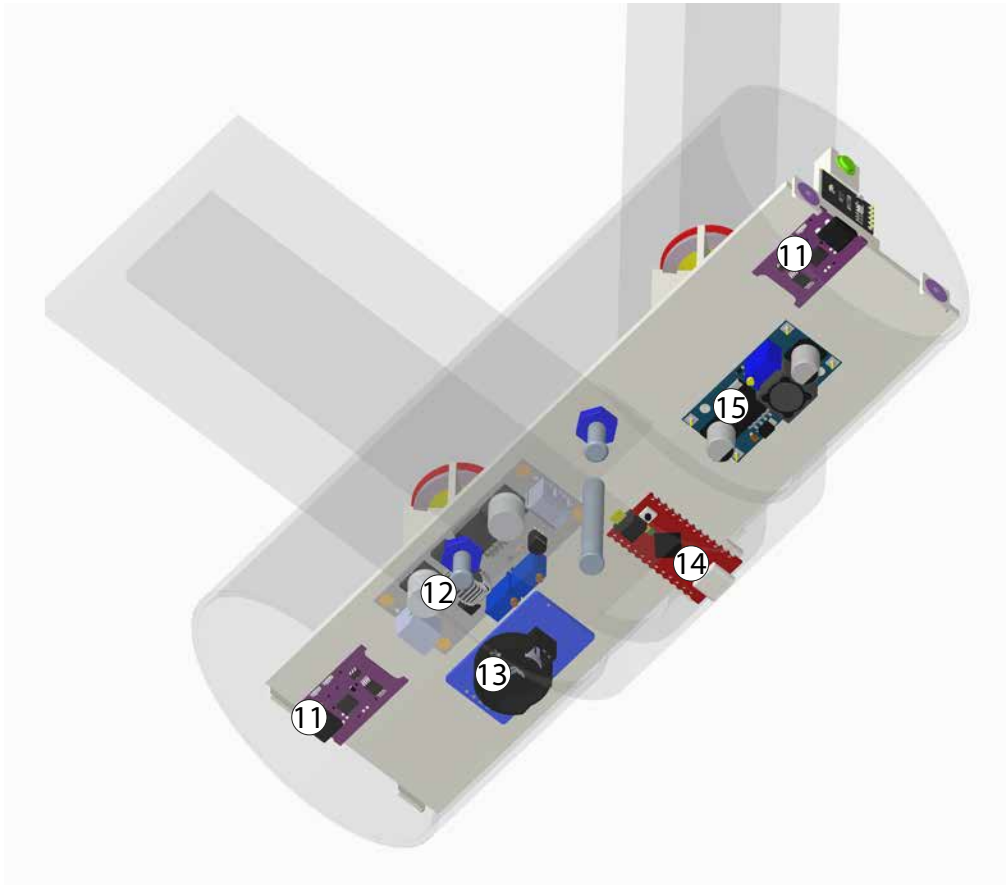
PROPRIETÀ	DESCRIZIONE
Minimizzazione della self-interference	Posizionare i sensori nelle estremità laterali del cilindro garantisce la massima immunità ai disturbi, assicurando che la lettura riguardi esclusivamente la luminanza ambientale.
Punto di campionamento e la superficie di lavoro	Sebbene la normativa UNI EN 12464-1 non fornisca indicazioni costruttive specifiche sul posizionamento dei sensori, essa identifica il piano di lavoro (task area) come unico riferimento per la verifica dei requisiti di illuminamento. Da questa prescrizione deriva la scelta progettuale di alloggiare i sensori alla base della lampada, essendo questa geometricamente complanare alla superficie di lavoro e quindi il punto di misurazione più rappresentativo.
Evitamento delle occlusioni	Il posizionamento a circa 8 cm dal piano di lavoro consente inoltre di superare i tipici ingombri di una postazione operativa come tastiere, tablet o documenti che rischierebbero di occludere i sensori se collocati a filo della base. Elevando leggermente il punto di campionamento si garantisce una linea di vista più libera verso l'ambiente, riducendo le interferenze causate dagli oggetti d'uso quotidiano.
Ridondanza e affidabilità	Nel caso in cui tale distanza non fosse sufficiente a evitare occlusioni accidentali, la presenza di due punti di lettura speculari, posizionati a destra e a sinistra del cilindro, consente al sistema di compensare eventuali schermature parziali, assicurando un feedback coerente con la reale condizione di illuminamento sulla scrivania.

5.15 Layout di disposizione



- | | |
|-------------------|-------------------|
| ① Anello holo | ⑩ LED RGB |
| ② Pulsante touch | ⑪ USB-C |
| ③ Supporto LED | ⑫ Step down |
| ④ Micro LED | ⑬ RTC |
| ⑤ Raspberry | ⑭ Spark Fun |
| ⑥ Mosfet | ⑮ Step up |
| ⑦ Sensore touch | ⑯ Camera |
| ⑧ Level converter | ⑰ Strip LED |
| ⑨ Sensore luce | ⑱ Cover strip LED |





5.16 Calcolo della massa

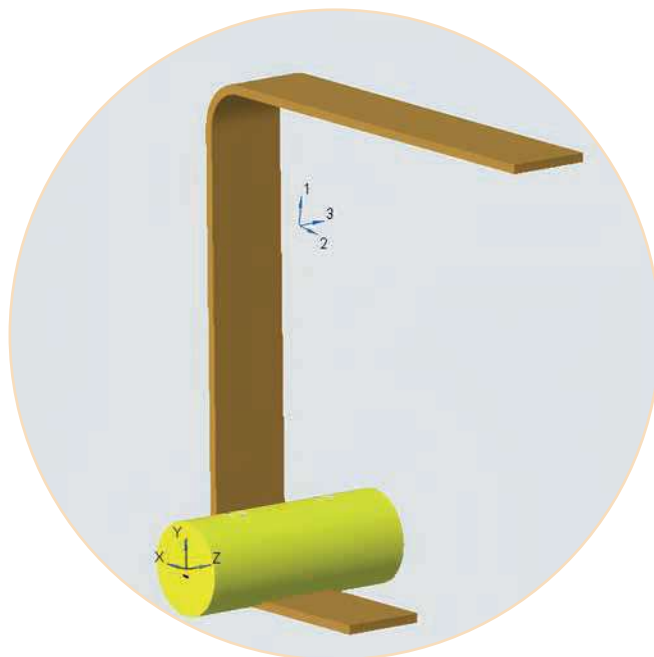
Al fine di determinare la massa complessiva e le coordinate del baricentro dell'assieme, ho condotto un'analisi tramite lo strumento 'Proprietà di massa' del software Creo Parametric. Per garantire l'accuratezza dei risultati, i componenti sono stati trattati con due approcci differenti in base alla loro natura:

Componenti commerciali ed elettronici: Per elementi come i sensori e l'alimentatore, ho assegnato la massa manualmente, sovrascrivendo i parametri del software con i pesi reali ricavati dalle specifiche tecniche (datasheet) dei produttori.

Componenti strutturali e meccanici: Per le parti modellate ex novo, ho invece assegnato a sistema il materiale specifico di produzione (es. alluminio per la base, ottone per il cilindro ed i tappi).

In questo modo, il software ha calcolato analiticamente il peso derivandolo dal volume effettivo della geometria e dalla densità del materiale.

L'elaborazione finale dell'assieme ha permesso di estrapolare il peso totale della lampada e di individuare l'esatta posizione del baricentro, dato fondamentale per verificare la stabilità e il bilanciamento dell'oggetto.



Massa totale = 4,9 Kg

Baricentro rispetto a
sistema di coordinate
_ASM0001:
XYZ -3.8000463e+01
3.2100768e+02
1.0868894e+02 MM

5.17 Calcolo della masse delle componenti

COMPONENTE	MASSA	QUANTITÀ	MASSA TOTALE
Raspberry	9 g	1	8 g
Camera	4 g	1	4 g
Step down	16 g	1	16 g
Sensore luminosità	20 g	2	40 g
Sensore touch	10 g	2	20 g
Orologio	8 g	1	8 g
USB-C	21 g	2	42 g
LED RGB	3 g	2	6 g
Modulo driver	15 g	2	30 g
Strip LED	10 g	4	40 g
Sparkfun	5 g	1	5 g
Step up	11 g	1	11 g
Neo pixel mini	1 g	8	8 g
Level converter	3 g	1	3 g
TOTALE			241 g

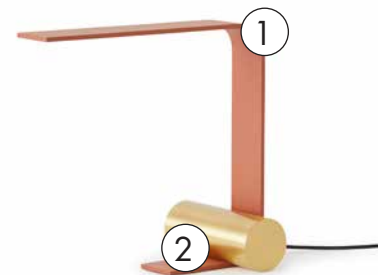
5.18 Analisi tecnologica e processo produttivo dell'artefatto

La comprensione approfondita del ciclo di lavorazione originale del manufatto non è stata condotta con finalità puramente descrittive, ma si è rivelata un'indagine propedeutica indispensabile alla fase operativa di modifica.

Dovendo intervenire fisicamente sul corpo lampada per integrare la nuova architettura hardware IoT, è stato fondamentale conoscere la genesi tecnologica dei componenti per pianificare le lavorazioni in officina (forature, fresature e adattamenti) senza compromettere l'integrità strutturale o le finiture di pregio dell'oggetto.

Nello specifico, identificare la natura estrusa del profilo in alluminio ha permesso di individuare e sfruttare la canalina interna preesistente come alloggiamento per i nuovi cablaggi dati, evitando soluzioni esterne antiestetiche. Allo stesso modo, la consapevolezza di operare su materiali nobili come l'ottone tornito e l'alluminio verniciato ha guidato la scelta degli utensili e delle velocità di taglio più idonee, permettendo di eseguire il retrofit elettronico rispettando la qualità superficiale del design originale.

L'analisi che segue, quindi, descrive le tecnologie costruttive individuate e come queste abbiano vincolato o facilitato le successive operazioni di integrazione hardware.

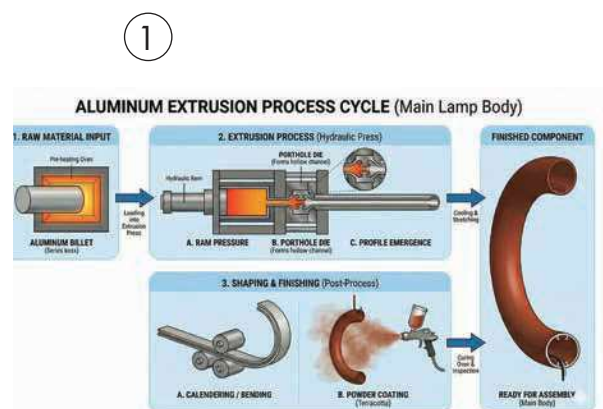


ESTRUSIONE E CALANDRATURA DELL'ALLUMINIO

La struttura portante della lampada, che definisce la silhouette a "C", non è realizzata tramite semplice carpenteria metallica, ma attraverso un processo di estrusione dell'alluminio.

Estrusione del profilo: La sezione trasversale del corpo lampada è ottenuta spingendo la billetta di alluminio preriscaldata attraverso una matrice sagomata in acciaio. Questa tecnologia è stata fondamentale per ottenere in un unico passaggio due caratteristiche distintive: la geometria esterna, pulita e priva di giunzioni visibili.

La canalina interna (o camera cava), un alloggiamento tecnico integrato necessario per il passaggio invisibile dei cablaggi e per l'alloggiamento delle strip LED. Inoltre, la massa di alluminio funge da dissipatore passivo per il calore generato dai diodi.



Calandratura: Una volta estruso, il profilo lineare subisce una lavorazione di deformazione plastica a freddo tramite calandra a rulli. Questo processo permette di curvare il profilo estruso mantenendo costante la sezione della canalina interna, evitando schiacciamenti che comprometterebbero l'inserimento dell'elettronica.

Finitura Superficiale: Il ciclo si conclude con la verniciatura a polvere epossidica (Powder Coating). La polvere, applicata elettrostaticamente e poi cotta a forno, polimerizza creando un rivestimento solido, resistente all'abrasione e caratterizzato da una finitura opaca e materica (color terracotta/ruggine).

2

LAVORAZIONE DELL'OTTONE

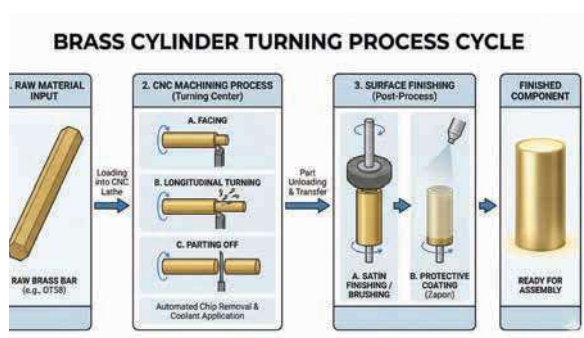
A contrasto con la scocca verniciata, l'elemento cilindrico di base è realizzato in materiale nobile: Ottone (lega Rame-Zinco). La scelta di questo materiale conferisce al prodotto un elevato valore percepito e solidità strutturale.

Torneatura da Barra: Il componente è ottenuto mediante lavorazione meccanica per asportazione di truciolo (Tornitura CNC), partendo da una barra piena o da un tubo ad alto spessore.

Questa lavorazione garantisce tolleranze dimensionali centesimali, necessarie per l'accoppiamento preciso con il corpo in alluminio.

Finitura Satinata: La superficie non viene verniciata con pigmenti coprenti. Viene invece sottoposta a un processo di spazzolatura meccanica (satinatura) che esalta la naturale doratezza della lega.

A protezione finale, viene applicato un film trasparente (verniciatura zapon) o un trattamento galvanico trasparente per inibire la naturale ossidazione dell'ottone e mantenere la lucentezza nel tempo.



5.19 Rilavorazione meccanica e adattamento strutturale

Il corpo in alluminio è stato riportato allo stato grezzo rimuovendo totalmente la verniciatura a polvere, passaggio obbligatorio per consentire la successiva saldatura senza contaminazioni.



1°
FASE

Rimozione della verniciatura.

2°
FASE



La fase operativa di modifica si è scontrata immediatamente con un vincolo fisico insormontabile: la geometria curva del corpo lampada (profilo a "C"). Le dimensioni dell'oggetto impedivano il corretto posizionamento sotto la macchina utensile (trapano a colonna) necessaria per eseguire le lavorazioni di precisione come l'allargamento della fessura per l'alloggiamento delle strip LED e della fessura alla base della lampada.

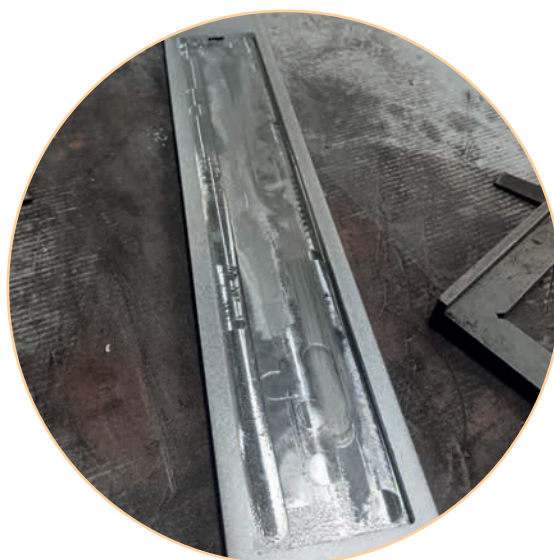
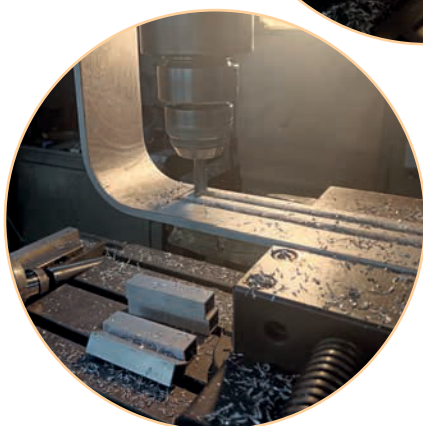
Per poter procedere con le varie modifiche è stato necessario procedere con il taglio trasversale della lampada mediante segatrice a nastro industriale.

Sezionamento del profilo in alluminio tramite segatrice a nastro.

La canalina originale era dimensionata per una singola strip LED standard. Per ospitare le nuove quattro strip COB (più larghe e performanti) e garantire la dissipazione termica, la sede è stata allargata tramite fresatura longitudinale con trapano a colonna.

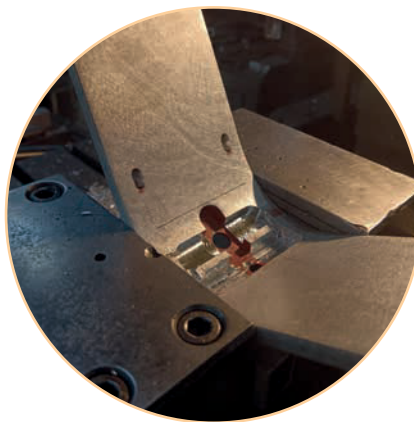
— 3° FASE

Allargamento della fresatura per le strip LED.



