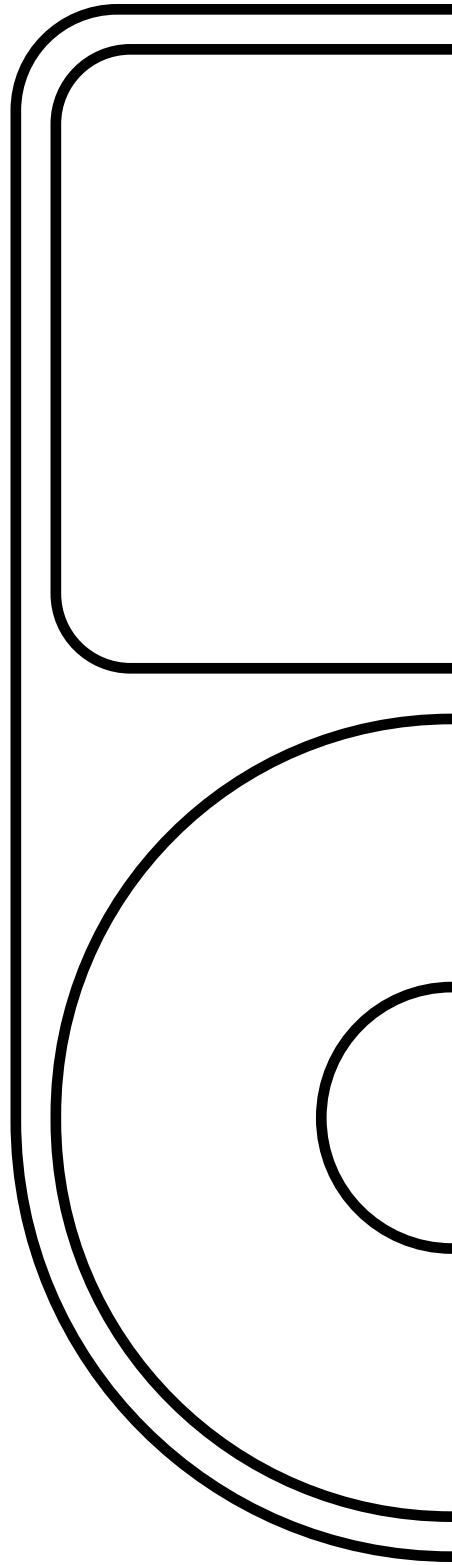


tacto





tacto

Esplorare nuove modalità di interazione
nell'era dello spatial computing.

Politecnico di Torino

Dipartimento di Architettura e Design
Corso di Laurea in Design e Comunicazione
A.a. 2025/2026
Sessione di Laurea Settembre 2025

relatore

Andrea Di Salvo

candidato

Michele Paolo Saffioti

indice

1. introduzione	1
2. scenario	3
spatial computing	5
modalità di interazione attuali	7
stato dell’arte	11
tangibilità	24
3. metodologia	25
metodologia	27
strumenti	27
test e osservazioni	28
valori progettuali	28
esigenze	30
accessibilità	31
4. progetto	33
mark00	35
mark01	38
mark02	39
mark03	42
5. studio delle interazioni	53
input testuale	55
tacto	57
penna	59
carezza	61
abbraccio	63
spostarsi nel testo	65
sistema predittivo	67
macro	67
navigazione	68
sintesi progettuale	68
6. scenari d’uso	69
personalizzazione	75
7. conclusioni e riflessioni	77
8. bibliografia	81

abstract

La tesi esplora le potenzialità del design multimodale all'interno dello spatial computing, con particolare attenzione alle modalità di inserimento testuale in ambienti di realtà virtuale, aumentata ed estesa. Il lavoro propone Tacto, un dispositivo wireless di input palmare progettato per garantire discrezione, portabilità e usabilità senza supporto visivo, offrendo un’alternativa alle tastiere virtuali flottanti e ai sistemi di dettatura vocale. Il dispositivo integra un touchpad principale, che consente la scrittura tramite tracciatura di lettere o swipe typing su layout memorizzati, e una ghiera circolare dotata di pulsanti a stato solido per funzioni rapide. Quando non impiegato come tastiera, Tacto può essere utilizzato come trackpad per il controllo del cursore. L’analisi teorica e la sperimentazione progettuale evidenziano come l’integrazione di ergonomia, memoria muscolare e feedback aptico possa migliorare l’efficienza e l’accessibilità dell’input testuale negli scenari immersivi, contribuendo ad ampliare le possibilità d’interazione proprie dello spatial computing.

1. introduzione

Negli ultimi dieci anni abbiamo assistito a una trasformazione radicale nel modo in cui concepiamo i dispositivi digitali. L'evoluzione dagli smartphone ai dispositivi indossabili, fino all'emergere dei visori per la realtà virtuale e aumentata, racconta un percorso che non riguarda soltanto la tecnologia, ma soprattutto le modalità di interazione con l'informazione e con gli altri.

Lo smartphone ha incarnato per lungo tempo la massima sintesi tra portabilità e potenza di calcolo, diventando un compagno inseparabile della vita quotidiana. Tuttavia, la sua forma — uno schermo da tenere in mano e guardare continuamente — sta mostrando limiti evidenti. Uso prolungato distrae dall'ambiente circostante, richiede un'attenzione visiva costante e produce un effetto di disconnessione dal contesto fisico e sociale. In un mondo sempre più solo ed individualista, diventa evidente la necessità di cercare alternative meno invasive, capaci di integrarsi con i nostri gesti quotidiani, senza rinunciare ai comfort a cui siamo abituati.

In questo scenario, lo *spatial computing* emerge come il possibile successore dell'esperienza mobile: un ecosistema in cui i contenuti digitali non sono confinati a uno schermo, ma distribuiti nello spazio che ci circonda. Dispositivi come *Apple Vision Pro*, *Meta Quest* o *Microsoft HoloLens* hanno aperto la strada a scenari in cui l'informazione digitale non vive più su un piccolo schermo, ma si fonde con l'ambiente fisico, distribuendosi nello spazio e rendendo ogni superficie un potenziale punto d'interazione. Nonostante queste potenzialità, le modalità di *input* rimangono uno degli aspetti più problematici: gesture sospese a mezz'aria, comandi vocali e interfacce fluttuanti hanno mostrato limiti significativi in termini di precisione, naturalezza e soprattutto discrezione. In contesti pubblici o in movimento, scrivere un messaggio con le mani alzate o parlare a voce alta a un assistente vocale può risultare innaturale, goffo o addirittura imbarazzante.

Da queste considerazioni nasce il cuore di questa ricerca: esplorare un'alternativa tattile, fisica, pensata per ridare centralità al corpo e al tatto come veicoli naturali di interazione. L'obiettivo non è competere con le interfacce già esistenti, ma proporre un diverso punto di vista: un input discreto, compatto, progettato per accompagnare la quotidianità senza imporsi nello spazio. Il progetto si concentra quindi sullo sviluppo di Tacto, un dispositivo da tenere in mano che funge da tastiera e trackpad tascabile per occhiali e visori AR. Attraverso iterazioni progettuali, casi studio e una riflessione sul futuro *post-smartphone*, la tesi indaga non soltanto il funzionamento del prototipo, ma anche la sua valenza culturale: una "penna" per il nuovo medium.

2. scenario

spatial computing

Il termine *spatial computing* descrive l'insieme di tecnologie che combinano mondo fisico e digitale attraverso visori, sensori e interfacce multimodali. In esso confluiscono diverse esperienze:

La *realtà virtuale* (VR) ha origini che risalgono agli anni '60, con esperimenti pionieristici come il *Sensorama* di Morton Heilig e il casco di visualizzazione stereoscopica di Ivan Sutherland, noto come *Sword of Damocles*. La VR è una tecnologia che immerge completamente l'utente in un ambiente digitale simulato, escludendo il mondo fisico. L'interazione avviene tramite visori, controller e sistemi di tracciamento (dei movimenti della testa e delle mani), in modo che ciò che vediamo e facciamo nel mondo virtuale corrisponda ai nostri movimenti reali. Oggi la VR è impiegata in *gaming*, simulazioni (ad esempio per la sicurezza o per l'addestramento), formazione (dalla medicina all'industria) e design (per valutare spazi e prodotti in scala reale).

I visori contemporanei mostrano immagini diverse a ciascun occhio per ricreare la profondità (stereoscopia) e utilizzano sensori per capire in che direzione guardiamo e dove ci stiamo muovendo nello spazio. I controller hanno sensori e pulsanti per afferrare oggetti, indicare, premere; alcuni sistemi tracciano direttamente le mani senza *controller*. Il tutto ha un solo scopo: far coincidere il più possibile ciò che sentiamo di fare con ciò che vediamo succedere nel mondo virtuale.

A differenza della VR, la *realtà aumentata* (AR) non sostituisce il mondo fisico, ma lo arricchisce, sovrapponendo informazioni visive, sonore o tattili tramite dispositivi come smartphone, visori o occhiali intelligenti. Un esempio conosciuto ai più è il gioco per smartphone *Pokémon Go* - in cui apparivano elementi a schermo sovrapposti alla realtà tramite l'uso della fotocamera. Le applicazioni però si estendono a manutenzione industriale, retail, navigazione, medicina. L'obiettivo è estendere la percezione senza interrompere la continuità con l'ambiente reale.

Il termine *realtà mista* (MR) nasce per descrivere esperienze che fondono reale e virtuale in modo più integrato, permettendo l'interazione tra oggetti fisici e digitali in tempo reale. Si tratta di un *continuum*, in cui gli elementi digitali non solo si sovrappongono alla realtà ma rispondono alla sua presenza, tracciando superfici, profondità e dinamiche dell'ambiente.

Infine, il termine *Extended Reality* (XR) è un contenitore più ampio che racchiude VR, AR e MR, e si usa spesso per descrivere l'insieme delle tecnologie immersive senza specificarne una in particolare.

Dagli anni 2000 in poi, grazie all'avanzamento dei sensori, della potenza computazionale e della miniaturizzazione hardware, queste tecnologie sono passate da essere strumenti da laboratorio a prodotti consumer, seppur con diversi gradi di maturità. Tuttavia, nonostante le promesse iniziali, l'integrazione nelle pratiche quotidiane resta limitata. Uno dei motivi principali è l'assenza di paradigmi di interazione realmente efficaci, intuitivi e discreti, tema centrale di questo progetto.

modalità di interazione attuali

Ad oggi, le tecnologia di realtà aumentata e virtuale, offrono diversi metodi di interazione. Ciascuna più adatta a un contesto piuttosto che un altro:

Gesture in aria: efficaci in spazi privati o in ambito lavorativo. Consentono interazioni naturali senza dispositivi fisici, ma possono risultare imprecise o faticose in sessioni prolungate.

Comandi vocali: utili per alcune funzioni rapide senza dover usare le mani, ma fortemente limitati dal contesto, privacy e rumore ambientale.

Controller fisici: Offrono precisione e feedback tattili, spesso però ingombranti, poco portabili e pensati per contesti immersivi (es. gaming), non per l'uso quotidiano.





Tracciamento oculare: Rileva il punto dello sguardo dell'utente, permettendo interazioni basate sull'attenzione visiva o sulla combinazione con altre modalità (es. "guardare + cliccare"). È utile per la navigazione e la selezione rapida.

stato dell'arte

Il dibattito sullo spatial computing non riguarda soltanto la potenza dei visori o la qualità delle immagini, ma soprattutto la questione di come interagire con mondi in cui il digitale si intreccia al fisico. Ogni nuova generazione di hardware ha proposto modalità di input diverse, oscillando tra l'entusiasmo per gesture per aria e la nostalgia per strumenti tradizionali come tastiere e controller. Proprio in questo spazio incerto, a metà strada tra l'inerzia culturale e la sperimentazione radicale, si colloca la riflessione da cui nasce Tacto.

I controller fisici, protagonisti della realtà virtuale, hanno garantito per anni precisione e feedback tattile. Tuttavia, restano legati a un immaginario ludico e risultano ingombranti, poco compatibili con l'idea di un uso quotidiano e discreto. Le gesture a mezz'aria, celebrate come la forma più "naturale" di interazione, hanno rivelato presto i loro limiti: faticose, imprecise, poco sostenibili sul lungo periodo. I comandi vocali, veloci e apparentemente intuitivi, si scontrano con i vincoli del contesto sociale e con le questioni di privacy, finendo per essere adatti solo a situazioni isolate. Le tastiere virtuali sospese nello spazio, infine, rappresentano il tentativo più diretto di trasporre il paradigma mobile nei visori, ma la loro goffaggine ha reso evidente che non basta replicare ciò che già conosciamo per adattarlo a un medium nuovo.

