



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CAMERINO

SCUOLA DI ARCHITETTURA E DESIGN “E. VITTORIA”

CORSO DI LAUREA IN

LM12 - Design per l'innovazione digitale

.....

TITOLO DELLA TESI

Suono e sport

Progettazione di una struttura sportiva outdoor con elementi sonori interattivi

.....

.....

Laureando/a

Nome..... Sara Benedetti

Firma..... 

Relatore

Nome..... Luca Bradini

Firma..... 

Se presente eventuale Correlatore indicarne nominativo/i

.....

.....

ANNO ACCADEMICO

2023 / 2024

.....

Suono e sport

Progettazione di una struttura sportiva outdoor con sistemi sonori interattivi

Corso di Laurea Magistrale in Design per l'Innovazione Digitale
Relatore | Luca Bradini
Anno Accademico | 2023/2024
Elaborato di tesi di Sara Benedetti

Indice

0.0	Abstract	6
1	Macro Scenario: la sonificazione	
1.0	Introduzione: suono e sonificazione	10
2.0	Sonificazione	12
2.1	Definizione e concetti fondamentali	13
2.2	Funzioni	14
2.3	Parametri per una sonificazione efficace	15
2.4	Tipi di sonificazione	16
2.5	Modalità di interazione	17
2.6	Sviluppo della sonificazione	18
2.7	Applicazioni multidisciplinari	19
3.0	Dal numero al suono	32
3.1	Acquisizione e pre-elaborazione dei dati	33
3.2	Mappatura dei dati	34
3.3	Generazione del suono digitale	40
3.4	Conversione da digitale ad analogico	42
3.5	Percezione del suono ed interpretazione umana	44
4.0	Coinvolgimento emotivo	48
4.1	Emozioni trasmesse dalla sonificazione	50
4.2	Progetto DanzArte: riscoprire la fluidità del movimento	52
5.0	Analisi critica	55

2 Scenario specifico: Sonificazione e sport

6.0	Il suono nello sport	58
6.1	Introduzione agli effetti della musica nell'attività sportiva	59
7.0	Ritmo e performance	60
7.1	5 aree di influenza della musica sulla performance	61
7.2	Influenza del ritmo musicale su umore e velocità nella corsa	62
7.3	Controllo motorio e apprendimento	64
8.0	La sonificazione del movimento	66
8.1	Effetti della sonificazione su percezione e azione	70
8.2	Sonificazione interattiva del movimento nello squat	73
8.3	Asimmetria durante la corsa	78
8.4	Modello di aspettativa di sonificazione del movimento	83
8.5	Sonificazione dell'immagine motoria sul tiro nel basket	90
8.6	Sistema di allenamento dello swing nel golf	91
8.7	Studio su un pattinatore di velocità	92
8.8	Sonificazione nel canottaggio	94
8.9	Ruolo del feedback uditivo nell'allenamento individuale	96
8.10	Sonificazione e allenamento individuale	98
9.0	L'allenamento sportivo	99
9.1	Tipologie di allenamento	100
9.2	Gruppi muscolari coinvolti	102
9.3	Esercizi per la coordinazione ed il ritmo	110
9.4	L'importanza degli spazi outdoor nella sonificazione	113
10.0	Analisi critica - caso studio	114

3

Caso studio: Fit Sound System

11.0	Concept	118
11.1	Analisi dei requisiti	119
11.2	Funzionamento	122
11.3	Zone di interazione	124
11.4	Svolgimento dell'esercizio e guida audio	126
11.5	Sonificazione del ritmo	127
12.0	Modalità d'uso	128
13.0	Sonificazione del ritmo	146
13.1	Caso d'uso	147
13.2	Scelte di mappatura	149
13.3	Approccio alla sonificazione	150
13.4	Esperienza di ascolto	151
13.5	Dall'accesso al suono	152
14.0	Configurazioni	154
15.0	Componenti strutturali	158
15.2	Modularità	159
15.3	Palo strutturale	160
15.4	Sbarre e attrezzature	164
15.5	Gommino di rivestimento	167
16.0	Componenti tecnologiche	168
17.0	Sistema di illuminazione	169
17.1	Funzionamento	170
17.2	Analisi dei componenti del sistema	172

18.0	Componenti interattive	174
18.1	Pannello	176
18.2	Funzioni e struttura	177
18.3	Sensore capacitativo	180
18.4	Pavimentazione interattiva	182
18.5	Linee generali per l'installazione	183
18.6	Struttura e componenti della pavimentazione	184
18.7	Componenti	185
18.8	Unità hardware: sistema di rilevamento	186
18.9	Pavimentazione personalizzata	188
19.0	Totem degli esercizi	190
20.0	Applicazione	192
20.1	Scaricamento e registrazione nell'app	193
20.2	Avvio degli allenamenti	194
20.3	Monitoraggio e feedback	195
21.0	Predisposizione area	196
21.1	Parametri per la definizione dell'area standard nelle stazioni	197
21.2	Proposta di layout	198
21.3	Installazione del pavimento	200
21.4	Installazione dei pali strutturali	202
22.0	Tavole tecniche	204
23.0	Tabella delle parti e dei materiali	214
	Allegati e riferimenti	216

Abstract

Il ritmo e il suono rappresentano elementi fondamentali per migliorare la percezione corporea e le performance sportive.

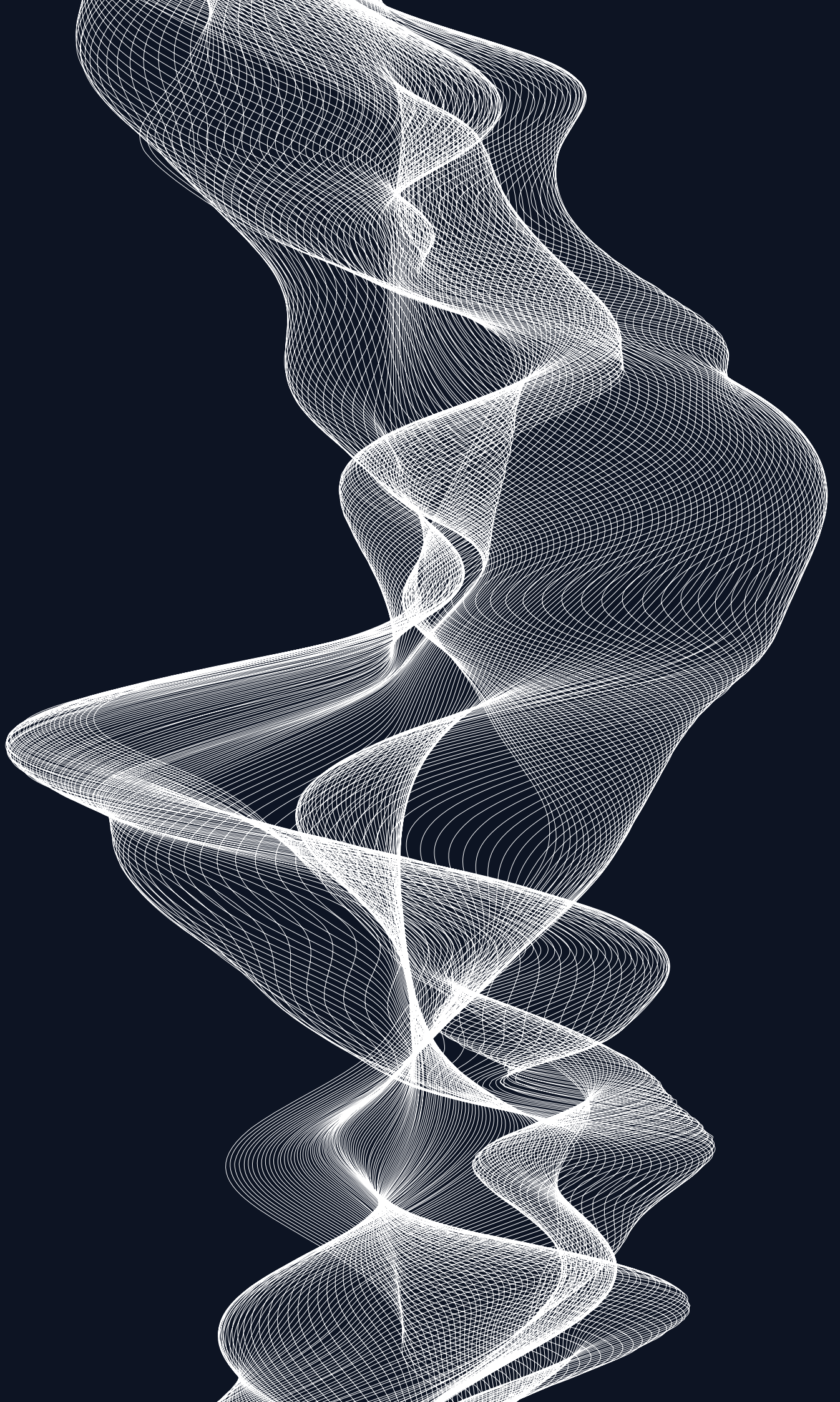
La sonificazione, intesa come la trasformazione di dati in segnali acustici, offre opportunità innovative per l'integrazione di questi elementi nei contesti di allenamento individuale.

Questo studio presenta la progettazione di un parco per il fitness all'aperto interattivo concepito per esercizi a corpo libero, in cui i movimenti degli utenti vengono tradotti in segnali sonori attraverso elementi che consentono la sonificazione del ritmo individuale di allenamento.

Non si tratta di semplici attrezzi ginnici, ma di strumenti che integrano tecnologia e design per offrire un'esperienza coinvolgente e immersiva.

Il parco si configura come un ambiente multimodale, in grado di stimolare il corpo e le emozioni attraverso una combinazione di movimento, suono e interazione.

Keywords: ritmo, suono, sonificazione, sport, sistemi interattivi, parco fitness all'aperto, ambiente multimodale, esercizi a corpo libero, emozioni.



Macroscenario

La sonificazione

Introduzione: suono e sonificazione

Sonificazione

Definizione e concetti fondamentali

Funzioni

Parametri per una sonificazione efficace

Tipi di sonificazione

Modalità di interazione

Sviluppo della sonificazione

Applicazioni multidisciplinari

Dal numero al suono

Acquisizione e pre-elaborazione dei dati

Mappatura dei dati

Generazione del suono digitale

Conversione da digitale ad analogico

Percezione del suono ed interpretazione umana

Coinvolgimento emotivo

Emozioni trasmesse dalla sonificazione

Progetto DanzArte: riscoprire la fluidità del movimento

Analisi critica

Introduzione

Suono e sonificazione

Il suono è una componente essenziale della nostra vita quotidiana, in grado di influenzare emozioni, stati d'animo e la comprensione del mondo che ci circonda. Non si tratta solo di un fenomeno fisico, ma di un mezzo efficace per comunicare e trasmettere informazioni in modo diretto e coinvolgente.

La sonificazione sfrutta questa capacità unica del suono, trasformando dati e schemi complessi in rappresentazioni sonore comprensibili e accessibili.

Attraverso la sonificazione, fenomeni astratti come andamenti statistici o variazioni ambientali possono essere tradotti in esperienze uditive. Questo approccio non è solo pratico, ma offre un modo alternativo di interagire con le informazioni, permettendo una comprensione più intuitiva. Il suono, infatti, non comunica solo dati, ma coinvolge anche il nostro lato emozionale, rendendo i contenuti più memorabili e immediati.

Studiare e applicare la sonificazione significa esplorare un campo che unisce scienza, percezione e tecnologia. È un processo che non si limita alla rappresentazione di dati, ma che migliora l'esperienza di apprendimento, aumentando la nostra capacità di cogliere pattern complessi e stimolando nuove forme di interazione con la realtà.

Suono

La causa delle sensazioni acustiche, consistente in vibrazioni di un mezzo (per lo più l'aria, ma anche mezzi elastici qualunque), che possono essere eccitate in esso o ad esso trasmesse dalle vibrazioni di un corpo (sorgente sonora), e che a loro volta eccitano l'orecchio (per azione diretta sul timpano attraverso l'aria presente nel condotto uditivo, raramente attraverso la conduzione ossea); anche, la sensazione acustica stessa.

Tali vibrazioni sono onde sonore longitudinali che si propagano nell'aria o in altro mezzo con determinate caratteristiche: l'intensità deve essere compresa tra la soglia di udibilità (al di sotto della quale non c'è sensazione di suono) e la soglia di dolore (al di sopra la sensazione diventa dolorosa), mentre la frequenza deve essere compresa tra 16 Hz e 20.000 Hz (al di sotto del primo valore e al di sopra del secondo si hanno gli infrasuoni e gli ultrasuoni);



Sonificazione

Il suono è un mezzo versatile, capace di veicolare emozioni, informazioni e significati in modi che spesso superano le capacità del linguaggio visivo o scritto; la sonificazione si pone come una pratica innovativa, capace di trasformare dati e fenomeni complessi in suoni percepibili. Questa tecnica non solo amplia le possibilità di comunicare informazioni, ma apre nuove strade per l'interazione e l'interpretazione dei dati, sfruttando l' intuito e la sensibilità dell'udito umano.

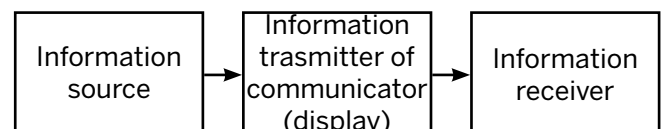
La sonificazione, quindi è una metodologia precisa e sistematica che permette di esplorare e comprendere la complessità in modi altrimenti inaccessibili. Offre un punto di vista unico che sposta il focus dal guardare al sentire, portando l'attenzione su un'esperienza sensoriale spesso trascurata ma profondamente efficace.

La sonificazione: una definizione

La sonificazione può essere definita come il processo di mappare dati o informazioni su un dominio sonoro, in modo tale che le caratteristiche del suono rappresentino direttamente le variazioni nei dati. Questo approccio non si limita a generare suoni generici, ma crea una relazione diretta tra dati e parametri acustici, come altezza, durata, volume e timbro.

L'obiettivo è quello di rendere i dati comprensibili attraverso l'udito, sia per facilitare l'interpretazione sia per offrire un'esperienza che integri e completi le rappresentazioni visive. Ad esempio, l'andamento di una serie temporale può essere rappresentato come una sequenza di suoni che varia in altezza o intensità, permettendo di percepire immediatamente pattern o anomalie.

La sonificazione, dunque, si distingue da altre forme di espressione sonora come la musica o gli effetti sonori, proprio per la sua natura funzionale: mira a rappresentare informazioni verificabili e interpretabili, utilizzando il suono come un vero e proprio strumento di analisi e comunicazione.



Tab.1: Descrizione generale di un sistema di comunicazione

Definizione e concetti fondamentali

Vantaggi della sonificazione

La sonificazione presenta una serie di vantaggi che la rendono particolarmente utile in contesti complessi o dinamici. Uno dei principali punti di forza è la sua capacità di sfruttare le potenzialità dell'udito umano. L'udito, infatti, è molto sensibile ai cambiamenti nel tempo, permettendo di individuare variazioni e pattern che potrebbero sfuggire all'occhio umano in una rappresentazione visiva. Un suono che cresce in frequenza, ad esempio, può segnalare un aumento graduale in un parametro, mentre una sequenza ritmica può rappresentare eventi ripetitivi o intervalli regolari. Questo tipo di rappresentazione diventa particolarmente utile quando si ha a che fare con grandi quantità di dati o fenomeni difficili da rappresentare graficamente. Inoltre, la sonificazione aggiunge una dimensione sensoriale che può migliorare la comprensione e la memorizzazione delle informazioni. Non si tratta solo di "ascoltare" i dati, ma di creare un legame intuitivo tra ciò che si sente e ciò che si comprende.

L'importanza dell'interazione

Un aspetto chiave della sonificazione è la possibilità di interazione. Quando gli utenti possono manipolare i dati o i parametri sonori in tempo reale, l'esperienza diventa più dinamica e personalizzata. L'interazione consente, ad esempio, di esplorare diverse prospettive sui dati o di concentrarsi su specifiche caratteristiche, migliorando la capacità di analisi e interpretazione. L'interazione non è solo una questione di flessibilità, ma rappresenta un elemento centrale per massimizzare l'efficacia della sonificazione:

Coinvolgimento attivo: manipolare i parametri sonori permette di immergersi completamente nell'esperienza, rendendo l'analisi più intuitiva e stimolante.

Feedback immediato: i cambiamenti nei dati possono essere percepiti istantaneamente attraverso il suono, facilitando decisioni rapide o nuove scoperte.

Personalizzazione: ogni utente può adattare l'esperienza alle proprie esigenze, modificando parametri come il volume o la velocità per enfatizzare determinati aspetti dei dati.

Con questo tipo di approccio interattivo, gli utenti non sono semplici spettatori, ma partecipano attivamente all'interpretazione sonora.

Un ponte campo interdisciplinare

La sonificazione è un campo complesso e interdisciplinare per la visualizzazione delle informazioni, tanto che, come evidenziato da Kramer (1994), per una comprensione esaustiva occorrerebbe una vita di studio in molteplici ambiti. Le basi teoriche della sonificazione provengono da aree come l'ingegneria audio, l'informatica, la linguistica, la matematica, la musica, la psicologia e le telecomunicazioni, e non esiste ancora un insieme unico di principi guida. Al contrario, il quadro teorico della sonificazione si sviluppa attraverso contributi ed intuizioni provenienti dall'intersezione di questi ambiti. Il valore della sonificazione risiede nella sua capacità di combinare rigore scientifico e sensibilità umana. Questa tecnica rende i dati accessibili su un piano più intuitivo, sfruttando la naturale capacità dell'udito di individuare pattern, ritmi e variazioni. È una forma di comunicazione che parla ai nostri sensi, offrendo una rappresentazione tecnica, ma anche una connessione percettiva con i fenomeni che descrive.

Funzioni

La sonificazione svolge diverse funzioni che si possono suddividere in tre categorie principali:

Funzioni di avviso

I suoni possono essere usati per segnalare che qualcosa è accaduto o sta per accadere. Questi suoni, come un allarme o un segnale, sono progettati per attirare immediatamente l'attenzione dell'ascoltatore senza fornire troppi dettagli. Ad esempio, un segnale acustico che suona quando un timer del forno a microonde scade, o il suono di un campanello alla porta, sono esempi di avvisi che richiedono una reazione immediata senza comunicare informazioni specifiche sull'evento.

Funzioni di indicazione dello stato e dell'avanzamento:

In altri casi, il suono può essere utilizzato per indicare lo stato o il progresso di un processo o di un sistema. Qui, il suono non serve solo ad attirare l'attenzione, ma offre anche informazioni più dettagliate e in tempo reale. Ad esempio, un sistema di monitoraggio in un ospedale che segnala i cambiamenti nella pressione sanguigna di un paziente o un sistema di controllo di una macchina che comunica lo stato di avanzamento di una fase di produzione. Questi suoni sono progettati per consentire agli utenti di monitorare lo stato del processo senza dover guardare uno schermo, sfruttando la capacità dell'udito di rilevare cambiamenti nel suono.

Funzioni di esplorazione dei dati:

Questa è la funzione tipica della sonificazione vera e propria, che riguarda la codifica di dati complessi attraverso il suono per consentire all'utente di esplorare e comprendere meglio un set di informazioni. A differenza degli avvisi o degli indicatori di stato, che si concentrano su momenti specifici, le sonificazioni per l'esplorazione dei dati forniscono una visione olistica dei dati, permettendo all'utente di percepire schemi e tendenze. Esempi di questa funzione sono i grafici uditivi, che trasformano i dati in suoni che rappresentano visivamente il loro andamento nel tempo. Un altro esempio è la sonificazione interattiva, che consente all'utente di esplorare attivamente i dati e di ricevere feedback sonoro in tempo reale in base alle proprie interazioni.

2.3

Parametri per una sonificazione efficace

La ricerca nella sonificazione deve essere incentrata sull'utente e sui compiti specifici. Essendo naturalmente dipendente dal compito da svolgere, necessita di una rappresentazione adeguata per un'efficace interpretazione dei dati e per l'interazione con l'interfaccia utente.

Le linee guida per la progettazione di un'interfaccia utente di sonificazione si fondano su cinque principi: controllo, mappatura, integrabilità, sincronia e sperimentazione. Questi elementi aiutano a costruire esperienze sonore efficaci per la trasmissione di informazioni.

Il controllo riguarda la capacità dell'utente di gestire i suoni generati dall'interfaccia. È importante che gli utenti possano regolare aspetti come volume, frequenza o intensità, per personalizzare l'esperienza sonora in base alle proprie esigenze. Consentire la personalizzazione riduce il rischio di affaticamento acustico e migliora la soddisfazione d'uso.

Il mapping rappresenta il collegamento tra un parametro e il suono generato. Ogni suono dovrebbe rappresentare chiaramente le informazioni da comunicare, ad esempio suoni più gravi per situazioni critiche o intermittenti per eventi ricorrenti. Una mappatura efficace aiuta gli utenti a comprendere subito il significato dei suoni, rendendo l'interfaccia più intuitiva e riducendo il tempo di apprendimento.

L'integrabilità è la capacità della sonificazione di unirsi armoniosamente con altri canali di comunicazione, come quelli visivi o tattili, in modo

da offrire un'esperienza multimodale. I suoni devono supportare l'utente senza sovrapporsi o interferire con altre modalità.

La sincronia assicura che i suoni riflettano in tempo reale i cambiamenti nell'interfaccia o nell'ambiente. Un feedback sonoro immediato è fondamentale per la precisione, poiché i ritardi possono compromettere la capacità dell'utente di interpretare correttamente le informazioni acustiche, riducendo l'affidabilità dell'interfaccia.