È stata allargata la fresatura precedente alla base della lampada ed a differenza del foro passante utilizzato per il tasto dimmer, è stata realizzata una tasca fresata (pocket) che permette al connettore di alloggiare perfettamente a filo, garantendo stabilità meccanica alle sollecitazioni di inserimento/disinserimento del cavo di ricarica.

— 4° FASE



Allargamento della fresatura alla base della lampada.

5° FASE —



Terminate le modifiche, i due segmenti sono stati riposizionati per ripristinare la forma originale. L'allineamento è stato garantito tramite l'uso di pinze autobloccanti e dime di riscontro, fondamentali per evitare che la lampada risultasse "storta" dopo l'unione.

Allineamento dei pezzi tagliati per saldatura.

Il giunto è stato infine unito tramite saldatura specifica per l'alluminio. Il cordone di saldatura è stato successivamente molato e levigato per renderlo invisibile, preparando la superficie alla riverniciatura finale che ha restituito al prototipo l'aspetto di un prodotto industriale monolitico.

— 6° FASE



Saldatura dell'alluminio.

5.20 Prototipazione e fabbricazione digitale dei componenti su misura

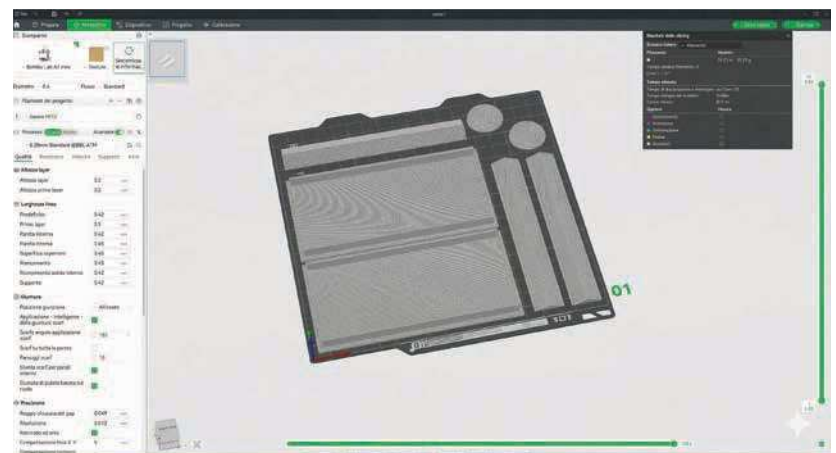
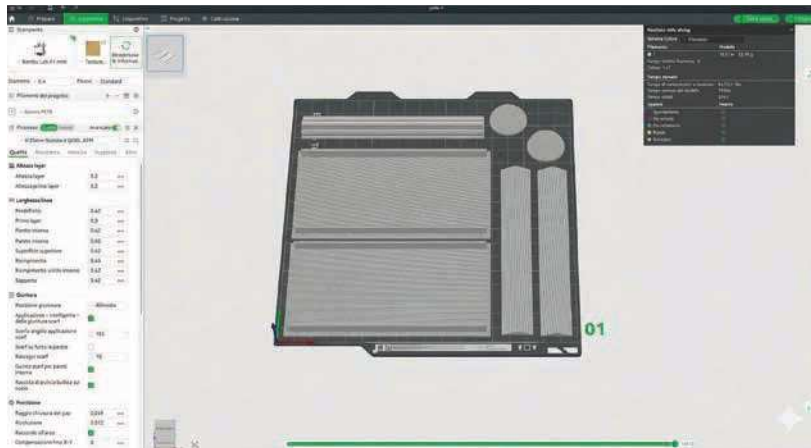
L'integrazione della nuova componentistica elettronica all'interno della struttura preesistente ha reso necessaria la progettazione di alcuni elementi di supporto su misura.

Per la realizzazione di queste parti si è scelto di utilizzare la tecnologia di stampa 3D FDM (Fused Deposition Modeling), impiegando una stampante Bambu Lab A1 mini. Questa scelta metodologica ha permesso di realizzare rapidamente i prototipi e di ottenere la precisione dimensionale necessaria per l'assemblaggio con i profili in alluminio ed ottone.

Il materiale selezionato per tutte le parti stampate è il PETG (Polietilene Tereftalato Glicole). Rispetto ai filamenti polimerici standard, il PETG è stato scelto per la sua superiore resistenza termica: un requisito tecnico indispensabile per prevenire deformazioni, considerando il calore generato dalle strip LED durante il funzionamento prolungato della lampada.



PETG 1.75mm trasparente utilizzato



Nello specifico, la fabbricazione digitale è stata impiegata per risolvere tre necessità pratiche d'interfaccia e di illuminotecnica, per la realizzazione delle seguenti componenti:



Tasti touch:

due tasti touch posizionati sul cilindro in ottone progettati per permettere l'interazione dell'utente con la lampada.

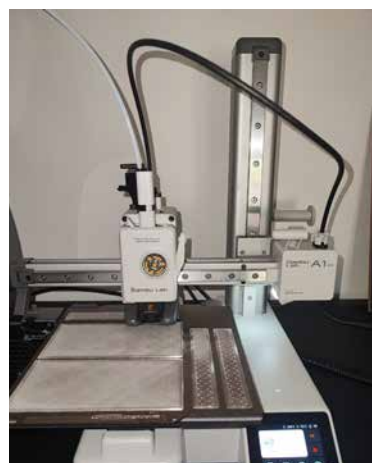


Supporto angolato (profilo a piramide):

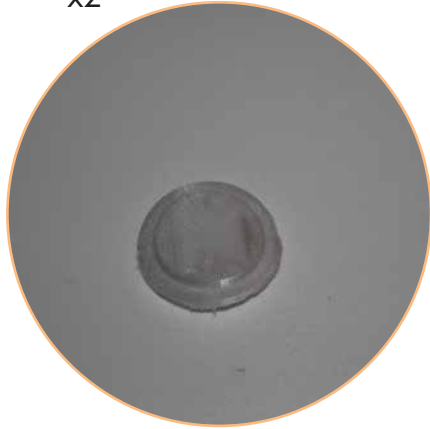
un elemento strutturale disegnato appositamente per alloggiare e inclinare le due strip LED principali. Questa geometria permette di direzionare il fascio luminoso in modo ottimale verso il piano di lavoro e di seguire i movimenti delle mani dell'utente. A causa delle dimensioni ridotte del piano di stampa rispetto alla lunghezza totale del corpo illuminante, il componente è stato stampato in tre moduli separati, successivamente allineati in fase di assemblaggio.

Cover per strip LED:

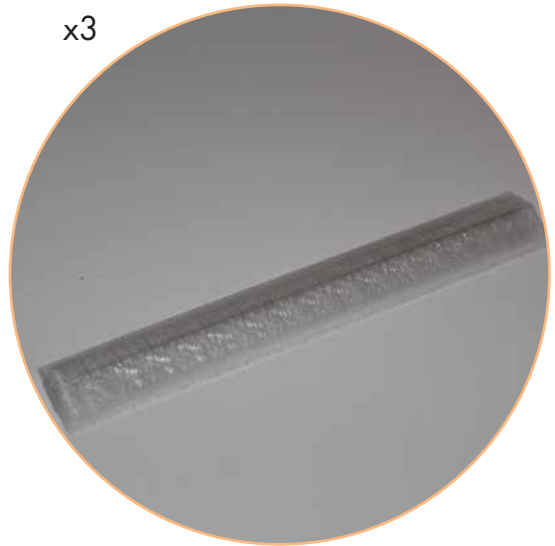
un profilo di chiusura che si incastra nella struttura principale, con la funzione di proteggere i cablaggi interni e diffondere la luce in modo più omogeneo. Analogamente al supporto angolato, anche questo elemento è stato suddiviso in tre sezioni componibili per superare i vincoli di volume imposti dalla macchina.



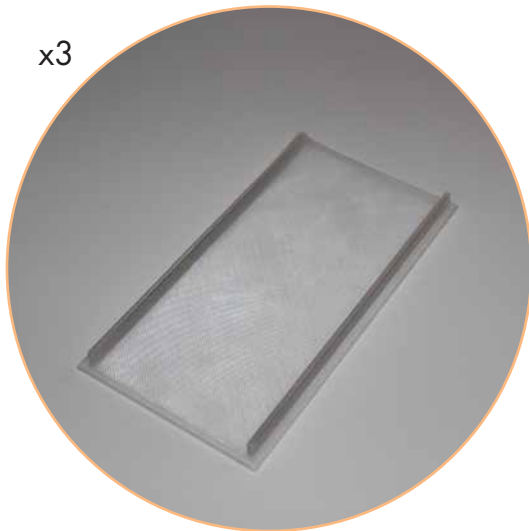
x2



x3



x3



5.21 Istruzioni di smontaggio

SORGENTE/SOURCE

24V - 2700K

DIMENSIONI/DIMENSIONS (cm)

H 41 x L 45

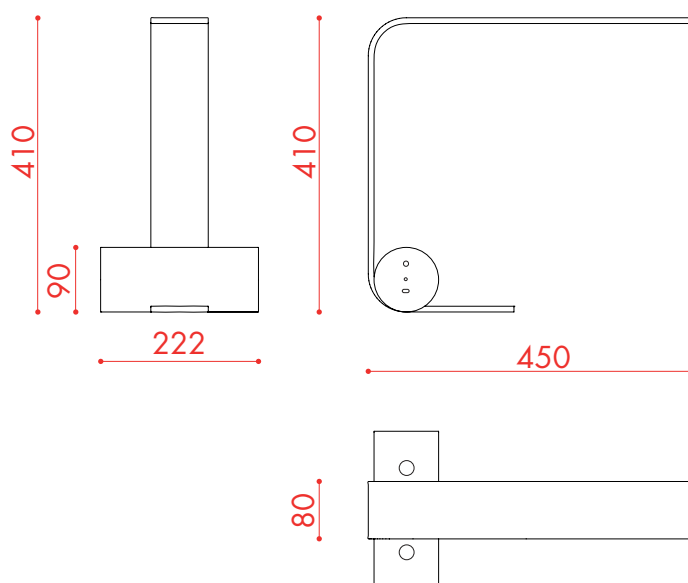
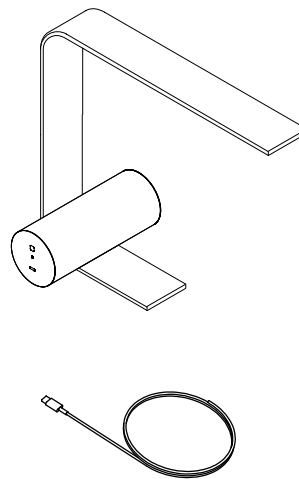
PESO/WEIGHT (Kg)

4,9 kg

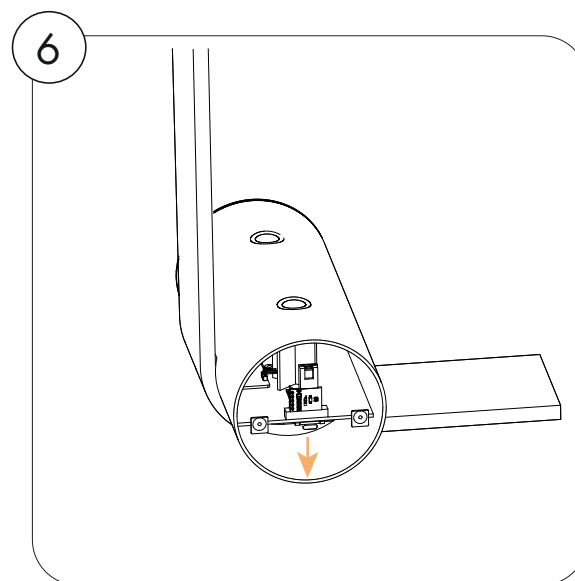
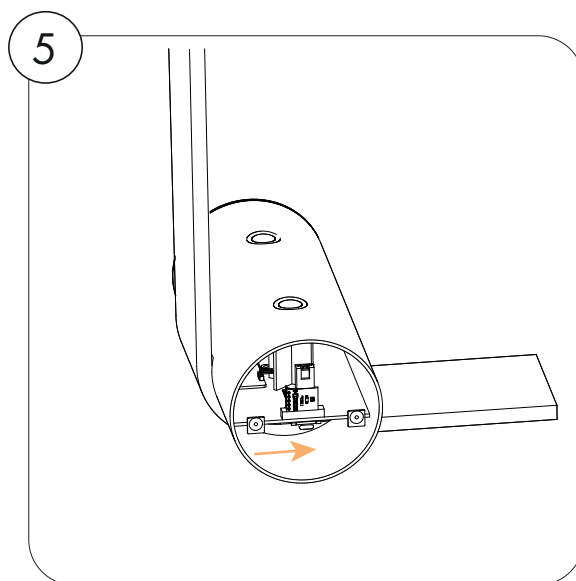
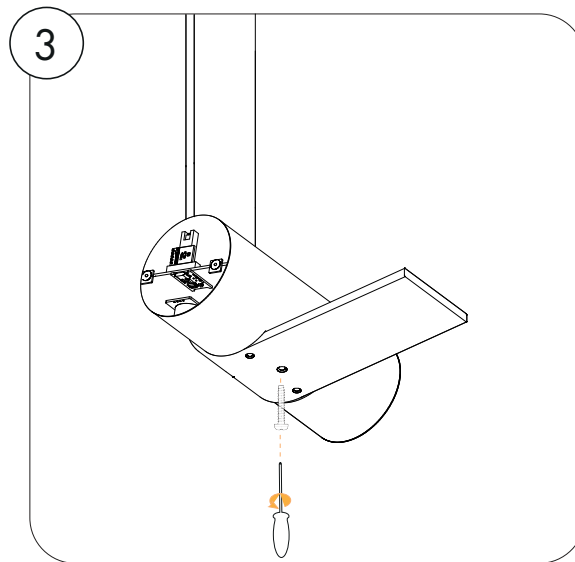
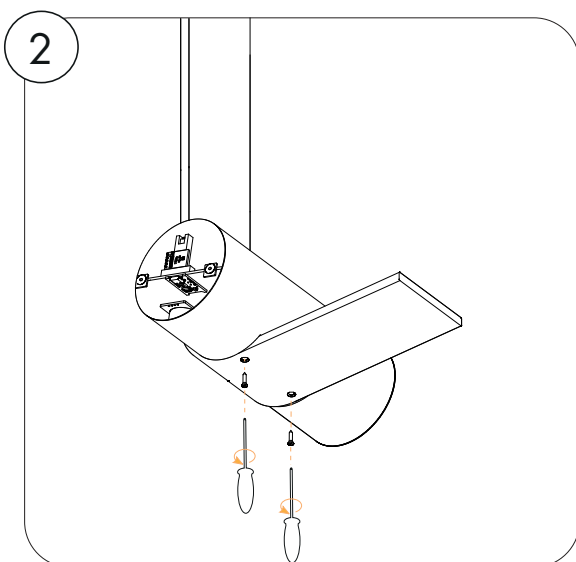
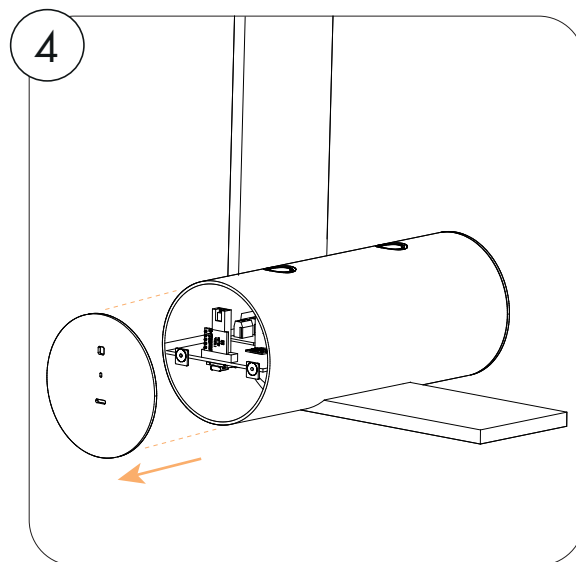
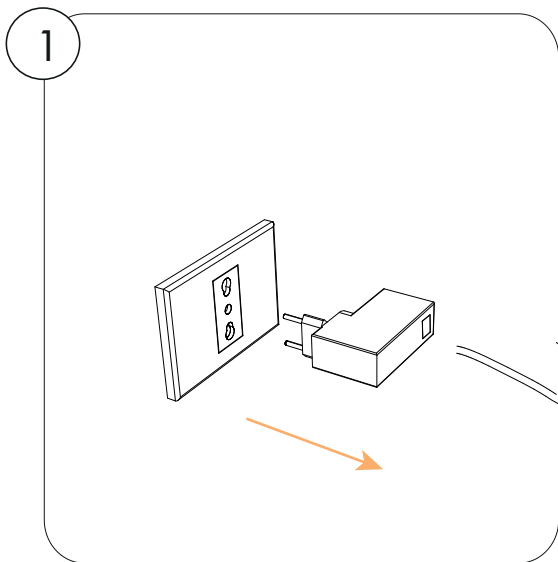
note

Scollegare la presa dell'alimentazione dalla corrente prima di iniziare a smontare la lampada.