Guardando a questo panorama, ciò che emerge non è l'assenza di soluzioni, ma piuttosto un vuoto qualitativo, dimostrando l'esistenza del problema. Tutti i tentativi mostrano di sacrificare qualcosa: precisione per naturalezza, discrezione per immediatezza, versatilità per compattezza. In questo scenario, la domanda che Tacto solleva è se sia possibile immaginare un'alternativa che non rinunci alla tattilità e alla discrezione, e che non costringa l'utente ad apprendere da zero un nuovo alfabeto.

Per comprendere meglio queste dinamiche e le possibilità di innovazione, è utile osservare da vicino alcuni dispositivi che, in modi diversi, hanno tentato di ridefinire l'esperienza di input in contesti mobili e ridotti. Questi casi studio – dal Twiddler al T9, passando per lo Steam Deck, Apple Watch e la tastiera stenografica – permettono di riconoscere pattern ricorrenti, punti di forza e debolezze che hanno segnato la storia dell'interazione testuale.



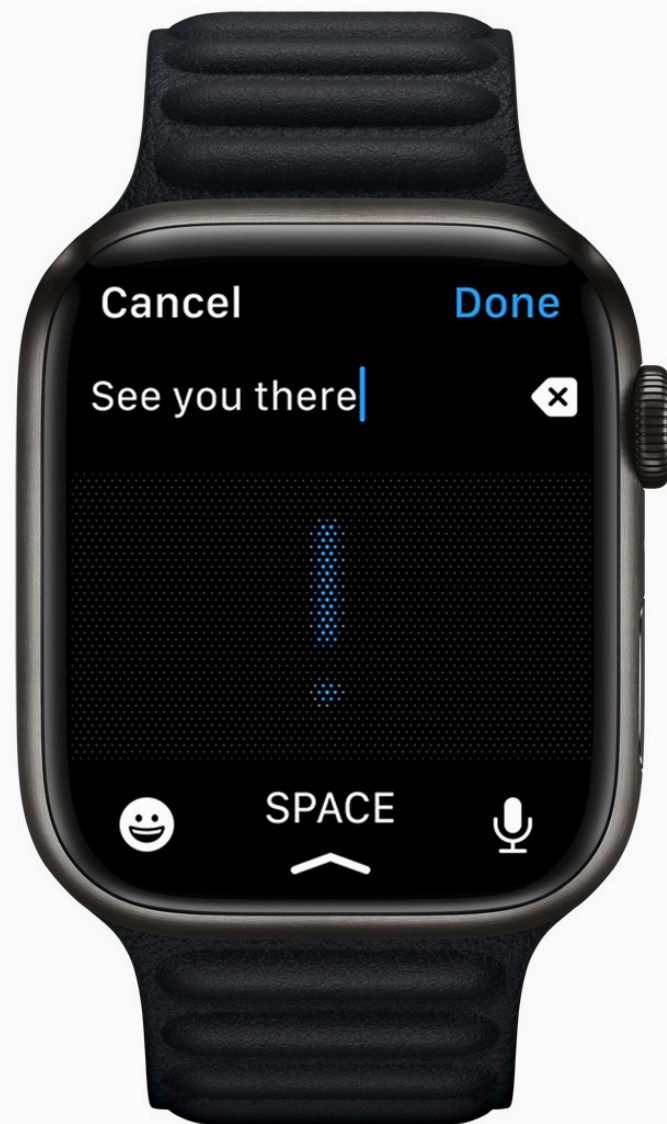
twiddler

Il Twiddler rappresenta uno dei primi tentativi di ripensare la scrittura digitale come attività svolta “a occhi chiusi”. Si tratta di un dispositivo a una mano che combina la logica *chording*, in cui più tasti premuti simultaneamente generano una parola. Nato per contesti militari e professionali, ha dimostrato che la memoria muscolare può sostituire il feedback visivo, consentendo velocità di scrittura elevate e libertà dall'obbligo di guardare lo schermo. Tuttavia, la complessità del suo apprendimento e l'ingombro ne hanno limitato la diffusione, insegnando che un buon compromesso tra efficienza e accessibilità è imprescindibile.

steam deck

Lo *Steam Deck*, console portatile sviluppata da Valve, mostra invece come l'input multimodale possa ampliare le possibilità di interazione. Oltre ai pulsanti e ai *joystick*, integra due trackpad capacitivi che replicano il funzionamento del mouse, offrendo precisione anche in spazi ridotti. La possibilità di configurare ogni tasto e di combinare input analogici, digitali e tattili mostra come l'interazione possa diventare estremamente personalizzabile e adattabile alle esigenze dell'utente. Nonostante le dimensioni generose e la vocazione ludica, il caso dello Steam Deck è utile a Tacto per confermare la versatilità delle superfici touch e per suggerire un approccio multimodale all'interazione.





apple watch

Con Apple Watch si affronta direttamente il problema dell'input testuale in uno spazio minimo. La dettatura vocale, la scrittura a mano libera con la funzione *Scribble* e la tastiera QWERTY miniaturizzata con swipe, mostrano strategie diverse per superare i vincoli fisici. La forza di Apple sta nell'integrazione software, capace di predire e correggere gli errori, alleggerendo l'esperienza dell'utente. Tuttavia, queste soluzioni sono ancora pensate per essere usate guardando lo schermo, e la dettatura, seppur efficace, non è sempre adatta a contesti sociali discreti. L'insegnamento principale è che scrivere "lettera per lettera" su una superficie ridotta è fattibile, ma occorre progettare un'interazione svincolata dal feedback visivo, rafforzata da algoritmi predittivi.



stenotipia

La stenotipia costituisce un caso storico e professionale in cui la scrittura si basa su combinazioni di tasti capaci di generare sillabe o parole intere. Utilizzata per la trascrizione in tempo reale nei tribunali, consente velocità straordinarie, dimostrando la potenza della memoria muscolare e delle logiche di chording. Tuttavia, richiede tempo di addestramento e resta accessibile solo a una nicchia di professionisti. Per Tacto, la stenotipia è un esempio di come abbreviazioni e scorciatoie possano ridurre il carico fisico e aumentare la velocità, a patto di mantenere una curva di apprendimento gestibile per un pubblico più ampio.

#									
S	T	P	H	*	F	P	L	T	D
	K	W	R		R	B	G	S	Z

t9

Infine, il T9 rappresenta una delle innovazioni più influenti nella scrittura mobile. Introdotto sui telefoni con tastiera numerica, permetteva di digitare una parola con un solo tocco per lettera, grazie a un dizionario predittivo che selezionava la combinazione più probabile. La sua diffusione di massa ha reso evidente quanto l'integrazione di sistemi predittivi possa rendere più fluida la digitazione e ridurre gli sforzi dell'utente, anche a costo di qualche ambiguità. Per Tacto, il T9 è un precedente fondamentale: mostra come il software possa compensare i limiti hardware, alleggerendo l'interazione e rendendola più naturale.



tangibilità

Nel design dell'interazione, il concetto di tangibilità rappresenta un fondamento imprescindibile per la costruzione di esperienze realmente significative. Toccare, premere, percepire una resistenza o un ritorno fisico sono azioni che non hanno bisogno di essere apprese, perché radicate in un linguaggio che il corpo conosce da sempre. Queste esperienze tattili costituiscono ciò che viene definita una affordance naturale: il gesto trova nel materiale e nel feedback la sua conferma, riducendo incertezza e aumentando la sensazione di controllo.

In assenza di una risposta tattile, l'interazione diventa fragile e artificiale, poiché richiede un monitoraggio conscio che interrompe il flusso naturale dell'azione.

Questo limite si fa ancora più evidente quando si tratta di input testuale, una delle pratiche più ricorrenti nell'uso quotidiano di ogni dispositivo digitale. Scrivere in AR e VR, oggi, rimane un'esperienza frustrante: le tastiere virtuali proiettate nello spazio impongono gesti innaturali e privi di consistenza; la dettatura vocale, sebbene rapida, non è né discreta né sempre adatta al contesto; gli attuali sistemi di autocompletamento non sostituiscono la precisione e la volontà espressiva di chi scrive.

In questo scenario, la proposta di Tacto non cade nella contraddizione di replicare una tastiera “senza fisicità”, ma si pone come tentativo di restituire tattilità all'immateriale. Pur non avendo tasti meccanici tradizionali, il dispositivo si fonda su un sistema di superfici touch e feedback aptici che cercano di simulare e reinterpretare la fisicità della pressione. I pulsanti virtuali, analoghi a quelli introdotti da Apple su dispositivi come il trackpad dei MacBook o in iPhone, non mirano a illudere l'utente, ma a creare una coerenza percettiva: l'azione del premere trova comunque un riscontro tattile, seppur generato artificialmente.

La differenza cruciale, quindi, sta nel fatto che Tacto riduce la distanza tra gesto e percezione. Non si limita a visualizzare pulsanti fluttuanti nello spazio, ma offre un oggetto concreto da impugnare, da esplorare con le dita, da riconoscere attraverso la memoria muscolare. L'interazione non si disperde nell'aria, ma resta ancorata a un supporto fisico, recuperando quella sensazione di certezza e discrezione che manca alle interfacce puramente virtuali.

In questo modo, il dispositivo affronta direttamente il paradosso della scrittura in AR/VR: restituire al corpo la sua centralità. Non si tratta di replicare la tastiera come semplice “immagine”, ma di reinventarne l'essenza, facendo sì che l'atto di scrivere torni a essere non solo un gesto cognitivo, ma anche un'esperienza tangibile.

I casi studio analizzati convergono su alcune considerazioni chiave:

Da un lato, dispositivi come il Twiddler e la tastiera stenografica confermano che la scrittura senza guardare è possibile, ma richiede di bilanciare efficienza e curva di apprendimento. Dall'altro, soluzioni come lo Steam Deck e l'Apple Watch mostrano il valore della multimodalità e della predizione software, suggerendo approcci che uniscono hardware e algoritmi intelligenti. Il T9, infine, testimonia il successo di sistemi che semplificano la scrittura riducendo al minimo gli input richiesti. Tacto si colloca all'incrocio di queste esperienze: un dispositivo pensato per essere discreto, usabile senza schermo, fondato sulla memoria muscolare e arricchito da logiche predittive, con l'obiettivo di unire immediatezza ed efficacia in un formato accessibile e quotidiano.

3. metodologia

metodologia

Lo sviluppo di Tacto si è ispirato a metodologie consolidate nel design, adattandole alle esigenze di un progetto fortemente sperimentale. In particolare, il percorso può essere letto alla luce del modello del Double Diamond, che descrive il design come un processo ciclico di divergenza e convergenza: prima si apre lo sguardo per esplorare possibilità, poi lo si restringe per definire una direzione; successivamente si allargano di nuovo le ipotesi nella fase di sviluppo e infine si converge verso una soluzione raffinata.

Questo schema è stato seguito in modo flessibile, e ha fornito una cornice interpretativa utile per leggere l'alternanza tra momenti di apertura (generazione di idee, esplorazioni formali e concettuali) e momenti di chiusura (selezione, prototipazione, affinamento).

Il ciclo di lavoro ha seguito una logica ricorrente:

esplorazione → prototipazione → valutazione → affinamento.

- **Esplorazione:** le prime fasi sono state dedicate a generare scenari, immaginare usi e riflettere sui limiti delle soluzioni esistenti. Schizzi veloci e modelli concettuali hanno permesso di confrontare vari formati (più simile a un controller, a un telecomando, a un anello?) e ipotizzare diverse logiche di input (touchpad, ghiera, pulsanti). Questa fase è stata volutamente aperta, senza vincoli tecnologici, per far emergere possibilità anche inattese.
- **Prototipazione:** a ogni ipotesi concettuale è seguito un tentativo di concretizzazione, spesso attraverso modelli grezzi, costruiti in poche ore. Alcuni prototipi erano puramente volumetrici, pensati per valutare le proporzioni in mano; altri invece già contenevano componenti funzionali (touchpad, click meccanici), così da poter testare interazioni di base.
- **Valutazione:** ogni prototipo è stato messo alla prova, anche in modo informale, con studenti e colleghi. Le osservazioni riguardavano soprattutto l'ergonomia, la naturalezza della presa e la percezione di discrezione nell'uso. In molti casi non servivano veri “test strutturati”: bastava osservare come qualcuno impugnava l'oggetto, o chiedergli di simulare una scrittura rapida, per ottenere spunti preziosi.
- **Raffinamento:** i feedback raccolti hanno guidato modifiche progressive. Alcuni elementi iniziali, come l'idea di avere due dispositivi distinti, sono stati abbandonati perché poco pratici. Altri, come la ghiera circolare, sono stati invece confermati e migliorati proprio grazie ai riscontri degli utenti.

strumenti

Durante il progetto sono stati impiegati diversi strumenti, ciascuno con una funzione specifica nel dare forma alle idee e nel supportare le decisioni progettuali. Non si tratta di una sequenza lineare, ma di un insieme di risorse utilizzate in modo complementare, a seconda delle necessità.