Infine, la sperimentazione sottolinea l'importanza di testare e affinare la sonificazione con utenti reali, per raccogliere feedback e miglioramenti continui. Testare l'interfaccia in vari scenari e con diversi utenti permette di ottimizzare il sistema, adattando i suoni alle esigenze degli utenti e garantendo che vengano percepiti in modo chiaro e intuitivo. Nella tabella vengono elencati i diversi aspetti da considerare nella progettazione di un'interfaccia di sonificazione.

Considerations	Descriptions
Control	Parameter controls for sound parameters that are efficient, effective & accessible
Mapping	Provides flexibility & the ability to design new sonification mappings allowing the user to have intuitive control over data dimensions in relation to sound parameters
Integrability	To allow the different formats of data from different disciplines to be imported into the system and then sonified
Synchrony	To allow easy integration with other display systems like VR systems and other visual or assistive technologies
Experimentation	To integrate a perceptual framework for testing overall mapping functions and sound synthesis

Source:- Kramer *et al.* [21]

Tab.2: Linee guida per la progettazione di un'interfaccia utente di sonificazione

Tipi di sonificazione

La sonificazione può essere classificata principalmente in due categorie: sonificazione continua e sonificazione discreta, ognuna con caratteristiche e applicazioni specifiche.

Sonificazione continua:

In questo tipo di sonificazione, i dati vengono rappresentati attraverso suoni che si evolvono senza interruzioni nel tempo.

Un esempio tipico è il monitoraggio del battito cardiaco, dove le variazioni nei segnali del cuore vengono tradotte in toni o ritmi che si modificano continuamente. Questo approccio consente di fornire feedback in tempo reale, rendendo possibile la rilevazione immediata di anomalie o variazioni significative nei dati monitorati. Le applicazioni della sonificazione continua si estendono anche a campi come la meteorologia, dove i cambiamenti climatici possono essere rappresentati da variazioni nel suono, rendendo evidente il deterioramento dell'ambiente attraverso esperienze sonore immersive.

Sonificazione discreta:

La sonificazione discreta si riferisce a un approccio in cui i suoni vengono utilizzati per rappresentare eventi specifici o dati in modo distinto e separato.

Ogni suono prodotto corrisponde a un'azione o un cambiamento in un dato, rendendo chiara e immediata l'informazione da trasmettere. Questa forma di sonificazione è particolarmente utile in contesti in cui è necessario attirare rapidamente l'attenzione dell'ascoltatore o segnalare un evento di rilevanza particolare. Questo tipo di sonificazione è ideale per comunicare eventi critici o cambiamenti di stato in

tempo reale, rendendo più accessibili le informazioni e migliorando la risposta dell'utente in vari contesti, dalla sicurezza all'assistenza sanitaria fino all'intrattenimento.

In contesti interattivi, come ad esempio videogiochi o software di simulazione, la sonificazione discreta può essere utilizzata per segnalazioni azioni compiute dall'utente. Questa associazione tra suono e azione non solo fornisce feedback immediato, ma rende anche l'esperienza più immersiva e coinvolgente.

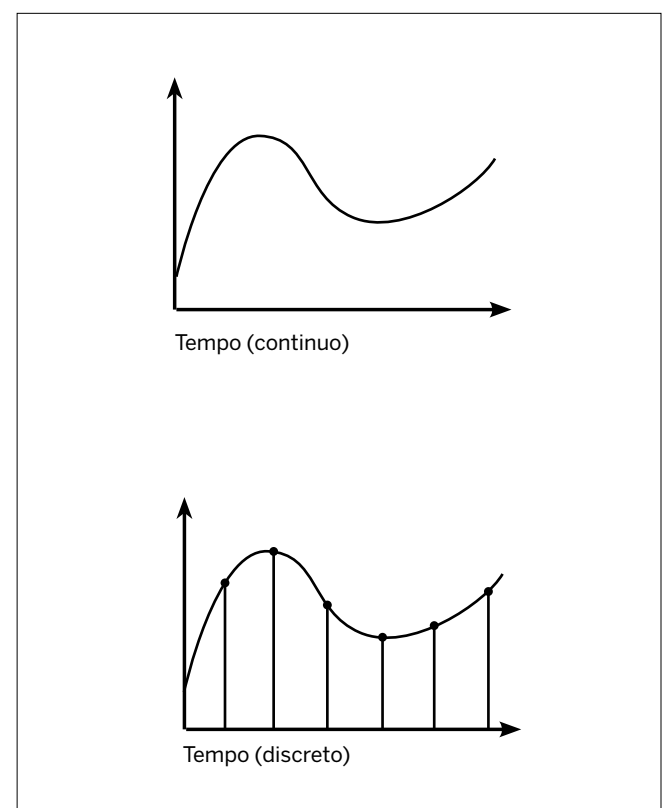


Fig.3: Tempo continuo e discreto a confronto

Modalità di interazione

Modalità di interazione nei display uditivi

L'interazione con i display uditivi può essere modulata anche in funzione del livello di controllo e partecipazione dell'utente. Si può delineare un continuum che va dalla sonificazione passiva alla sonificazione attiva, secondo tre principali modalità di interazione a seconda delle esigenze di monitoraggio o analisi dei dati.

Sonificazione basata sugli eventi (passiva):

Questa modalità si basa su una sonificazione passiva, in cui l'utente riceve le informazioni acustiche senza intervenire attivamente. È un ascolto continuo che fornisce informazioni in modo unidirezionale, simile all'esperienza di un concerto: l'utente ascolta e osserva, senza partecipare attivamente. Questo approccio è utile per monitorare eventi specifici o variazioni nei dati che si manifestano come suoni di notifica o allarme. Tale sonificazione è tipicamente basata sugli eventi, dove i cambiamenti nei dati attivano suoni specifici, segnalando l'emergere di condizioni significative.

Sonificazione Basata su Query (semi-attiva):

In modalità "conversazione" o sonificazione interattiva basata su query, l'utente diventa parte attiva, esplorando i dati attraverso una navigazione sonora. Questa modalità implica una partecipazione semi-attiva, in cui l'utente può selezionare diversi tipi di dati, regolare velocità di riproduzione o modificare parametri per mettere in evidenza dettagli specifici. Il suono risponde ai comandi dell'utente, permetten-

dogli di "conversare" con i dati e personalizzare l'ascolto in tempo reale. È una modalità efficace per chi necessita di una comprensione più approfondita dei dati attraverso un'esplorazione guidata, ma senza la complessità di un modello interamente dinamico.

Sonificazione basata sul modello (interazione attiva e complessa):

La sonificazione basata sul modello rappresenta il livello più avanzato di interazione: qui l'utente si immerge in una simulazione dinamica, dove i dati sono collegati a un modello virtuale interattivo che emette suoni in risposta alle azioni dell'utente. L'utente non esplora semplicemente i dati, ma ne influenza la rappresentazione acustica in modo attivo e diretto, come se manipolasse uno strumento musicale. Questa modalità è particolarmente potente per un'analisi esplorativa, poiché il modello simula un sistema complesso e permette una comprensione intuitiva delle dinamiche attraverso un'interazione continua. Il risultato è uno strumento ideale per chi ha bisogno di cogliere strutture complesse o relazioni nascoste nei dati, sfruttando un adattamento in tempo reale delle azioni dell'utente.

Questa organizzazione delinea chiaramente come l'interazione nei display uditivi possa variare dalla semplice ricezione passiva di informazioni fino a una navigazione e manipolazione attiva e avanzata, rispondendo alle diverse necessità di esplorazione e analisi.

Sviluppo della sonificazione

La sonificazione è una pratica che ha attraversato una significativa evoluzione fino a diventare uno strumento versatile e ampiamente applicabile nella ricerca moderna.

La storia di questa disciplina risale agli **anni Cinquanta del Novecento**, quando Pollack e Ficks posero le basi dei primi studi formali su come i dati potevano essere rappresentati in forma uditiva. Sebbene il loro lavoro fosse prevalentemente teorico e non mirasse a realizzazioni pratiche immediate, introdusse l'idea rivoluzionaria di mappare dati quantitativi attraverso parametri sonori come frequenza, intensità e qualità del tono. Questo approccio permetteva di esplorare le possibilità della percezione sonora nella lettura dei dati, aprendo la strada verso una metodologia innovativa per l'epoca.

Negli **anni Sessanta e Settanta**, con il rapido sviluppo della tecnologia informatica e delle capacità di archiviazione dati, la sonificazione si rivelò progressivamente più interessante. La possibilità di gestire grandi volumi di dati grazie ai computer rendeva plausibile l'idea di tradurre questi dati in suoni per facilitare l'interpretazione e l'analisi. Un tentativo particolarmente significativo di sonificazione in questi anni fu condotto dai ricercatori Morrison e Lunney. Essi hanno sviluppato un metodo per rappresentare suoni a partire da dati analitici ottenuti tramite spettri infrarossi. La loro tecnica consisteva nel convertire le posizioni dei picchi di frequenza di un segnale infrarosso in una serie di note organizzate in sequenza sonore, dove l'altezza del tono era proporzionale alla posizione dei picchi e la durata delle note era correlata all'intensità del segnale. Questa rappresentazione sonora

permetteva di percepire variazioni nei dati infrarossi sotto forma di un arpeggio discendente in altezza, accompagnato da variazioni di intensità. L'innovazione di Morrison e Lunney stava nel loro approccio sistematico: i dati venivano rappresentati inizialmente in ordine di altezza decrescente delle note, creando una discesa sonora, per poi passare a un ordine di intensità decrescente, mantenendo una durata uniforme per le note. Infine, producevano una sorta di "accordo" dissonante, sovrapponendo tutte le note dei picchi di uguale intensità. Questo metodo rappresentava un passo avanti nell'applicazione della sonificazione, poiché permetteva di distinguere chiaramente tra diversi composti organici grazie a schemi sonori distinti, offrendo dunque una base per un'analisi uditiva dei dati complessi.

Con il progresso tecnologico degli **anni Ottanta e Novanta**, le capacità computazionali e le tecnologie digitali si svilupparono ulteriormente, aprendo nuove possibilità per la sonificazione. La crescente mole di dati raccolti in vari ambiti della ricerca scientifica, dalla fisica alla biologia, e l'introduzione di software sempre più sofisticati facilitarono l'applicazione della sonificazione a problemi complessi.

Gli sviluppatori e i ricercatori hanno sfruttato la capacità della mente umana di riconoscere modelli uditivi per aiutare nell'analisi di insiemi di dati massicci. L'idea di rappresentare dati sotto forma di musica o suono si è quindi affermata come una tecnica utile per identificare anomalie, confrontare insiemi di dati e trovare correlazioni, senza necessitare delle stesse risorse computazionali richieste dai tradizionali algoritmi visivi o numerici.

Applicazioni multidisciplinari della sonificazione

Nei tempi più recenti, la sonificazione ha trovato applicazioni importanti in ambiti come lo studio del genoma umano, un'area che ha tratto notevole beneficio da questa tecnica.

Il genoma è infatti composto da una quantità enorme di dati relativi alla disposizione delle basi azotate nei geni, e la sonificazione ha permesso di “tradurre” sequenze di DNA in note musicali, offrendo un approccio innovativo per studiare e rappresentare questi dati. Reginald Bain, professore alla University of South Caro-

lina ha approfondito questo tema, sviluppando un progetto di sonificazione dei dati genetici utilizzando Max e MIDI. L'approccio prevede una mappatura sonora dei parametri genetici, in cui i dati del DNA vengono convertiti in informazioni acustiche sfruttando Max, un ambiente di programmazione per la creazione di media interattivi. MIDI (Musical Instrument Digital Interface) viene impiegato per controllare e trasformare i parametri sonori, permettendo di “ascoltare” i dati genetici attraverso dinamiche sonore.

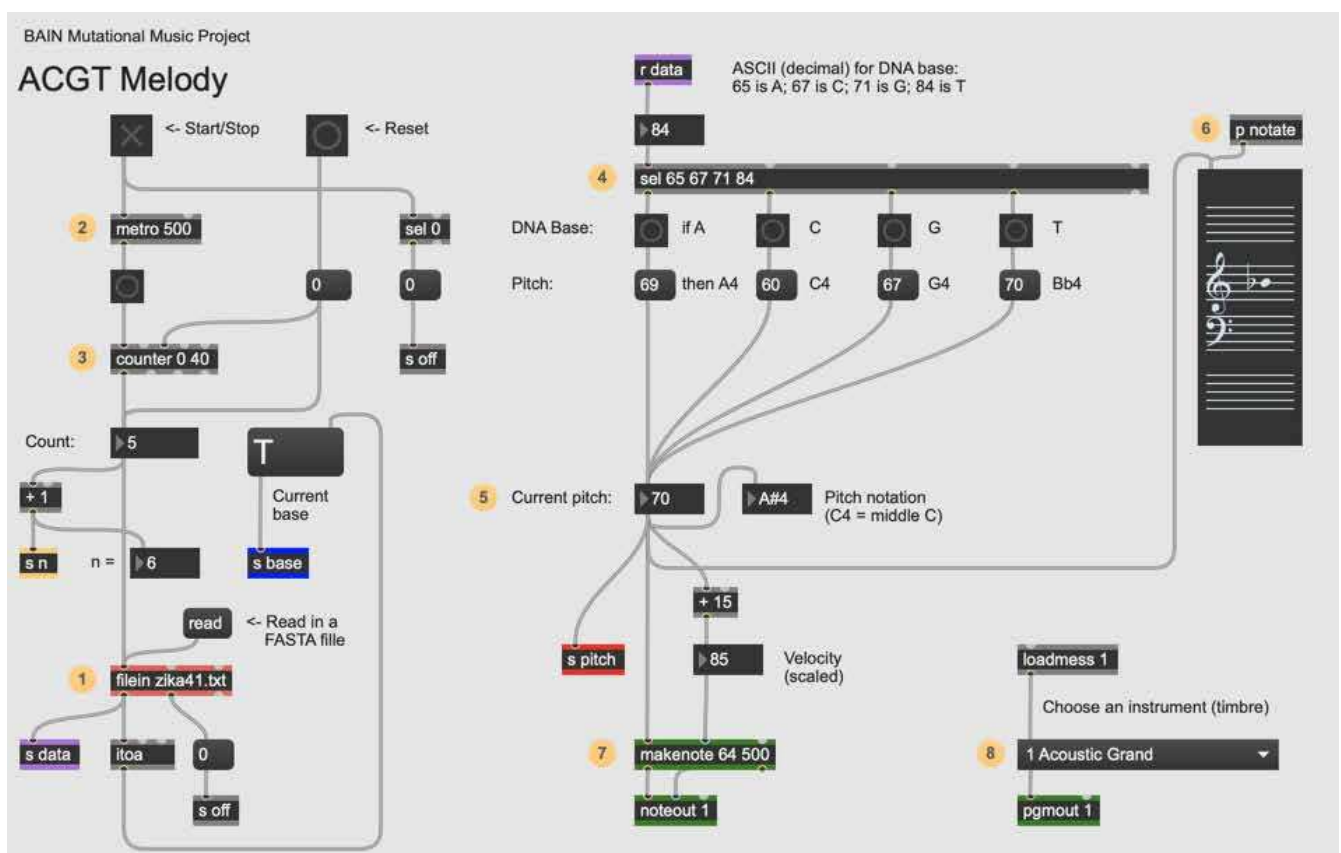


Fig.4: Applicazione ACGT Melody Max

Biomedica

Anche nella ricerca biomedica la sonificazione ha assunto un ruolo rilevante. Un esempio è la sonificazione della proteina spike del SARS-CoV-2, il virus responsabile della pandemia di COVID-19. Nel 2020, i ricercatori del MIT hanno utilizzato questa tecnica per rappresentare la struttura della proteina spike sotto forma di sequenze musicali. L'ascolto di queste sequenze ha aiutato gli scienziati ad individuare potenziali siti di legame per farmaci e anticorpi in modo intuitivo, cercando pattern sonori associati a specifiche caratteristiche della proteina. L'approccio ha mostrato come la sonificazione possa facilitare l'analisi proteica e suggerire strategie di intervento rapido, offrendo un metodo che risulta innovativo e più immediato rispetto alle tradizionali tecniche di rappresentazione tridimensionale o test biochimici.

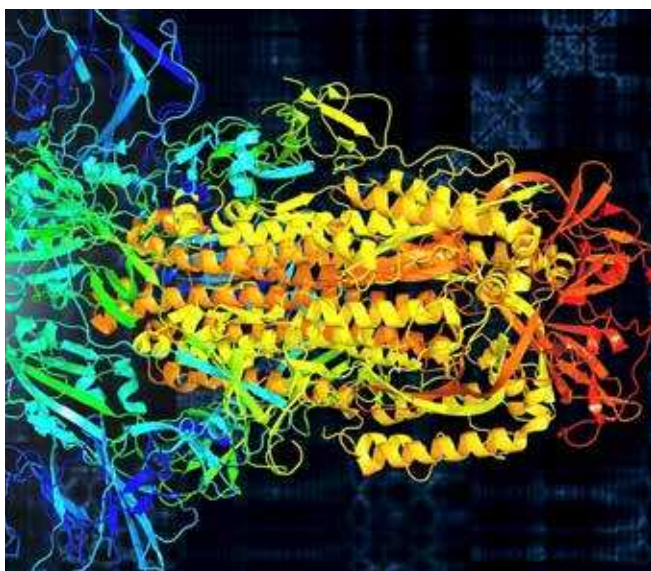


Fig.5: immagine di Markus Buehler, professore al MIT. Traduzione della proteina spike del SARS-Cov-2 in suono per visualizzarne le proprietà vibrazionali. I colori primari rappresentano le tre catene proteiche della spike.

Scienze

Nella ricerca scientifica, la sonificazione è utilizzata per tradurre dati complessi in esperienze uditive, facilitando la comprensione di fenomeni naturali. Ad esempio, i dati provenienti da ricerche astronomiche possono essere sonificati per rappresentare le frequenze delle onde radio emesse dai corpi celesti, permettendo agli scienziati di "ascoltare" l'universo e scoprire nuove informazioni attraverso l'analisi dei suoni prodotti. Nel maggio 2022, la NASA ha segnalato la sonificazione (conversione dei dati astronomici associati alle onde di pressione in suono) del buco nero al centro dell'ammasso di galassie di Perseo. La NASA ha utilizzato la sonificazione anche per tradurre i segnali delle sonde in suoni udibili, consentendo agli scienziati di interpretare meglio le condizioni dell'ambiente spaziale e delle superfici planetarie.



Fig.6: Data Sonification - Black Hole at the Center of the Perseus Galaxy Cluster, NASA

Geologia

Nell'ambito geologico, il progetto "The Volcano Listening Project" di Leif Karlstrom utilizza la sonificazione per convertire i segnali sismici dei vulcani in suoni udibili, consentendo ai geologi di "ascoltare" l'attività vulcanica. Questa tecnica permette di rilevare in modo intuitivo cambiamenti come movimenti di magma o variazioni di pressione interna, spesso difficili da individuare con i soli dati visivi. Trasformando i dati sismici in un'esperienza sonora, il progetto facilita non solo l'analisi scientifica ma anche la comunicazione verso il pubblico, sensibilizzando sui rischi vulcanici in modo immediato e coinvolgente. Questa modalità di ascolto dei vulcani apre nuove prospettive nel monitoraggio e nella previsione delle eruzioni, rendendo la sonificazione uno strumento prezioso per interpretare fenomeni geologici complessi.

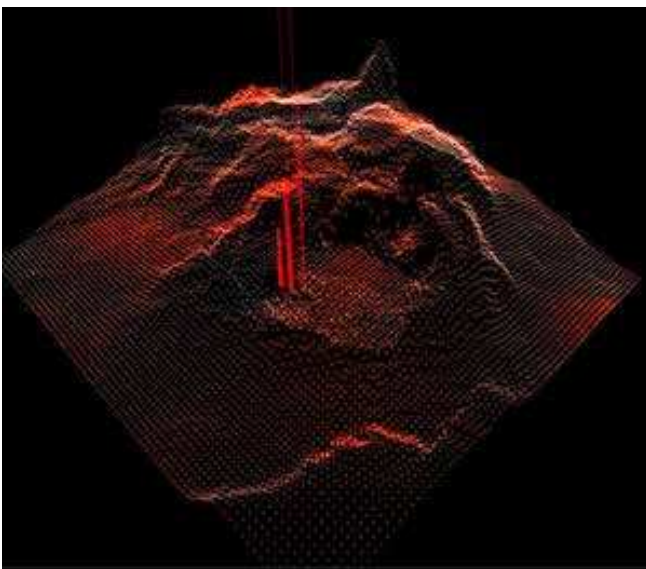


Fig.7: The Volcano Listening Project di Leif Karlstrom, 2024

Riabilitazione

Per quanto riguarda l'ambito riabilitativo, la sonificazione interattiva dei movimenti umani rappresenta un approccio efficace. In questo progetto "Sonificazione interattiva dei movimenti umani per la riabilitazione dell'ictus", i sensori posizionati sul corpo del paziente monitorano in tempo reale i movimenti, che vengono poi tradotti in suoni. Questo feedback consente al paziente di "ascoltare" i propri movimenti, aiutandolo a correggere eventuali errori di velocità, traiettoria o precisione.

I risultati sono molto promettenti: la sonificazione stimola l'attenzione del paziente e facilita l'apprendimento motorio. Studi clinici hanno dimostrato che questo tipo di feedback sonoro attiva le aree cerebrali coinvolte nel controllo motorio, migliorando la plasticità neuronale e accelerando il recupero.



Fig.8: Real-time low latency movement sonification in stroke rehabilitation based on a mobile platform. Brückner, H. P.; Theimer, W.; Blume, H.