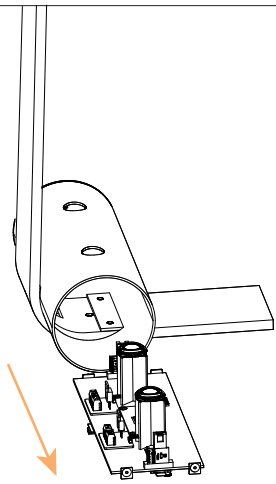
incluso/included x1



measurements in mm



7



5.22 Render

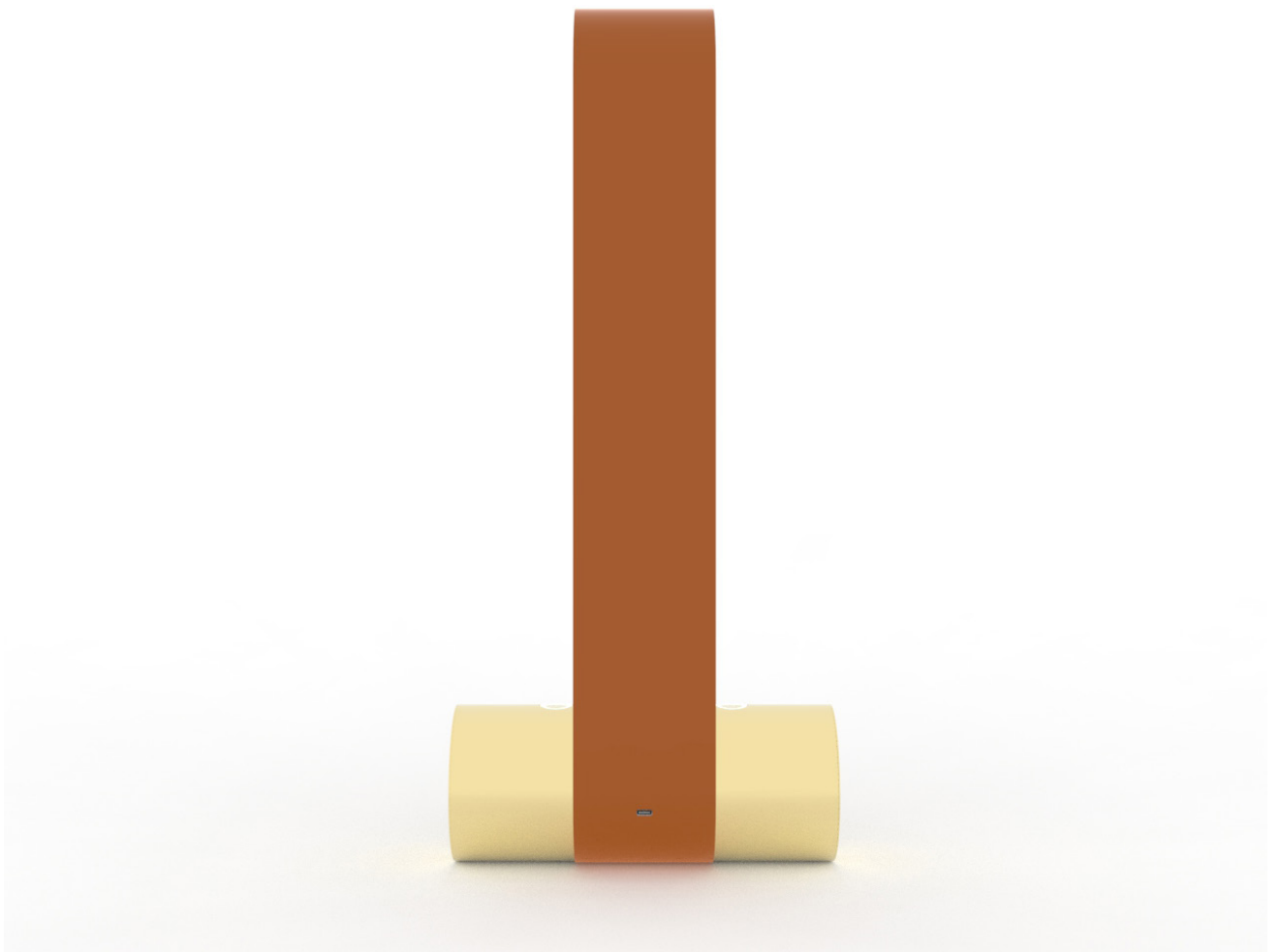


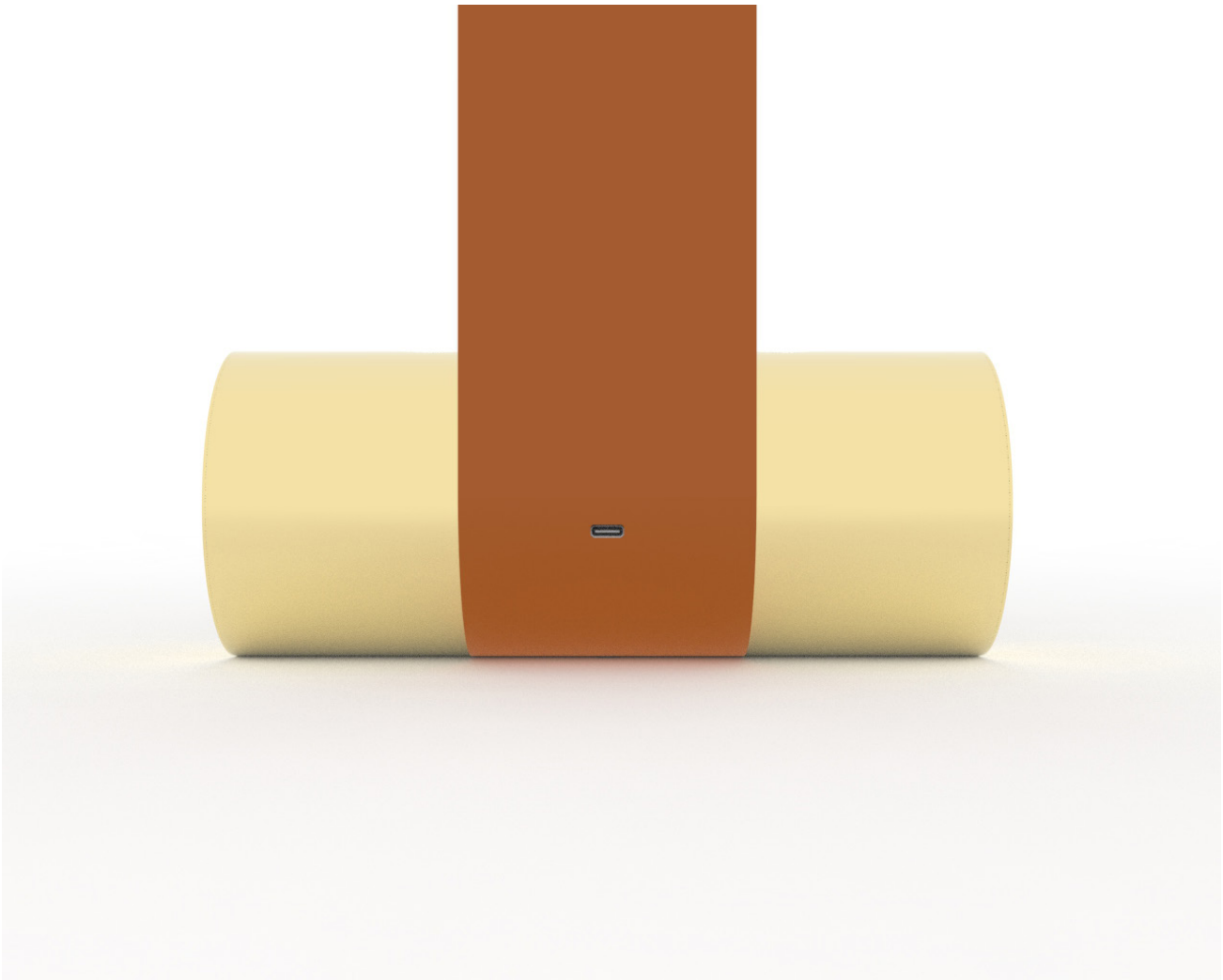


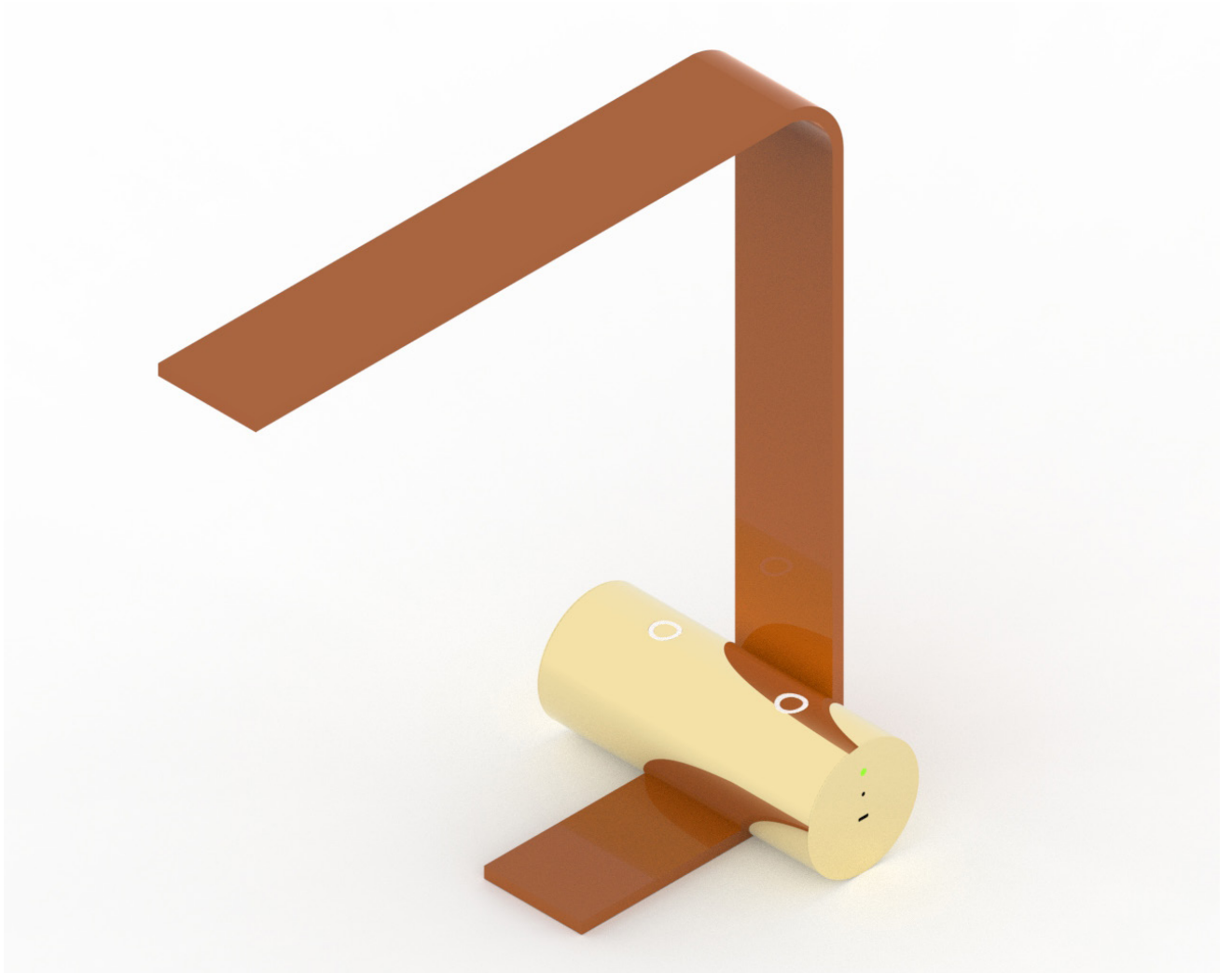


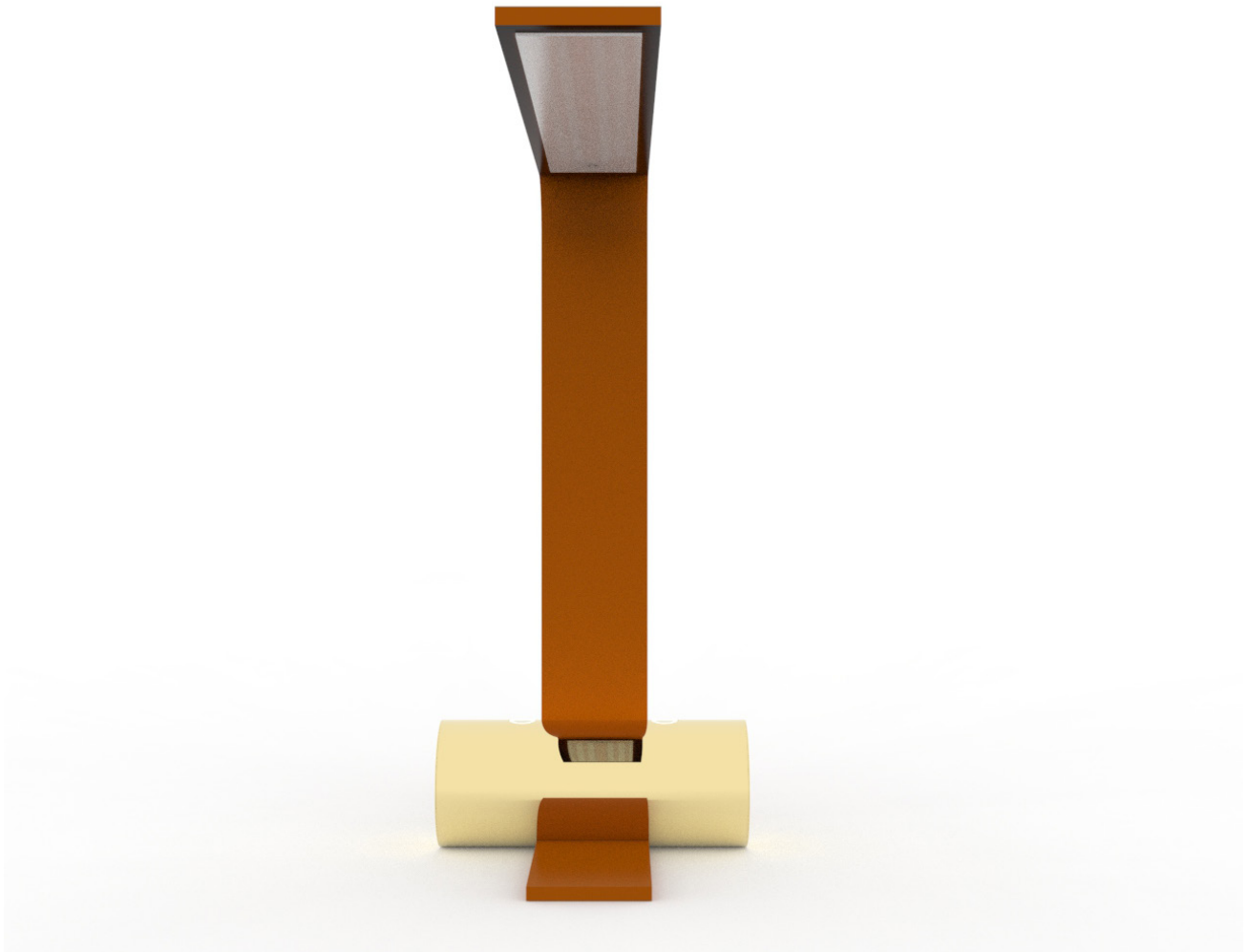








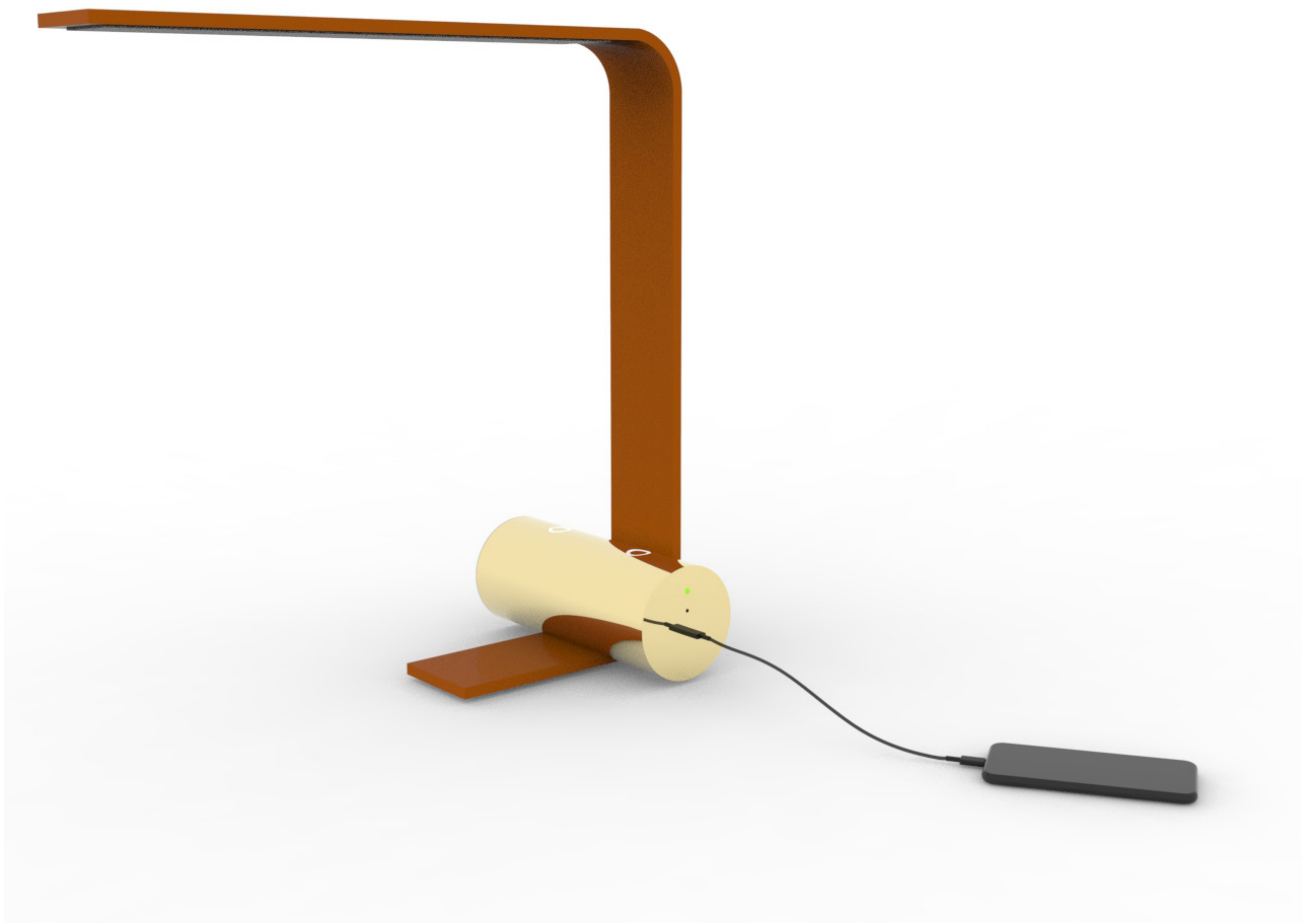


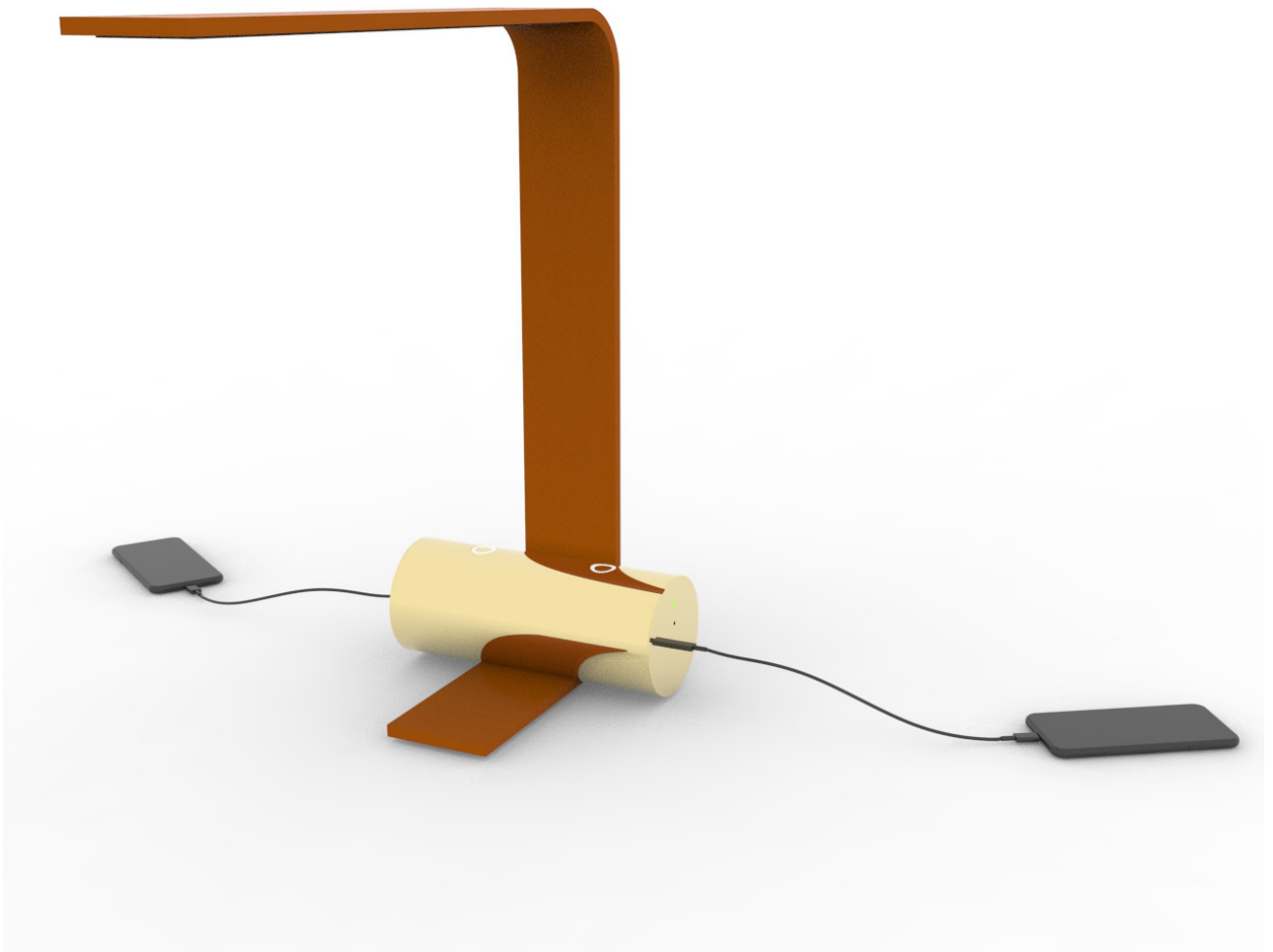


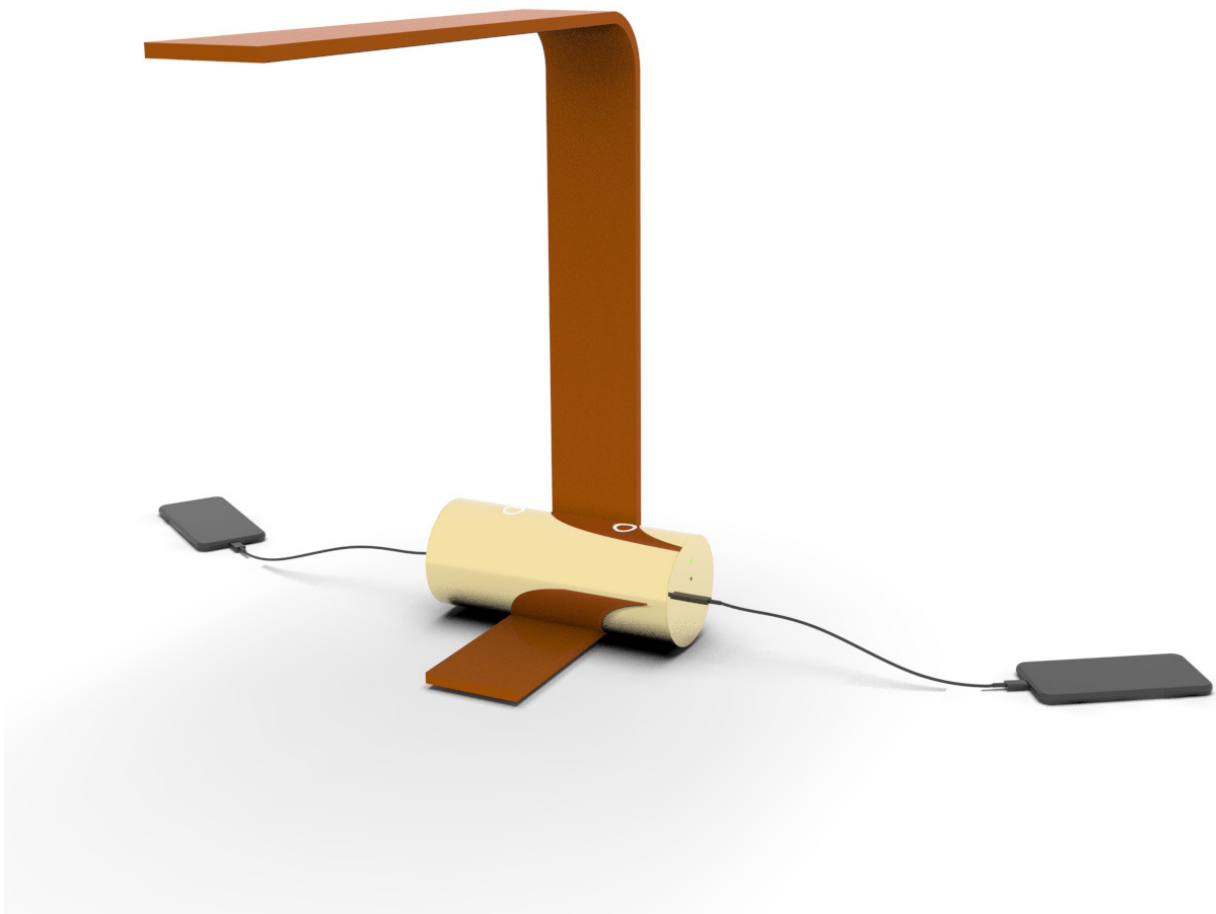








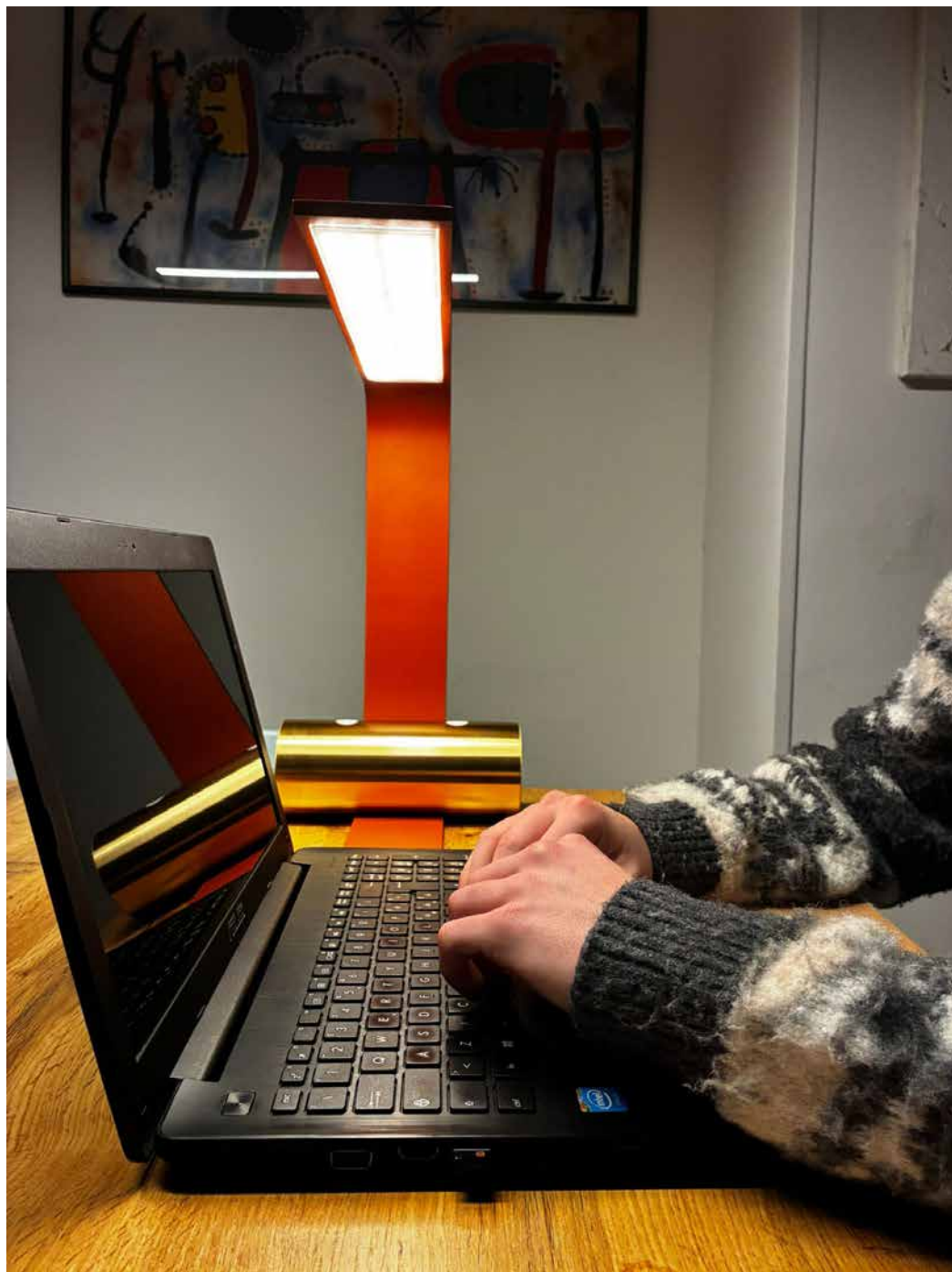








5.23 Foto