- **Sketch su carta:** Gli schizzi hanno rappresentato lo strumento più immediato per generare e confrontare rapidamente varianti. Con pochi tratti è stato possibile immaginare diverse configurazioni, posizioni del touchpad o dimensioni complessive, mantenendo il processo flessibile e poco vincolato.
- **Modelli 3D digitali (CAD e rendering):** I software di modellazione tridimensionale hanno permesso di approfondire aspetti formali ed estetici, oltre che funzionali. I rendering hanno reso possibile valutare proporzioni, curvature e scenari d'uso, ma soprattutto esplorare materiali, finiture e linguaggi visivi. È stato quindi possibile immaginare il dispositivo non solo come oggetto funzionale, ma anche come elemento che deve comunicare una certa identità visiva: discreta, tecnologica e coerente con i linguaggi di prodotti vicini (controller, accessori indossabili, elettronica di consumo).
- **Stampa 3D e modelli fisici rapidi:** La realizzazione di modelli fisici ha permesso di verificare direttamente la relazione tra dispositivo e mano. Anche versioni rudimentali hanno fornito informazioni preziose sull'ergonomia, la presa e la posizione dei pulsanti, evidenziando aspetti difficili da anticipare solo a livello digitale.

- **Prototipi digitali interattivi:** Attraverso strumenti di prototipazione software, come Figma, è stato possibile simulare scenari d'uso e flussi interattivi. Questi modelli hanno consentito di esplorare il funzionamento del sistema predittivo, la gestione del cursore e le gesture, fornendo una visione anticipata dell'esperienza d'uso.

L'utilizzo combinato di questi strumenti ha permesso di mantenere il progetto agile e progressivo: alcuni hanno contribuito ad aprire possibilità, altri a verificarle, altri ancora a raffinarle sul piano estetico e interattivo. Insieme hanno reso possibile un approccio centrato sull'esperienza, senza essere vincolati in anticipo da limiti tecnologici o produttivi.

test e osservazioni

Anche se non sono stati condotti test formali su larga scala, il progetto ha beneficiato di momenti di valutazione mirata, impostati secondo una logica qualitativa ed esplorativa. L'attenzione non era rivolta a raccogliere dati numerici o misurazioni statistiche, quanto piuttosto a comprendere i comportamenti spontanei degli utenti, le loro prime impressioni e le difficoltà emergenti.

Le sessioni sono state svolte con un piccolo gruppo di studenti e colleghi, invitati a interagire liberamente con i prototipi. La combinazione tra osservazione diretta dei gesti e raccolta di commenti a voce ha permesso di cogliere in tempo reale reazioni e strategie di utilizzo, evidenziando sia punti di forza sia criticità. Questo tipo di approccio, basato sull'osservazione di pochi utenti ma con un'analisi attenta, si è rivelato sufficiente per individuare schemi ricorrenti e orientare le successive iterazioni progettuali.

Gli aspetti osservati hanno riguardato principalmente l'ergonomia (presa, comfort, posizionamento dei pulsanti), i tempi di apprendimento delle logiche di input e il grado di naturalezza percepito nell'uso in situazioni quotidiane. Queste osservazioni hanno fatto emergere alcuni principi ricorrenti: la necessità di un'interazione discreta, la possibilità di costruire una memoria muscolare che renda i gesti progressivamente automatici, e l'importanza del feedback fisico come elemento di rassicurazione.

Questi momenti, hanno confermato alcuni principi chiave: la necessità di discrezione, la centralità della memoria muscolare e il valore di un feedback fisico. In questo senso, più che “validare un prodotto”, la metodologia ha permesso di delineare un modello interattivo alternativo.

valori progettuali

La progettazione di Tacto nasce dall'esigenza di dare forma a un nuovo paradigma di interazione, capace di superare i limiti delle attuali modalità di input in contesti AR/VR/XR. A differenza di un progetto strettamente di prodotto, in cui le scelte materiali e produttive rivestono un ruolo centrale, qui l'attenzione si concentra principalmente sull'esperienza d'uso e sui processi cognitivi e sensoriali che sostengono l'interazione.

Il punto di partenza è il riconoscimento di un limite evidente: la scrittura nello spazio virtuale, oggi, si affida perlopiù a tastiere flottanti prive di consistenza o alla dettatura vocale. Entrambe le soluzioni risultano poco soddisfacenti: la prima perché richiede gesti imprecisi e visivamente ingombranti, la seconda perché manca di discrezione ed è poco adatta a contesti sociali o pubblici. L'obiettivo di Tacto è dunque restituire tangibilità e continuità sensoriale a un gesto – quello dello scrivere – che il corpo conosce da secoli.

La progettazione di Tacto evidenzia quindi come il design dell'interazione si giochi spesso in una tensione tra esigenze apparentemente opposte: discrezione e tangibilità, compattezza e percepibilità, versatilità e semplicità. Il valore del progetto risiede nella capacità di mantenere in equilibrio queste forze, traducendole in un'esperienza che sia non solo funzionale, ma anche coerente, naturale e socialmente accettabile.

Più che un dispositivo “fisico”, Tacto va quindi inteso come una proposta di modello interattivo. La sua funzione non è solo quella di offrire un nuovo strumento di scrittura, ma di suggerire una strada diversa per l'interazione nello spazio digitale: una strada che restituisce centralità al corpo, alla memoria muscolare e alla discrezione dei gesti, ponendosi come alternativa credibile alle logiche delle tastiere virtuali e della voce.



esigenze

Il primo bisogno emerso riguarda la **discrezione**. Un dispositivo di input per AR deve poter essere usato senza richiamare l'attenzione, permettendo all'utente di scrivere anche con le mani in tasca o in situazioni sociali. Questo implica evitare gesti vistosi, posture innaturali o dipendenze da input vocali che espongono l'utente.

Un secondo elemento è la **tangibilità**, intesa come capacità di fornire un riscontro fisico al gesto. Premere, accarezzare, scorrere: tutte azioni che non devono rimanere sospese nell'aria, ma trovare un ancoraggio concreto. Qui il feedback aptico e la presenza di superfici tattili diventano fondamentali per ridurre la frizione cognitiva e restituire certezza all'utente, che non è costretto a “guardare per capire” ma può fidarsi del proprio tatto.

Terzo aspetto è la **versatilità**. Poiché non esiste un unico modo ‘giusto’ di scrivere, il dispositivo deve supportare diverse modalità di input, così da adattarsi alle preferenze dell'utente e ai diversi contesti d'uso.

accessibilità

La possibilità di scrivere senza dover guardare il dispositivo, affidandosi alla memoria muscolare e alla percezione tattile, rappresenta già di per sé un esempio di design inclusivo: una soluzione pensata per migliorare l'esperienza di tutti, che può rivelarsi particolarmente utile anche per chi presenta esigenze specifiche.

Inoltre, la presenza di funzioni come la personalizzazione delle scorciatoie testuali o la regolazione dell'intensità del feedback aptico mostra come la progettazione di Tacto non sia orientata a un "utente medio" astratto, ma lasci spazio a configurazioni differenti. Non si tratta quindi di un dispositivo espressamente concepito per l'accessibilità, bensì di un sistema che, grazie alla sua adattabilità, può allargare la platea dei potenziali utilizzatori e ridurre le barriere di accesso all'interazione digitale.



4. progetto

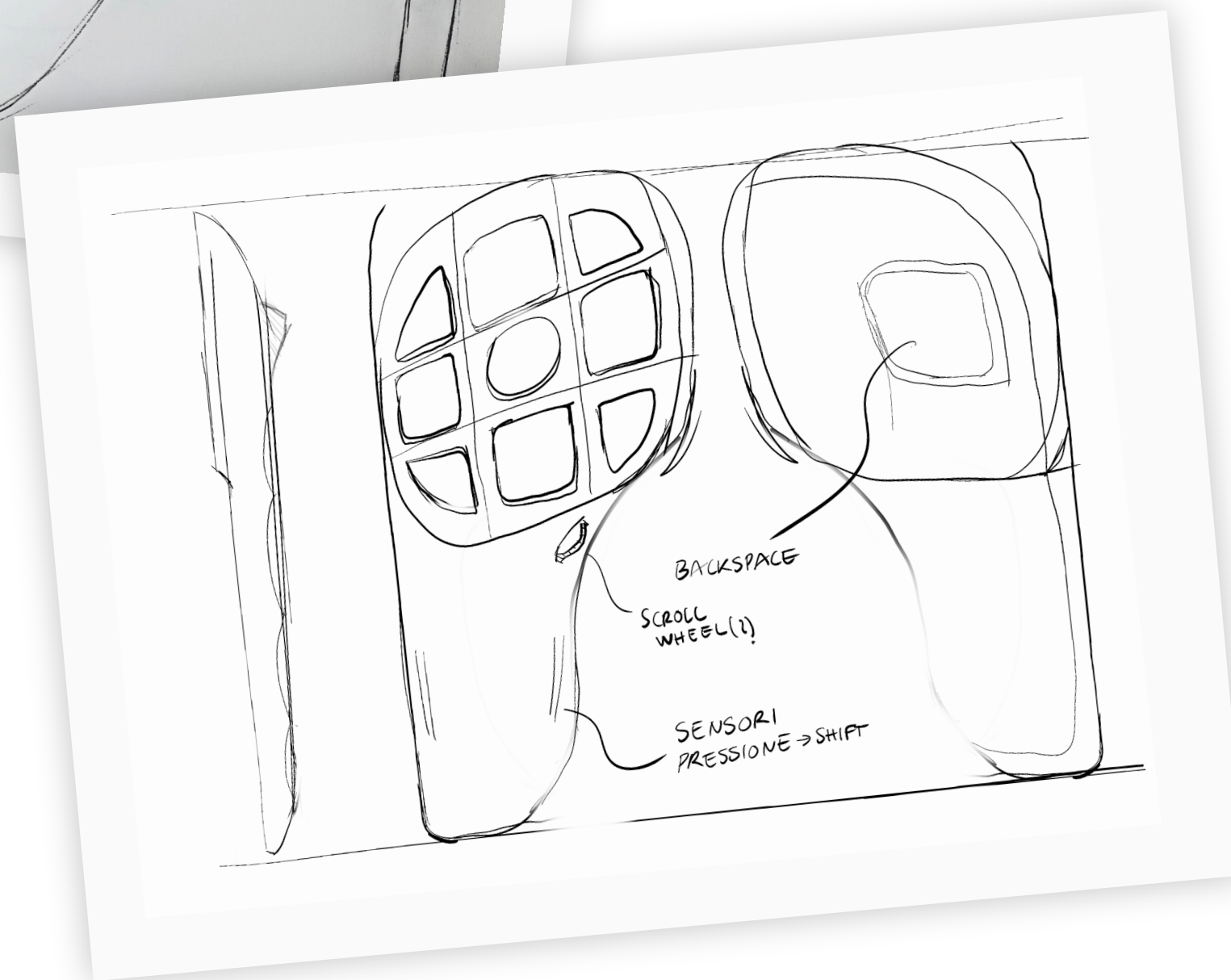
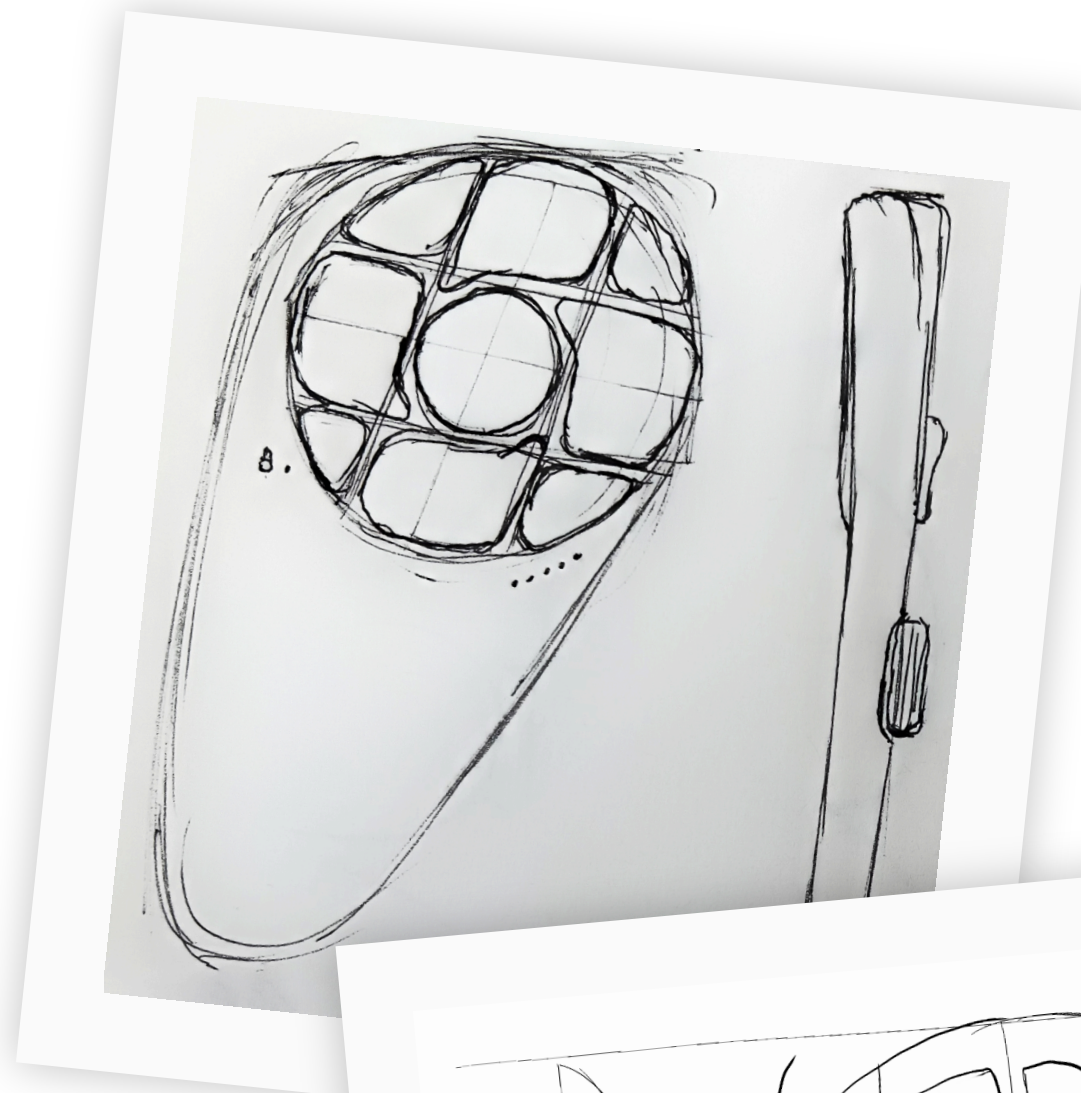
mark00