Analisi e feedback in fisioterapia

La sonificazione rappresenta un'innovativa modalità per supportare la fisioterapia e il monitoraggio muscolare, integrando il suono come strumento di analisi e feedback per il terapeuta. Questo approccio, esplorato nel testo *The Sonification Handbook*, offre nuove prospettive sull'uso dei segnali EMG in ambito clinico. I sensori EMG (elettromiografia) catturano l'attività elettrica prodotta dai muscoli durante i movimenti, dati che vengono tradizionalmente analizzati visivamente tramite grafici o statistiche di base. Tuttavia, questa modalità può risultare limitante: richiede al terapeuta di distogliere lo sguardo dal paziente per interpretare i risultati, riducendo così il contatto diretto e l'interazione. Inoltre, si ipotizza che l'analisi visiva non riesca a sfruttare appieno tutte le informazioni contenute nei dati EMG. L'approccio descritto si propone di risolvere questi problemi, utilizzando il suono per rappresentare il segnale grezzo dei muscoli. La sonificazione permette al terapeuta di monitorare le condizioni muscolari in modo continuo, senza perdere di vista il paziente. In

questo contesto, i ricercatori hanno sviluppato una serie di algoritmi di sonificazione progettati per convertire i dati EMG in suoni comprensibili e utili. Il processo ha richiesto una sperimentazione iniziale con dati di esempio raccolti presso un centro di riabilitazione. Utilizzando un toolkit per la sonificazione, sono stati esplorati diversi metodi per tradurre i segnali EMG in suono. Gli obiettivi principali erano: creare suoni realistici e precisi che rappresentassero fedelmente il segnale, renderli piacevoli da ascoltare e permettere l'analisi simultanea di segnali provenienti da più sensori. Tra le varie tecniche testate, è stata scelta la modulazione di ampiezza, che associa ogni sensore EMG all'intensità di un oscillatore sonoro. Questo metodo genera un suono armonico, gradevole e facilmente interpretabile, anche in presenza di segnali multipli. In altre parole, il sistema non solo rende i dati EMG più accessibili attraverso il suono, ma permette anche di analizzarli con maggiore efficienza e precisione. Un esperimento ha verificato l'efficacia di questo sistema coinvolgendo 21 soggetti, i quali hanno ascoltato diverse sonificazioni e valutato parametri come intensità, velocità e struttura temporale del suono. Nonostante non avessero conoscenze mediche specifiche, i partecipanti sono riusciti a dedurre informazioni rilevanti sull'età e sulle condizioni muscolari dei pazienti semplicemente attraverso l'ascolto. I risultati hanno dimostrato che la sonificazione non solo è valida quanto l'analisi visiva tradizionale, ma in alcuni casi può essere addirittura superiore, specialmente nel rilevare variazioni temporali nei dati. Questo sistema si rivela quindi un valido strumento per migliorare il feedback in tempo reale durante la fisioterapia e per garantire un monitoraggio più intuitivo ed efficace.



Fig.9: Sensori EMG sulla gamba di un cliente con attrezzatura clinica.

Ambienti uditivi in audiodischi interattivi

I moderni sistemi di audiodischi offrono esperienze immersive basate esclusivamente sul suono, sfruttando tecnologie avanzate di acustica spaziale e interfacce interattive.

Questi giochi, progettati sia per intrattenere che per esplorare nuove frontiere nell'accessibilità, beneficiano di framework come OpenScenograph e OpenAL/EAX, che consentono una gestione precisa degli ambienti 3D e delle simulazioni acustiche. Tra le innovazioni proposte, la sonificazione spaziale si è rivelata una componente fondamentale per creare ambienti virtuali accessibili e coinvolgenti.

Nel contesto di queste ricerche, e come descritto nel "The Sonification Handbook", è stato condotto un esperimento basato su un audiodischi chiamato "Matrix Shot". Questo esperimento esplora l'interazione sonora con elementi virtuali, chiedendo ai partecipanti di individuare

e schivare proiettili virtuali esclusivamente attraverso l'uso dell'udito. La difficoltà principale per i giocatori risiedeva nella localizzazione dei proiettili, dovuta alla complessità di percepire suoni spazializzati senza l'aiuto della vista.

Per superare queste difficoltà, è stato introdotto il tracciamento della testa in 3D tramite il dispositivo Polhemus Fastrak®, che consente ai giocatori di orientare la testa verso la fonte sonora, migliorando la percezione della posizione e della distanza dei proiettili. Grazie a questa tecnologia, i giocatori hanno potuto interagire con maggiore precisione e naturalezza, dimostrando l'efficacia della sonificazione combinata con l'interazione fisica. Questo esperimento evidenzia il potenziale delle tecnologie di sonificazione e tracciamento nella progettazione di esperienze audio-immersive, aprendo nuove opportunità per l'inclusione e l'innovazione nei giochi e nelle applicazioni interattive.

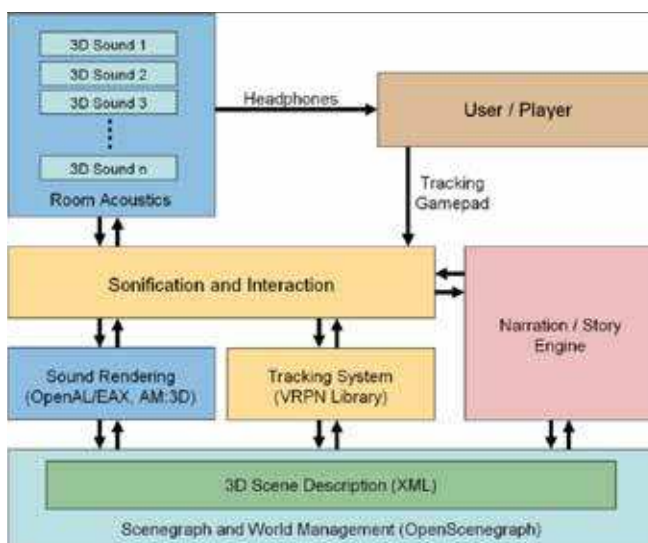


Fig. 10: Panoramica di un sistema per ambienti uditivi interattivi.



Fig. 11: Principio di interazione dell'audiogioco con l'utente

Giochi sportivi basati sulla sonificazione

“The Sonification Handbook”, esplora l’uso della sonificazione nell’ambito dell’attività fisica adattata (APA) per le persone con disabilità visiva. L’obiettivo principale di questa ricerca è stato scoprire se fosse possibile sviluppare giochi sportivi motivanti per persone con disabilità visiva utilizzando solo feedback sonori, e se tali giochi possano essere utilizzati per allenare e testare abilità, come l’orientamento spaziale, tramite la percezione uditiva. Tradizionalmente negli sport, le informazioni visive sono fondamentali per controllare il movimento, percepire la velocità della palla, la posizione degli avversari o la direzione di gioco. Ma le persone con disabilità visiva, che non hanno accesso a queste informazioni, devono fare affidamento su altri sensi come l’udito, per orientarsi nel campo di gioco. Nel campo dell’attività fisica adattata, è necessario esplorare nuove modalità per consentire alle persone non vedenti di partecipare a giochi sportivi in modo motivante e coinvolgente, ma anche di misurare e allenare le loro prestazioni. Di conseguenza, la ricerca si concentra sull’uso della sonificazione come strumento per superare questa barriera, fornendo feedback immediato tramite suoni anziché immagini. Uno degli esempi più noti di sport adattato per persone non vedenti è il goalball, praticato alle Paralimpiadi dal 1976. In questo gioco, i giocatori devono fare rotolare una palla sonora nell’area di porta degli avversari, mentre la squadra avversaria cerca di difendere. L’uso del suono è essenziale per la partecipazione, poiché i giocatori non vedenti devono fare affidamento sull’udito per localizzare la palla. Un altro esempio di sport modificato è il calcio a 5, dove i giocatori non vedenti sono guidati da un portiere vedente e da un assistente che li indirizza durante le azioni di gioco.

Questi sport utilizzano il suono come informazione principale per il movimento, ma non sono sufficienti per allenare tutte le capacità motorie necessarie. Per esempio, non esistono ancora test specifici per misurare le capacità sensorie nei giocatori di goalball, come la loro abilità nell’orientarsi nello spazio in risposta ai suoni della palla. In questo contesto, la sonificazione interattiva rappresenta una risorsa fondamentale, creando nuovi test di performance e migliorando l’esperienza di gioco per le persone con disabilità visiva.

Un passo avanti in questo campo è rappresentato dal sistema “AcouMotion”, sviluppato per collegare i movimenti fisici a feedback uditivi tramite la sonificazione.

L’idea di base è che la sonificazione possa fungere da nuovo canale sensoriale, che aiuta a percepire la posizione e il movimento degli oggetti in uno spazio virtuale.

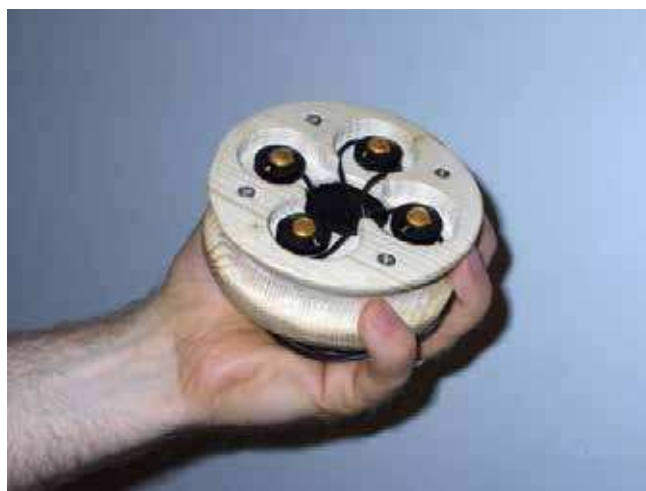


Fig. 12: Dispositivo emisferico in legno con marcatori IR fissi, utilizzato nelle applicazioni sportive di AcouMotion.

Il sistema traduce i movimenti fisici, come quelli di una racchetta da ping-pong o di altri oggetti, in un mondo virtuale che risponde con feedback sonori immediati. AcouMotion utilizza un dispositivo sensore che misura i movimenti fisici in tempo reale e la mappa in un ambiente virtuale. I movimenti del corpo vengono rappresentati attraverso una simulazione computerizzata che tiene conto delle leggi fisiche (come la gravità o l'attrito) e aggiorna continuamente la situazione. Quando, ad esempio, un giocatore colpisce una palla virtuale con una racchetta, la sonificazione fornisce informazioni immediate sulla direzione e sulla velocità della palla, permettendo al giocatore di regolare il proprio movimento senza l'uso della vista.

Uno degli esempi più interessanti di AcouMotion è l'adattamento del gioco del badminton in un formato chiamato **Blindminton**, un gioco progettato specificamente per atleti non vedenti. Questo gioco, seppur ispirato al badminton tradizionale, è modificato in modo che i giocatori possano parteciparvi anche senza l'uso della vista.

Nel gioco "Blindminton per un giocatore", il giocatore deve colpire una palla (virtuale) con una racchetta in modo che questa colpisca un muro, cercando di non farla rimbalzare sul pavimento. Questo gioco può sembrare semplice, ma la sua struttura è progettata per rendere l'esperienza sia stimolante che accessibile. Il sistema AcouMotion consente di regolare la difficoltà del gioco in base alle capacità del giocatore, rendendolo adatto a principianti, ma anche coinvolgente per giocatori più esperti. L'aspetto importante qui è che la difficoltà non dipende dalla velocità del giocatore, ma dal-

la complessità dell'ambiente di gioco e dalla risposta della tecnologia.

Il cuore del gioco è il feedback uditivo tridimensionale. La posizione della palla e della racchetta viene rappresentata attraverso suoni spaziali che danno al giocatore informazioni sulla distanza e direzione della palla rispetto alla racchetta.

- Lo spostamento orizzontale della palla (a sinistra o a destra rispetto alla racchetta) è indicato tramite panning stereo (acquisizione dati), con il suono che si sposta nell'altoparlante corrispondente a sinistra o destra, a seconda della posizione della palla.

- Lo spostamento verticale della palla (su o giù rispetto alla racchetta) è indicato da cambiamenti nel tono: un suono acuto per movimenti verso l'alto e un suono basso per movimenti verso il basso.

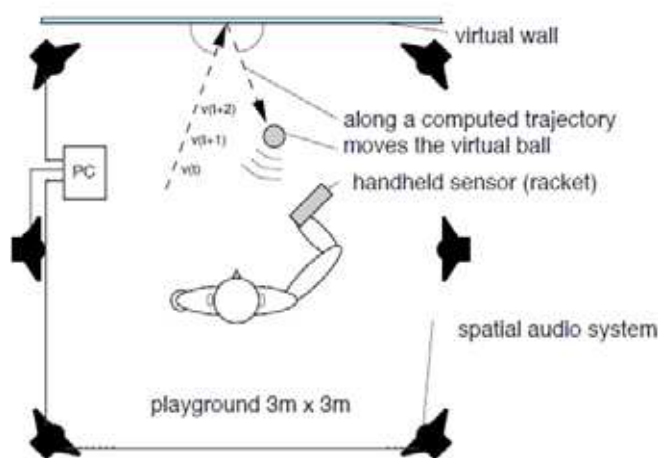


Fig. 13: Illustrazione dell'impostazione del gioco Blindminton e delle direzioni della racchetta spostamento

- La terza dimensione acustica, ovvero la distanza tra la palla e la racchetta, è segnalata tramite pulsazioni sonore. Più la palla è lontana, più frequente sarà la pulsazione; mentre man mano che la palla si avvicina al giocatore, la pulsazione rallenta, fornendo così un'indicazione chiara della distanza.

Questi suoni vengono combinati in un flusso sonoro continuo che fornisce al giocatore un feedback in tempo reale, permettendogli di adattare il suo movimento per colpire correttamente la palla.

Inoltre, la sonificazione include segnali discreti per eventi specifici, come la collisione della palla con la racchetta o il muro, così come marcatori verbali che informano il giocatore su eventi come l'inizio o la fine di una partita.

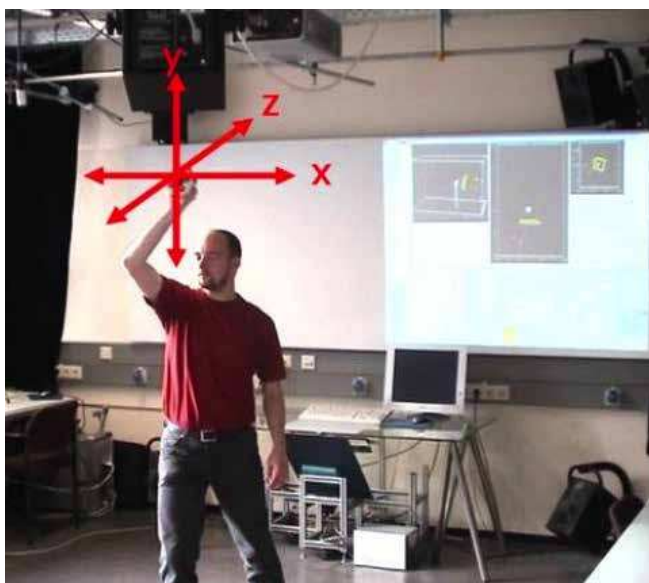


Fig. 14: Gioco Blindminton e direzioni della racchetta. Spostamento sull'asse x,y,z.

Questo tipo di gioco rappresenta un'opportunità straordinaria per l'APA, perché risolve uno dei problemi principali che le persone con disabilità visiva affrontano nell'apprendere sport tradizionali: la difficoltà di adattarsi a giochi che si basano prevalentemente sulla vista.

Con l'integrazione della sonificazione, AcouMotion consente ai partecipanti di giocare autonomamente, offrendo un'esperienza ludica stimolante che può essere personalizzata in base alle abilità individuali. Il controllo adattativo della difficoltà, che permette di regolare l'intensità del gioco, rende l'esperienza più inclusiva per i principianti, permettendo di aumentare progressivamente la complessità del compito.

AcouMotion ha anche trovato applicazione nella valutazione delle prestazioni in sport per persone non vedenti, come il **goalball**.

Il goalball è uno sport paralimpico praticato da atleti con disabilità visiva. In questo contesto, AcouMotion è stato utilizzato per creare un test di prestazione, dove il sistema simula una "macchina lancia-palle" che lancia una palla virtuale verso la porta, e il giocatore deve muoversi per difendere la porta.

Nel test di prestazione, AcouMotion è stato utilizzato per simulare il lancio di una palla virtuale da una distanza di 4 metri, verso una porta larga 3 metri. La velocità della palla è stata variata da 1 a 4 metri al secondo per testare le capacità del giocatore nel localizzare e anticipare la palla. Il feedback uditivo è fornito da una configurazione di altoparlanti disposti in cerchio attorno al giocatore, con segnali che rappresentano la posizione della palla.

Questi segnali vengono combinati con un feedback verbale (come l'indicazione della distanza rimanente dalla palla alla porta) per guidare il giocatore nella difesa.

I risultati del test hanno mostrato che i giocatori erano in grado di localizzare la palla con un errore medio di soli 36 cm, con una maggiore precisione nelle velocità della palla comprese tra 2 e 3 m/s.

Questi risultati sono stati confermati tramite interviste con il giocatore e il suo allenatore, che hanno evidenziato l'efficacia del sistema nel migliorare la capacità di anticipare la palla.

Questo tipo di applicazione non è solo utile per la valutazione delle prestazioni in modo preciso e scientifico, ma offre anche uno strumento utile per l'allenamento. I dati raccolti durante i test possono essere utilizzati per monitorare il progresso del giocatore e adattare i programmi di allenamento, migliorando l'efficacia dell'apprendimento. L'obiettivo a lungo termine è migliorare ulteriormente il sistema di gioco e testare per adattarsi a diversi livelli di abilità e per favorire un apprendimento più efficiente.

Alcuni sviluppi futuri includono:

Semplificazione dei compiti audiomotori:

Uno degli aspetti in fase di ricerca riguarda la semplificazione dei compiti attraverso il design, come l'ingrandimento virtuale della racchetta nel gioco Blindminton. L'idea è di determinare se queste semplificazioni possono favorire l'apprendimento nei giocatori alle prime armi, migliorando l'esperienza di gioco e accelerando il processo di adattamento.

Controllo audiomotorio e apprendimento:

AcouMotion offre opportunità per studiare come i feedback sonori possono migliorare il controllo motorio, l'apprendimento dei movimenti e l'adattamento delle risposte in base alle informazioni acquisite durante il gioco. Questo potrebbe avere implicazioni non solo per gli sport adattati, ma anche per la riabilitazione fisica e il trattamento di disabilità motorie.

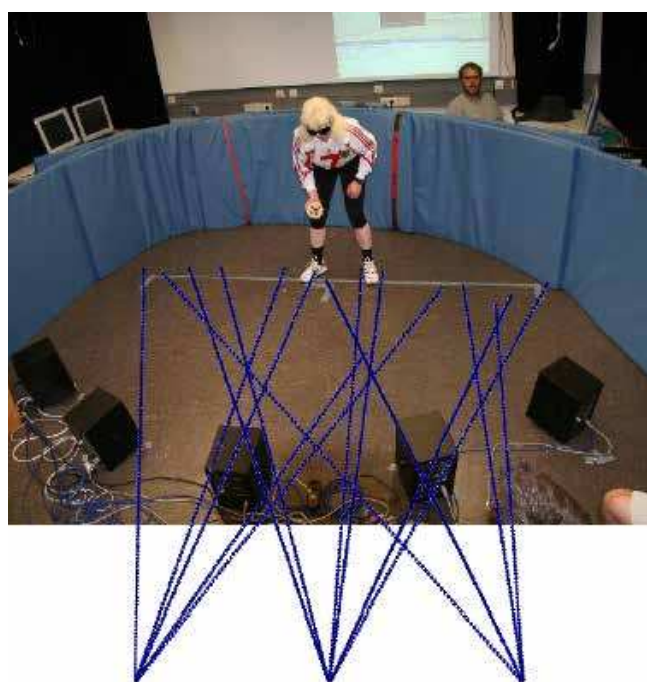


Fig. 15: Impostazione di laboratorio per il test di prestazione specifico del goalball con le cinque configurazioni audio degli altoparlanti e l'illustrazione dei 15 lanci di palla standardizzati verso la linea di porta larga 3 metri (qui un test con Conny Dietz, il portabandiera nazionale della squadra paralimpica tedesca a Pechino 2008 che ha giocato sei tornei paralimpici di goalball).

Sonificazione dei dati oceanici

La sonificazione all'interno del progetto Ocean Data Platform (ODP) è una pratica che fonde scienza, tecnologia e arte per tradurre i dati oceanici in esperienze sonore, creando un modo unico di interagire con le informazioni raccolte dagli oceani.

L'idea è quella di trasformare parametri scientifici – come variazioni di temperatura, salinità, movimento delle correnti o distribuzione di biodiversità – in suoni che possano essere interpretati non solo da scienziati, ma da un pubblico ampio e variegato.

Il processo si basa su tecnologie avanzate di analisi dei dati. I dataset oceanici, spesso estrapolati da grandi archivi come il World Ocean Database o da strumenti specifici di osservazione sul campo, vengono elaborati per individuare schemi o cambiamenti rilevanti.

Questi dati numerici sono poi convertiti in frequenze, tonalità o ritmi musicali, con algoritmi che associano specifici parametri a determinati suoni. Ad esempio, un aumento della temperatura dell'acqua potrebbe essere rappresentato da un tono crescente, mentre la riduzione dell'ossigeno disciolto potrebbe essere resa con suoni cupi e gravi. Il risultato finale è una composizione che traduce dinamicamente l'ambiente marino in un "paesaggio sonoro".