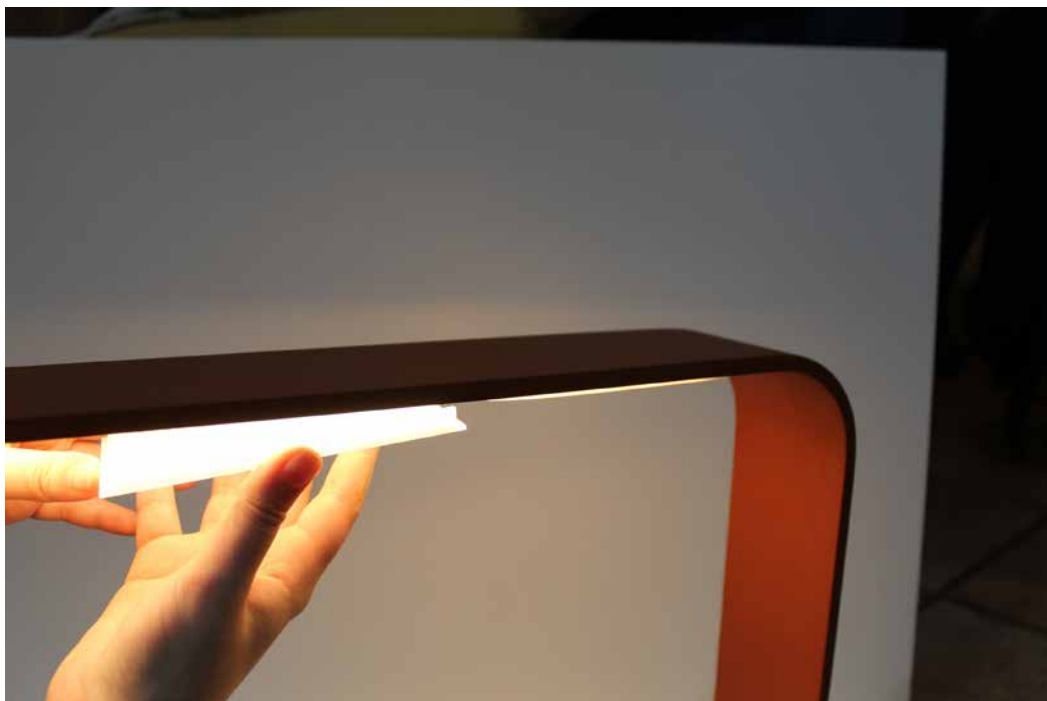
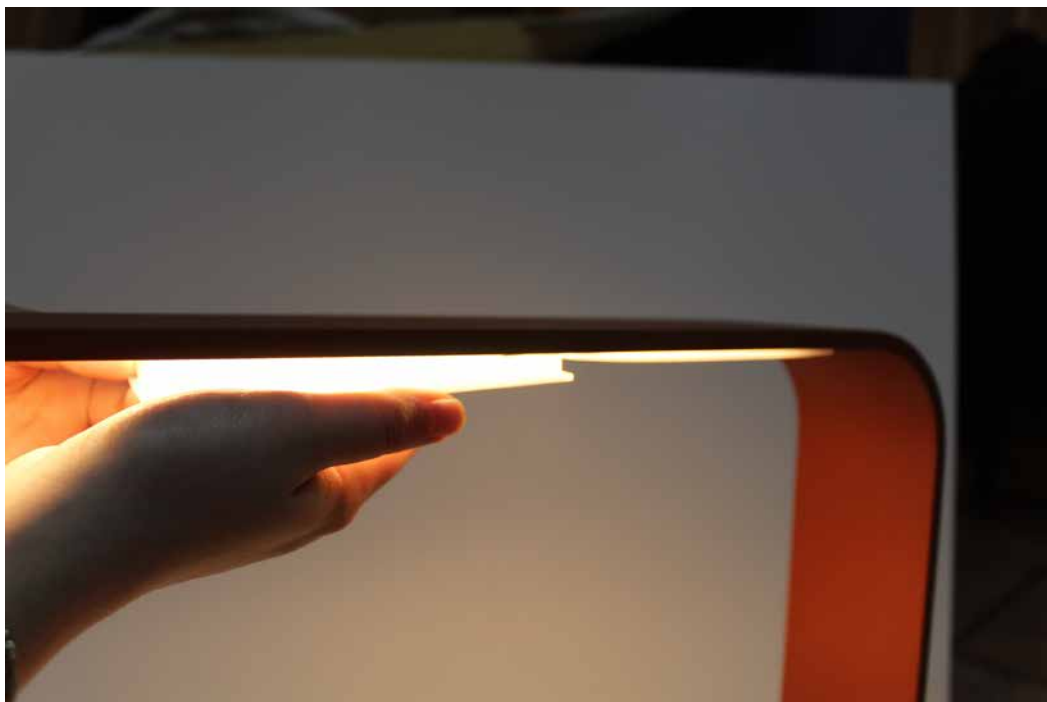












Conclusioni

Il presente lavoro di tesi si è posto l'obiettivo di indagare e ridefinire il ruolo dell'illuminazione negli attuali spazi di lavoro, affrontando la transizione da una concezione di luce puramente funzionale – pensata esclusivamente per il compito visivo a una visione bio-centrica, in cui la luce agisce come fondamentale supporto fisiologico e psicologico per l'individuo.