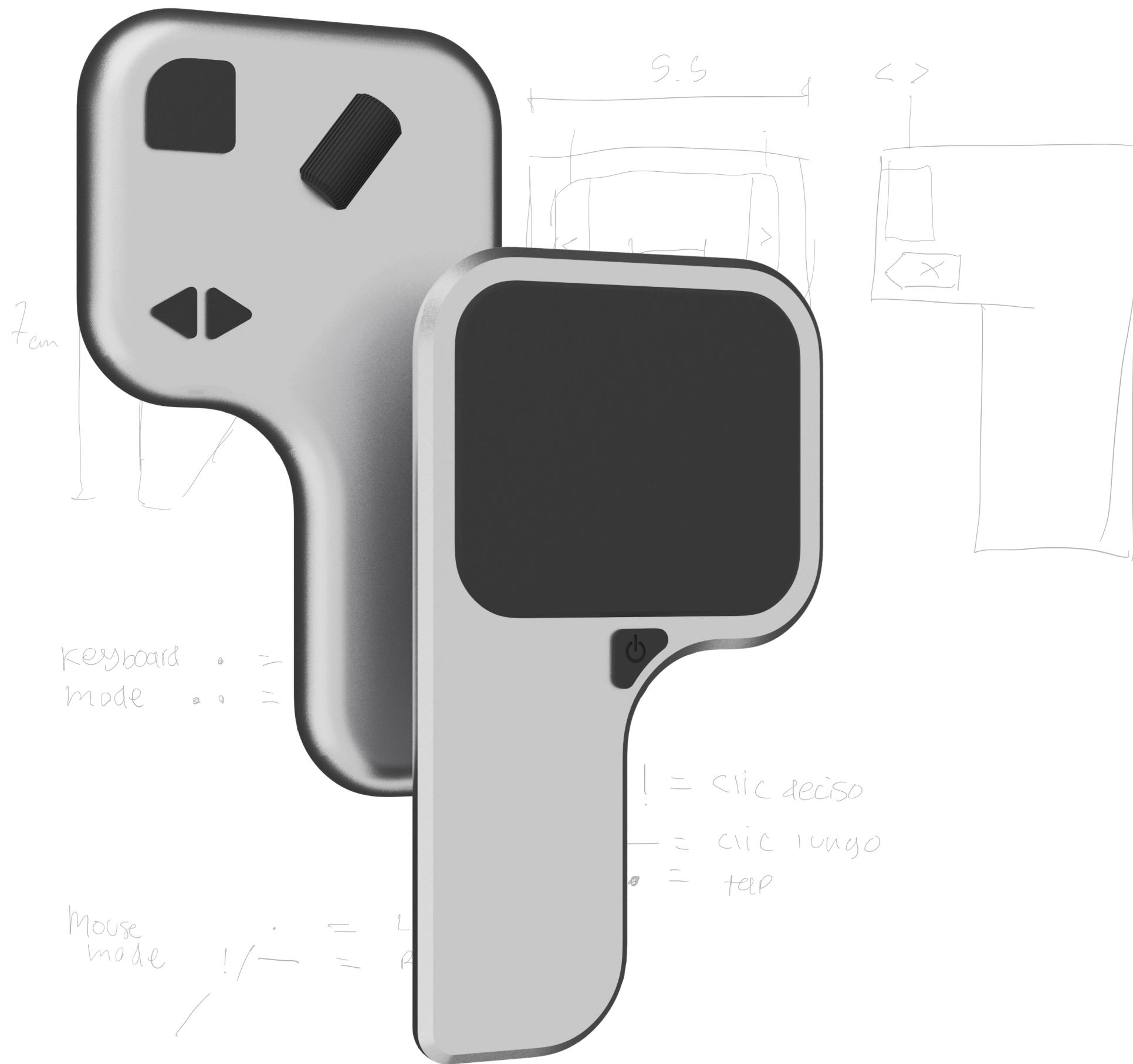
La prima ipotesi progettuale prevedeva un sistema composto da due dispositivi simmetrici, uno per la mano sinistra e uno per la mano destra, ciascuno dotato di un tastierino fisico a 9 pulsanti (3×3) con un layout alfabetico proprietario. L'utente non digitava lettere singole, ma componeva le parole premendo coppie di tasti in contemporanea: uno con la mano sinistra e uno con la destra. Questo approccio, ispirato al principio del chording puntava a ridurre il numero di tasti da memorizzare e a velocizzare la scrittura una volta interiorizzato il sistema.

Tuttavia, l'uso di un sistema completamente nuovo di codifica testuale si è rivelato controintuitivo, poiché l'apprendimento risultava macchinoso e il beneficio effettivo, in termini di velocità e precisione, non giustificava la complessità introdotta. In particolare:

- L'utente doveva memorizzare una mappatura arbitraria.
- L'assenza di feedback visivo rendeva difficile riconoscere gli errori.
- Il sistema non era compatibile con l'esperienza di scrittura già interiorizzata dagli utenti (es. swipe, layout QWERTY).

Si è quindi deciso di abbandonare l'idea della tastiera proprietaria, spostando l'attenzione su interfacce gestuali più naturali, come lo swipe su superficie touch o la scrittura di lettere, sulla scia di quanto avviene sull'Apple Watch. Questo ha aperto la strada a una nuova serie di modelli, ognuno con osservazioni specifiche, raccolte durante lo sviluppo e l'interazione simulata.





mark01

Il primo modello, ha rappresentato una prima esplorazione delle proporzioni, dell'ergonomia e della distribuzione funzionale degli elementi. Presentava una forma compatta e sottile (spessore circa 5 mm), con bordi stondati e un touchpad centrale, di dimensioni simili a quelle di un Apple Watch. Era prevista un'area sagomata per l'appoggio di anulare e mignolo, utile a garantire maggiore stabilità durante l'uso.

Le valutazioni successive hanno evidenziato alcune criticità significative: il dispositivo risultava eccessivamente piccolo, compromettendo la maneggevolezza; la posizione della rotella per scorrere tra il testo risultava poco accessibile; la presenza di un unico bottone sul retro, destinato alla funzione di cancellazione, non soddisfaceva i requisiti di flessibilità e controllo.

Inoltre, la necessità di realizzare due versioni speculari per l'uso a due mani avrebbe comportato una duplicazione della produzione, sollevando dubbi anche in termini di sostenibilità. Queste osservazioni hanno portato alla successiva iterazione, volta a rivedere le dimensioni e a semplificare la struttura.

mark02

Il secondo prototipo ha introdotto un ridimensionamento generale e un layout più equilibrato. Le modifiche principali hanno riguardato l'altezza, portata a circa 10 cm; e lo spessore, mantenuto costante; con una struttura complessivamente più solida e funzionale. Tuttavia, è emersa una nuova criticità legata alla larghezza, inizialmente fissata a 10 cm, che risultava eccessiva per una presa naturale con una sola mano.

Con questa iterazione si è iniziato ad abbandonare l'idea di un sistema a due dispositivi separati, orientandosi verso un unico corpo, utilizzabile indifferentemente con la mano destra o con la sinistra. A supporto di questa scelta, sul lato inferiore posteriore è stata introdotta una fessura che ospitava un laccetto regolabile, spostabile a seconda della mano dominante, in modo da garantire stabilità durante l'uso. In parallelo si era valutata anche la possibilità di accoppiare due unità per un utilizzo combinato, ma questa ipotesi è stata progressivamente accantonata in favore di un approccio più semplice e autonomo.

In questa configurazione, sul lato frontale il modello prevedeva tre pulsanti dedicati, in ordine da sinistra verso destra: virgola, spazio e punto. Sul lato posteriore, un pulsante per la cancellazione e una piccola rotella laterale per scorrere tra i caratteri. La soluzione, pur offrendo una chiara separazione delle funzioni, ha rivelato alcuni limiti: la disposizione asimmetrica dei comandi sul retro rendeva meno immediato l'utilizzo ambidestro, penalizzando in particolare gli utenti destrorsi. Inoltre, la frammentazione delle funzioni tra più elementi (pulsanti e rotella) interrompeva la continuità dell'interazione, costringendo l'utente a un costante adattamento.





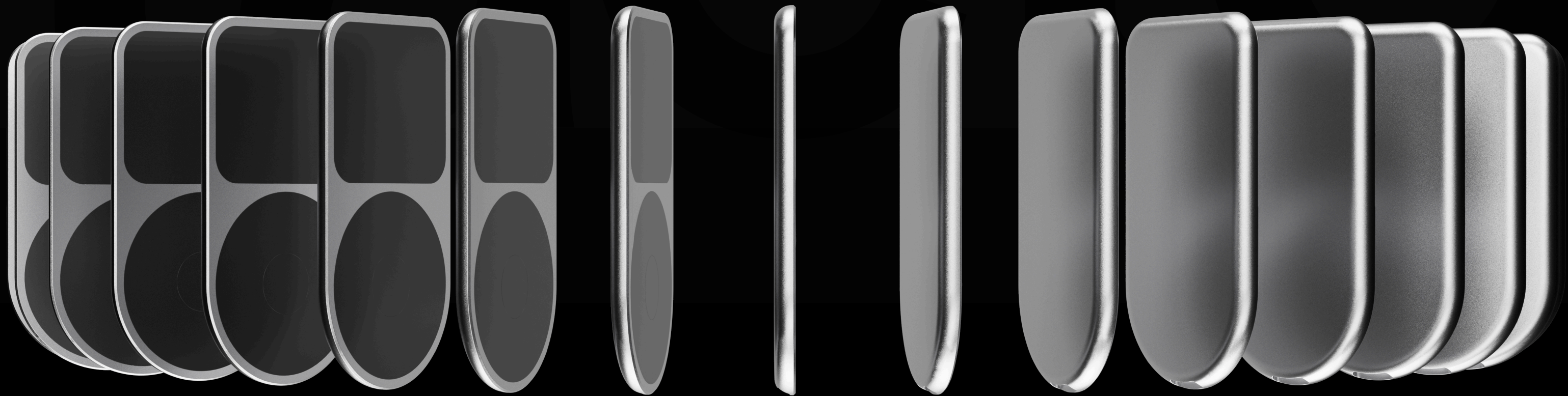
mark03

Con Mark03, il progetto ha raggiunto il suo stadio finale e una configurazione coerente rispetto agli obiettivi iniziali. Il dispositivo è stato concepito come un'unità singola, completamente simmetrica, utilizzabile indifferentemente con la mano destra o sinistra.