Questa trasformazione ha implicazioni pratiche ed emotive.

Ad esempio, artisti e compositori hanno utilizzato le tracce sonore prodotte dai dati scientifici per creare opere d'arte o composizioni musicali, che poi vengono utilizzate in installazioni museali o eventi pubblici per sensibilizzare sulla salute degli oceani.

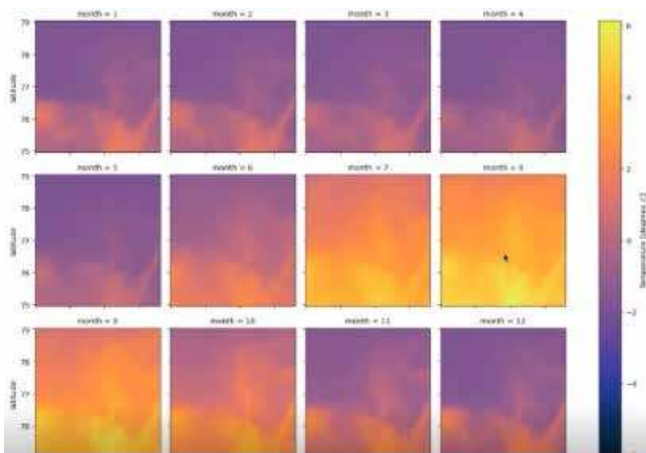


Fig.16: Temperatura dell'acqua nella regione del Mare di Barents, al largo delle coste settentrionali della Norvegia e della Russia mese per mese. I colori più caldi rappresentano temperature più elevate.

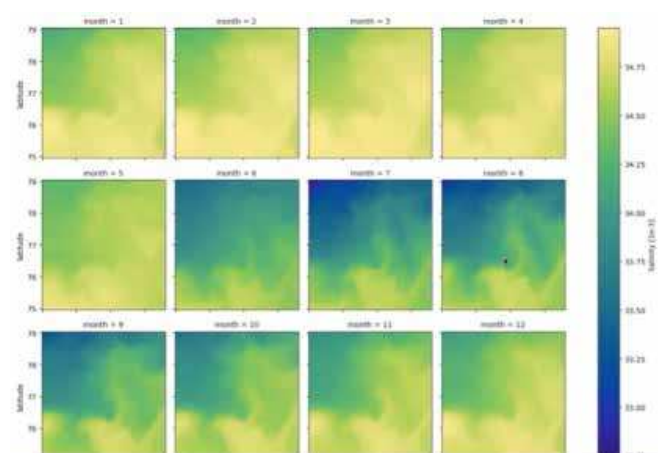


Fig.17: Salinità dell'acqua nella regione del Mare di Barents, al largo delle coste settentrionali della Norvegia e della Russia mese per mese. I colori più caldi rappresentano una salinità più elevata.

In questa prospettiva, i suoni generati non servono solo a tradurre i dati, ma diventano una forma di storytelling che permette di raccontare le storie degli ecosistemi marini attraverso un linguaggio emozionale e immersivo. Questo approccio può amplificare il messaggio degli scienziati e rendere le problematiche ambientali più immediate per il pubblico. Dal punto di vista educativo quindi, la sonificazione offre un mezzo potente per coinvolgere il pubblico. Le persone possono “ascoltare” le condizioni degli oceani, percependo attraverso il suono l'urgenza di problematiche ambientali come il cambiamento climatico o la perdita di biodiversità.

Anche la ricerca scientifica può beneficiare di questo approccio, poiché il suono consente di individuare schemi difficili da notare nei grafici visivi. I ricercatori, ad esempio, possono identificare anomalie ritmiche o sonore che suggeriscono cambiamenti nei modelli climatici o negli ecosistemi marini. Inoltre, la sonificazione rappresenta un'opportunità per avvicinare artisti e scienziati, stimolando una collaborazione interdisciplinare che contribuisce a diffondere la conoscenza scientifica in modi innovativi.

Questa pratica trova paralleli in altri contesti, come il progetto della NASA che ha tradotto i dati sul colore degli oceani – indicatori di fitoplancton e cicli ecologici – in composizioni musicali, offrendo un approccio simile per rendere accessibili dati complessi al grande pubblico.

Allo stesso modo, la Ocean Data Platform utilizza la sonificazione per arricchire la comprensione delle informazioni ambientali e per sensibilizzare le persone sulla necessità di proteggere il fragile equilibrio degli ecosistemi marini.



Fig.18: Frame del video di sonificazione dei parametri rilevati. Man mano che la composizione si sviluppa, è rappresentato e onificato il cambiamento dei dati oceanici avvenuto tra il 1993 e il 2022. La parte superiore del video mostra le temperature, quella inferiore la concentrazione del ghiaccio marino e le incrementate le correnti marine.

Sonificazione dell'inquinamento ambientale

Rimanendo nell'ambito della sonificazione ambientale, "Air Play: Smog Music Created With Beijing Air Quality Data" di Brian Foo è un progetto che traduce i dati sulla qualità dell'aria in musica, consentendo di "ascoltare" l'inquinamento atmosferico di Pechino.

Utilizzando dati in tempo reale su inquinanti come PM2.5, ozono e monossido di carbonio, Air Play trasforma i livelli di smog in suoni con variazioni di altezza, ritmo e intensità. Quando l'inquinamento aumenta, i suoni diventano più densi e dissonanti, rappresentando acusticamente la gravità della situazione. Questa sonificazione ambientale è stata sviluppata anche in altre città e sensibilizza i cittadini rendendo lo stato dell'atmosfera percepibile in tempo reale.

Questa modalità di sonificazione ambientale si inserisce in una serie di progetti simili, volti a rendere udibili fenomeni naturali spesso difficili da visualizzare. Tra questi, il River Listening Project converte in musica le condizioni dei fiumi come velocità del flusso e livello di inquinamento, sensibilizza sulla salute dei corsi d'acqua e l'impatto dell'inquinamento.

Arctic Ice Sonification rappresenta invece i cambiamenti nei ghiacci artici: quando il ghiaccio si scioglie, i suoni si fanno più distorti o diminuiscono, mostrando in modo tangibile il fenomeno del riscaldamento globale.

I progetti riguardanti l'uso della sonificazione mostrano le numerose sfaccettature e la versatilità in diversi domini applicativi, dimostrandosi uno strumento versatile e innovativo per la rappresentazione e l'analisi dei dati che può arricchire l'interazione umana e ampliare la nostra comprensione delle cose.

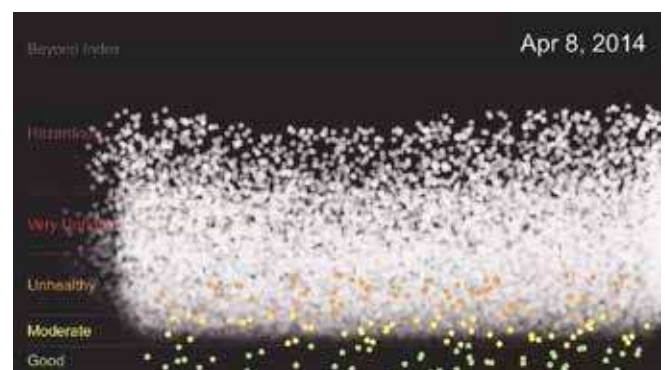
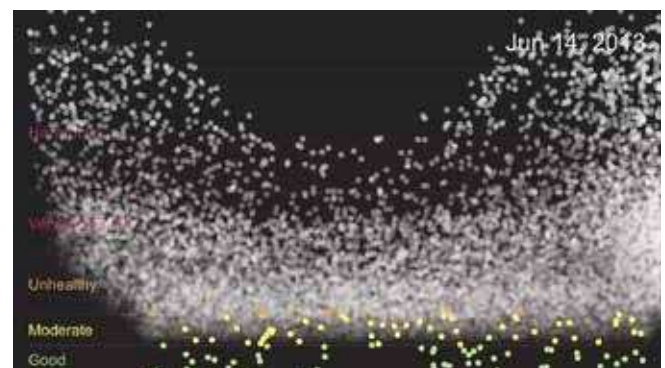
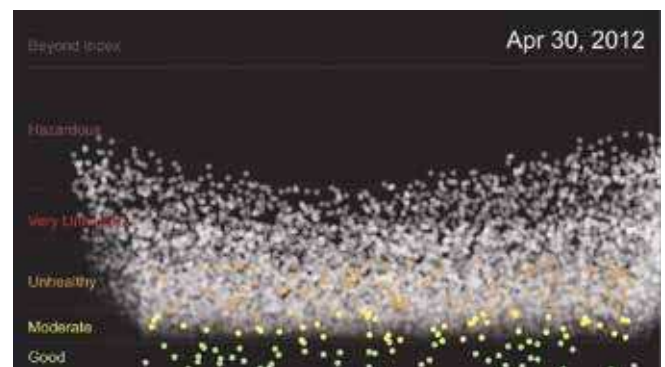


Fig.19: Visualizzazione dei dati sonificati sulla qualità dell'aria di Pechino dal 2012 al 2014

**"Proprio come la scienza sembra
produrre un insieme infinito di
immagini visive per praticamente
tutti i suoi fenomeni [..]
così anche la 'musica' potrebbe
essere prodotta dagli stessi dati
che producono le visualizzazioni"**

Don Ihde, 1976

Dal numero al suono

Il processo di sonificazione implica diversi stadi tecnici, in quali le informazioni digitali vengono gradualmente trasformate in caratteristiche sonore percepibili, come frequenza, timbro, ritmo e intensità.

Ogni fase di questo processo è studiata per convertire i dati in una forma sonora coerente e significativa, che rispetti sia la struttura originale dei dati che l'obiettivo della sonificazione stessa.

Le tecniche di trasduzione dei dati si sono sviluppate in modo significativo con la crescita della tecnologia edell'hardware e del software di supporto, che si sono diffusi nel nostro ambiente quotidiano. Ciò ha consentito l'istituzione di nuovi strumenti di comunicazione per condividere informazioni, opinioni e sentimenti come parte della nostra routine quotidiana.

L'iter tecnico dietro la sonificazione comprende una serie di passaggi che collegano il dominio digitale, dove i dati sono acquisiti, immagazzinati come numeri e codificati in formati leggibili dalla macchina al dominio analogico dell'esperienza sonora.

Al centro di questo processo vi è la mappatura dei dati su parametri sonori, fase in cui il dato acquisisce una dimensione acustica: i valori numerici vengono tradotti in frequenze e intensità udibili, offrendo all'ascoltatore un "quadro sonoro" dinamico e interpretabile.

Una volta che i dati sono stati trasformati in suoni digitali, la conversione finale verso l'analogico permette che questi suoni siano ascoltabili tramite altoparlanti o cuffie, rendendo il dato immediatamente accessibile.

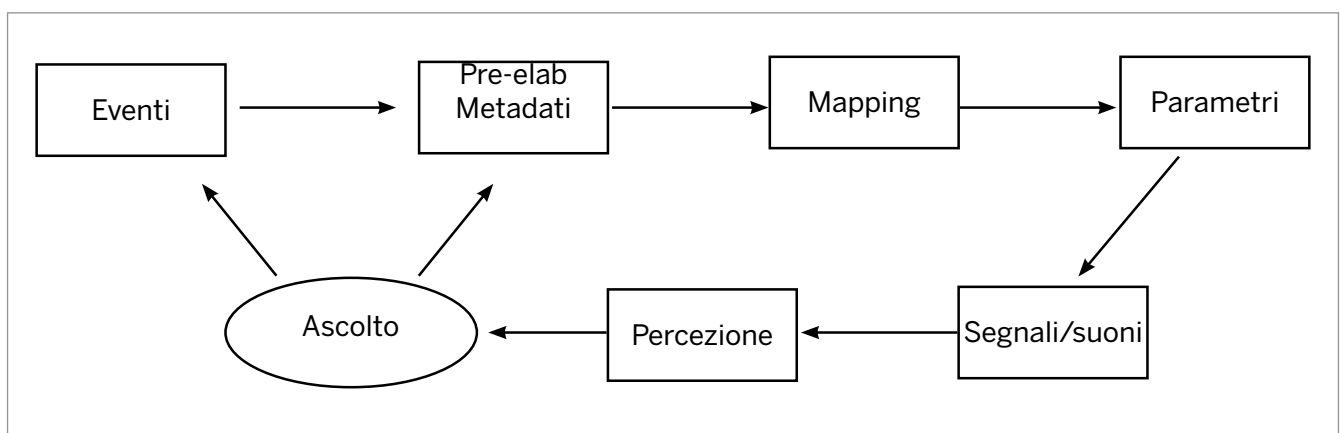


Fig.20: Architettura e funzioni principali di un sistema di sonificazione di eventi

Acquisizione e pre-elaborazione dei dati

Questo processo, quindi, non è una semplice conversione, ma un vero e proprio sistema di comunicazione in cui dati astratti e numerici acquisiscono senso attraverso le caratteristiche fisiche e percettive del suono.

1. Acquisizione e pre-elaborazione dei dati

L'acquisizione e la pre-elaborazione dei dati costituiscono il primo passo fondamentale nel processo di sonificazione. Questa fase riguarda la raccolta delle informazioni grezze e la loro preparazione per essere convertiti in suono, assicurando che i dati siano coerenti, accurati e pronti per essere mappati su parametri sonori. Una buona pre-elaborazione è essenziale per garantire che la sonificazione sia chiara, intuitiva e fedele ai dati di partenza. Dati non accuratamente preparati possono tradursi in suoni confusi, con poco valore informativo. Al contrario, una pre-elaborazione efficace assicura che le informazioni trasmesse siano significative, coerenti e comprensibili per l'ascoltatore, facendo sì che il risultato finale rappresenti autenticamente le caratteristiche e le tendenze del dataset.

Acquisizione:

La fase di acquisizione inizia con l'identificazione delle fonti di dati rilevanti, che possono provenire da una varietà di strumenti e database digitali, come sensori, sistemi di monitoraggio, database finanziari, o anche set di dati scientifici complessi. La selezione dei dati utili per la sonificazione è un momento critico: non tutti i dati devono essere sonificati, e quindi è

essenziale identificare quelli che contengono variazioni significative o pattern rilevanti per l'obiettivo specifico della sonificazione.

Pulizia dei dati e filtrazione:

i dati acquisiti spesso includono rumore (nel contesto informatico, ossia elementi anomali o fuori scala), valori nulli, e incongruenze che possono distorcere il risultato sonoro. La pulizia dei dati elimina valori estremi o errati e risolve eventuali lacune per garantire che ogni punto dati rappresenti fedelmente la realtà che si vuole comunicare. In alcune situazioni, si può anche optare per la mediazione dei dati o l'uso di tecniche di interpolazione per colmare i vuoti. Applicando dei filtri è possibile eliminare il "rumore di fondo" numerico o le anomalie che non contribuiscono in modo significativo al significato dei dati. Questo filtraggio consente di focalizzarsi sui cambiamenti rilevanti, evitando che l'ascoltatore percepisca elementi fuorvianti.

Segmentazione e identificazione di pattern:

in alcuni casi, i dati possono essere segmentati per porzioni estrapolari significative o per strutturare i dati in "finestre" temporali oppure può essere vantaggioso identificare pattern ricorrenti o variazioni importanti nei dati, come picchi, oscillazioni o tendenze. Questi elementi chiave possono essere enfatizzati nel processo di mappatura sonora, per rendere più evidente il cambiamento o il pattern all'ascoltatore. Ad esempio, una serie di dati che mostra un aumento graduale potrebbe essere sonificata con un incremento di frequenza costante, suggerendo una crescita progressiva.

Mappatura dei dati

2. Mappatura dei dati

Nella sonificazione del movimento, i dati numerici vengono “mappati” su parametri acustici, trasformando le caratteristiche quantitative del movimento in suoni specifici. Questo processo si basa su scelte progettuali che determinano quali variabili sonore rappresenteranno le diverse proprietà dei dati, come velocità, forza o posizione. Rappresenta una fase chiave, poiché consente di tradurre le informazioni meccaniche in segnali acustici percepibili. Questo feedback sonoro permette a chi esegue un movimento di avere un canale sensoriale aggiuntivo, facilitando una comprensione più profonda e un controllo più preciso delle proprie azioni. La mappatura dei dati è un processo di assegnazione di parametri motori a proprietà sonore specifiche come frequenza, ampiezza, tono e durata. Le modalità possono variare a seconda degli obiettivi, e ciascun approccio comporta applicazioni e vantaggi distinti. La **mappatura diretta** attribuisce suoni che rispecchiano i dati grezzi del movimento. Per esempio, la velocità o l'accelerazione possono essere rappresentate dalla frequenza di un suono, dove un aumento della velocità corrisponde a un aumento della frequenza; in questo modo, chi ascolta può intuire la velocità del movimento. Nella **mappatura indiretta** i dati vengono elaborati prima di essere associati a un suono, combinando diversi parametri o introducendo algoritmi di filtraggio. Questo approccio è utile quando si vuole generare un feedback che non si limita a rispecchiare il movimento, ma ne enfatizza certi aspetti per supportare la comprensione o l'apprendimento di specifiche caratteristiche motorie. I parametri da mappare dipendono dall'obiettivo della sonificazione.

La funzione di mappatura quindi, attribuisce caratteristiche ai dati per riprodurre i parametri di sintesi al fine di comprenderne le strutture e pone due sfide: la prima è una formalizzazione adeguata della funzione di trasferimento che collega il dominio dei dati con quello dei suoni. La seconda sfida riguarda la scelta della topologia di mappatura, ovvero il modo in cui si stabilizzano le relazioni tra i set di dati e i parametri di sintesi del suono per ottenere un risultato percettivamente valido.

Funzione di trasferimento

È il meccanismo matematico o procedurale che traduce i dati numerici in parametri sonori. In sostanza, è una funzione che “trasferisce” il valore di una variabile del set di dati (ad esempio, temperatura, velocità o frequenza cardiaca) a un parametro audio (come la frequenza, il volume o il ritmo del suono). Questo processo permette di ascoltare i cambiamenti nei dati, in modo che le variazioni nei valori numerici corrispondano a cambiamenti nelle caratteristiche sonore.

Il primo passaggio è la scelta dei parametri (come l'intonazione o il timbro) che saranno influenzati dai dati e come queste si modificheranno in base ai valori del set di dati.

data feature		sound synthesis parameter
datafeature ₁	→	onset [10 ms, 20 ms]
datafeature ₂	→	freq [50 midnote, 52 midnote]
datafeature ₃	→	level [−18 dBV, 0 dBV]

Fig.21: Una rappresentazione testuale leggibile per facilitare l'interpretazione della mappatura di unsonificazione, in cui a ciascun parametro nel dominio target viene assegnato un significato nome.

Il secondo è la definizione di scala e proporzioni. Questo definisce l'intervallo dei dati che si vuole rappresentare e valutare una scala per far corrispondere i valori del dataset all'intervallo dei parametri sonori. Per esempio, un intervallo di temperatura tra 0 e 100 può essere mappato su un intervallo di frequenza compreso tra 200 e 800 Hz, consentendo di percepire l'aumento della temperatura come un innalzamento del tono.

La funzione di relazione può essere lineare (dove un incremento nei dati produce un incremento diretto nel parametro sonoro) oppure esponenziale, per accentuare o smorzare alcune variazioni sonore.

Tipologie di mappatura

Mappatura 'uno a uno'

Questa tecnica collega direttamente un singolo dato a un singolo parametro di sintesi del suono. È molto utile quando è essenziale che ogni caratteristica dei dati abbia una rappresentazione sonora distinta e isolata, e si presta alla creazione di rappresentazioni semplici e immediate. Tuttavia, la sfida di questa mappatura è che i parametri sonori percettivi (come volume e tono) non sono completamente indipendenti, quindi bisogna bilanciare questi parametri per evitare che si sovrappongano e distorcano l'informazione percepita.

Mappatura 'uno a molti'

In questa strategia, un singolo dato influisce su più parametri sonori contemporaneamente. È chiamata anche mappatura divergente e consente di generare suoni più complessi e ricchi. Ad esempio, un incremento della temperatura

potrebbe aumentare sia il volume che la frequenza di un suono, aggiungendo sfumature alla percezione e migliorando l'esperienza dell'ascoltatore. Questa tecnica è efficace per dare maggiore rilevanza a un parametro specifico, rendendone le variazioni più evidenti anche in diverse scale di rappresentazione.

data feature	sound synthesis parameter
datafeature ₁ [0, 30]	→ Δ gain [-90 dBV, 0 dBV]
datafeature ₁ [20, 50]	→ between unvoiced and voiced
datafeature ₁ [40, 70]	→ blends between the vowels [a:] and [i:]
datafeature ₁ [60, 90]	→ fundamental freq 82 to 116 Hz
datafeature ₁ [80, 100]	→ brightening of the vowel

Fig.22 :tabella di mappatura 'uno-a-molti'; gli intervalli nel dominio dei dati sono percentili della variabile per il set di dati fornito.

Mappatura 'molti a uno'

Con questa tecnica convergente, più dati influenzano un singolo parametro sonoro, come il tono o il ritmo. È molto utilizzata nelle applicazioni musicali interattive e nelle interfacce gestuali, poiché consente di modellare più caratteristiche per ottenere un risultato unificato e controllato. Questo approccio può anche rappresentare relazioni complesse o nascoste nei dati, dove la combinazione di parametri diversi produce una qualità sonora unica e complessa.

Di seguito, esploreremo i principali parametri sonori e il loro utilizzo nel contesto della sonificazione.