L'analisi cronobiologica e lo studio dell'evoluzione degli ambienti indoor hanno evidenziato come l'esposizione prolungata a sorgenti luminose statiche costituisca oggi un fattore di rischio per il benessere dei lavoratori, causando fenomeni di desincronizzazione circadiana e affaticamento visivo. In risposta a queste criticità, il progetto Continuum Thread si configura non come un semplice apparecchio di illuminazione, ma come un mediatore attivo tra l'ambiente digitale e la natura biologica dell'utente.

Il risultato progettuale porta innovazione in tre ambiti principali:

In primo luogo, il doppio sistema di inseguimento, quello biologico che varia la temperatura di colore in base all'arco solare, e quello spaziale, che traccia la mano per eliminare le ombre, pone l'utente al centro di un'esperienza luminosa personalizzata in tempo reale.

In secondo luogo, l'innovazione comportamentale. Andando oltre la semplice automazione, Continuum Thread fa propri i principi del persuasive design. Attraverso segnali luminosi e un'interfaccia mobile dedicata, il dispositivo educa l'utente a una corretta igiene luminosa promuovendo una consapevolezza attiva sul proprio ritmo sonno-veglia, trasformando i dati rilevati dai sensori in un feedback immediato e facile da comprendere.

Infine, l'innovazione materica e produttiva. La collaborazione con l'azienda Tooy ha permesso di applicare il concetto di retrofit tecnologico al design. Questo metodo dimostra come l'internet of things (IoT) possa aggiornare oggetti già esistenti, rendendoli intelligenti e allungandone il ciclo di vita senza comprometterne il valore estetico originario.

BIBLIOGRAFIA & SITOGRAFIA

- [1] The future history of the government workplace - (<https://www.civilservice.blog.gov.uk/>)
- [2] English | Oxford Languages - (<https://languages.oup.com/google-dictionary-en/>)
- [3] Mansson, H. (2021). *The History of the Office: Office Trends Through the Centuries*. HubbleHQ.
- [4] Wikiwand. (s.d.). Admiralty (United Kingdom). Disponibile all'indirizzo: <https://www.wikiwand.com/en/Admiralty>
- [5] Morgan Lovell. (s.d.). *The Evolution of Office Design*.
- [6] ArchDaily. (2022). *AD Classics: Seagram Building / Mies van der Rohe*.
- [7] Nast, C (2014). *The Cubicle you call hell was designed to set you free*.
- [8] The Muse. (s.d.). *This Is Why Open Offices Replaced Cubicles*.
- [9] Archello. (s.d.). *Microsoft HQ Amsterdam: D/dock*.
- [10] Aihini, D. (2019). *An interview with the founders of activity-based work*, Veldhoen + Co. Robin Powered Blog.
- [11] Giang, V. (2014). *6 Incredible Businesses That Started In A Garage*. American Express - Business Class: Trends and Insights.
- [12] Coworker. (2013). *Coworking can change the world: Amarit Charoenphan at TEDxChiangMai 2013*.
- [13] Di Risio, A. (2021). *History of Coworking Spaces: from 2005 to 2021*. Coworking Resources.
- [14] Businesscoot. (2021). *The Coworking Market | Italy*. <https://www.businesscoot.com/en/study/the-coworking-market-italy>.
- [15] Tucker, J., n.d. *Who uses coworking spaces?* Headspace.
- [16] Elam, L., 2017. *2018 Global coworking forecast: 30,432 Spaces and 5.1 Million members by 2022* - GCUC Community.
- [17] Lucas, R. J., Peirson, S. N., Berson, D. M., Brown, T. M., Cooper, H. M., Czeisler, C. A., ... & Brainard, G. C. (2014). *Measuring and using light in the melanopsin age*. *Trends in Neurosciences*, 37(1), 1-9.
- [18] Brainard, G. C., Hanifin, J. P., Greeson, J. M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E., & Rollag, M. D. (2001). *Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor*. *The Journal of Neuroscience*, 21(16), 6405-6412.
- [19] Thapan, K., Arendt, J., & Skene, D. J. (2001). *An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans*. *The Journal of Physiology*, 535(1), 261-267.
- [20] Berson, D. M., Dunn, F. A., & Takao, M. (2002). *Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock*. *Science*, 295(5557), 1070-1073.
- [20] Lucas, R. J., Peirson, S. N., Berson, D. M., Brown, T. M., Cooper, H. M., Czeisler, C. A., ... & Brainard, G. C. (2014).
- [21] UNI EN 12464-1:2021. *Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni*. Ente Italiano di Normazione (UNI).
- [22] International WELL Building Institute (IWBI). (2020). *The WELL Building Standard v2. Feature L03: Circadian Lighting Design*. New York: Delos Living LLC.
- [23] ISO/CIE. (2022). *ISO/CIE TR 21783:2022 Light and lighting — Integrative lighting— Non-visual effects of light*. Vienna: CIE Central Bureau.
- [24] Figueiro, M. G., Stevenson, B., Heerwagen, J., Kampschroer, K., Hunter, C. M., Gonzales, K., ... & Rea, M. S. (2017). *The impact of daytime light exposures on sleep and mood in office workers*. *Sleep Health*, 3(3), 204-215.
- [25] Smith, M. R., Revell, V. L., & Eastman, C. I. (2009). *Phase advancing the human circadian clock with blue-enriched polychromatic light*. *Chronobiology International*, 26(2), 287-301.
- [26] Chang, A. M., Scheer, F. A., & Czeisler, C. A. (2011).
- [26] Turner, P. L., & Mainster, M. A. (2008). *Circadian photoreception: ageing and the eye's important role in systemic health*. *British Journal of Ophthalmology*, 92(11), 1439-1444.

- [27] Blehm, C., Vishnu, S., Khattak, A., Mitra, S., & Yee, R. W. (2005). Computer vision syndrome: a review. *Survey of ophthalmology*, 50(3), 253-262.
- [28] Hemphälä, H., & Jenssen, D. (2006). Lighting, visual demands and neck/shoulder musculoskeletal disorders. *WORK: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 26(4), 435-442.
- [29] Fogg, B. J. (2003). *Persuasive Technology: Using Computers to Change What We Think and Do*. San Francisco: Morgan Kaufmann.
- [30] Fogg, B. J. (2009). A behavior model for persuasive design. In *Proceedings of the 4th International Conference on Persuasive Technology* (pp. 1-7).



S A A D
Scuola di Ateneo

Architettura e Design
Eduardo Vittoria
Università di Camerino

Collaborazione azienda TOOY

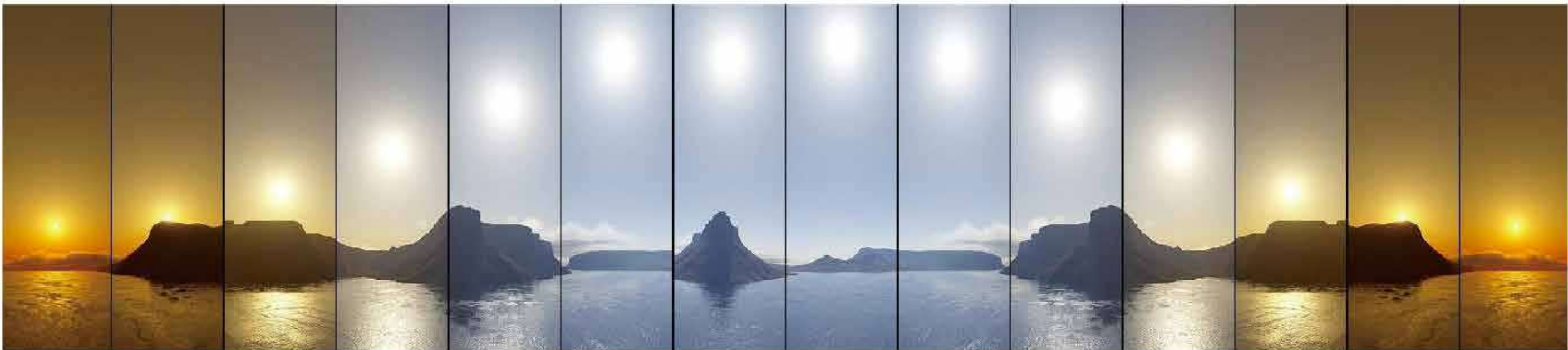
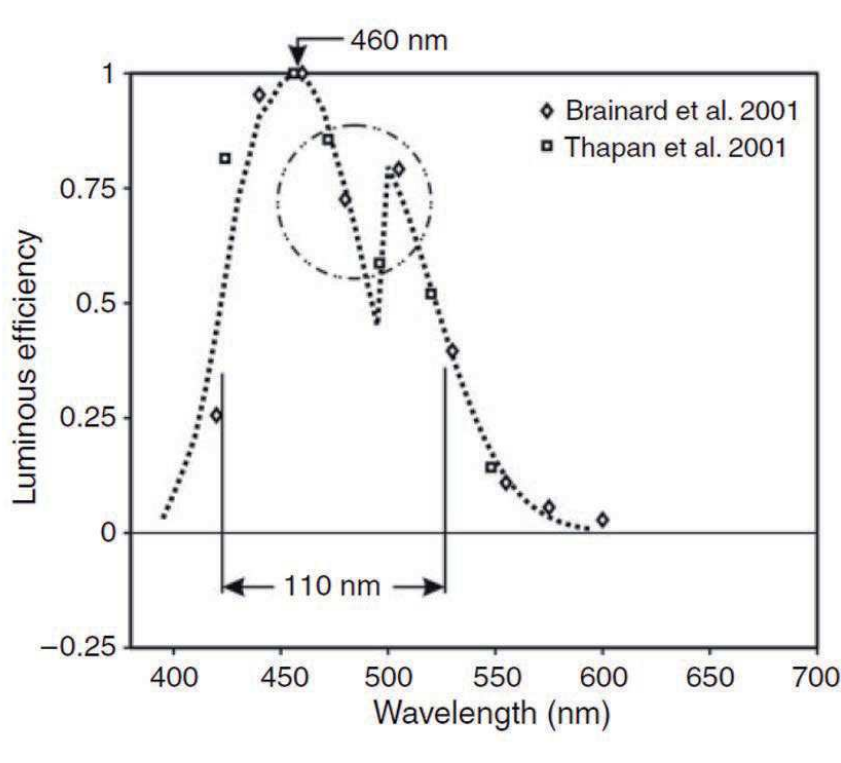
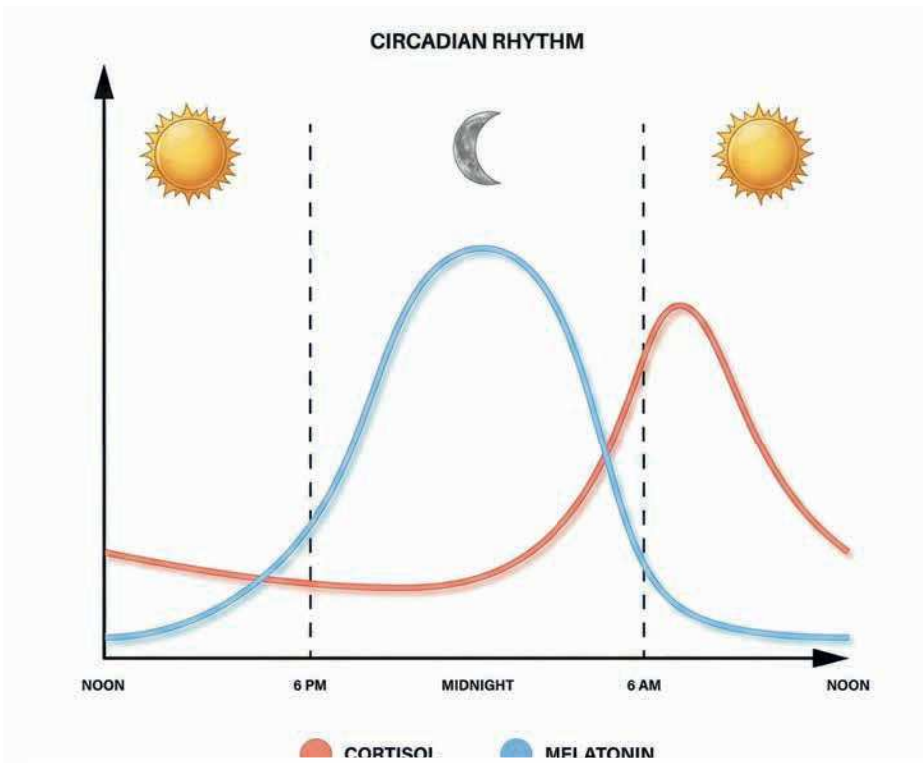
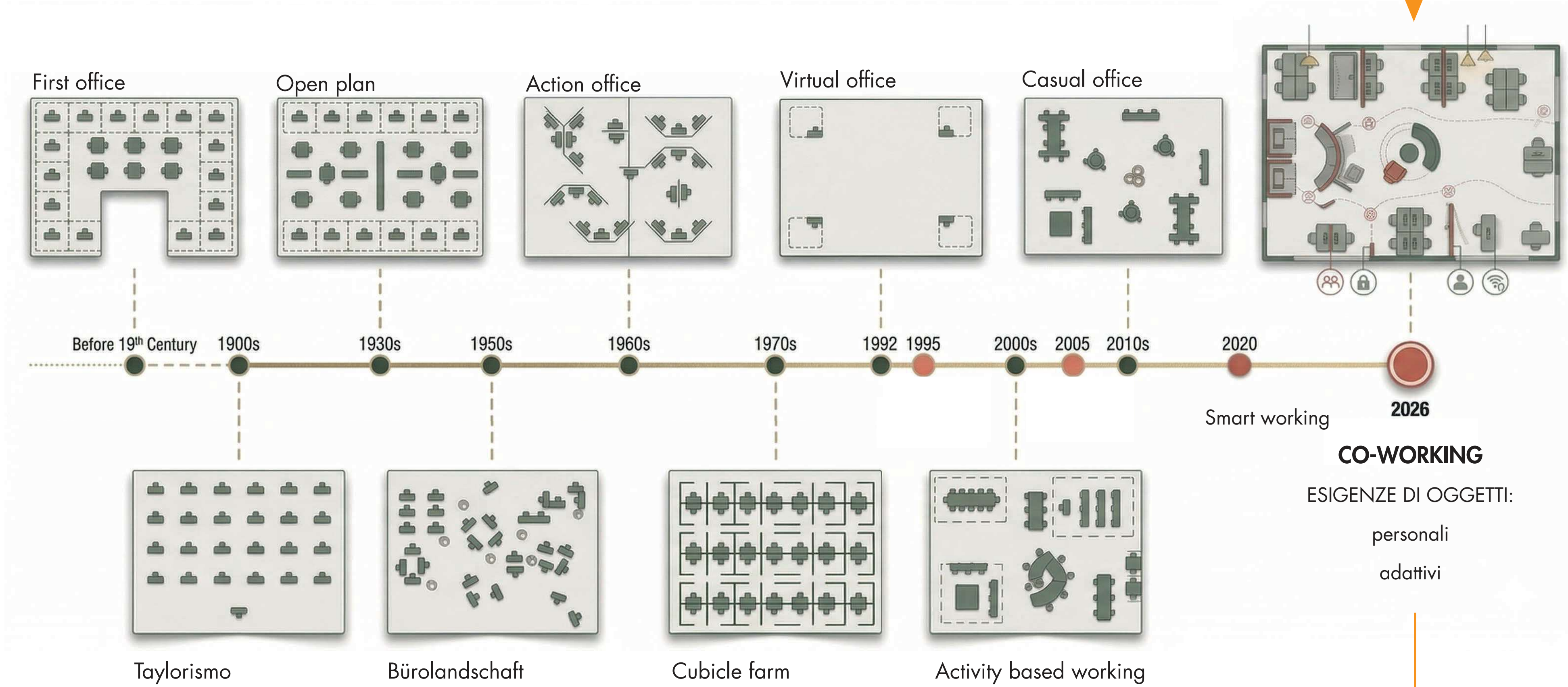


CONCEPT

Sistema di illuminazione adattivo che sincronizza il benessere biologico con l'attività lavorativa.