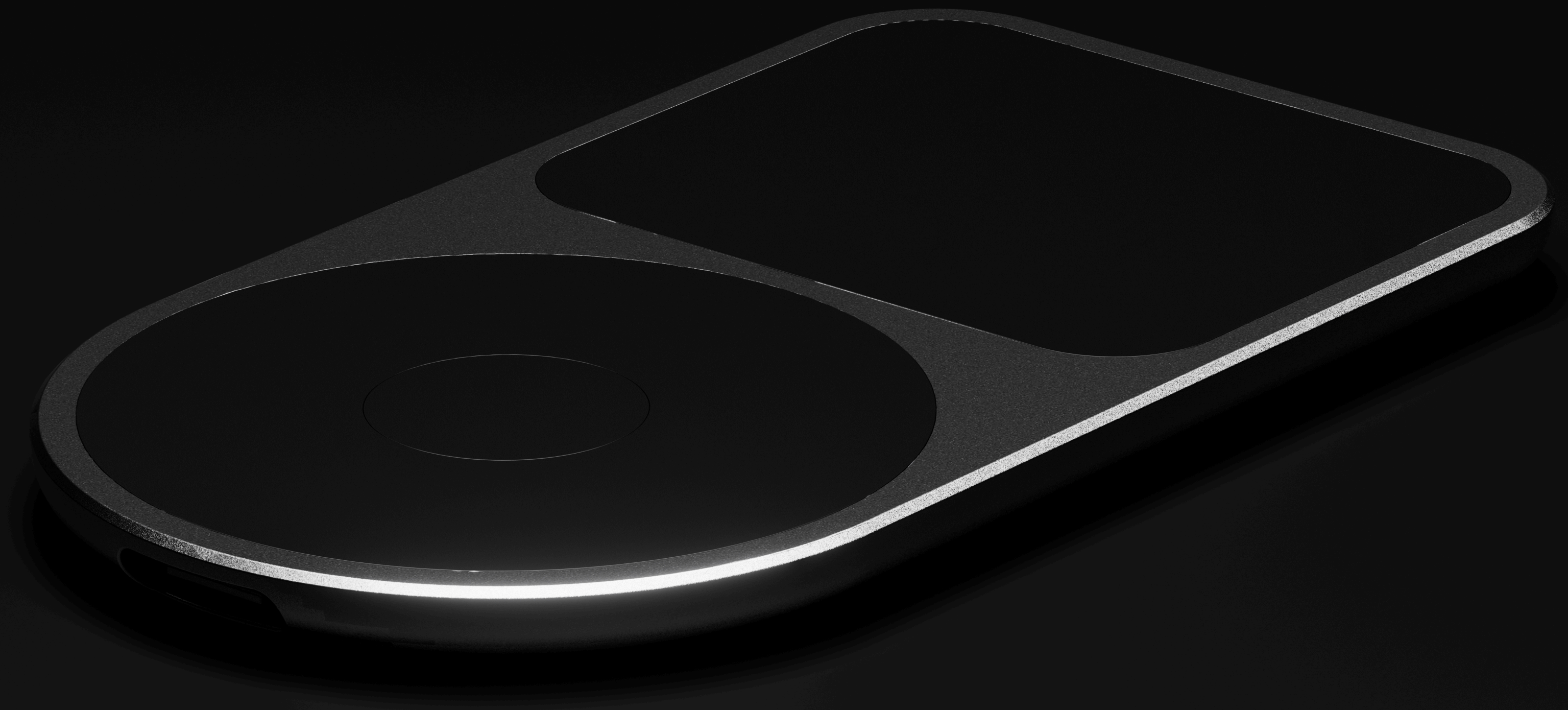
La struttura prevede un ampio touchpad centrale per l'inserimento del testo, utilizzabile sia tramite swipe sia attraverso il disegno gestuale delle lettere, e una clickwheel inferiore che occupa l'intera superficie circolare. In questa versione non sono più presenti tasti fisici: tutte le interazioni avvengono attraverso pulsanti a stato solido, capaci di restituire feedback aptico mirato. Questa scelta ha permesso di massimizzare la durabilità del prodotto, ampliare la superficie sensibile al tocco e garantire maggiore flessibilità nell'assegnazione delle funzioni (spazio, punto, virgola, cancella, cursore, scorciatoie). L'area superiore rettangolare e quella circolare inferiore diventano così due zone continue e riconoscibili al tatto, interamente dedicate all'input touch.

Il corpo stesso del dispositivo si è progressivamente ridotto: da un'altezza di 10 cm del Mark02 agli 8 cm del Mark03, una misura più equilibrata e maneggevole, che ne facilita l'uso in tutte le dimensioni di mano. Questo accorgimento ha reso l'ergonomia più naturale e universale.

L'interfaccia risultante si distingue per l'equilibrio tra input gestuale e feedback fisico, con un'attenzione specifica all'uso senza supporto visivo e in condizioni di mobilità. Le superfici piatte agevolano l'appoggio su tavoli o altre superfici lisce, mentre la natura modulare del sistema consente di estendere l'interazione a scenari più ampi, come il controllo di interfacce in realtà aumentata o ambienti digitali complessi.











5. studio delle interazioni

input testuale

Al fine di rendere tacto un dispositivo estremamente versatile e adattabile all'utente, si sono analizzate diverse modalità d'uso che possono rivelarsi utili non solo come metodo di input testuale, ma anche come nuova chiave di interazione con lo spatial computing.

La scrittura, focus principale del progetto, rappresenta da sempre una delle attività più complesse da trasporre in contesti digitali emergenti. Nei sistemi di realtà aumentata e virtuale, essa incontra ulteriori difficoltà: l'assenza di superfici fisiche di riferimento, la necessità di mantenere l'attenzione nello spazio circostante e il desiderio di garantire discrezione nell'interazione.

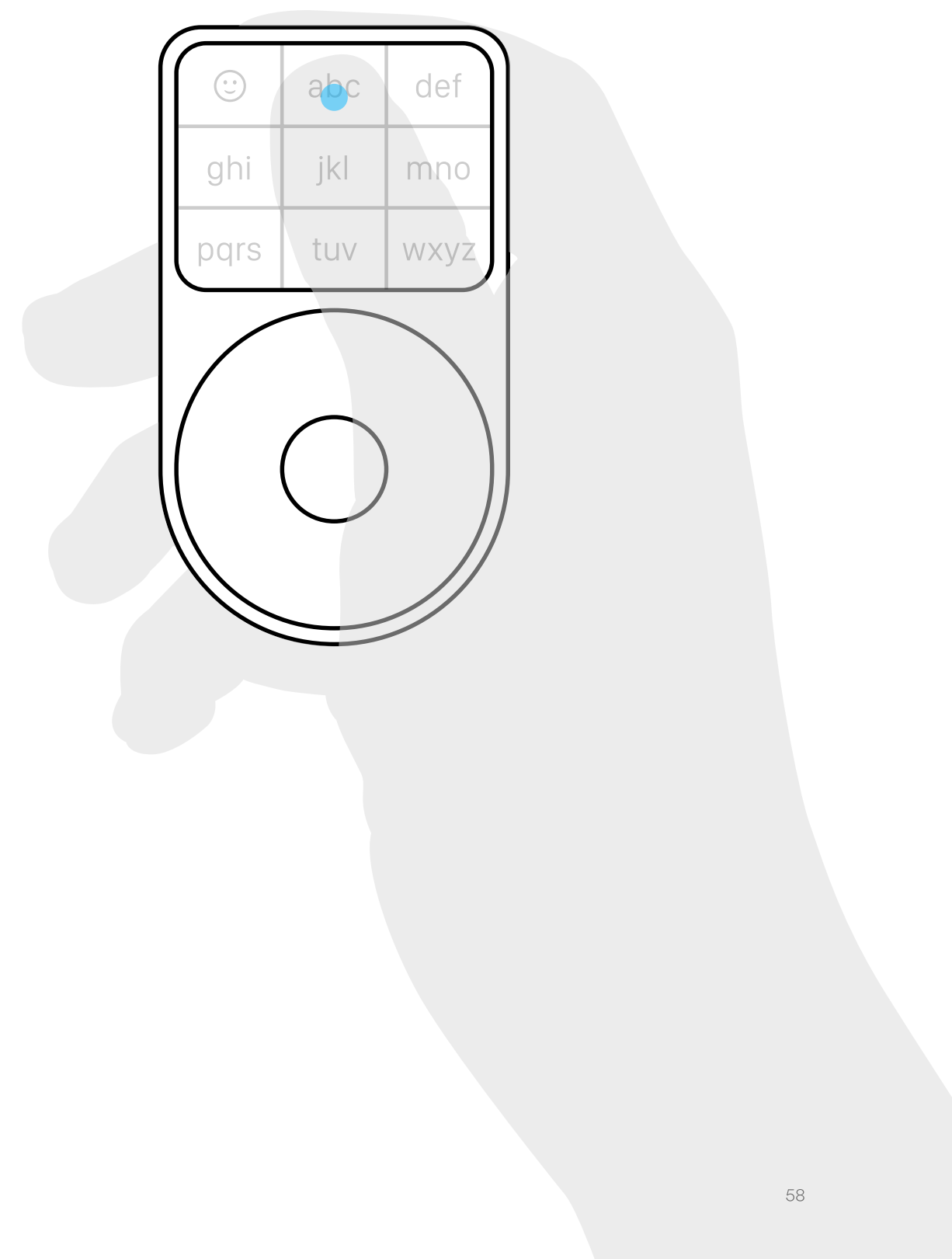
In questo contesto, Tacto è stato pensato come un dispositivo invisibile, che consente di digitare senza dover distogliere lo sguardo dal mondo reale o virtuale e senza esibire gesti vistosi come la dettatura vocale o la tastiera flottante a schermo. La progettazione dell'input testuale ha quindi esplorato quattro diverse modalità, concepite per soddisfare differenti profili d'uso: l'approccio predittivo (*Tacto*), quello gestuale (*Penna*), ispirato al T9, quello fluido e mnemonico (*Carezza*) e quello strutturato e tradizionale (*Abbraccio*).

Per fortificare la percezione tattile e permettere un uso naturale anche senza l'ausilio della vista, il dispositivo fa ampio uso di feedback aptici: ogni tocco viene riconosciuto con una vibrazione breve e chiara, che restituisce conferma immediata dell'inserimento di una lettera o di una parola, rafforzando così la fiducia dell'utente nell'interazione.

tacto

La modalità *Tacto* rappresenta una reinterpretazione contemporanea del celebre sistema T9, nato per i telefoni cellulari degli anni Novanta. L'obiettivo è quello di recuperare i punti di forza di quel modello — la scrittura rapida e discreta tramite cluster di lettere — adattandoli al contesto di un dispositivo touch compatto e privo di schermo.