Parametri sonori

Frequenza (bassi o acuti)

La frequenza è un parametro acustico fondamentale nella sonificazione e rappresenta l'altezza del suono, variando da bassi (gravi) ad acuti. Utilizzare la frequenza per mappare i dati significa associare un cambiamento numerico a una variazione nel tono: più alto è il valore del dato, più acuto sarà il suono prodotto, e viceversa. Questa caratteristica rende la frequenza uno strumento intuitivo nella sonificazione, poiché l'orecchio umano è naturalmente capace nel percepire anche minime differenze di altezza, permettendo agli ascoltatori di riconoscere i cambiamenti senza bisogno di rappresentazioni visive o di interpretazioni numeriche complesse.

I dati numerici possono essere mappati sulla frequenza per rappresentare una crescita o diminuzioni di un valore. Ad esempio, in una sonificazione della temperatura, una temperatura più alta potrebbe essere rappresentata da una frequenza più elevata. Questo rende immediatamente percepibile all'ascoltatore una

variazione nei dati, che potrebbe corrispondere a un aumento della temperatura, della velocità o di qualsiasi altro parametro.

I suoni acuti tendono a richiamare l'attenzione e possono essere percepiti come allarmanti o energizzanti, mentre i suoni bassi evocano spesso un senso di calma o profondità provocando un effetto percettivo ed emotivo.

Volume (intensità)

Il volume, o l'intensità sonora, è uno dei parametri fondamentali nella sonificazione per comunicare informazioni. Mappare il volume permette di rappresentare la "forza" o l'"urgenza" di un dato, trasmettendo chiaramente l'importanza di un'informazione attraverso variazioni nel livello sonoro. Rispetto alla frequenza, che comunica cambiamenti qualitativi come l'altezza di un valore, l'intensità sonora agisce più a livello di impatto emotivo e percettivo, influenzando il modo in cui una persona interpreta la rilevanza o l'urgenza dei dati. Il processo di mappatura dell'intensità associa

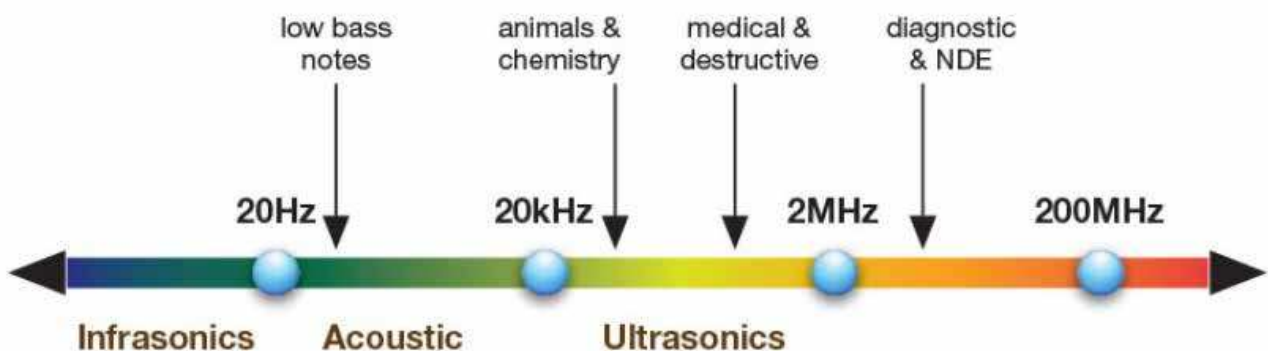


Fig.23: Spettro delle frequenze audio

la grandezza di un parametro al volume del suono. Quando i dati indicano un parametro ad alta criticità, come livelli elevati di rischio o di tensione, il suono viene riprodotto a un volume maggiore, attirando immediatamente l'attenzione e segnalando all'ascoltatore l'urgenza di concentrarsi su quell'informazione. Invece, dati a bassa importanza o che segnalano condizioni stabili vengono rappresentati a volume ridotto, generando un feedback sonoro meno invadente. Inoltre, il volume genera una risposta emotiva e percettiva forte. Quando il volume è elevato, la nostra attenzione si attiva istantaneamente, e suoni intensi possono provocare una reazione di allerta o di stress, facilitando l'attenzione quasi automatica, simile a quella indotta da un segnale di pericolo. Questa proprietà rende il volume adatto anche per segnalazioni critiche o avvisi che richiedono un'azione immediata. Al contrario, i suoni di volume ridotto creano un'atmosfera più calma, trasmettendo una sensazione di stabilità o continuità.

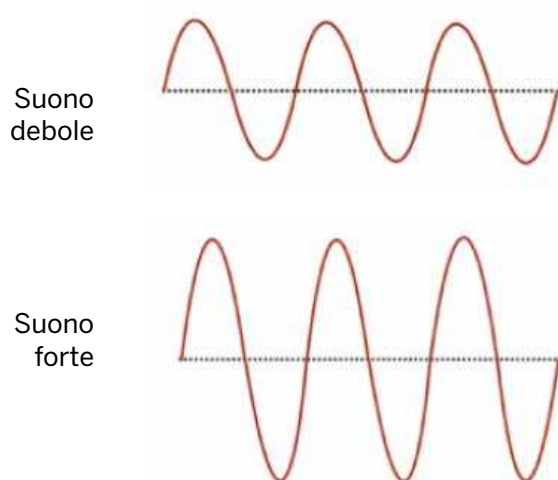


Fig.24: Esempio di variazione del volume in un sinusoide

Timbro (qualità del tono)

Il timbro è una delle componenti più distintive nella sonificazione, in quanto rappresenta la "qualità" del suono, definendone il carattere o la "personalità" in base alla combinazione di armoniche, frequenze e altre sfumature acustiche. È grazie al timbro che possiamo distinguere, ad esempio, tra il suono di un violino e quello di un pianoforte, anche se suonano la stessa nota alla stessa intensità. Nella sonificazione, il timbro viene utilizzato per attribuire un'identità unica a ciascun tipo di dato o categoria informativa, consentendo agli ascoltatori di identificare rapidamente le diverse fonti di dati e di interpretare con maggiore precisione le informazioni trasmesse.

La mappatura dei dati sul timbro si rivela particolarmente utile quando è necessario distinguere variabili multiple all'interno di un sistema complesso. Ad esempio, in un sistema di monitoraggio ambientale di una foresta, suoni con timbri diversi possono essere assegnati per rappresentare diverse specie animali. Ogni specie riceve così un'identità sonora specifica, che consente di ricreare un vero e proprio "paesaggio sonoro" della foresta, rendendo immediatamente riconoscibile la presenza di ciascun animale.

Il timbro è anche fortemente collegato all'emozione che un suono è in grado di evocare. Suoni brillanti, ricchi di armoniche, trasmettono spesso una sensazione di energia, stimolo e vivacità, inducendo l'ascoltatore a una risposta più attenta o energica. Al contrario, suoni scuri, privi di armoniche alte, evocano spesso sensazioni di mistero, serietà o calma, potendo indurre anche

una risposta emotiva più lenta o introspettiva. Un esempio potrebbe essere il confronto tra il suono di un campanello alto e chiaro e un rombo cupo e basso: il primo richiama l'attenzione immediata e genera un senso di allerta, mentre il secondo può infondere un senso di stabilità o, in alcuni casi, di apprensione.

Questo potere del timbro nel suscitare emozioni lo rende uno strumento efficace anche per creare gerarchie di informazioni. Un'informazione non urgente, ad esempio, potrebbe essere rappresentata da un timbro morbido e ovattato, contribuendo a un senso di tranquillità. Può anche essere sfruttato per costruire una coerenza tematica, creando un ambiente sonoro che rappresenta un contesto specifico. In una sonificazione, nel contesto dello sport, timbri stimolanti possono aiutare a mantenere il ritmo e la motivazione, mentre suoni più morbidi e delicati possono offrire un supporto calmante in attività di recupero fisico.

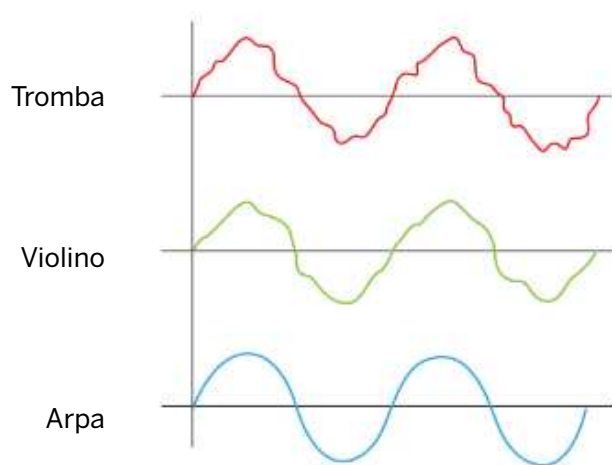


Fig.25: Sinusoidi di vari timbri

Ritmo (struttura temporale):

Il ritmo gioca un ruolo centrale nella sonificazione dei dati, poiché traduce cambiamenti numerici in sequenze sonore percepibili, facendo risaltare variazioni e tendenze. Nel processo di mappatura dei dati sul ritmo, le modifiche dei parametri possono essere rappresentate attraverso la velocità o la regolarità delle sequenze ritmiche. Ad esempio, un'accelerazione in un dato può essere resa attraverso un ritmo più rapido e serrato, mentre valori stabili o in calo possono essere comunicati con un ritmo più lento e costante. Questo tipo di ritmo è adatto in contesti di monitoraggio, come quelli medici o di sicurezza, dove un cambiamento rapido e all'improvviso nel ritmo potrebbe segnalare un'alterazione e richiedere una risposta immediata. Al contrario, ritmi lenti e regolari sono associati a una sensazione di calma e continuità e possono essere utilizzati per promuovere uno stato di rilassamento o concentrazione, come in ambienti terapeutici. **L'approccio ritmico inoltre aiuta a creare una narrazione sonora temporale che permette all'ascoltatore di percepire in modo intuitivo l'evoluzione del dato.** La presenza di una struttura ritmica dà vita a un'esperienza sonora coerente e progressiva che rende intuitiva la comprensione dei cambiamenti, trasformando il dato numerico in un flusso sonoro che guida l'ascoltatore nel tempo. In un ambiente sportivo, ad esempio, il ritmo potrebbe diventare un supporto motivazionale: un ritmo che accelera progressivamente potrebbe stimolare l'atleta ad incrementare l'intensità della propria prestazione, accompagnando i cambiamenti fisiologici con una risposta sonora che rende l'allenamento più immersivo e coinvolgente.

La Scelta del Parametro Sonoro in Base all'Obiettivo della Sonificazione

Ogni parametro acustico – come frequenza, intensità, timbro e ritmo – ha un ruolo specifico nell'influencare la percezione e l'interpretazione cognitiva dei dati sonori. Nella sonificazione, questi parametri non vengono selezionati casualmente, ma sono scelti con attenzione per trasmettere informazioni specifiche in modo intuitivo e immediato.

Gli obiettivi della sonificazione, infatti, guidano la selezione e la mappatura dei parametri per creare un'esperienza sonora che sia allo stesso tempo ricca e funzionale.

Una sonificazione efficace utilizza più parametri in combinazione, ottenendo una rappresentazione multidimensionale che favorisce una comprensione più intuitiva dei dati. La mappatura consapevole dei parametri sonori ai dati permette di strutturare le informazioni in modo da enfatizzare certe caratteristiche, come i cambiamenti di intensità o l'aumento della frequenza, per rappresentare variazioni significative. Questa combinazione di parametri amplifica la ricchezza informativa della sonificazione e consente di trasmettere messaggi complessi attraverso un mezzo percettivo diretto, rendendo i dati uditiivamente accessibili anche a chi non ha familiarità con le rappresentazioni visive o numeriche.

Quindi, per scegliere i parametri sonori in un progetto di sonificazione, si utilizzano metodi e criteri che derivano sia dagli obiettivi della sonificazione che dalla natura dei dati, tra cui:

Analisi dei dati e identificazione delle caratteristiche: La prima fase è comprendere le caratteristiche principali dei dati, come il range, la frequenza delle variazioni e la loro struttura. Queste proprietà dei dati suggeriscono i parametri sonori appropriati per rappresentarli.

Mapping e obiettivi comunicativi: Gli obiettivi della sonificazione, ovvero il messaggio o le informazioni che si vogliono trasmettere, guidano la selezione dei parametri. Per rappresentare variazioni rapide o irregolari, si può scegliere un ritmo serrato o un suono di breve durata. Se l'obiettivo è trasmettere allarmi o cambiamenti critici, l'intensità o il tono potrebbe essere enfatizzato.

Percezione e psicologia del suono: Diversi parametri sonori sono percepiti in modi specifici. Questo aspetto della percezione sonora guida la scelta dei parametri per facilitare la comprensione intuitiva da parte dell'ascoltatore.

Test e feedback degli utenti : In molte applicazioni, i parametri vengono regolati in base a test con ascoltatori o utenti finali. Durante i test, si osserva se la mappatura sonora è efficace e comprensibile;

Software di sonificazione e algoritmi di ottimizzazione : si utilizzano software e algoritmi specializzati che consentono di testare e ottimizzare rapidamente diverse combinazioni di parametri. Programmi come Max/MSP, Pure Data o SonicPi, consentono di sperimentare varie mappature per trovare la configurazione ottimale.

Generazione del suono digitale

3. Generazione del suono digitale

Una volta che i dati sono stati mappati sui parametri sonori desiderati, il sistema di sonificazione entra nella fase di generazione del suono digitale, in cui i numeri vengono tradotti in rappresentazioni audio digitali.

È un processo essenziale per portare le informazioni numeriche alla vita acustica e permettere a chi ascolta di “sentire” i dati. Questa trasformazione si realizza attraverso un software di sintesi sonora, o il modulo di sonificazione, che elabora i dati utilizzando tecniche di sintesi avanzate per modulare i parametri sonori come frequenza, timbro e intensità, che hanno

il compito di rappresentare accuratamente le variazioni presenti in essi.

Il processo si svolge attraverso diverse fasi tecniche che coinvolgono la produzione di onde sonore digitali, registrate spesso in formati audio comuni come WAV o MP3.

Il processo inizia con la creazione delle onde sonore di base. Ogni onda, come l'onda sinusoidale, quella quadra e quella a dente di sega, costituisce la “struttura fondamentale” per la generazione dei suoni digitali.

Le onde sinusoidali, per esempio, producono suoni puri e puliti, mentre quelle quadre creano un suono più tagliente e definito, spesso associato alla musica elettronica. Le onde a dente di

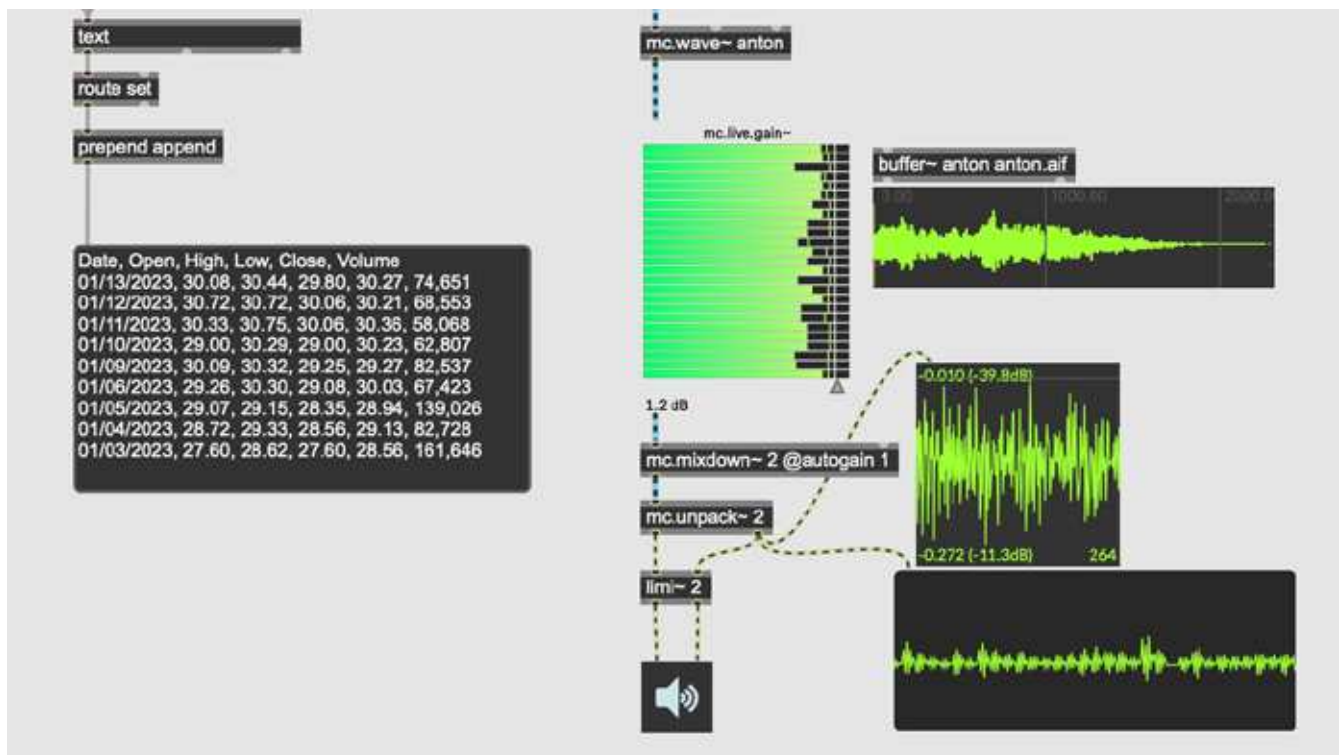


Fig.26: Sonificazione con Max (software)

sega, invece, sono ricche di armoniche e ideali per riprodurre suoni complessi e dinamici. La scelta di una forma d'onda dipende dalle caratteristiche del dato e dall'effetto che si desidera ottenere: per dati che variano gradualmente, una forma d'onda sinusoidale potrebbe offrire la fluidità necessaria, mentre un'onda a dente di sega potrebbe meglio rappresentare cambiamenti bruschi o movimenti più intensi. Dopo aver stabilito una base sonora, si ricorre alle tecniche di sintesi avanzate per rendere il suono più dettagliato e complesso.

Una delle tecniche più importanti è la sintesi additiva, che permette di creare suoni complessi sovrapponendo diverse onde sonore. Ad esempio, per rappresentare un movimento continuo e fluido, si possono sovrapporre più onde sinusoidali con lievi variazioni di frequenza, costruendo un suono che segue fedelmente l'andamento dei dati. La sintesi sottrattiva, invece, parte da un suono complesso che viene "filtrato" per rimuovere frequenze non necessarie, offrendo così un suono più limpido e focalizzato.

Una volta generato il suono, viene poi registrato in un formato digitale come WAV o MP3, il che permette di conservare il suono in modo riproducibile e flessibile. La qualità del suono digitale dipende dalla frequenza di campionamento e dalla profondità in bit. La frequenza di campionamento stima quanti campioni al secondo vengono catturati per riprodurre il suono, determinando la fedeltà temporale del suono: una frequenza di 44.1 kHz (la qualità standard per i CD) è adatta per ottenere un suono realistico e accurato. La profondità in bit, come 16-bit o 24-bit, rappresenta invece la precisione

del campionamento. Maggiore è la profondità, più dettagliata sarà la rappresentazione sonora, permettendo di cogliere anche le variazioni più sottili nei dati sonori.

In molti casi, il suono digitale viene poi arricchito con effetti sonori per rendere l'esperienza d'ascolto più interessante e informativa. L'aggiunta del riverbero, per esempio, conferisce una sensazione di spazio al suono, mentre l'eco o il ritardo possono rappresentare cicli ripetitivi o creare profondità nei dati. In applicazioni esplorative, effetti di distorsione o compressione possono essere utilizzati per enfatizzare eventi significativi nei dati, catturando così meglio l'attenzione dell'ascoltatore e guidandolo nell'interpretazione del suono.

Questa generazione del suono digitale, dalla scelta della forma d'onda fino alla post-elaborazione con effetti, permette di plasmare una rappresentazione sonora che riflette non solo i valori numerici ma anche la loro complessità e dinamica



Fig 27: Due frequenze di campionamento a confronto. La prima ha una frequenza di campionamento bassa che distorce l'onda originale del suono (aliasing), la seconda ha una frequenza di campionamento alta che riesce a riprodurre perfettamente l'onda del suono originale

Conversione da digitale ad analogico

4. Conversione digitale / analogico

Nella sonificazione, uno degli ultimi passaggi fondamentali per portare il suono a essere percepibile dall'orecchio umano consiste nella conversione del segnale digitale in un formato analogico, un passaggio chiave per tradurre la rappresentazione numerica dei dati in onde sonore fisiche. La conversione da digitale ad analogico rappresenta il momento in cui i dati, mappati in frequenza, intensità e timbri durante le fasi precedenti, passano da semplici sequenze numeriche a forme d'onda reali che possono generare una risposta sensoriale.

Lo strumento centrale in questo processo è il convertitore digitale-analogico (DAC), un dispositivo elettronico essenziale che trasforma i campioni digitali, cioè le informazioni numeriche codificate in bit, in un segnale elettrico continuo che rispecchia fedelmente l'originale rappresentazione sonora progettata nel dominio digitale.

Ogni campione digitale, rappresentato come una sequenza di zeri e uno, corrisponde a un livello di tensione che il DAC interpreta, producendo una serie di cambiamenti di tensione che, insieme, costituiscono un'onda sonora

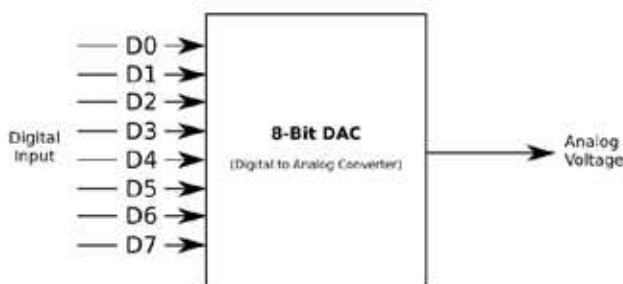


Fig 28: Digital Input, DAC, analog voltage

continua. Il processo di conversione, avviene in una serie di fasi che consentono al DAC di interpretare ogni campione digitale. Ogni campione del segnale audio digitale rappresenta un'istanza del livello di ampiezza del suono in un determinato istante.