TARGET

Professionisti che operano in uffici, co-working, home-office, soggetti a stress circadiano e affaticamento visivo.



Sunrise: 2700-3000K, Morning: 3500-5000K, Noon: 3500-5000K, Afternoon: 2700-3000K, Sunset: 2700-3000K

SISTEMA CIRCADIANO E HCL

Luce come sincronizzatore

Frequenze dei blu che influenzano lo stato di veglia

Allineamento dell'esposizione luminosa al ritmo circadiano

TOOL

Incrementa la capacità



MEDIUM

Aiuta le persone ad attuare un comportamento

SOCIAL ACTOR

Modella il comportamento o le azioni del target

PERSUASIVE DESIGN

Il comportamento si attiva tramite:

Motivazione
Abilità
Trigger

OBIETTIVI



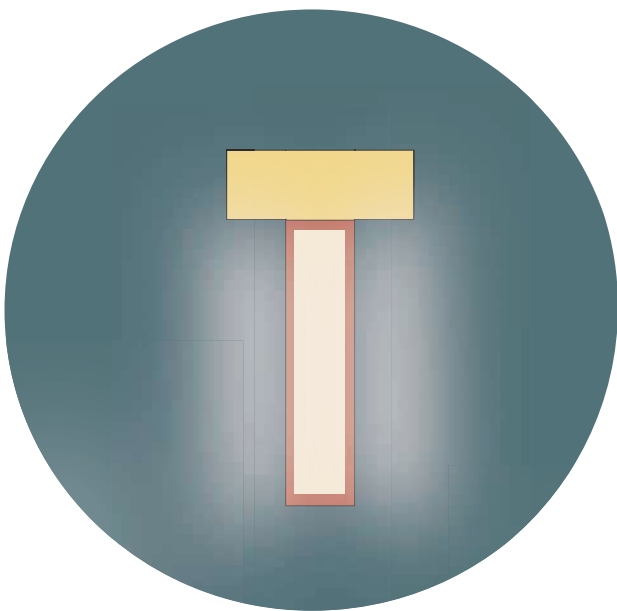
FUNZIONALITÀ

Funzione "Follow-Me"

VISTA SUPERIORE

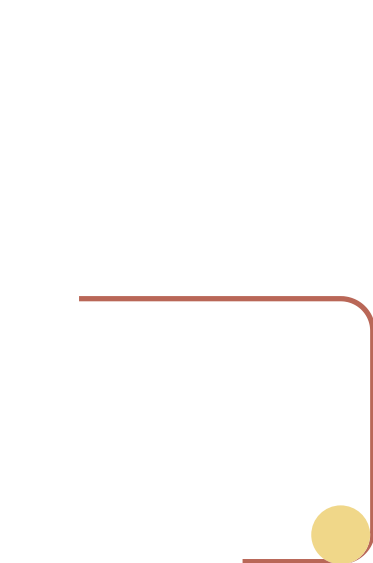


VISTA INFERIORE

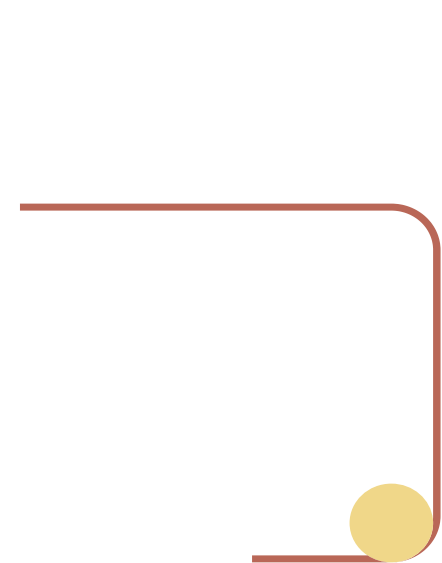


Varianti Dimensionali

Size S (laptop edition)

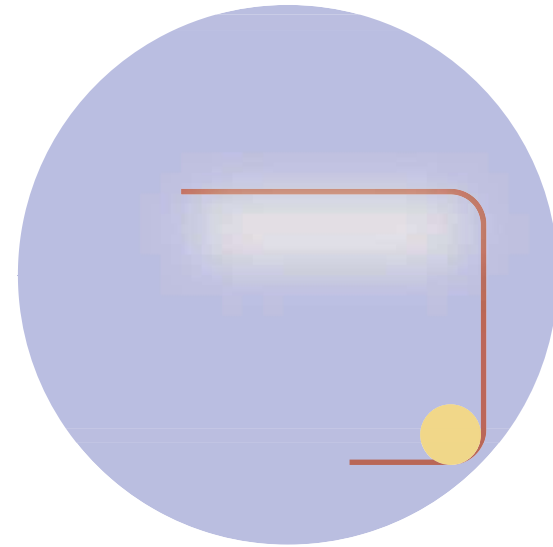


Size L (desktop edition)

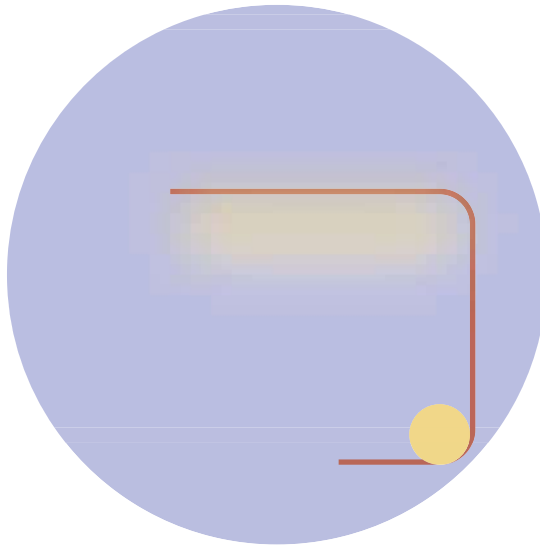


Adattamento circadiano

WORK MODE



RELAX MODE

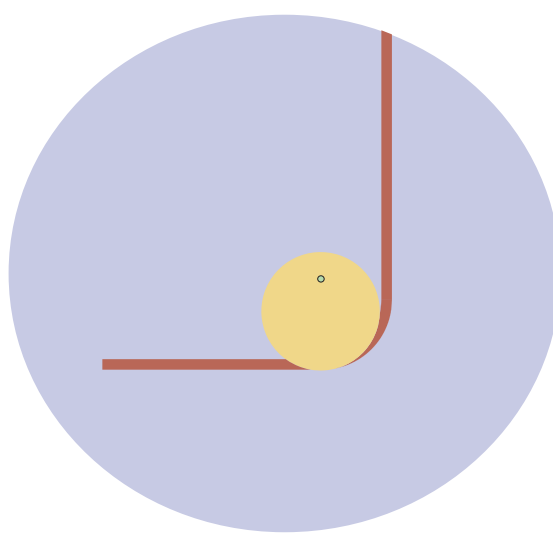


Feedback visivo intelligente

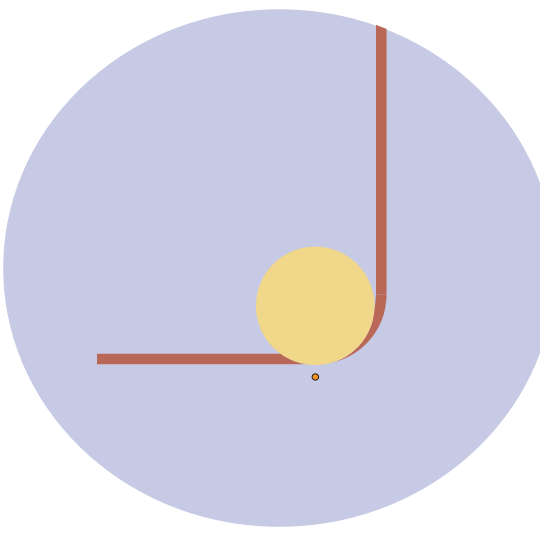
Feedback VERDE: 500 Lux

Feedback ARANCIO: > 500 Lux

ILLUMINAZIONE CORRETTA



SOVRA-ILLUMINAZIONE

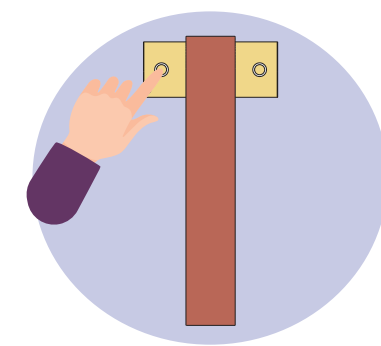
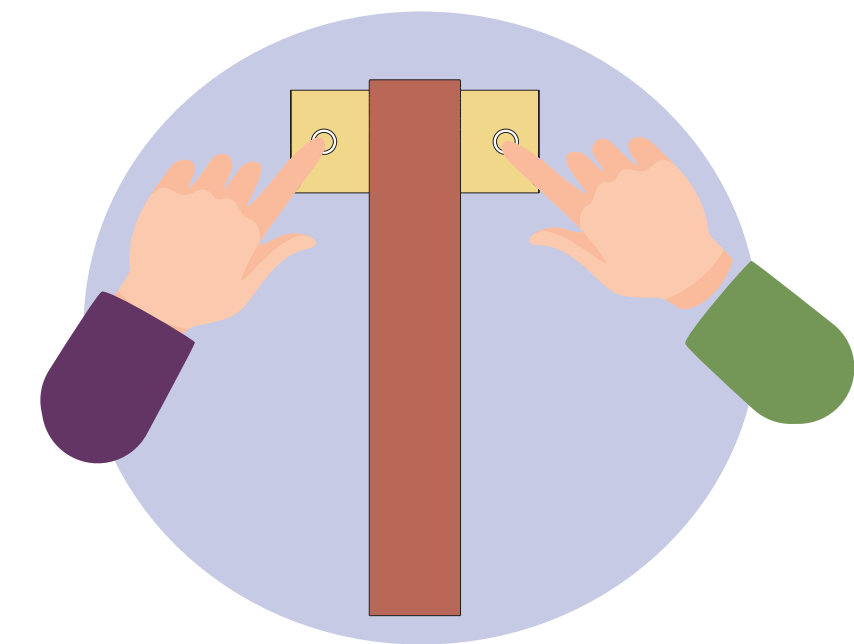


Modalità operative

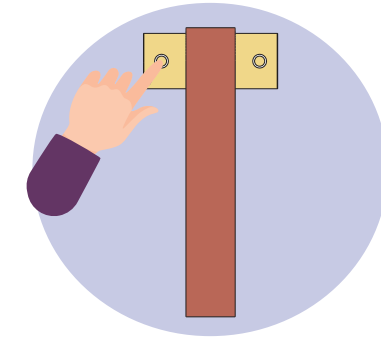
Modalità automatica

Modalità manuale

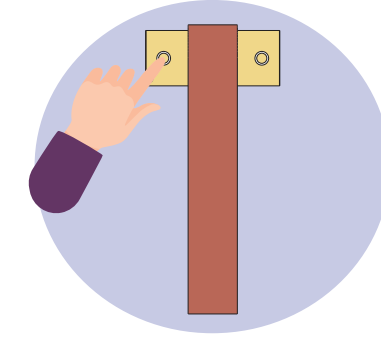
Controllo separato dei comandi



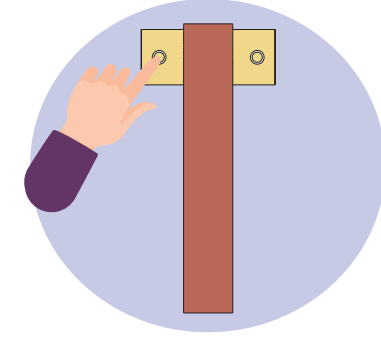
Single click
ON / OFF.



Long Press
Dimming dinamico

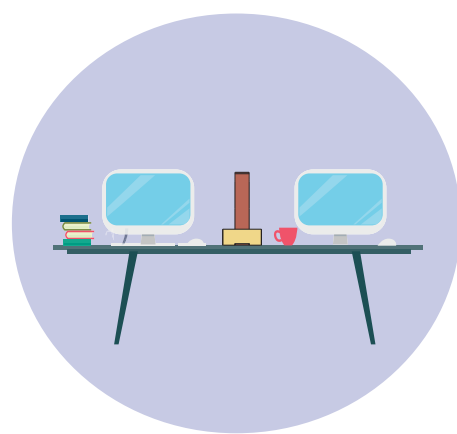
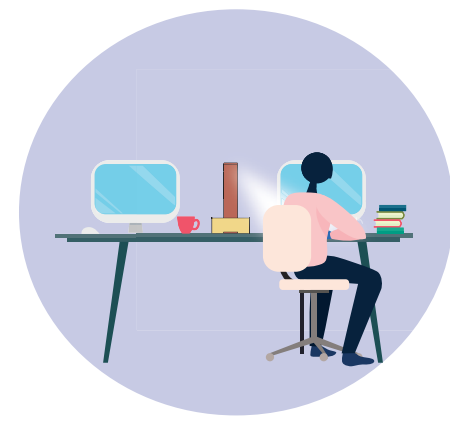
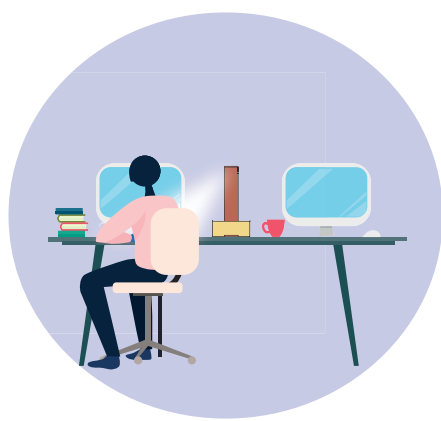


Click x 2
Da modalità manuale a
modalità automatica e
viceversa

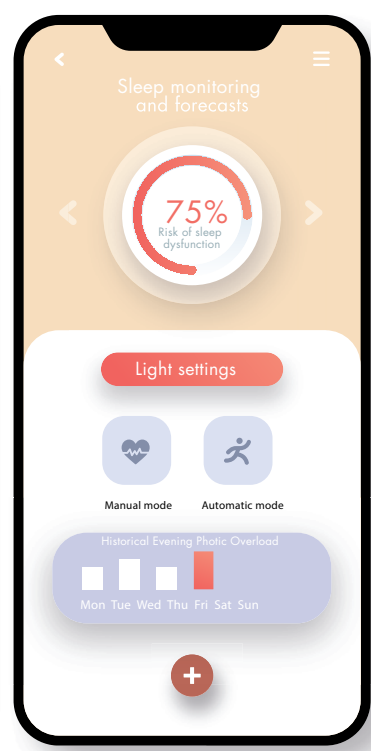
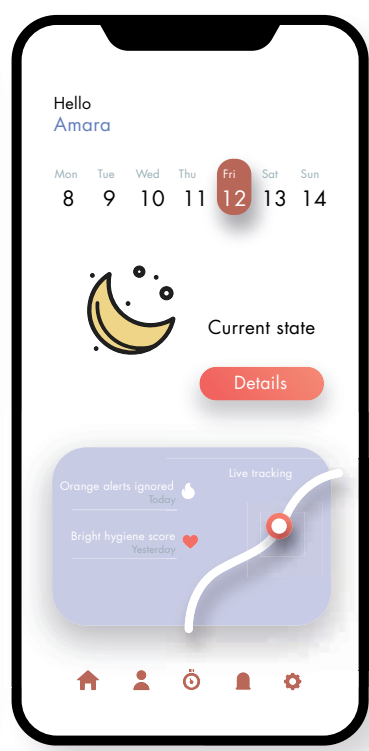
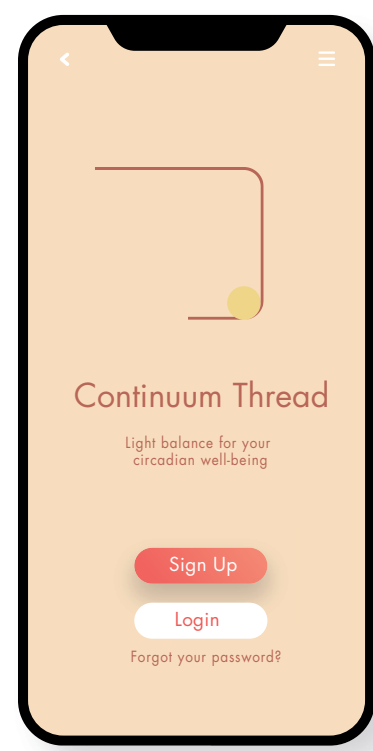