Questa modalità consente di scrivere testi con un numero limitato di gesti, mantenendo una postura naturale e senza bisogno di guardare il dispositivo. L'apprendimento si basa sulla memoria spaziale approssimativa, che diventa rapidamente automatica con l'uso.



penna

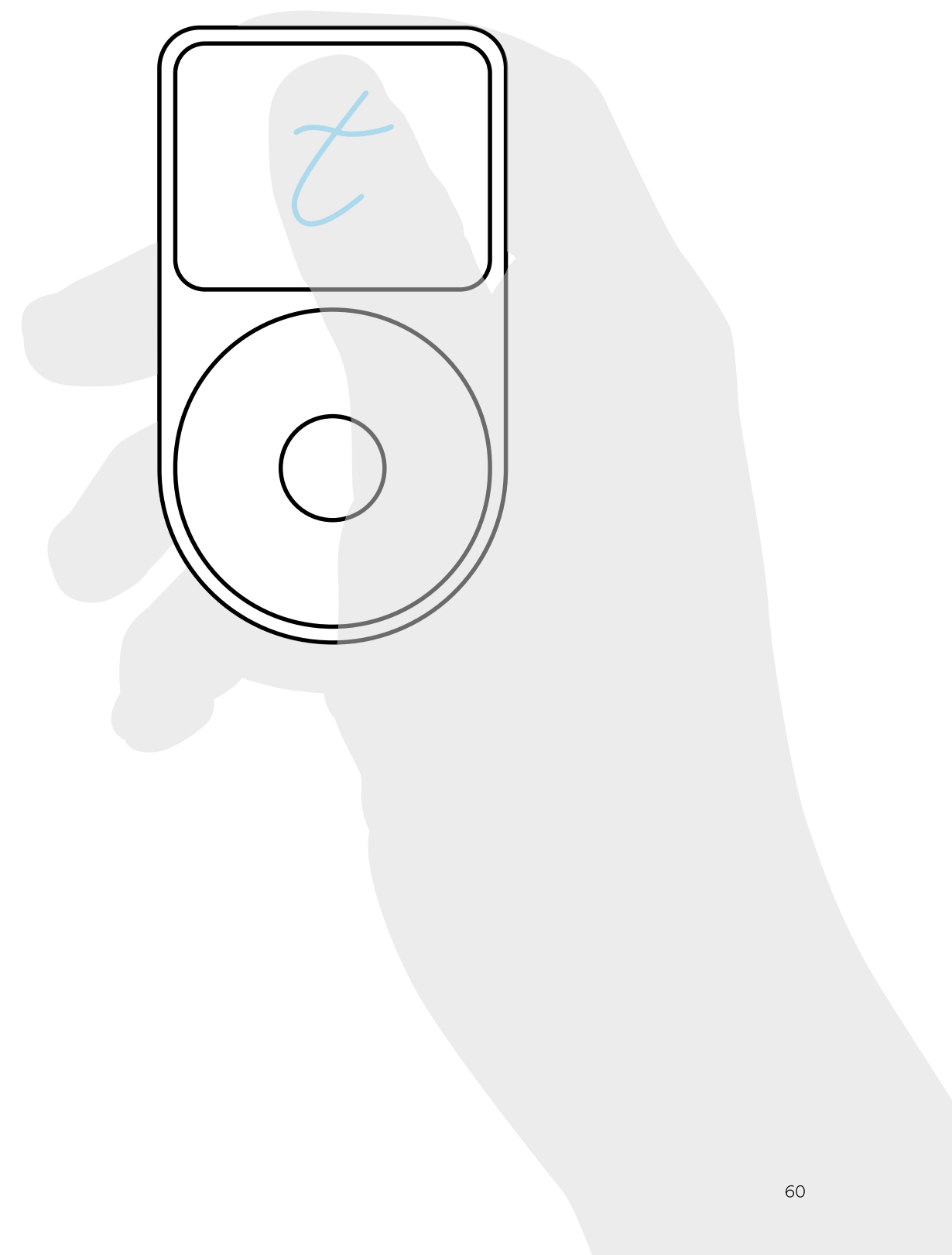
La modalità *Penna* si fonda sul gesto archetipico della scrittura manuale: tracciare un segno con il dito. L'utente disegna le singole lettere sul touchpad, ottenendo così un testo lettera per lettera.

Dal punto di vista cognitivo, questa modalità sfrutta un'abilità universale, appresa fin dall'infanzia: la capacità di riconoscere e riprodurre grafemi. In questo senso, Penna si configura come una modalità inclusiva, accessibile anche a chi non ha familiarità con layout tastieristici complessi. L'affordance è immediata: il touchpad viene percepito come superficie di scrittura, riducendo la curva di apprendimento e facilitando l'utilizzo in contesti diversi.

Per ridurre il limite intrinseco della scrittura lettera per lettera, la modalità Penna può essere arricchita da un sistema di sostituzioni testuali. L'utente ha la possibilità di registrare scorciatoie personali, associando a una sequenza di lettere intere, parole o addirittura frasi.

Ad esempio, digitando “abz” il sistema può completare automaticamente con “abbastanza”, oppure una sigla può espandersi in un'espressione più lunga e articolata.

Questa funzione, oltre a velocizzare sensibilmente la scrittura, introduce una dimensione di personalizzazione cognitiva: l'utente costruisce un proprio repertorio di abbreviazioni, trasformando l'atto della scrittura in un processo più vicino al linguaggio parlato e alle dinamiche della messaggistica istantanea. Non si tratta quindi di una semplice trasposizione della calligrafia nello spazio digitale, ma di una sua evoluzione adattiva, capace di combinare gesto, memoria muscolare e intelligenza predittiva.



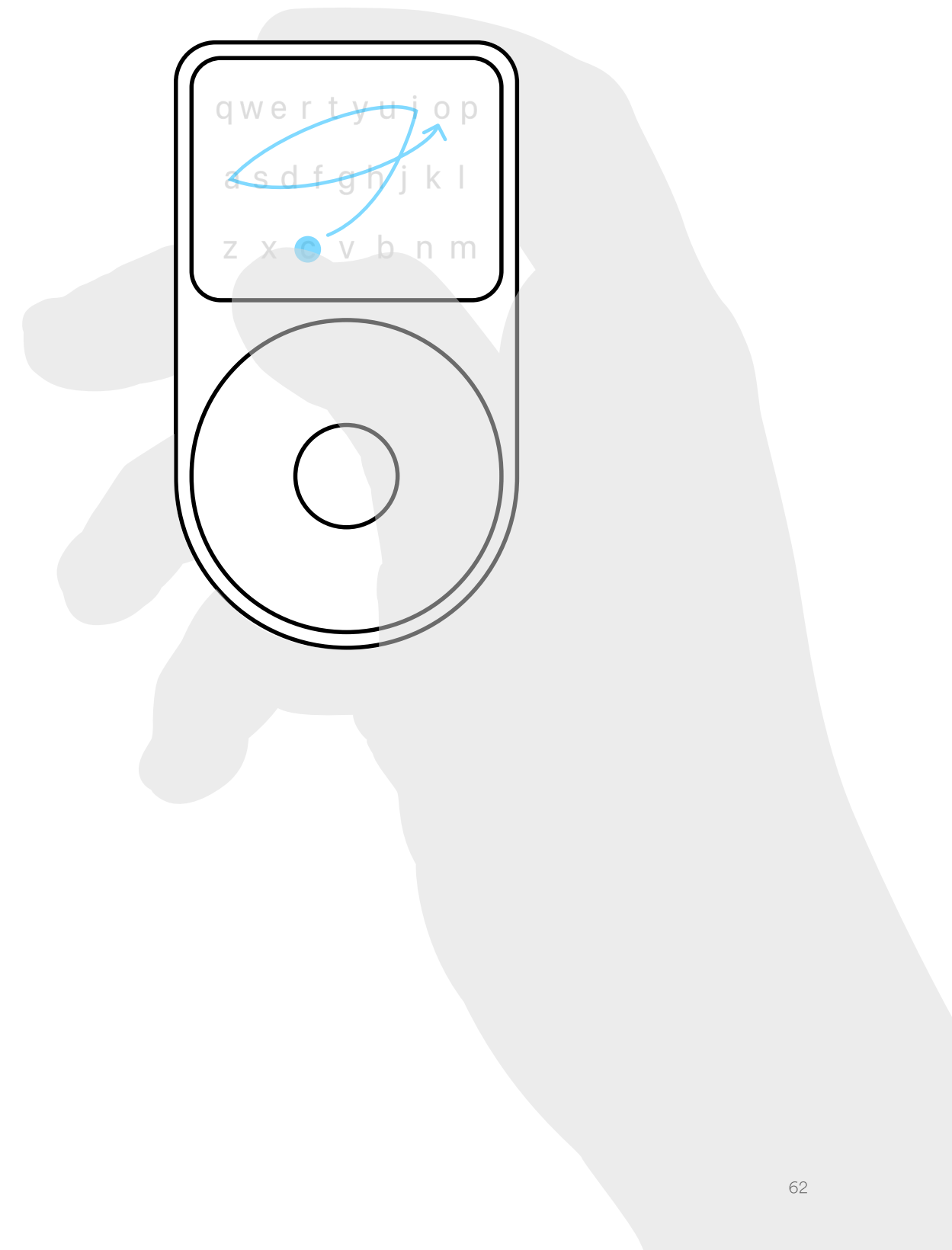
carezza

La modalità *Carezza* si configura come un’evoluzione di Penna. Invece di tracciare ogni carattere singolarmente, l’utente scorre il dito seguendo il percorso delle lettere che compongono una parola, sollevandolo solo al termine.

Questo approccio richiama direttamente lo *swipe typing* già diffuso sugli smartphone, ma qui è reinterpretato in chiave tattile e discreta. L’interazione non è più la costruzione di singoli segni, ma diventa un flusso continuo che richiama la gestualità dell’accarezzare, da cui il nome.

Dal punto di vista teorico, la modalità Carezza mette in gioco la memoria muscolare sviluppata negli anni di utilizzo delle tastiere virtuali: l’utente non scrive tanto “disegnando” le lettere, quanto ripercorrendo mentalmente la mappa del classico layout QWERTY, ora traslata in una superficie compatta e priva di riferimenti visivi.

Questa modalità risulta quindi più rapida e si presta a un utilizzo quotidiano, specialmente per chi desidera un input testuale fluido e discreto, in grado di minimizzare l’attenzione richiesta.

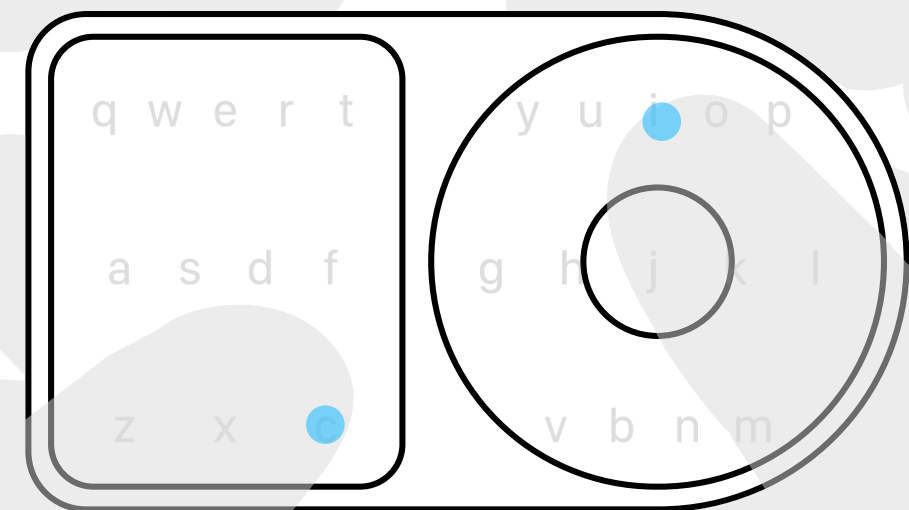


abbraccio

La terza modalità, *Abbraccio*, nasce per gli utenti che desiderano mantenere un legame più stretto con il paradigma tradizionale della tastiera. In posizione orizzontale, Tacto sfrutta il touchpad centrale e la ghiera circolare come due aree complementari, che avvolgono l'utente ricreando un layout QWERTY virtuale.

A differenza di Penna e Carezza, questa modalità non si fonda sul gesto ma sulla selezione diretta dei caratteri. Sul visore compare in sovrapposizione alla realtà un layout di supporto che facilita il riconoscimento delle lettere, riducendo il rischio di errori.

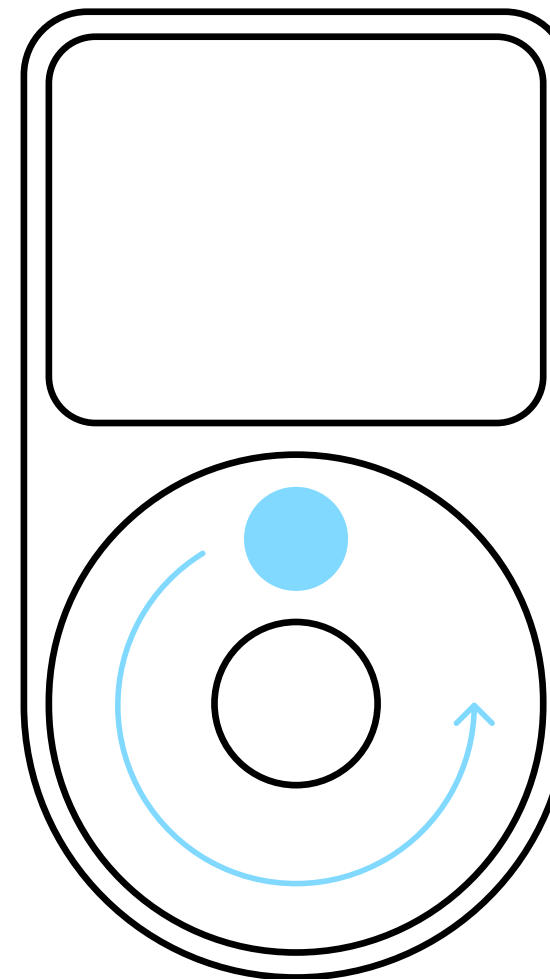
Abbraccio è particolarmente utile per testi più lunghi, in cui la velocità e la prevedibilità superano l'importanza della naturalezza gestuale. Rappresenta quindi la modalità più vicina alle esperienze digitali precedenti, mantenendo un continuum cognitivo con le tastiere virtuali già note agli utenti.