Il DAC, leggendo questi valori, li trasforma in una serie di variazioni di tensione elettrica, costruendo così un'onda analogica continua. Il segnale analogico risultante è essenzialmente una "replica" del segnale digitale, ma anziché essere suddiviso in campioni discreti, è una forma d'onda fluida che può essere trasformata in suono reale.

Una volta che il segnale analogico è stato creato, viene inviato ad un trasduttore acustico, come un altoparlante o una cuffia che, grazie alla sua membrana o superficie vibrante, converte le variazioni di tensione elettrica in onde di pressione nell'aria, che si propagano poi come vibrazioni fisiche. Questo movimento di compressione e rarefazione dell'aria crea le onde sonore che l'orecchio umano può catturare e interpretare come suono.

La precisione con cui il DAC esegue la conversione è di fondamentale importanza per garantire la fedeltà del suono. Un DAC di alta qualità riesce a mantenere la forma dell'onda analogica molto simile all'originale digitale, limitando le imperfezioni e riducendo la possibilità di distorsioni che potrebbero alterare la rappresentazione sonora dei dati. In contesti come la sonificazione, dove i dati trasmessi tramite suoni devono essere interpretati con precisione, la qualità del DAC è essenziale per assicurare che le informazioni restino integre durante l'intero processo di conversione.

Il processo di conversione DAC

Segnale digitale in ingresso: I dati digitali che rappresentano l'intensità del suono o il valore fisico a determinati intervalli di tempo.

Registro DAC: questi valori digitali vengono memorizzati in un registro interno del DAC, che prepara i dati per la conversione. Il numero di bit determina la risoluzione del DAC e la precisione con cui il segnale analogico finale può essere generato.

Commutazione di tensione: ogni valore digitale viene associato a un livello di tensione specifico. Un meccanismo di commutazione seleziona il giusto livello di tensione da una serie di fonti di tensione.

Tensione di riferimento: confrontando i valori digitali con la tensione di riferimento, il DAC può generare il segnale analogico con la giusta intensità e precisione.

Circuito sommatore resistivo: i valori di tensione vengono combinati tramite un circuito, che utilizza resistori per sommare le diverse tensioni generate, creando il segnale analogico risultante.

Amplificatore di uscita: l'amplificatore aumenta l'intensità del segnale analogico per rendere sufficientemente forte il pilotaggio di dispositivi come altoparlanti o altre apparecchiature.

Segnale analogico in uscita: il segnale analogico finale è una replica continua del segnale digitale originale, ora percepibile come suono, controllo o segnale di comunicazione.

Il segnale analogico risultante è essenzialmente una "replica" del segnale digitale, ma anziché essere suddiviso in campioni discreti, è una forma d'onda fluida che può essere trasformata in suono reale.

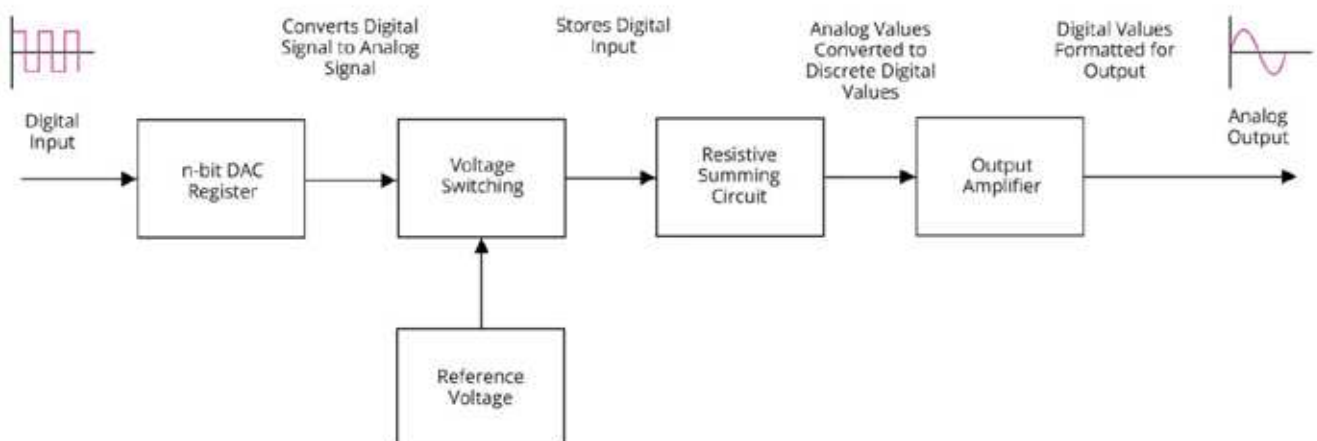


Fig 29: Digital to analog converter

Percezione del suono ed interpretazione umana

5. Percezione del suono ed interpretazione umana

Le emozioni influenzano in modo determinante il comportamento umano e sono state studiate a lungo, soprattutto nel contesto musicale. L'American Psychological Association descrive le emozioni come un complesso sistema di reazioni che comprende aspetti esperienziali, comportamentali e fisiologici, attraverso i quali le persone cercano di affrontare eventi per loro rilevanti. L'uso della sonificazione pone diverse sfide, in particolare nella creazione di suoni che siano adatti e significativi per rappresentare eventi specifici. Alcuni dei principali ostacoli riguardano il tipo di suono da utilizzare: esso dovrebbe riflettere il significato dell'evento, trasmettere indicazioni spaziali per localizzare gli eventi e comunicare all'utente la rilevanza o la gravità di ogni situazione. L'**informatica affettiva**, un'area che unisce informatica, scienze cognitive e psicologia, utilizza l'intelligenza artificiale per permettere a robot e computer di identificare e rispondere alle emozioni umane. Questa capacità, viene chiamata anche "intelligenza emotiva artificiale", consente di creare tecnologie in grado di riconoscere e interpretare stati affettivi, migliorando così le interazioni con gli esseri umani. In questo contesto il riconoscimento delle emozioni si applica a vari tipi di media, come testi, immagini, audio e video, facilitando lo sviluppo di interfacce intuitive capaci di analizzare le emozioni umane. I dataset affettivi, che includono annotazioni delle emozioni riconosciute negli stimoli, vengono usati per addestrare modelli di apprendimento automatico. Le persone possono percepire emozioni in risposta a brani musicali, discorsi o altre esperienze sonore, e si parla di "emozioni

indotte" (in cui gli ascoltatori provano emozioni indotte dal suono) e di "emozioni percepite" (in cui gli ascoltatori riconoscono le emozioni espresse dal suono.).

Distinguere tra queste due tipologie è importante: uno stimolo, infatti, può suscitare una reazione emotiva diversa rispetto a quella che rappresenta. Per esempio, una melodia allegra può essere identificata come gioiosa senza necessariamente generare allegria nell'ascoltatore. Sebbene gli ascoltatori possano concordare ampiamente sull'emozione percepita per un dato suono, spesso non concordano sull'emozione indotta di un dato suono, quindi è difficile modellare le emozioni indotte. Il riconoscimento delle emozioni audio (AER) si concentra sul rilevamento delle emozioni associate a suoni come musica, discorsi o eventi sonori. I modelli di riconoscimento delle emozioni sono solitamente di due tipi: categoriali, che attribuiscono alle emozioni etichette discrete come felicità, tristezza o paura, e dimensionali, che descrivono le emozioni su più dimensioni come intensità e positività o negatività (valenza)

Emozioni indotte e percepite: uno studio

Nell'articolo "A Comparative Analysis of Modeling and Predicting Perceived and Induced Emotions in Sonification", Faranak Abri e collaboratori, si concentrano sul riconoscimento delle emozioni tramite modelli di apprendimento automatico applicati a due specifici set di dati, IADSE ed Emosoundscape, che permettono di misurare le emozioni umane attraverso due dimensioni fondamentali: eccitazione (quanto intensa è l'emozione) e valenza (quanto l'emozione è positiva o negativa).

L'obiettivo era quello di identificare le caratteristiche acustiche che contribuiscono a determinare l'eccitazione e la valenza delle emozioni e distinguere le emozioni percepite da quelle indotte.

L'analisi dei dati provenienti dai due dataset permette di confrontare diversi modelli e identificare quali di essi siano più accurati nel predire eccitazione e valenza per le emozioni percepite e indotte.

Questo approccio offre una panoramica su quali caratteristiche sonore sono cruciali per la percezione emotiva e quali per la reazione emotiva dell'ascoltatore, dando così una visione più completa su come suoni diversi possono influenzare o rappresentare le emozioni in modo differente.

Per condurre l'esperimento, sono stati utilizzati due set di dati: IADSE e EmoSoundscape. Questi set di dati contengono campioni sonori con le loro emozioni annotate.

- EmoSoundscape contiene valutazioni per le emozioni percepite e utilizza uno spazio bidimensionale (eccitazione/valenza).
- IADSE contiene valutazioni per le emozioni indotte e utilizza uno spazio tridimensionale (eccitazione/valenza/dominanza).

Sono stati scelti questi due set di dati per confrontare le previsioni delle emozioni indotte (come l'ascoltatore risponde internamente a uno stimolo) e percepite (come interpreta l'emozione trasmessa da un suono).

Sono state estratte in totale 68 caratteristiche da ogni stimolo per rappresentare la media aritmetica o la deviazione standard del campione delle caratteristiche basate sui frame. Le caratteristiche selezionate rappresentano le seguenti famiglie:

- Dinamica: intensità del segnale, come il valore quadratico medio (RMS) dell'ampiezza;
- Ritmo: articolazione, densità e periodicità temporale degli eventi, come il numero di eventi al secondo;
- Timbro/Spettro: luminosità, rumorosità, dissonanza e forma dello spettro di frequenza;
- Pitch: presenza di suoni armonici, come la proporzione di frequenze che non sono multipli della frequenza fondamentale (inarmonicità);
- Tonalità: presenza di suoni armonici che collettivamente implicano una tonalità maggiore o minore, come la forza di un centro tonale (chiarezza della tonalità).

Table 3. Number of acoustic features captured by the MIRToolbox.

Selected MIR Features	
Feature	Count
Dynamics	2
Pitch	1
Rhythm	6
Spectral	23
Spectral MFCC	26
Timbre	4
Tonal	6
Total	68

Fig. 30: Numero di caratteristiche acustiche catturate

Dataset per le emozioni “percepita”

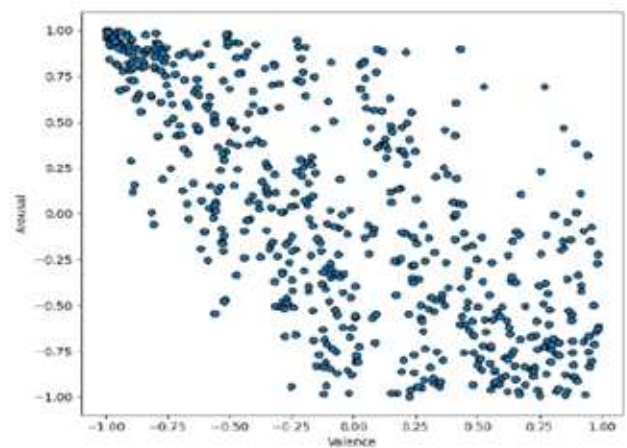
I ricercatori hanno utilizzato un set di dati EmoSoundscape, che consiste in un insieme contenente 600 campioni audio categorizzati in 6 gruppi di 100 campioni ciascuno; questi gruppi sono indicati come suoni naturali, suoni umani, suoni e società, suoni meccanici, quiete e silenzio e suoni come indicatori. Tutti questi paesaggi sonori sono annotati con la loro emozione percepita, tra cui eccitazione e valenza.

Dataset per le emozioni “indotte”

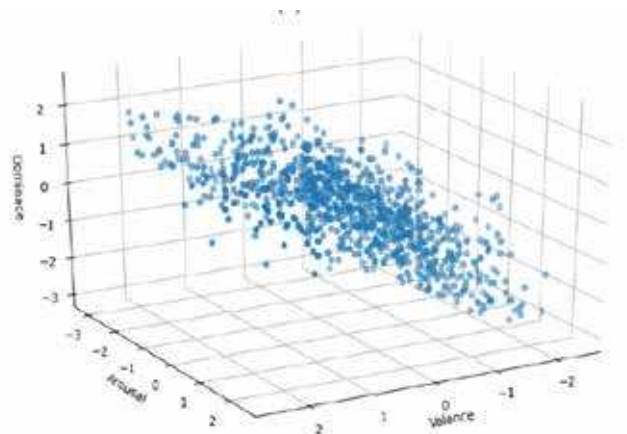
Il dataset IADSE, utilizzato nel secondo esperimento, contiene 935 suoni, con ogni suono valutato da almeno 100 ascoltatori per le dimensioni di eccitazione percepita, valenza e dominanza.

L'impatto psicologico di ogni suono è un problema chiave quando si progettano sonificazioni per un sistema ampio e complesso. Più specificamente, è importante avere una chiara comprensione dell'impatto di ogni suono sugli utenti.

I risultati confermano l'ipotesi secondo cui è relativamente più difficile prevedere l'emozione indotta rispetto all'emozione percepita questo perché i modelli creati per prevedere le emozioni percepite sono più accurati di quelli creati per prevedere le emozioni indotte. Tuttavia, il divario nel potere predittivo tra tali modelli può essere ridotto sostanzialmente attraverso l'ottimizzazione dei modelli di apprendimento automatico.



(a)



(b)

Fig. 31: Visualizzazione dei set di dati EmoSoundscape e IADSE. (a) Diagramma di dispersione dei punti dati normalizzati di EmoSoundscape nello spazio AV. (b) Diagramma di dispersione dei punti dati normalizzati dell'IADSE nello spazio AVD.

Features	IADSE			EmoSoundscape	
Dynamics	Arousal	Valence	Dominance	Arousal	Valence
dynamics rms (mean)	*		*	+	+
dynamics rms (std)	*	*			
Pitch					
pitch pitch (mean)	*				
Rhythm					
rhythm pulseclarity (mean)	*				+
rhythm tempo (std)	*				
rhythm fluctuationmax peakposmean		*		+	
rhythm attacktime (mean)				+	
Timber					
timbre spectralflux (mean)	*		*	+	+
timbre spectralflux (std)	*				
timbre lowenergy (mean)	*				
timbre lowenergy (std)				+	+
Tonal					
tonal keyclarity (mean)	*	*	*		
tonal keyclarity (std)	*				
tonal hcdf (mean)				+	
tonal hcdf (std)			*		
Spectral					
spectral flatness (std)	*				
spectral roughness (mean)	*	*	*	+	+
spectral spectentropy (mean)	*			+	
spectral rolloff85 (mean)	*			+	
spectral rolloff85 (std)		*			
spectral brightness (mean)	*	*	*	+	
spectral brightness (std)	*				
spectral skewness (mean)	*				+
spectral skewness (std)		*			
spectral flatness (mean)	*			(+)	
spectral flatness (std)					+
spectral centroid (mean)	*			(+)	
spectral centroid (std)					+

Fig. 32: Caratteristiche significative per ogni previsione nei dataset IADSE ed EmoSoundscape che mostravano punti comuni tra loro. Se una qualsiasi di queste caratteristiche significative aveva caratteristiche altamente correlate nel suo dataset, sono contrassegnate come (*) e (+) per i dataset IADSE ed EmoSoundscape, rispettivamente.

Coinvolgimento emotivo

Creazione del significato, memoria ed emozioni

Il processo che trasforma gli stimoli acustici in esperienze è un fenomeno multidimensionale che coinvolge percezione, interpretazione, memoria e cultura. Ogni suono che percepiamo non è solo un evento sensoriale, ma diventa un'esperienza soggettiva ricca di significati emotivi e cognitivi. Una volta che il suono è interpretato, la memoria entra in gioco, collegando gli stimoli acustici a ricordi ed emozioni. La memoria uditiva ci permette di associare un suono a esperienze passate: questo legame tra suoni e memoria consente al cervello di integrare le esperienze uditive con il nostro bagaglio personale, trasformando così il suono in un'esperienza emotivamente significativa. Il suono quindi può agire come un potente fonte di esperienze positive.

I suoni creati tramite sonificazione sono progettati per essere piacevoli o armonici, proprio per facilitare la comprensione dei dati e, al contempo mirare a creare un'esperienza più coinvolgente. Uno degli obiettivi è anche quello di

favorire una connessione personale ed emotiva, capace di adattarsi al contesto e alle preferenze individuali. Ci sono quindi degli elementi che la sonificazione sfrutta a suo vantaggio per creare una narrazione. Attraverso l'utilizzo di melodie ed armonie, la sonificazione può rappresentare un cambiamento dei dati conferendo una sensazione di continuità e coerenza ma allo stesso modo rendere il cambiamento riconoscibile ed intuitivo. Anche le variazioni di timbri e intensità possono segnalare eventi significativi all'interno dei dati creando un paesaggio sonoro che comunica emozioni e dinamiche in modo profondo. Diverse ricerche hanno dimostrato che l'ascolto dei dati sonificati può suscitare risposte affettive più intense rispetto alla semplice visualizzazione di grafici o numeri.

Inoltre, la sonificazione ha un impatto significativo non solo a livello individuale, ma anche collettivo. La possibilità di rendere accessibili informazioni complesse aiuta a sensibilizzare la popolazione su temi globali (come la consapevolezza ambientale, la condivisione culturale) attraverso il linguaggio universale del suono.

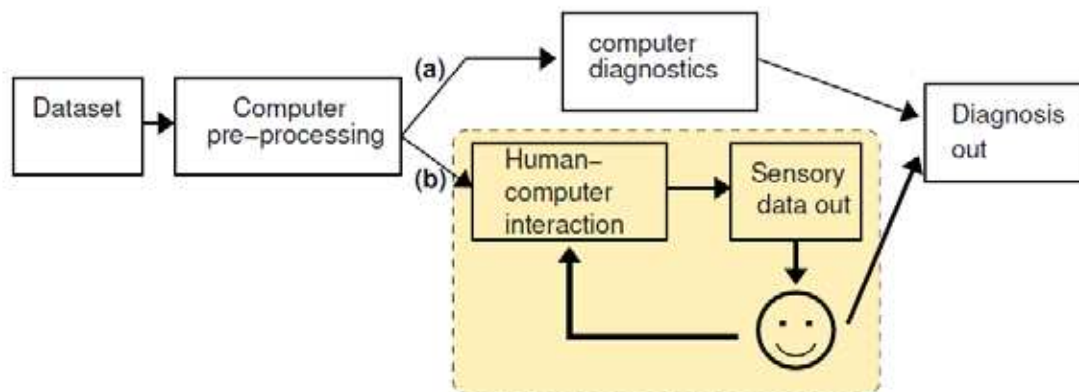


Fig.33: La modalità prevalente di diagnostica assistita da computer (a) trascura l'essere umano e le sue capacità percettive. La sonificazione (b) pone l'essere umano al centro di un controllo interattivo a ciclo continuo.

Contesto Sociale e Culturale e differenze individuali nella percezione della sonificazione

Le esperienze sonore sono molto influenzate dal contesto sociale e culturale in cui viviamo e dai contatti precedenti avuti con quel suono o suoni simili. L'interpretazione dei suoni, infatti, è filtrata da conoscenze pregresse, convenzioni sociali e valori culturali. Gruppi di persone appartenenti a culture differenti possono avere risposte emotive molto diverse tra loro proprio perché abituate ad ascoltare il suono in situazioni dissimili. Analogamente, alcuni generi musicali o ritmi possono evocare appartenenza a una specifica cultura o sottocultura.

Sono stati individuati alcuni fattori contestuali che incidono sulla percezione del suono quali:

- Aspettative e Conoscenze Pregresse

Se un suono ci ricorda un evento o un oggetto specifico, siamo più propensi a percepirlo in quel modo. Le informazioni già possedute possono plasmare la nostra interpretazione di suoni ambigui, spingendoci a vederli sotto una luce specifica.

- Fattori Ambientali

Anche l'ambiente fisico in cui ascoltiamo un suono gioca un ruolo importante. Un suono percepito in un luogo silenzioso, per esempio, avrà un impatto diverso rispetto a quello ascoltato in un ambiente caotico. In contesti rumorosi, distinguere i singoli suoni può risultare difficile, riducendo la nostra capacità di isolare i dettagli.

- Stato Emotivo

Le emozioni personali condizionano la percezione: un suono neutro può sembrare rassicu-

rante in un momento di calma, ma diventare minaccioso in uno stato d'ansia. Le emozioni influenzano inoltre la capacità di focalizzarsi sui suoni, rendendo più facile o difficile interpretare i segnali acustici in ambienti complessi o emotivamente intensi.

Il punto critico è proprio la variabilità della percezione emotiva dei suoni, che può variare molto da persona a persona in base alle differenze culturali, esperienze personali e preferenze. Una sonificazione che per alcuni può suggerire calma potrebbe evocare ansia in altri. Questa soggettività rappresenta una sfida importante per il disegno della sonificazione, poiché per essere efficace e universalmente comprensibile, una sonificazione emotiva deve considerare queste differenze individuali e cercare di trovare un equilibrio tra le risposte emotive.