Click x 3
Attivazione o spegnimen-
to modalità "Follow Me"

Gestione automatica della presenza



App integrata



Modalità di disposizione

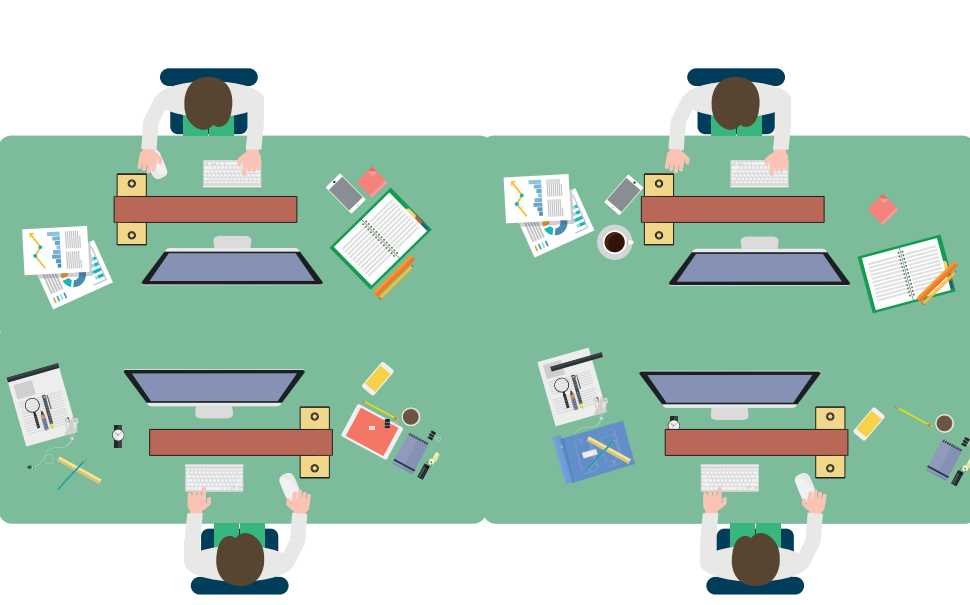
SINGLE DESK



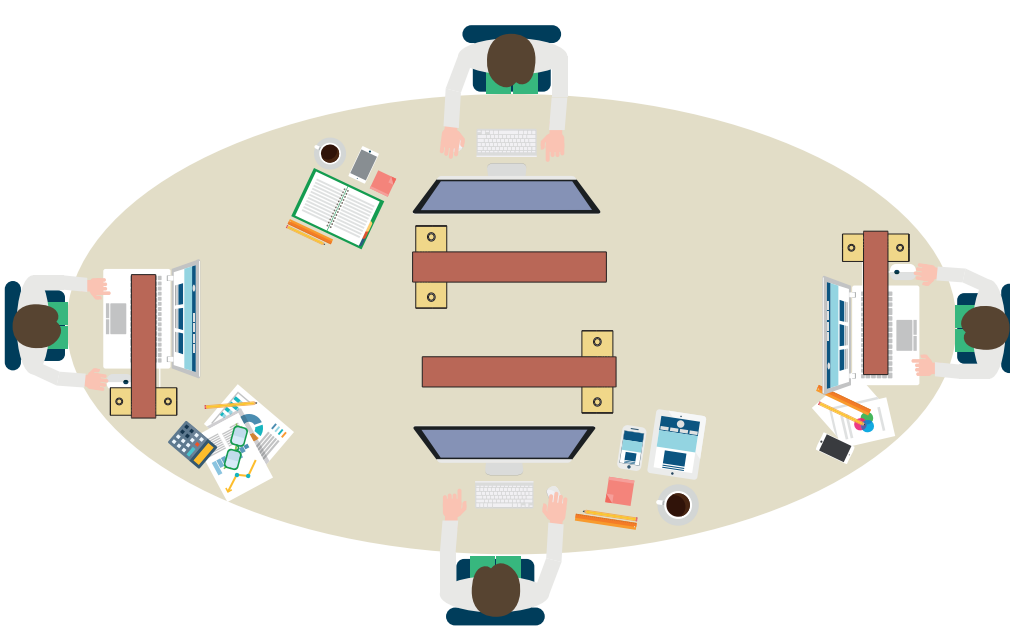
DUAL DESK

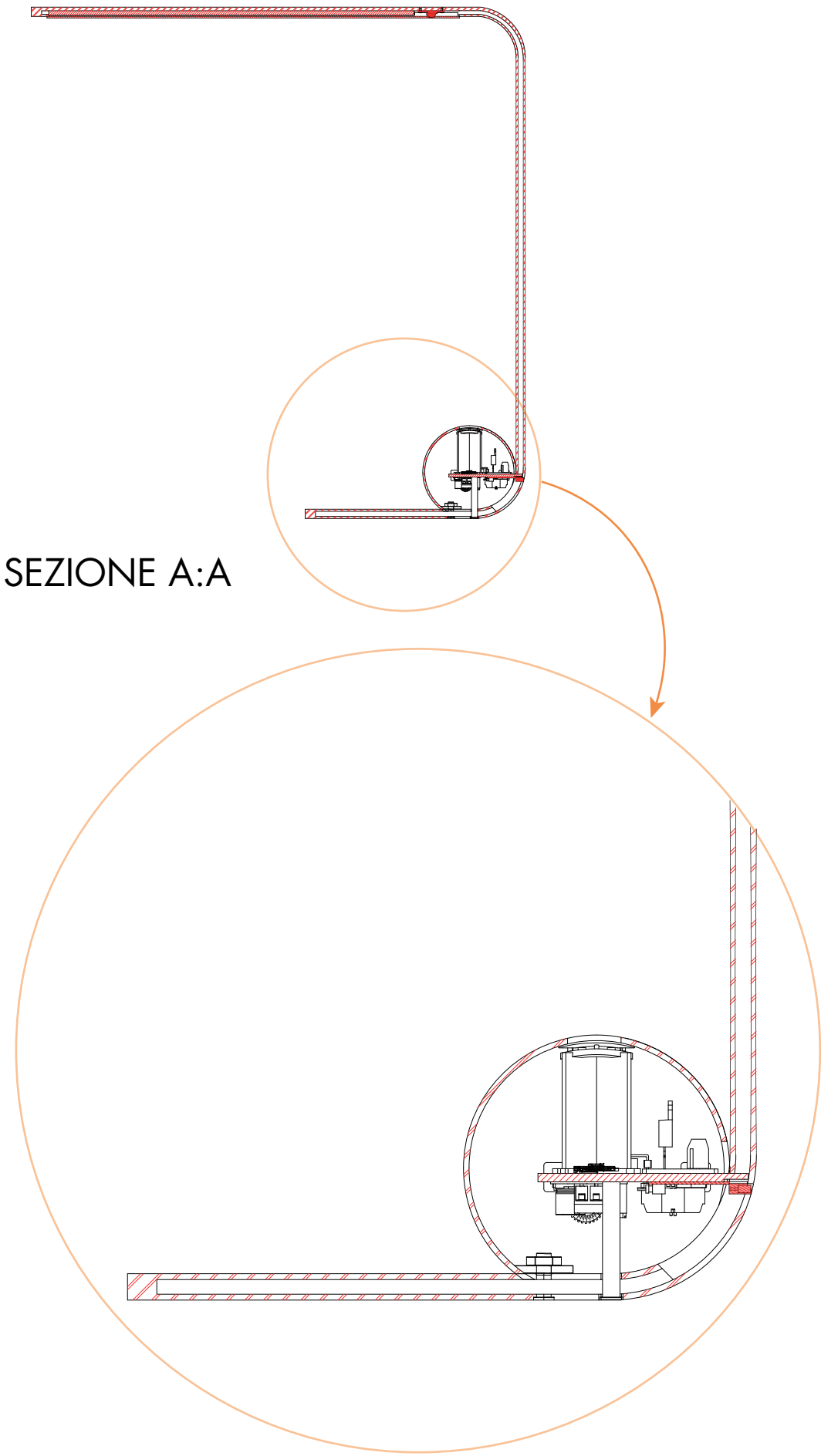
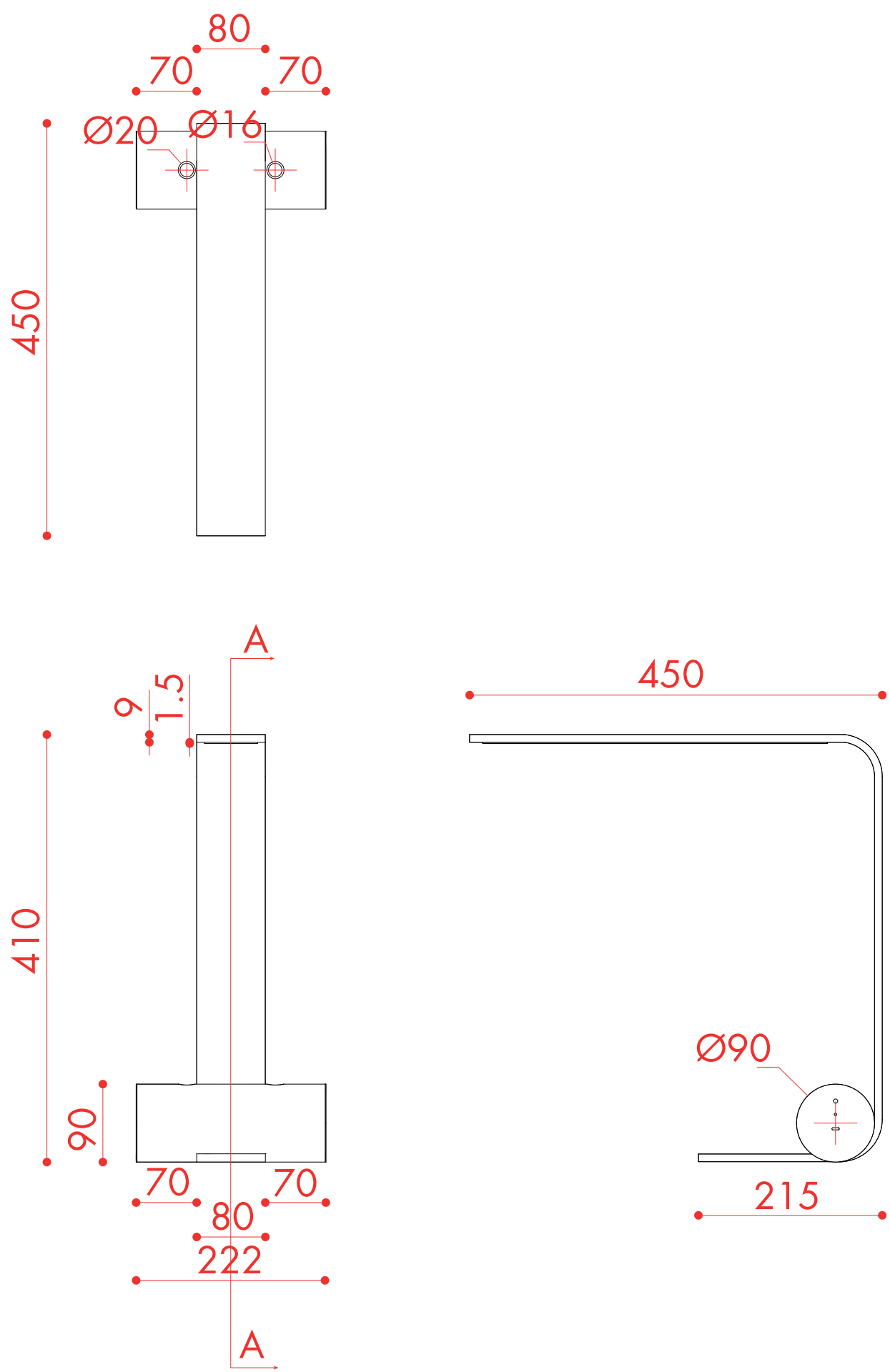


BENCH (SERIAL LAYOUT)