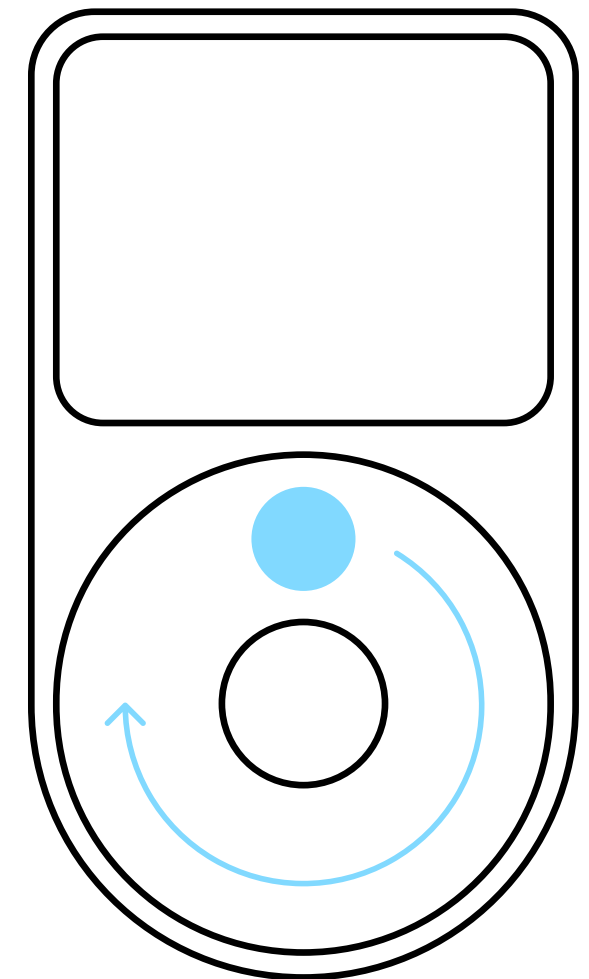
spostarsi nel testo

Per muoversi all'interno del testo, Tacto sfrutta la logica della clickwheel: facendo scorrere il dito in senso orario il cursore avanza da una lettera all'altra, mentre il movimento in senso antiorario lo riporta indietro. In questo modo la navigazione diventa fluida e continua, senza bisogno di guardare lo schermo. L'utente può così correggere rapidamente errori o posizionarsi con precisione nel punto desiderato, beneficiando di un gesto semplice, riconoscibile e radicato nella memoria muscolare.

←cia|o



c|iao→



sistema predittivo

Indipendentemente dal metodo di input selezionato, Tacto si fonda su un sistema predittivo capace di interpretare i gesti dell'utente senza richiedere un'elevata precisione. Le lettere non vengono infatti selezionate come singoli target isolati, ma come parte di gruppi più ampi, che il software associa dinamicamente alle possibili parole in base al contesto.

Questo approccio riduce il carico cognitivo e consente di scrivere anche “alla cieca”, facendo affidamento non tanto sulla precisione del gesto quanto sulla memoria spaziale approssimativa dell'utente.

Nelle modalità basate sulla tastiera QWERTY (Carezza e Abbraccio), il sistema interpreta la posizione del dito in termini di vicinanza ai tasti, correggendo eventuali deviazioni e includendo il gesto nel gruppo di lettere limitrofo.

Nella modalità Tacto, lo stesso principio viene applicato ai gruppi ispirati al T9: l'utente deve soltanto ricordare l'area generale in cui si trova la lettera, mentre il motore predittivo suggerisce la parola più probabile.

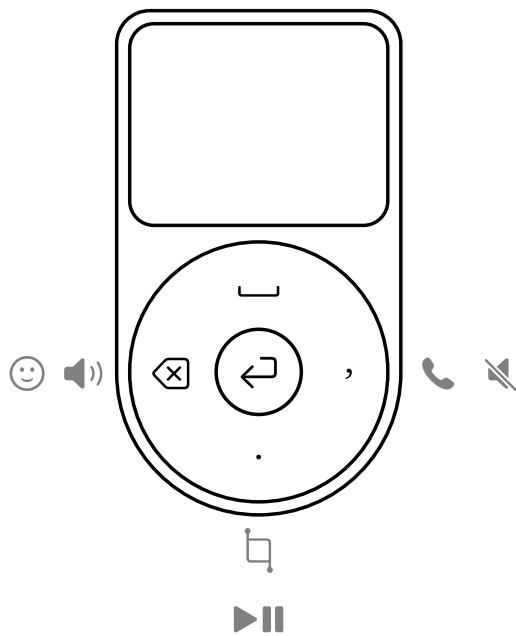
In questo modo l'input non richiede mai una memoria perfetta della tastiera, ma solo una conoscenza approssimativa della disposizione delle lettere, lasciando al sistema il compito di risolvere l'ambiguità attraverso predizione, frequenza d'uso e contesto linguistico.

macro

Un altro elemento fondamentale nella progettazione delle interazioni è la possibilità di personalizzare il dispositivo. Tacto integra una ghiera circolare con cinque pulsanti che, di default, corrispondono a funzioni basilari per l'input testuale: spazio, cancellazione, punteggiatura e invio.

La presenza di comandi immediati e riconoscibili riduce il numero di passaggi necessari e accelera la scrittura. Tuttavia, il valore aggiunto è dato dalla possibilità di rimappare questi pulsanti, trasformandoli in macro personalizzate.

L'utente può così configurare scorciatoie per comandi specifici (ad esempio, funzioni di copia/incolla, emoji o avviare un app). Questa apertura alla personalizzazione rende Tacto un dispositivo adattivo, in grado di modellarsi sulle pratiche quotidiane e sui contesti d'uso del singolo individuo, e non viceversa.



navigazione

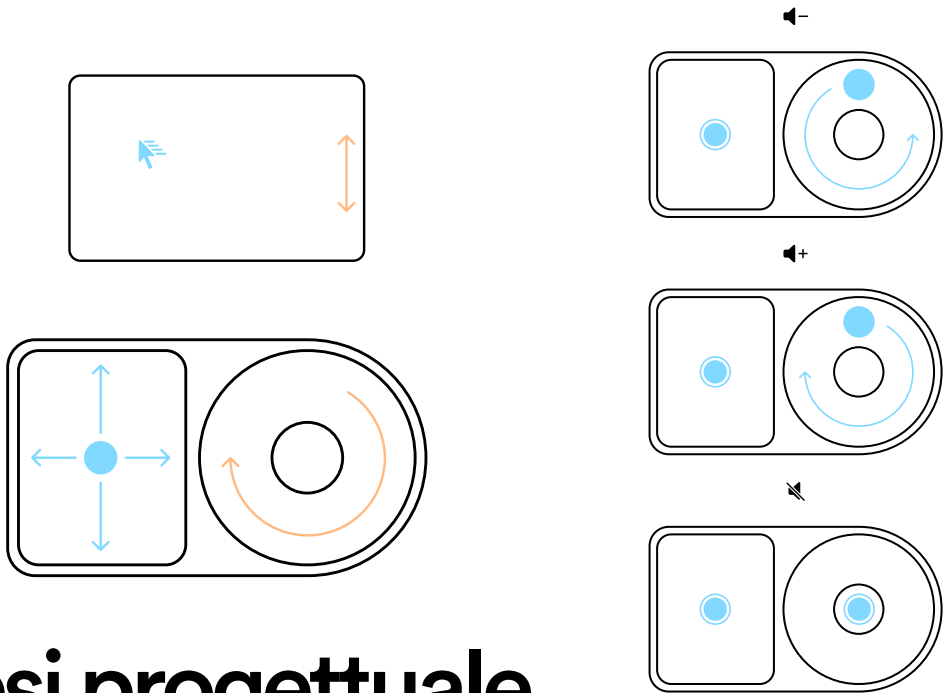
Se la scrittura costituisce la funzione principale, Tacto non si limita a essere un dispositivo testuale. La sua progettazione ha considerato anche l'aspetto della navigazione, che diventa centrale soprattutto in un contesto di spatial computing, dove la relazione con i contenuti digitali non è più sequenziale ma spaziale.

In verticale, il touchpad funziona come un normale trackpad di un laptop, permettendo movimenti precisi di un cursore. Questa modalità richiama interazioni già consolidate, facilitando il trasferimento di competenze e riducendo la curva di apprendimento.

In orizzontale, la ghiera si trasforma in strumento di scorrimento, riprendendo la logica della clickwheel dell'iPod. Qui l'affordance è immediata: il gesto circolare richiama naturalmente l'idea di “scorrere” contenuti, risultando familiare anche a chi non ha mai utilizzato Tacto.

Gesture combinate permettono di sbloccare funzioni secondarie, come la regolazione del volume. Questa stratificazione dei comandi risponde al principio di *progressive disclosure*: offrire funzionalità avanzate solo a chi ne ha bisogno, senza complicare l'interfaccia di base.

In questo modo, Tacto non si limita a essere una tastiera alternativa, ma diventa un vero e proprio strumento di interazione multimodale, capace di coniugare scrittura, navigazione e controllo in un'unica esperienza coerente e compatta.



sintesi progettuale

La progettazione di Tacto evidenzia come il valore del progetto non risieda unicamente nella sua forma fisica, ma soprattutto nella gestualità che propone. Non si tratta solo di un nuovo dispositivo di input, ma di un esercizio di immaginazione su come potrà evolvere il rapporto tra corpo, tecnologia e linguaggio.

In un futuro in cui lo smartphone smetterà di essere l'oggetto centrale della nostra vita digitale e sarà il mondo stesso a farsi interfaccia arricchita da applicativi. Tacto si interpone tra il gesto di scrivere con carta e penna e l'uso di una tastiera di fronte a uno schermo. È, a tutti gli effetti, *una penna per il mondo digitale*.

Più che uno strumento per “fare di più”, Tacto diventa un invito a prendere consapevolezza del modo in cui interagiamo con l'informazione, ricordandoci che la tecnologia può essere progettata non solo per catturare la nostra attenzione, ma anche per rispettarla. È in questa prospettiva che il progetto va letto: non come ennesima interfaccia, ma come un passo verso un futuro in cui non viviamo attraverso uno schermo, bensì attraverso il mondo stesso.

6. scenari d'uso

Immaginiamo un utente in metropolitana, circondato da persone. Scrivere un messaggio con una tastiera flottante o con la dettatura vocale risulterebbe goffo, invadente e poco rispettoso della privacy.

Con Tacto, invece, l'utente può tenere il dispositivo in tasca, digitando con la modalità Caress: un gesto quasi invisibile, che sfrutta la memoria muscolare senza richiedere uno sguardo sullo schermo. Il messaggio appare direttamente negli occhiali AR, pronto per l'invio.

Che mangiamo stasera?

Potremmo prendere una pizza

Würstel e patate ti va?



La sera, a casa, l'utente indossa un visore XR per guardare un film o navigare nei contenuti multimediali.

Tacto si trasforma in telecomando discreto: la clickwheel regola volume e avanzamento e il touchpad seleziona elementi.

Questo scenario mostra la versatilità multimodale del dispositivo: dalla scrittura alla navigazione fino al controllo media, sempre con un unico oggetto compatto.

personalizzazione

Tacto nasce come strumento pensato per la scrittura discreta in AR/VR, ma la sua natura di dispositivo Bluetooth standard ne amplia radicalmente le potenzialità.

Qualora il progetto fosse rilasciato in ottica *open source*, chiunque potrebbe sviluppare estensioni o nuovi driver, trasformandolo in un controller generico per dispositivi digitali.