Esperienza Uditiva e Risposte Comportamentali

Il processo uditivo culmina in risposte comportamentali e fisiologiche che dipendono dalla percezione del suono e dall'interpretazione che il cervello ne dà. Un suono improvviso e forte, può attivare una risposta di allarme, innescando riflessi di difesa o fuga. Al contrario, suoni piacevoli e rilassanti come il fruscio delle foglie o il rumore del mare possono indurre uno stato di calma, contribuendo a ridurre lo stress. Ci sono quindi dei suoni che inducono una risposta fisica istintiva. Questo pone al centro dell'elaborazione dei suoni le stimolazioni nervose indotte durante il loro ascolto. In base al sistema nervoso i suoni inducono tensioni o orientamenti del movimento capaci di svegliare l'intero corpo umano. Un esempio è il suono della sveglia al mattino.

Emozioni trasmesse dalla sonificazione

Sonificazione per trasmettere emozioni

Un tema centrale nell'articolo di Niklas Rönnerberg "Sonification for Conveying Data and Emotion" è l'uso della sonificazione per comunicare emozioni specifiche. La musica e i suoni, come osserva l'autore, possono evocare reazioni emotive intense e immediate; questa caratteristica permette di utilizzare la sonificazione per trasmettere un "tono" emotivo, rendendo l'esperienza informativa anche coinvolgente a livello emotivo. L'approccio di sonificazione utilizzato nello studio viene definito **musificazione**, poiché elementi e attributi musicali come accordi e cambi di tempo producono un'esperienza musicale. Con questo approccio di design di sonificazione è possibile utilizzare le qualità narrative della musica.

Nello studio è stata valutata una sonificazione di dati in esecuzione. L'obiettivo della sonificazione era sia trasmettere informazioni sui dati sia trasmettere un'emozione specifica.

Più nello specifico **mirava a testare l'efficacia della sonificazione emotiva nella rappresentazione dei dati, cercando di capire se l'uso di suoni specifici potesse influenzare le emozioni degli ascoltatori in modo coerente e intuitivo.**

La sonificazione è stata valutata in tre parti, prima come grafico uditivo, poi insieme a informazioni di testo aggiuntive e infine insieme a una visualizzazione animata, con un totale di 150 risposte.

Struttura dell'Esperimento

Rönnerberg ha creato diversi scenari di dati che simulavano situazioni con vari livelli di intensità e urgenza, per esempio fluttuazioni nel mercato azionario o variazioni in segnali vitali (come il battito cardiaco). Questi dati venivano poi tradotti in suoni che cambiavano dinamicamente in base al valore e al ritmo dei dati, utilizzando parametri acustici come tono, volume, e velocità. L'esperimento ha coinvolto un gruppo di partecipanti che doveva ascoltare questi suoni e descrivere l'emozione percepita, la loro intensità e la loro intuizione sulla situazione rappresentata.

Per la valutazione è stato ideato un questionario "BUZZ", che è una scala di esperienza utente dell'interfaccia uditiva, e una scala di affetto. È un questionario di undici affermazioni, che può essere suddiviso in affermazioni sulla percezione e l'interpretazione del contenuto (cinque affermazioni), feedback sul significato e l'interpretazione (due affermazioni), godimento (due affermazioni) e comprensione delle mappature uditive (due affermazioni).

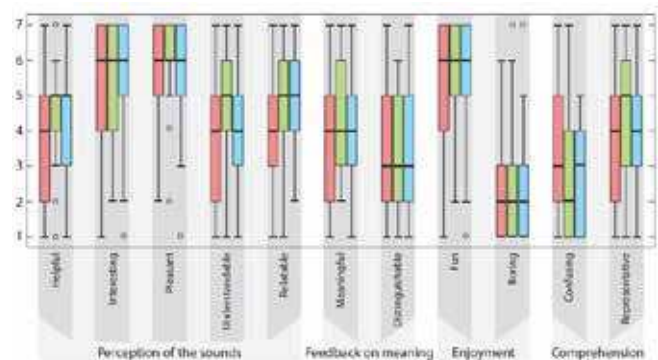


Fig.34: Risposte al BUZZ, parte 1 in rosso, parte 2 in verde e parte 3 in blu.

I risultati hanno mostrato che:

Effetto del suono sull'emozione:

I partecipanti tendevano a rispondere emotivamente ai suoni in modo coerente. Suoni più acuti e ritmi accelerati venivano percepiti come allarmanti o ansiogeni, mentre suoni gravi e ritmi più lenti evocavano calma o neutralità. Questo confermava che parametri come tono e ritmo possono veicolare emozioni riconoscibili.

Intuitività e chiarezza dei dati:

La maggioranza dei partecipanti è riuscita a interpretare intuitivamente lo stato dei dati senza un addestramento preliminare, suggerendo che la sonificazione emotiva può essere un modo rapido e intuitivo per rappresentare variazioni nei dati. Situazioni di pericolo venivano identificate più facilmente, il che è particolarmente rilevante per i contesti in cui l'attenzione rapida è cruciale.

Limiti e variazioni individuali:

Non tutti i partecipanti hanno percepito le stesse emozioni con la stessa intensità. Rönnerberg ha quindi evidenziato come la soggettività e il contesto influenzano la ricezione emotiva della sonificazione, il che suggerisce che le applicazioni future dovrebbero considerare personalizzazioni o addestramenti per utenti specifici.

Conclusioni dall'Esperimento

I risultati hanno dimostrato che la sonificazione può trasmettere informazioni emotive in modo efficace, offrendo un ulteriore canale di comprensione dei dati.

L'emozione che si voleva trasmettere di calma, felicità e tranquillità, tramite la sonificazione è stata percepita dagli intervistati e non è cambiata con l'aggiunta di stimoli visivi. La sonificazione è stata il vettore emozionale.

Tuttavia, l'esperimento ha anche sottolineato la necessità di standardizzare meglio l'uso di parametri sonori per garantire un'interpretazione più uniforme delle emozioni trasmesse.

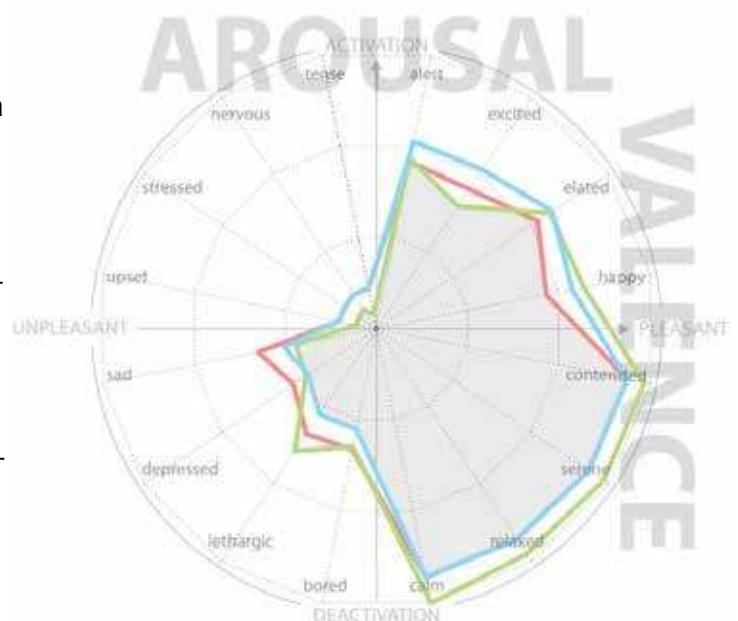


Fig.35: L'affetto sperimentato con l'equilibrio classificato tra i descrittori contrastanti nel modello circomplesso di affetto. Parte 1 in rosso, parte 2 in verde e parte 3 in blu.

Progetto DanzArte: scoprire la fluidità del movimento

Il progetto DanzArTe offre un'altra affascinante applicazione della sonificazione, questa volta nel contesto del movimento e della danza, e con l'obiettivo di riscoprire e valorizzare la fluidità dei gesti corporei. Grazie all'interazione tra il corpo e il suono, i partecipanti vivono un'esperienza sensoriale unica, in cui il movimento si traduce in espressioni sonore che amplificano e celebrano la qualità fluida delle azioni fisiche. Attraverso il software di Casa Paganini "Infomus", viene effettuato un monitoraggio in tempo reale della fluidità dei movimenti.

Questo sistema analizza come l'energia di un gesto si sviluppa nel tempo e come un'azione si diffonde attraverso il corpo, trasferendo tali dati al software di sonificazione. In questo modo, i

movimenti dei partecipanti generano suoni che non solo riflettono l'azione in corso, ma che possiedono anche il potere di esaltarla, stimolando una maggiore fluidità nei gesti. Questo progetto si confronta con tre sfide principali nel suo approccio alla sonificazione:

Evitare distrazioni e stress: Una delle priorità fondamentali è assicurare che le sonificazioni non risultino invasive per i partecipanti. Il design del suono deve caratterizzarsi per una bassa intrusività, con suoni che emergono e scompaiono nel contesto sonoro in modo controllato. Questo richiede particolare attenzione agli elementi melodici e armonici, affinché il suono rimanga un ausilio per la percezione del movimento e non un fattore di disturbo.



Fig.36: Progetto DanzArTe, riscoprire la fluidità del movimento

Creare un inserimento positivo: La sonificazione deve anche essere in grado di generare un coinvolgimento positivo, rassicurando i partecipanti. Ricerche precedenti hanno messo in evidenza la relazione tra stati emotivi e stimoli sonori, suggerendo l'uso di strutture armoniche semplici per comunicare stati emotivi positivi. In questo contesto, la consonanza diventa un elemento essenziale per trasmettere una valenza emotiva positiva, mentre le scelte dinamiche e timbriche si orientano verso stati di basso "arousal", contribuendo a mantenere un'atmosfera rassicurante.

Comunicare una Sensazione di Fluidità: La sonificazione deve riuscire a rappresentare sonoramente la fluidità del movimento. Attraverso studi sui fenomeni di modalità incrociate, il progetto esplora le corrispondenze tra stimoli visivi e sonori. Ad esempio, il passaggio graduale da una nota acuta a una nota grave può essere associato a un movimento che scende dall'alto verso il basso.

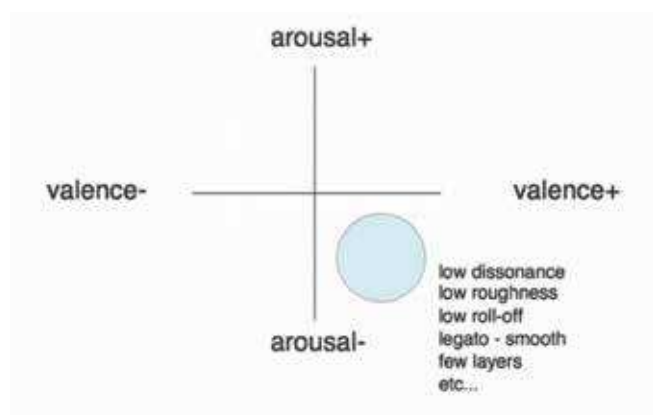


Fig.37: Gli elementi dinamici e timbrici delle sonificazioni nel progetto puntano ad esprimere uno stato di basso arousal

La fluidità si può esprimere a livello sonoro attraverso il controllo della dinamica e della superficie timbrica (spectral smoothness). Ambedue queste dimensioni devono evolvere con continuità, senza interruzioni o cambiamenti immediatamente percepibili. Il "centro di gravità" frequenziale di questi suoni deve corrispondere all'energia messa in atto nel movimento (che nei movimenti fluidi non è mai elevata) e quindi è relativamente basso: in questa figura, le colonne 2 e 4 rappresentano la fluidità di movimento di persone che stavano ascoltando suoni realizzati in accordo con queste linee guida. Le altre colonne indicano invece i risultati realizzati con altri suoni di controllo, alcuni parzialmente in accordo fluidi, altri completamente in disaccordo.

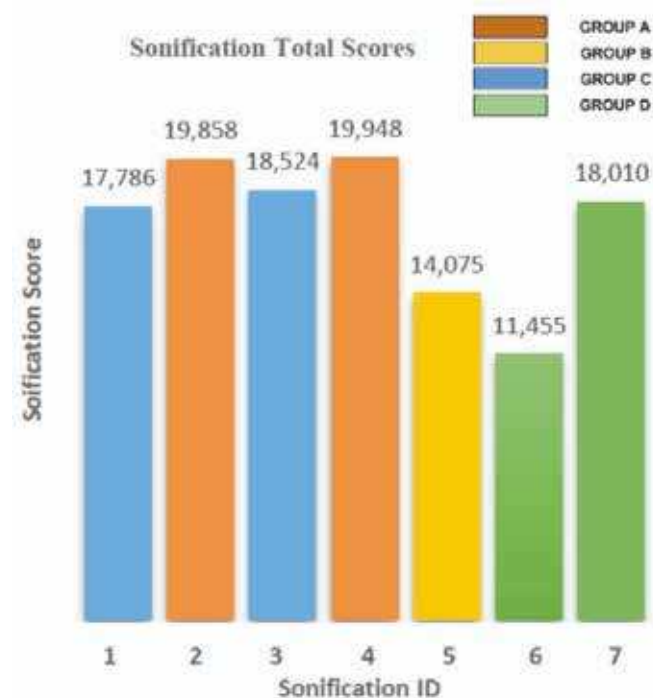


Fig.38: Ciascuna colonna rappresenta la somma degli indici di prestazione raggiunti da tutti i partecipanti (22 giocatori)



Fig.39: Frame del video in cui si può ascoltare la sonificazione basata su una sequenza di movimento

Il progetto DanzArTe dimostra come la sonificazione possa trasformare l'esperienza del movimento, arricchendola di una dimensione sonora.

Grazie a un approccio interdisciplinare che unisce danza, tecnologia e psicologia, DanzArTe non solo facilita una maggiore consapevolezza corporea, ma invita anche a riflettere su come il suono possa influenzare e arricchire le nostre esperienze fisiche.

Questo progetto è la dimostrazione pratica che attraverso la sonificazione, il movimento può diventare un atto che non è soltanto fisico, ma una narrazione sonora che promuove una connessione profonda tra il corpo e l'ambiente circostante.

Analisi critica

La ricerca ha dimostrato che la sonificazione rappresenta uno strumento potente e innovativo, capace di convertire grandi quantità di dati in formati sonori. Questo processo consente di rendere informazioni complesse non solo più accessibili, ma anche più comprensibili attraverso approcci alternativi e multisensoriali.

In particolare, nel progetto DanzArTe, si utilizza la sonificazione per trasformare la percezione del movimento in un'esperienza sonora unica, esaltando la fluidità e l'armonia dei gesti attraverso suoni che rispondono in tempo reale all'energia e alla dinamicità dei partecipanti.

Questo approccio non solo mette in risalto la qualità dei movimenti, ma crea anche una connessione profonda tra corpo e suono, rendendo l'esperienza di movimento più consapevole e coinvolgente.

Attraverso la sonificazione, il movimento si trasforma in un'esperienza percettiva complessa e personalizzata, in grado di influenzare sia la qualità fisica del gesto che le emozioni associate all'azione. Questa interazione tra suono e movimento invita a riflettere su altre sfere in cui il suono gioca un ruolo cruciale, come nello sport e nelle prestazioni fisiche.

In questo contesto, il suono non è solo un accompagnamento; diventa una guida ritmica e psicologica che può migliorare l'efficacia dell'allenamento e delle performance. La musica, per esempio, è frequentemente utilizzata per sincronizzare i movimenti e per mantenere elevati i livelli di motivazione.

Così come nel progetto DanzArTe il suono rispecchia e amplifica l'intensità del movimento, nel mondo sportivo esso può fungere da catalizzatore, influenzando non solo il ritmo ma anche la percezione dell'affaticamento e il raggiungimento degli obiettivi.

Questa relazione tra suono e prestazione fisica suggerisce un fertile campo di esplorazione, dove il potere del suono può essere ulteriormente analizzato e applicato per ottimizzare le esperienze sportive e migliorare i risultati. La fluidità e la coerenza del gesto possono trovare una nuova dimensione di espressione e prestazione, suggerendo che la sinergia tra corpo e suono ha potenzialità significative da scoprire e sviluppare.

Microscenario

Sonificazione e sport

Il suono nello sport

Introduzione agli effetti della musica nell'attività sportiva

Ritmo e performance

5 aree di influenza della musica sulla performance

Influenza del ritmo musicale su umore e velocità nella corsa

Controllo motorio e apprendimento

La sonificazione del movimento

Effetti della sonificazione su percezione e azione

Sonificazione interattiva del movimento nello squat

Asimmetria durante la corsa

Modello di aspettativa di sonificazione del movimento

Sonificazione dell'immagine motoria sul tiro nel basket

Sistema di allenamento dello swing nel golf

Studio su un pattinatore di velocità

Sonificazione nel canottaggio

Ruolo del feedback uditivo nell'allenamento individuale

Sonificazione e allenamento individuale

L'allenamento sportivo

Tipologie di allenamento

Gruppi muscolari coinvolti

Esercizi per la coordinazione ed il ritmo

L'importanza degli spazi outdoor

Analisi critica - caso studio

Il suono nello sport

La musica e i suoni hanno rivelato un impatto profondo sul corpo umano, specialmente nelle attività fisiche e nello sport. La musica non solo accompagna i movimenti, ma ha la capacità di sincronizzare il corpo e stimolare le emozioni, rendendola uno strumento essenziale per migliorare le prestazioni sportive e motivare gli atleti. Questa potente connessione tra musica e movimento affonda le radici nei processi neurofisiologici e psicologici che coinvolgono la percezione multisensoriale: quando una persona ascolta musica durante un'attività fisica, il ritmo e le frequenze sonore attivano aree del cervello legate all'emozione, al controllo motorio e alla memoria, creando una risposta che può intensificare le sensazioni positive e migliorare la consapevolezza del proprio corpo. In contesti sportivi, la musica ha un impatto reale sul modo in cui il corpo si muove e reagisce. I suoni, specialmente quando sincronizzati con l'attività motoria, agiscono come un potente canale di feedback che può guidare e regolare il movimento.

In parallelo, la musica evoca stati emotivi che possono modulare la percezione dello sforzo e migliorare il controllo motorio: le emozioni positive generano un miglioramento della coordinazione e dell'energia, mentre la sincronizzazione dei movimenti con il ritmo musicale può rendere l'esecuzione tecnica più precisa ed efficiente.

Inoltre, l'uso di suoni personalizzati, come nel caso della sonificazione del movimento, rappresenta un ulteriore passo avanti nella comprensione dell'efficacia del feedback acustico per ottimizzare le prestazioni fisiche, permettendo di trasformare le caratteristiche del movimento in suoni che guidano e rinforzano il controllo motorio.

Suono come guida per il movimento

Il suono, specialmente quando strutturato in ritmi costanti o variazioni armoniche, può influenzare in modo significativo la coordinazione e la fluidità del movimento in una vasta gamma di discipline sportive. La musica ed i suoni ritmici, ad esempio, agiscono come metronomi naturali, sincronizzando i movimenti con una cadenza che facilita l'armonizzazione dei gesti. Nel contesto dell'attività fisica, questo si traduce in una maggiore efficienza nei movimenti e nella capacità di mantenere una velocità costante. Nello sport come la corsa o il ciclismo, ad esempio, il suono di un ritmo stabilito può aiutare gli atleti a mantenere la cadenza, ottimizzando l'energia spesa e aumentando la resistenza nel tempo. L'idea di usare il suono per "guidare" il movimento si basa sul principio di coerenza tra i ritmi corporei e i ritmi musicali. La frequenza e la cadenza del suono forniscono una struttura che il cervello può assimilare come ritmo di riferimento, generando una sorta di "risonanza" psicofisica che rende i movimenti più fluidi e controllati. Alcuni sportivi usano la musica proprio per questo scopo, scegliendo il ritmo che corrisponde alla frequenza del proprio battito cardiaco o alla velocità che desiderano mantenere durante l'esercizio.



Introduzione agli effetti della musica sullo sport

Percezione temporale e ritmo

La percezione del tempo durante l'attività fisica è profondamente influenzata dal ritmo musicale e sonoro, che contribuisce a regolare la sincronizzazione dei movimenti e a gestire le risorse fisiche.

Quando il ritmo musicale è ben calibrato, si crea una sorta di “dissonanza temporale”: il cervello tende a percepire il tempo come più rapido e meno impegnativo.

Questa percezione alterata del tempo permette di mantenere uno stato di attenzione rilassata, un fenomeno che gli psicologi chiamano “flusso”, in cui la mente si concentra solo sull'azione e non sulla fatica o sull'orologio.

Di conseguenza, l'attività fisica risulta più tollerabile e si ha la sensazione che il tempo passi più velocemente.

Nelle discipline sportive che richiedono movimenti sincronizzati, come la danza, la ginnastica, il pattinaggio o anche gli sport di squadra, il ritmo facilita la coordinazione tra gli atleti, creando una coesione temporale essenziale per una performance di qualità. Il ritmo imposta un frame temporale condiviso, che favorisce l'allineamento dei movimenti e aumenta la precisione dell'esecuzione collettiva. Per i giocatori di squadra, l'integrazione del ritmo sonoro permette una sincronizzazione non verbale, fondamentale per reagire rapidamente e prendere decisioni in frazioni di secondo.

La percezione ritmica, infatti, regola l'intervallo dei movimenti, influenzando il modo in cui si percepisce la fatica e come si gestisce l'energia durante le fasi più intense dell'attività sportiva.

Effetto motivazionale della musica

Uno degli effetti più potenti della musica nello sport è la sua capacità di fungere da motore motivazionale, sostenendo l'impegno e la resistenza anche in situazioni di intensa fatica. La musica agisce come una sorta di distrazione benefica: offre un diversivo piacevole che aiuta a mantenere la concentrazione, riducendo la percezione dello sforzo e creando un ambiente emotivo più positivo.