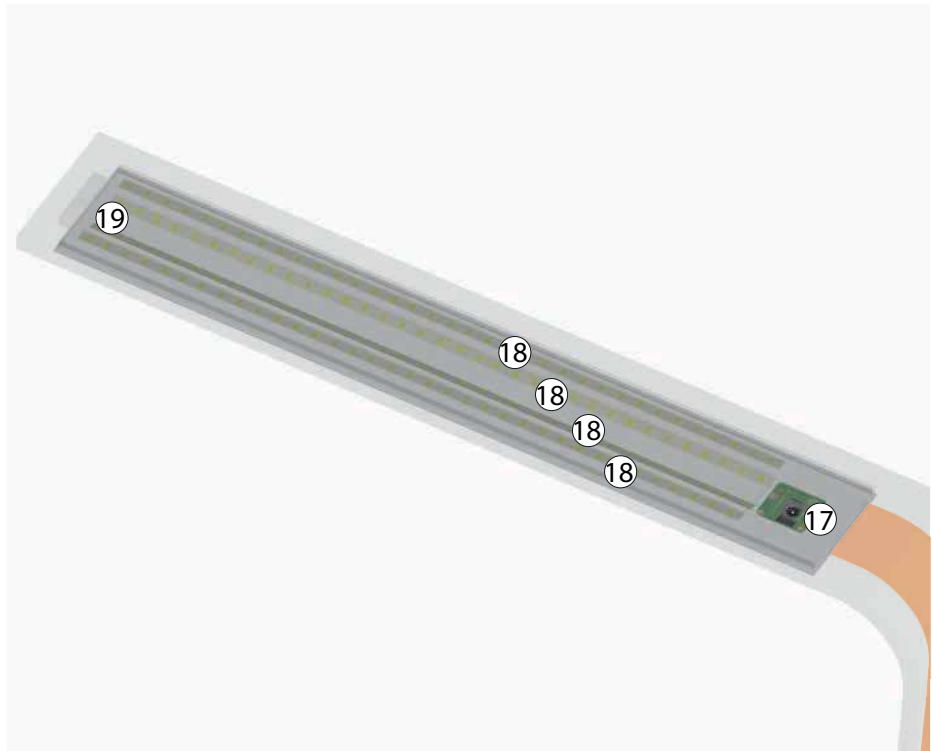
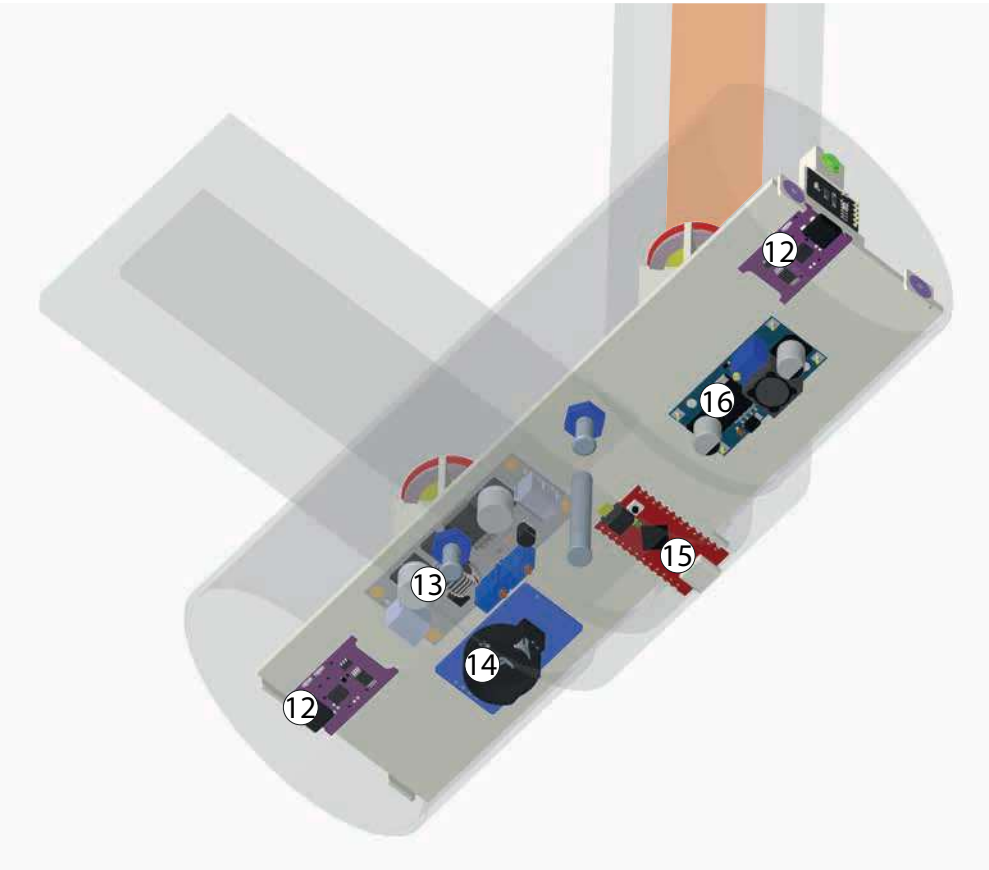
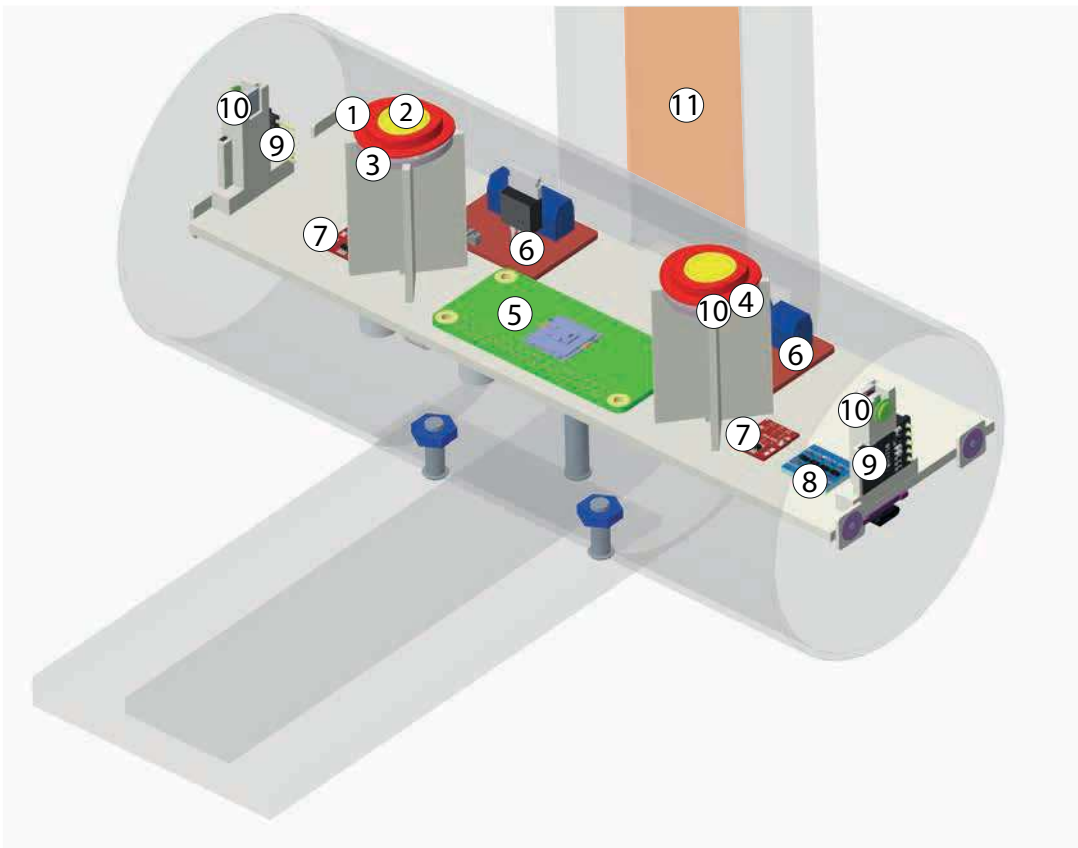
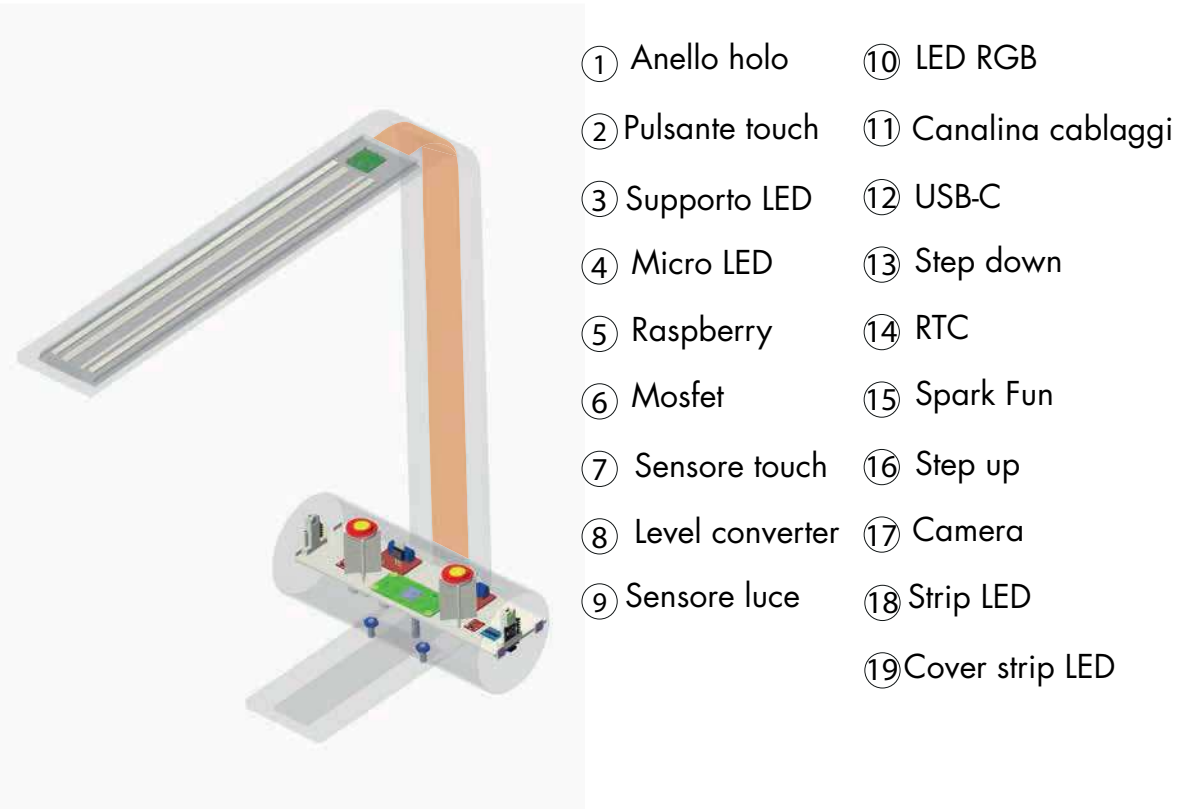


BENCH (SERIAL LAYOUT)

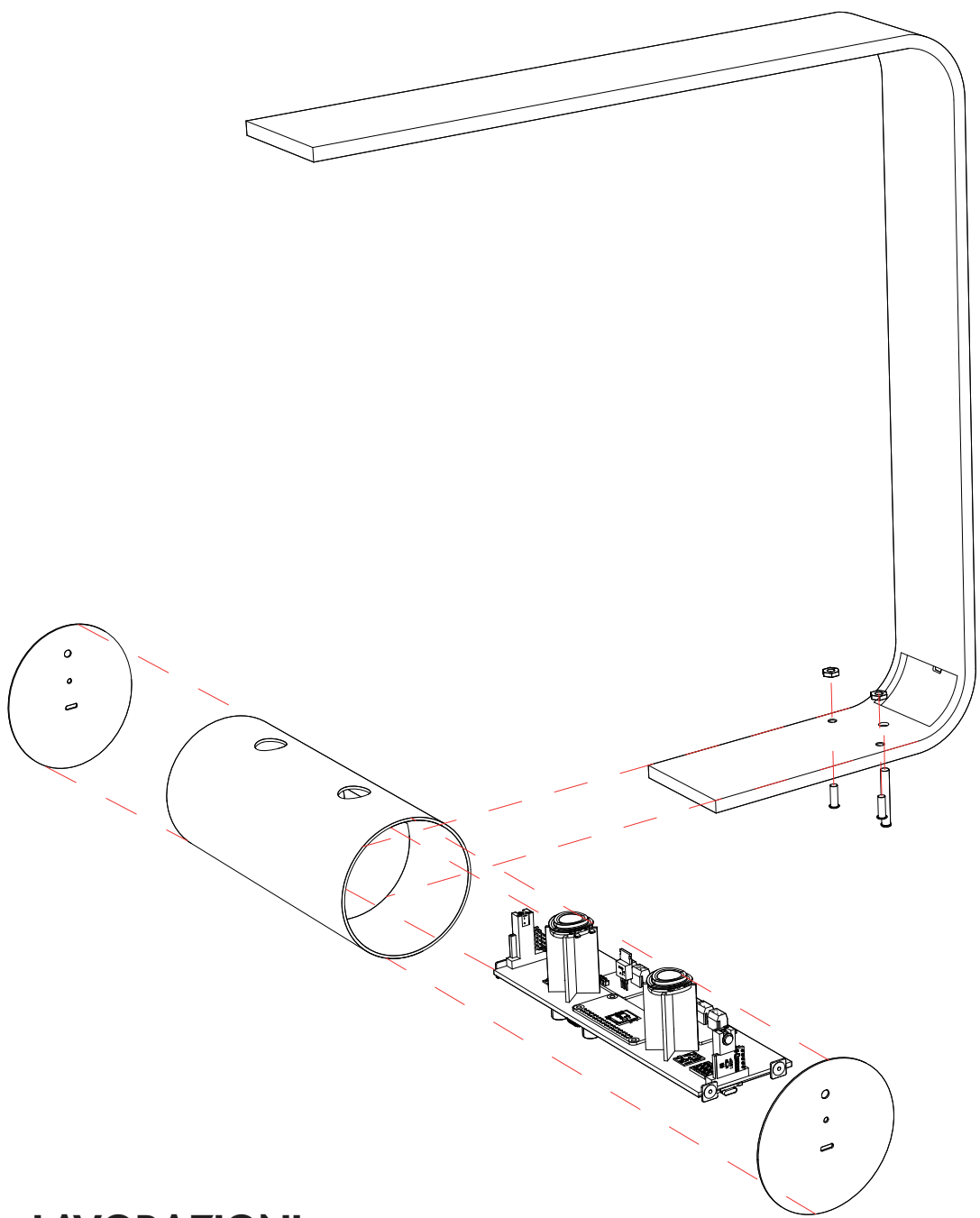




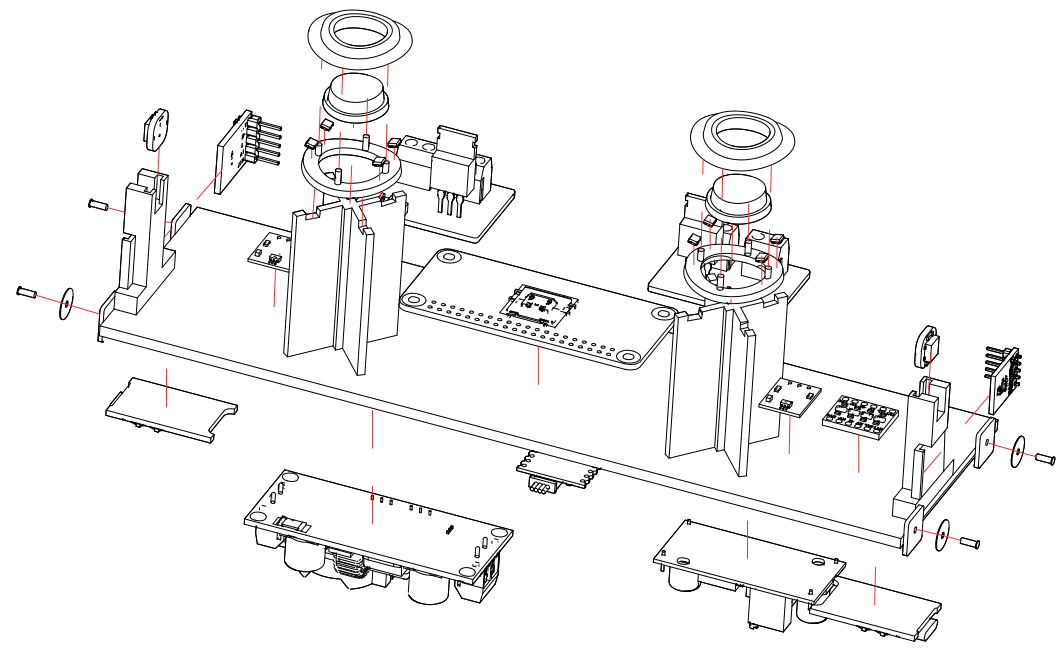
Layout di disposizione
delle componenti elettroniche



Esploso struttura



Esploso supporto componenti elettroniche



LAVORAZIONI

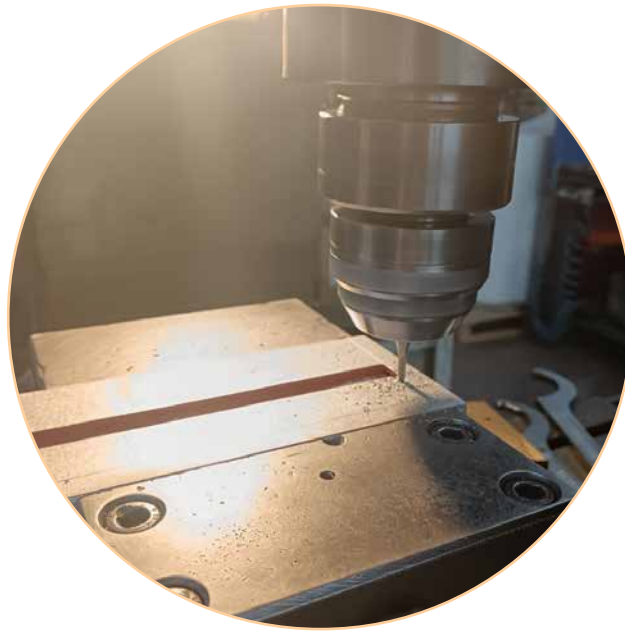
1° Rimozione verniciatura



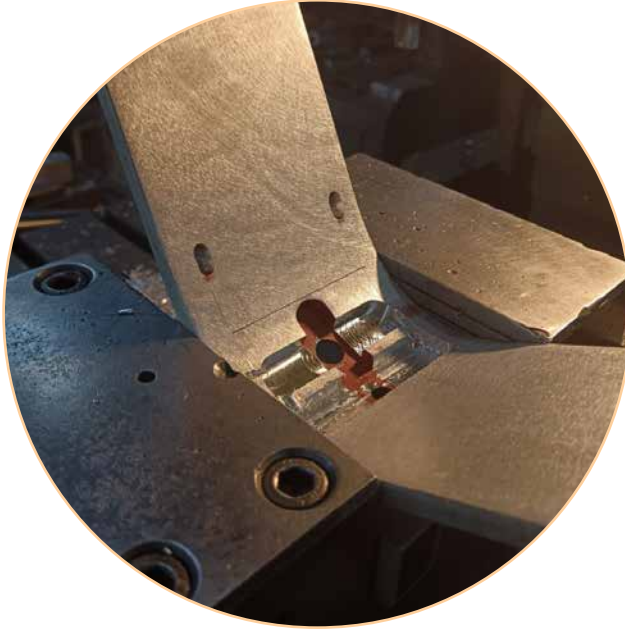
2° Sezionamento del profilo
tramite segatrice a nastro



3° Allargamento fresatura
per strip LED



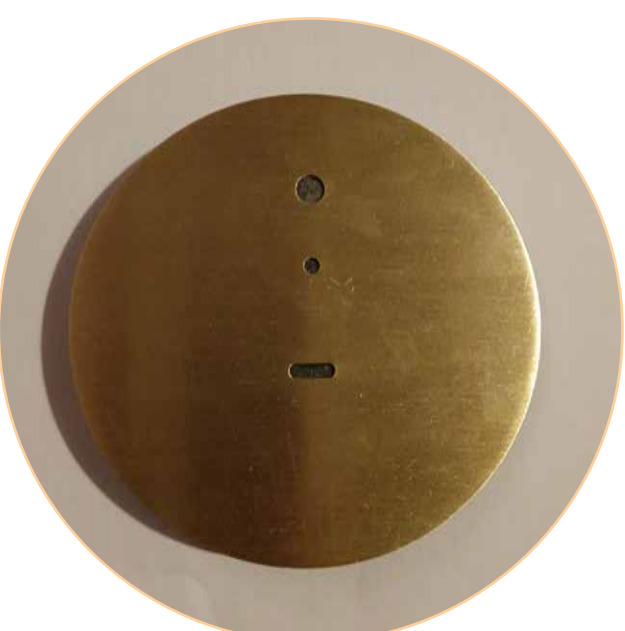
4° Allargamento fresatura
alla base



8° Stampaggio parti custom



7° Forature nel cilindro



6° Saldatura dell'alluminio



5° Allineamento pezzi
tagliati per saldatura



CONTINUUM THREAD

Il riflesso del gesto come motore dell'intelligenza luminosa