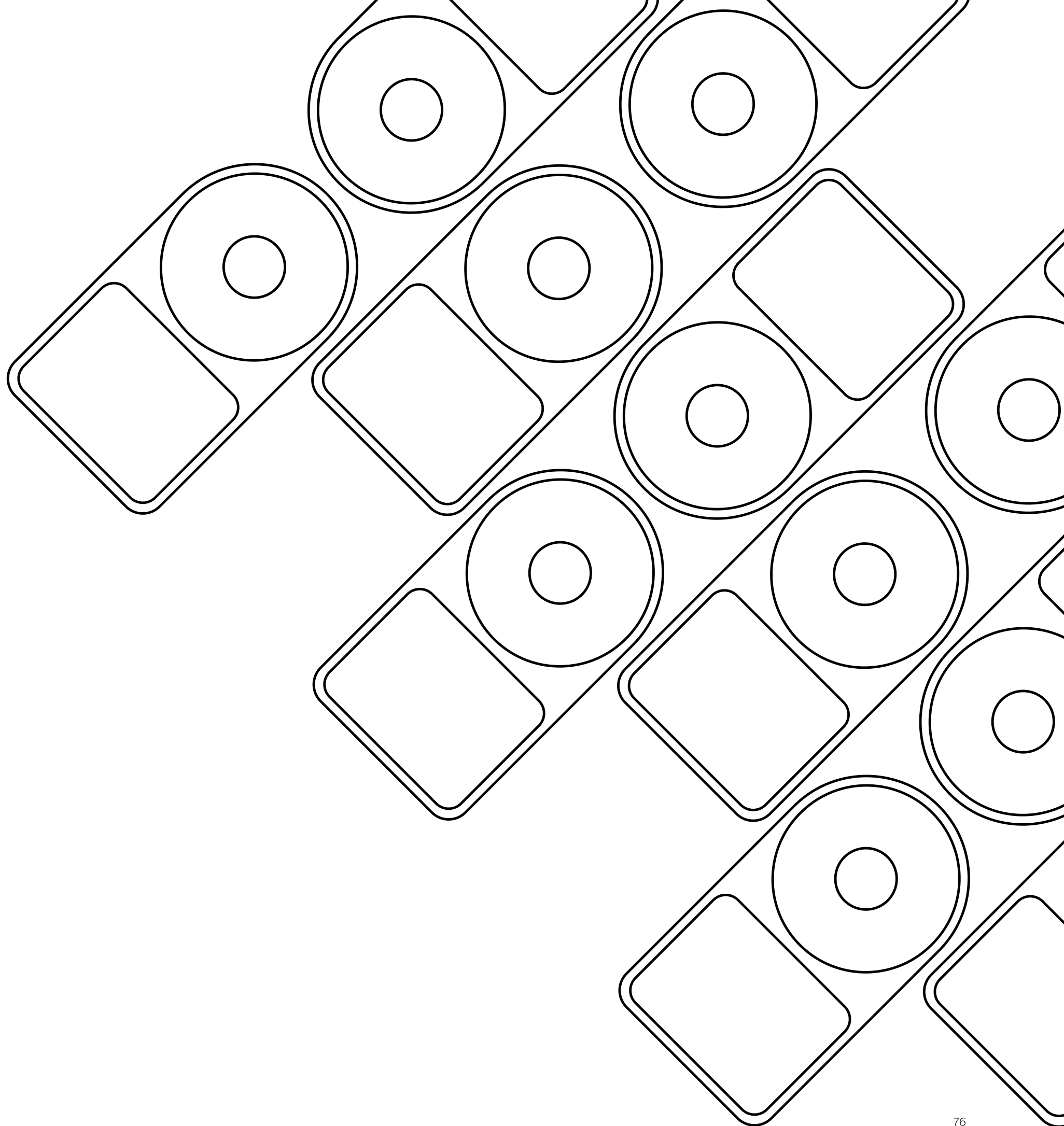
In questo senso, l'accessibilità non è soltanto un principio progettuale, ma un'opportunità intrinseca di adattamento:

Tacto può diventare tastiera macro programmabile, utile per chi deve ridurre sforzi ripetitivi o per chi cerca scorciatoie personalizzate.

Può controllare proiettori, TV o sistemi multimediali, offrendo un'interfaccia tattile semplice e universale.

Può essere reinterpretato come strumento assistivo, ad esempio configurato per inviare sequenze preimpostate di testo o comandi, facilitando l'interazione a persone con esigenze motorie o comunicative particolari.

Questa apertura a usi non previsti rende Tacto un progetto intrinsecamente inclusivo: non è vincolato a un contesto specifico, ma mette a disposizione un paradigma di interazione che può essere riappropriato e trasformato.



7. conclusioni e riflessioni



Il percorso che ha portato alla nascita di Tacto è stato prima di tutto un tentativo di interrogare il nostro rapporto con la tecnologia. Ogni generazione di dispositivi digitali ha preteso spazio e attenzione, fino a colonizzare la nostra quotidianità: lo smartphone non è solo uno strumento, ma un'estensione costante della mano e dello sguardo. Pensare a una tastiera separata, a un oggetto esterno e discreto, significa allora chiedersi se sia possibile rompere questa continuità, se sia davvero praticabile una tecnologia che non si impone, ma che accompagna.

Tacto, in questa prospettiva, non è soltanto un'esplorazione, ma un pretesto per riflettere. Che cosa accade quando spostiamo l'atto della scrittura dalla superficie di uno schermo al mondo che ci circonda? E soprattutto: cosa cambia se la tastiera non ci costringe più a guardare in basso, ma ci lascia liberi di abitare lo spazio e la relazione con gli altri? Forse la vera domanda che questo progetto apre non riguarda tanto la velocità o l'efficienza, quanto la possibilità di rinegoziare il nostro rapporto con il presente.

Oggi la mediazione tecnologica è continua, e il rischio è quello di ridurre il mondo a interfaccia, di guardarlo sempre attraverso un filtro. Restituire al corpo un ruolo centrale, dare al gesto una consistenza tattile, significa tentare una piccola resistenza: riportare l'attenzione non allo schermo, ma a ciò che sta fuori di esso. In questo senso Tacto è meno un dispositivo e più un invito: un modo per ricordarci che possiamo ancora scegliere tecnologie che non ci sottraggono, ma ci restituiscono al contesto in cui siamo immersi.

Il futuro del progetto, quindi, non si misura solo nella sua eventuale adozione o nel suo sviluppo tecnico. La sua forza sta nel porre un dubbio: se separare la tastiera dal dispositivo possa significare separare noi stessi dalla dipendenza che quel dispositivo genera; se scrivere senza guardare uno schermo possa diventare un atto di riappropriazione dello spazio e del tempo. In altre parole, se lo spostamento del telefono dalla mano al mondo possa aiutarci a mettere a fuoco ciò che davvero importa.

In ultima analisi, Tacto non vuole dare risposte definitive, ma aprire una domanda che resta sospesa: quale forma di interazione con la tecnologia ci permetterà, domani, di essere tornare ad essere più presenti, più incarnati, più... umani?

8. bibliografia

bibliografia

- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 77(12), 1321–1329. https://cs.gmu.edu/~zduric/cs499/Readings/r76JBo-Milgram_IEICE_1994.pdf
- Cooper, A., Reimann, R., Cronin, D., & Noessel, C. (2007). *About face: The essentials of interaction design*. Wiley.
- Arena, F., Collotta, M., Pau, G., & Termine, F. (2022). An Overview of Augmented Reality. *Computers*, 11(2), 28. <https://doi.org/10.3390/computers11020028>
- Fadell, T. (2022). *Build: An unorthodox guide to making things worth making*. Bantam Press.
- Buur, J., Jensen, M. V., & Djajadiningrat, T. (2004). Hands-only scenarios and video action walls. In *Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '04)* (pp. 185–192). ACM. <https://doi.org/10.1145/1013115.1013141>
- Sharp, H., Preece, J., & Rogers, Y. (2019). *Interaction design: Beyond Human-Computer Interaction (5th ed.)*. John Wiley & Sons.
- Buxton, B. (2007). *Sketching user experiences: Getting the design right and the right design*. Morgan Kaufmann.
- Ishii, H. (1999). Tangible bits: Coupling physicality and virtuality through tangible user interfaces. In M. Hirose (Ed.), *Human-computer interaction: INTERACT '99* (pp. 229–246). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-87512-0_13
- Norman, D. (2013). *The design of everyday things: Revised and expanded edition*. Basic Books.
- Sivarethinamohan, R. (2023). *The Evolution of Virtual Reality: A Historical Perspective*. OSF Preprint.
- Kahney, L. (2013). *Jony Ive: The genius behind Apple’s greatest products*. Penguin UK.
- Cipresso, P. (2018). *The Past, Present, and Future of Virtual and Augmented Reality*. Frontiers in Psychology.
- Dourish, P., & Friday, A. (Eds.). (2006). *UbiComp 2006: Ubiquitous computing (Vol. 4206)*. Springer. <https://ci.nii.ac.jp/ncid/BA7844331X>
- McLuhan, M. (1964). *Understanding media: The extensions of man*. McGraw-Hill.

fonti multimediali

- Apple Developer. (2024, marzo 26). *WWDC23: Design for spatial user interfaces | Apple* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/QeHm8rm6gjU>
- Apple Developer. (2024, marzo 26). *WWDC23: Principles of spatial design | Apple* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/Q1aJy1Hwj8>
- Atomic Frontier. (2023, novembre 18). *You’re wrong about QWERTY* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/188fipF-i5I>
- Sandsquare. (2023, ottobre 6). *Using AI to design the best one-handed keyboard layout* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/xDQXokCON-w>

iconografia

- Morrison, A. (n.d.). *Uomo che indossa un maglione nero usando lo smartphone* [Fotografia]. Unsplash. https://unsplash.com/it/foto/uomo-che-indossa-un-maglione-nero-usando-lo-smartphone-WargGLQW_Yk
- Apple Inc. (2024, gennaio 8). *Apple Vision Pro available in the US on February 2* [Immagine]. Apple Newsroom. <https://www.apple.com/newsroom/2024/01/apple-vision-pro-available-in-the-us-on-february-2/>
- Ponomarev, A. (n.d.). *Un uomo che indossa un auricolare per la realtà virtuale che tiene in mano un controller Wii* [Fotografia]. Unsplash. https://unsplash.com/it/foto/un-uomo-che-indossa-un-auricolare-per-la-realta-virtuale-che-tiene-in-mano-un-controller-wii-jDu2_EDwZWQ
- Apple Inc. (2024, gennaio 8). *Apple Vision Pro available in the US on February 2* [Immagine]. Apple Newsroom. <https://www.apple.com/newsroom/2024/01/apple-vision-pro-available-in-the-us-on-february-2/>
- Tekgear / Handykey. (1990s–2020s). *Twiddler, one-handed keyboard* [Fotografia]. MyTwiddler. <https://twiddler.tekgear.com>
- Valve Corporation. (2021). *Steam Deck* [Immagine]. Valve. <https://www.steamdeck.com>
- Apple Inc. (2021, settembre 20). *watchOS 8 is available today* [Immagine]. Apple Newsroom. <https://www.apple.com/it/newsroom/2021/09/watchos-8-is-available-today/>
- Taltys. (2022, maggio 12). *What is a stenotype machine?* [Fotografia]. Taltys Blog. <https://www.taltys.com/blog/what-is-a-stenotype-machine/>
- Wikipedia contributors. (2020, aprile 3). *Nokia 3310 Blue R7309170 (retouch)* [Immagine]. In Wikipedia. https://it.m.wikipedia.org/wiki/File:Nokia_3310_Blue_R7309170_%28retouch%29.jpg
- Shvets, A. (n.d.). *Uomo con occhiali da vista con montatura nera* [Fotografia]. Unsplash. <https://unsplash.com/it/foto/uomo-con-occhiali-da-vista-con-montatura-nera-7FSnSUC3j68>
- Ronzio, L. (n.d.). *Le mani della persona* [Fotografia]. Unsplash. <https://unsplash.com/it/foto/le-mani-della-persona-T282RkBeIJ4>
- Carstens-Peters, G. *Persona che usa il trackpad* [Fotografia]. Unsplash. <https://unsplash.com/it/foto/persona-che-usa-il-trackpad-P1qyEf1g0HU>
- Apple. (2023, June 5). *Introducing Apple Vision Pro* [Immagine]. Apple Newsroom. <https://www.apple.com/newsroom/2023/06/introducing-apple-vision-pro/>
- Pouligny, A. (2025). *Una persona giace nell’erba* [Fotografia]. Unsplash. <https://unsplash.com/it/foto/una-persona-giace-nellerba-NB7yoBVrIxl>