Questo effetto è stato osservato in diverse ricerche, che hanno dimostrato come l'ascolto di brani preferiti o ritmi energizzanti aumenti il rilascio di dopamina, che è direttamente associato a sensazioni di benessere e piacere. La musica, quindi, non solo sostiene la motivazione, ma può anche migliorare l'umore, rendendo l'attività fisica più gratificante e meno stressante.

Nell'allenamento individuale, la musica viene spesso scelta in base ai propri gusti e al tipo di esercizio: ritmi veloci e intensi sono ideali per attività di alta intensità come la corsa o il sollevamento pesi, mentre le musiche con una struttura più lenta e fluida vengono usati per sport che richiedono maggiore concentrazione e precisione. Durante le attività di gruppo, come le lezioni di fitness o gli sport di squadra, la musica contribuisce a creare un'atmosfera energetica e coinvolgente, aumentando la coesione e il senso di appartenenza. La scelta musicale in questi contesti è mirata a stimolare i partecipanti, facendo emergere un senso di competizione sana e di divertimento, favorendo così l'impegno complessivo e migliorando l'efficacia dell'allenamento.

Ritmo e performance

La musica è molto più che un accompagnamento sonoro nello sport; è uno strumento psicologico e fisiologico potente che influisce su più livelli.

L'indagine scientifica ha rivelato cinque modi chiave alle quali è stato attribuito il potere di influenzare le performance degli atleti, sia durante le competizioni che nelle sessioni di allenamento.

Si tratta di dissociazione, regolazione dell'eccitazione, sincronizzazione, acquisizione di capacità motorie e raggiungimento del flusso.

Grazie a questi effetti, l'integrazione della musica negli allenamenti sportivi rappresenta una delle strategie più efficaci per il miglioramento delle prestazioni, promuovendo sia il benessere psicofisico che l'efficacia dell'attività sportiva.

1. Dissociazione (distrarre dalla fatica)

Il concetto di dissociazione si riferisce alla capacità della musica di distogliere l'attenzione dell'atleta dalle sensazioni di fatica, distraendolo da segnali di dolore e affaticamento durante esercizi a intensità moderata.

Ciò si traduce in un'esperienza sportiva più piacevole, soprattutto perché i brani musicali riescono ad "allontanare" dalla mente i segnali di disagio corporeo, portando a una riduzione fino al 10% della percezione dello sforzo durante attività come la corsa sul tapis roulant.

Questo effetto ha dimostrato di essere efficace, ma più limitato durante attività ad alta intensità, dove l'interazione tra fatica e attenzione è dominata da risposte fisiologiche intense, come l'accumulo di lattato. Tuttavia, anche in questi casi, ascoltare la musica rende l'esperienza soggettivamente più piacevole, trasformando lo sforzo percepito in un momento di maggiore positività e contribuendo a migliorare l'umore dell'atleta.

2. Regolazione dell'eccitazione (aumentare la carica o calmarsi)

Un altro ruolo cruciale della musica nello sport è la sua capacità di modulare l'eccitazione emotiva e fisiologica, cioè l'arousal, prima di una competizione o di un allenamento intenso.

La musica è comunemente utilizzata per stimolare l'atleta, per aumentare l'adrenalina e la carica emotiva necessaria, o per calmare i nervi pre-gara, creando uno stato mentale di calma e

5 aree di influenza della musica sulla performance

concentrazione. Per esempio, molti atleti scelgono brani ritmati per caricarsi e incrementare il battito cardiaco, mentre preferiscono canzoni lente e rilassanti per stabilizzare la tensione emotiva.

La capacità della musica di influenzare le emozioni e di sincronizzarsi con le reazioni del sistema nervoso è utile soprattutto quando la scelta dei brani è personalizzata, quindi riflette i gusti individuali e le preferenze emotive di ciascun atleta.

3. Sincronizzazione (massimizzare l'efficienza del movimento)

Il ritmo musicale è particolarmente utile per migliorare la performance sportiva perché consente all'atleta di sincronizzare i movimenti con la musica.

Questo processo, noto come sincronizzazione, migliora la coordinazione e permette di mantenere un ritmo stabile, come durante la corsa o il ciclismo.

Gli studi dimostrano che sincronizzarsi con una musica dal ritmo costante riduce la fatica, ottimizza il dispendio energetico e porta ad un aumento della resistenza. Ad esempio, un ritmo costante può aiutare un atleta a mantenere una cadenza specifica di passo durante una corsa, minimizzando l'accumulo di fatica.

Questa sincronizzazione è fondamentale per migliorare la performance negli sport che richiedono continuità e resistenza, in quanto aiuta l'atleta a muoversi in modo più naturale ed efficiente.

4. Acquisizione di Capacità Motorie (facilitare l'apprendimento)

La musica è anche utilizzata per facilitare l'apprendimento motorio, in particolare negli sport che richiedono schemi di movimento complessi e una coordinazione elevata, come la danza, il nuoto sincronizzato o la ginnastica artistica. Il ritmo e la melodia di un brano aiutano l'atleta a memorizzare sequenze di movimenti, rendendo i gesti più fluidi e armoniosi.

Gli atleti che si allenano con la musica tendono a memorizzare le sequenze motorie più velocemente, integrando i movimenti con il ritmo della canzone e interiorizzando i tempi dei passaggi, che poi diventano quasi automatici.

5. Raggiungimento del Flusso (l'esperienza ottimale dell'atleta)

Lo stato di flusso è l'esperienza di totale immersione e concentrazione nell'attività, spesso descritto come un "momento perfetto", in cui l'atleta è completamente assorbito nella propria performance, sentendo una forte connessione tra mente e corpo.

La musica facilita l'ingresso in questo stato, creando le condizioni ideali per mantenere l'attenzione e ridurre le interferenze emotive o mentali. Quando un atleta raggiunge lo stato di flusso, riesce a mantenere un livello di prestazione ottimale, eliminando ansia e distrazioni.

Questo stato mentale è molto ricercato dagli sportivi, in quanto permette loro di sfruttare al massimo le proprie capacità e di sperimentare una sensazione di controllo e piacere durante la competizione o l'allenamento.

Influenza del ritmo musicale su umore e velocità nella corsa

Gli effetti che l'ascolto della musica può determinare sulle prestazioni sportive possono variare notevolmente in base al tipo di attività svolta, all'intensità dell'allenamento e alle preferenze personali.

Ad esempio, l'attività di resistenza, come la corsa, beneficia particolarmente della sincronizzazione e della dissociazione, poiché aiuta a mantenere un ritmo costante e a ridurre la percezione della fatica. Al contrario, gli sport ad alta intensità o intervalli, come il sollevamento pesi, rispondono meglio alla regolazione dell'eccitazione, che aumenta la motivazione e la potenza esplosiva.

Le preferenze musicali individuali sono altrettanto importanti: brani che evocano ricordi positivi o emozioni particolari intensificano gli effetti motivazionali e migliorano l'esperienza complessiva, potenziando gli stati emotivi e facilitando l'ingresso nello stato di flusso.

L'articolo condotto da Alfian Hidayat, Ananda Perwira Bakti, Noortje Anita Kumaat, Anindya Mar'atus Sholikhah nell'università Negeri Surabaya intitolato "differences in the influence of music rhythm on mood and average speed when exercise" analizza l'influenza della musica, in particolare il ritmo, sull'umore e sulle prestazioni di corsa. L'obiettivo principale dello studio è stato quello di comprendere come i diversi ritmi musicali (lento, medio e veloce) e su come questi influiscano sull'umore e sulla velocità media durante la corsa.

Obiettivi della Ricerca

La ricerca di Hidayat si propone di rispondere a domande chiave come:

Qual è l'impatto del ritmo musicale sull'umore durante la corsa?

Come influisce il ritmo della musica sulla velocità dei media dei corridoi?

L'ipotesi dei ricercatori è che ogni ritmo musicale abbia un'influenza diversa sull'umore e sulla velocità, con la musica lenta ipotizzata come più rilassante e la musica veloce come più energizzante, ma potenzialmente anche più stressante.

Metodologia

La ricerca ha utilizzato un approccio sperimentale con campioni di studenti di scuola superiore, scelti in quanto giovani e quindi particolarmente suscettibili a variazioni emotive legate agli stimoli esterni, come la musica. I partecipanti sono stati divisi casualmente in tre gruppi, ciascuno dei quali ha corso ascoltando un ritmo musicale diverso: lento, medio o veloce. Sono stati eseguiti un pre-test e un post-test sull'umore attraverso il POMS (Profile of Mood States), un questionario psicologico standardizzato per valutare lo stato emotivo, mentre la velocità media di corsa è stata misurata tramite l'applicazione Strava, che ha registrato le prestazioni durante la corsa.

Il campione complessivo comprendeva 30 studenti con età media di 16 anni. Questa selezione mirava a ottenere risultati rappresentativi di una fascia di età giovanile, in cui l'umore e la concentrazione possono essere facilmente influenzati da fattori esterni, tra cui la musica.

Risultati:

1. Effetto sulla variazione dell'umore

Dai dati raccolti tramite i questionari POMS, emerge che la musica con ritmo lento ha avuto un impatto significativamente positivo sull'umore dei partecipanti rispetto alla musica con ritmi medio e veloce:

Gruppo con musica lenta: ha mostrato un incremento medio dell'umore misurato con un punteggio di 168 nel post-test.

Gruppo con musica media: ha ottenuto un incremento più modesto con un punteggio medio di 154.

Gruppo con musica veloce: ha mostrato un miglioramento minimo, con un punteggio medio di 34.

Questi risultati suggeriscono che la musica lenta contribuisce maggiormente a uno stato di rilassamento e comfort, favorendo uno stato d'animo più positivo durante la corsa. La musica con ritmo medio, pur risultando stimolante, sembra avere un effetto inferiore rispetto alla musica lenta, mentre la musica veloce potrebbe persino creare un po' di tensione, influenzando negativamente sull'umore.

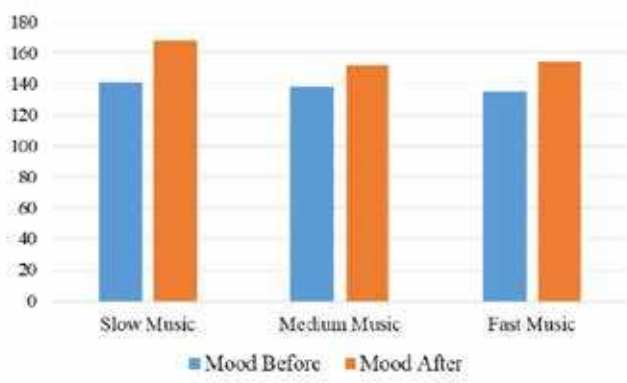


Fig.40: Diagramma dell'umore prima e dopo il trattamento

2. Effetto sulla velocità media di corsa

Per quanto riguarda la velocità, i risultati hanno mostrato una chiara differenza tra i gruppi:

Gruppo con musica lenta:

i partecipanti hanno raggiunto una velocità media di 11 km/h, la più alta tra tutti i gruppi.

Gruppo con musica media:

la velocità media è stata di 10 km/h, leggermente inferiore a quella del gruppo con musica lenta.

Gruppo con musica veloce: la velocità media si è ridotta ulteriormente a 8 km/h.

Questi dati indicano che la musica lenta, oltre a migliorare l'umore, è associata a una velocità media più elevata, forse perché induce un ritmo di corsa più costante e meno stressante rispetto alla musica più veloce. La musica veloce, pur essendo più dinamica e capace di dare una scarica di adrenalina iniziale, può portare un aumento della tensione muscolare e mentale, riducendo la sostenibilità di un'andatura veloce per periodi prolungati.

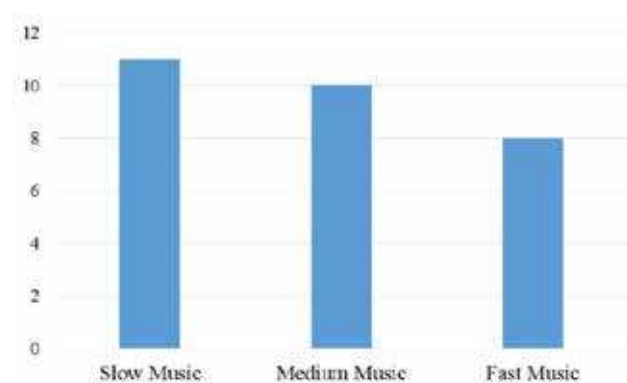


Fig.41: Diagramma della velocità media in base alla musica

Controllo motorio e apprendimento

Controllo motorio e apprendimento

Il controllo motorio è un processo che coinvolge la pianificazione, la coordinazione e l'esecuzione dei movimenti fisici. Quando si apprende una nuova abilità motoria, come quelle richieste nello sport o nella riabilitazione motoria, il processo di apprendimento si basa principalmente sulla percezione motoria e sulle rappresentazioni percettivo-motorie che emergono durante l'acquisizione delle abilità.

Tradizionalmente, la vista è il senso principale coinvolto in questo processo, come dimostrato dalla teoria dell'«apprendimento motorio osservativo», secondo cui osservare un movimento (ad esempio, quello di un allenatore o di un esperto) aiuta a comprendere come riprodurre un movimento simile.

Tuttavia, l'udito può giocare un ruolo altrettanto importante. Alcuni tipi di movimento, come il ritmo di un corridore o il battito di un nuotatore, sono più facilmente percepibili tramite l'udito che non tramite la vista.

Questo accade perché l'orecchio è in grado di discriminare meglio alcuni dettagli temporali, come la frequenza di un suono, rispetto agli occhi. Per esempio, è più facile per l'orecchio cogliere la precisione del ritmo di corsa o il movimento regolare di un nuotatore che non seguirne il movimento visivamente. Questo fenomeno è particolarmente evidente nella discriminazione temporale e nella percezione di sequenza di suoni che si susseguono in modo ritmico, che è qualcosa che l'occhio fatica a percepire con la stessa precisione.

L'uso dell'udito per integrare informazioni visive e sensoriali può migliorare la precisione con cui una persona percepisce i movimenti.

L'integrazione multisensoriale (vedere e sentire contemporaneamente) offre un vantaggio cognitivo, poiché il cervello riceve informazioni da più canali sensoriali e le integra, migliorando la capacità di apprendere e perfezionare un movimento. Inoltre, la ridondanza intersensoriale, ossia la sovrapposizione di informazioni provenienti da più sensi, rende la percezione dei movimenti più chiara e robusta, rendendo il processo di apprendimento motorio più efficace.

Diversi studi dimostrano infatti che gli stimoli multimodali influenzano più positivamente sulla precisione e affidabilità delle azioni rispetto a stimoli uni sensoriali.

I risultati delle ricerche comportamentali sono ulteriormente supportati da dati neurofisiologici, i quali mostrano che l'integrazione multisensoriale facilita l'apprendimento e il controllo dei movimenti.

Una delle applicazioni innovative è l'uso della sonificazione del movimento, che trasforma i parametri del movimento in feedback sonoro in tempo reale, ampliando così i canali percettivi disponibili per l'apprendimento motorio nello sport.

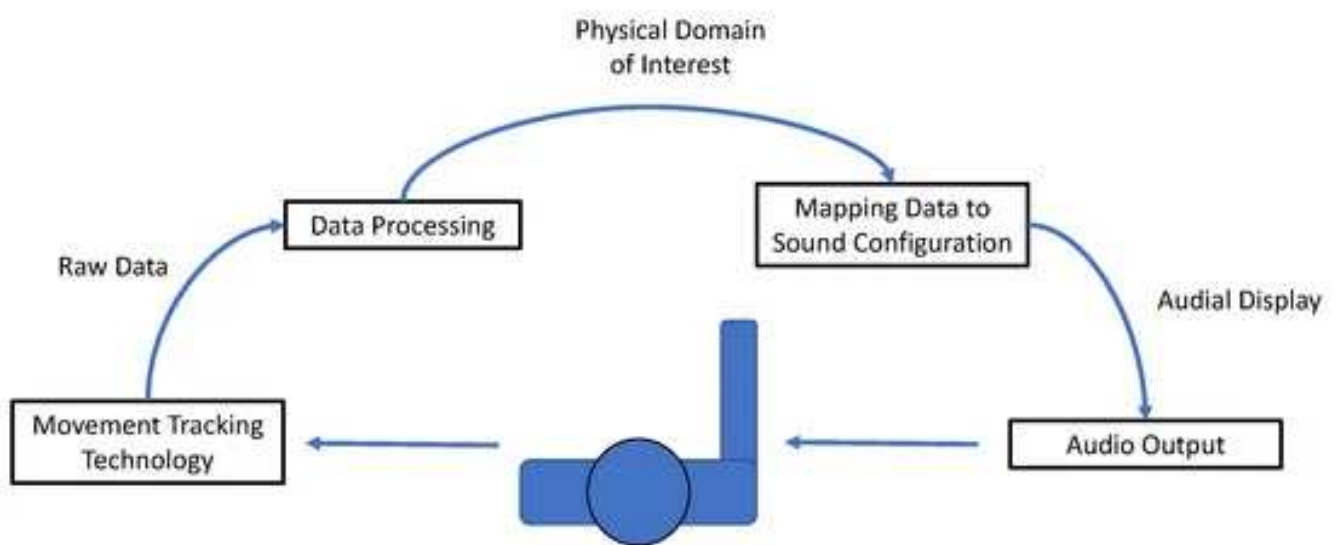


Fig.42: Esempio rudimentale di un sistema di sonificazione del movimento. Le fasi del sistema si verificano in sequenza, a partire dalla cattura del movimento eseguito, l'estrazione e l'elaborazione dei dati, la traduzione nel dominio uditivo e la riproduzione dell'audio come modalità di feedback all'esecutore del movimento.



La sonificazione del movimento

La sonificazione del movimento si riferisce alla trasformazione dei dati legati al movimento umano in suoni, un processo che consente agli individui di ricevere un feedback acustico immediato e dettagliato. Questo approccio rappresenta una nuova frontiera nel campo del controllo motorio e dell'apprendimento motorio, offrendo un'alternativa ai tradizionali feedback visivi. Mentre i metodi visivi forniscono informazioni su ciò che accade durante il movimento, la sonificazione aggiunge un elemento sonoro che può essere integrato efficacemente nel processo di apprendimento. Grazie alla sua natura intuitiva, il suono diventa uno strumento fondamentale per migliorare la consapevolezza del corpo e la capacità di autocorrezione.

L'idea alla base di questa tecnologia è che il suono possa trasmettere informazioni precise sulle caratteristiche del movimento, come velocità, traiettoria, forza, e precisione, creando un feedback in tempo reale che aiuta l'individuo a migliorare la qualità e l'efficacia del movimento. Invece di limitarsi a un monitoraggio visivo, il movimento viene trasformato in un'esperienza multisensoriale, che stimola non solo la vista, ma anche l'udito, coinvolgendo il soggetto in modo più profondo. Questo tipo di feedback sonoro consente di comprendere se il movimento soddisfa o meno i parametri richiesti, migliorando l'adattamento e la correzione del comportamento motorio.

L'utilizzo del feedback sonoro è particolarmente utile in ambiti come l'allenamento sportivo e la riabilitazione motoria, poiché offre numerosi vantaggi rispetto ai metodi tradizionali. Innanzitutto, la sonificazione è in grado di trasmettere informazioni temporali dettagliate che

consentono al soggetto di adattare il proprio movimento istantaneamente. Questo aiuta a perfezionare le prestazioni motorie, ma anche a correggere errori di postura o di esecuzione, in modo molto più rapido rispetto ai metodi visivi. Inoltre, la sonificazione permette una comprensione più profonda del movimento. Grazie al feedback acustico, l'individuo può percepire aspetti del movimento che potrebbero sfuggire all'analisi visiva, come la dinamica delle forze o l'equilibrio tra le diverse parti del corpo. Questo tipo di retroazione acustica è utile per chi sta imparando un nuovo movimento o per chi sta lavorando per migliorare la propria tecnica.

Sistemi di sonificazione del movimento

Uno degli esempi più avanzati di questa tecnologia è il MotionLab Sonify System, un sistema di sonificazione in tempo reale che cattura i movimenti umani e li converte in suoni. Questo sistema utilizza sia i parametri cinematografici (come posizione, velocità e accelerazione) che i parametri dinamici (come la forza e la potenza) per creare suoni che rappresentano direttamente la qualità del movimento. I dati raccolti vengono elaborati tramite algoritmi avanzati, tra cui quelli dinamici inversi, che permettono di generare un feedback sonoro che modula in tempo reale la frequenza e l'ampiezza del suono, a seconda delle caratteristiche specifiche del movimento in corso.

Questa sonificazione consente di visualizzare, in forma acustica, i pattern di movimento, come ad esempio la bracciata a rana nel nuoto, in cui le componenti orizzontali del movimento relativo del polso e della caviglia vengono tradotte in variazioni di frequenza e ampiezza del suono. Il

sistema fornisce una rappresentazione sonora delle fasi del movimento, permettendo all'utente di percepire le fasi corrette e correggere eventuali errori in tempo reale.

Ad esempio, nel caso della bracciata a rana nel nuoto, il MotionLab Sonify System consente di tradurre i movimenti del polso e della caviglia in variazioni sonore, creando un feedback che

aiuta l'atleta a perfezionare il proprio stile.

Ogni ciclo di movimento viene tradotto in suoni distintivi che riflettono la qualità e l'efficacia della bracciata. In tal modo, il nuotatore riceve un feedback in tempo reale che gli consente di correggere eventuali errori di sincronizzazione tra le braccia e le gambe, migliorando la prestazione complessiva.

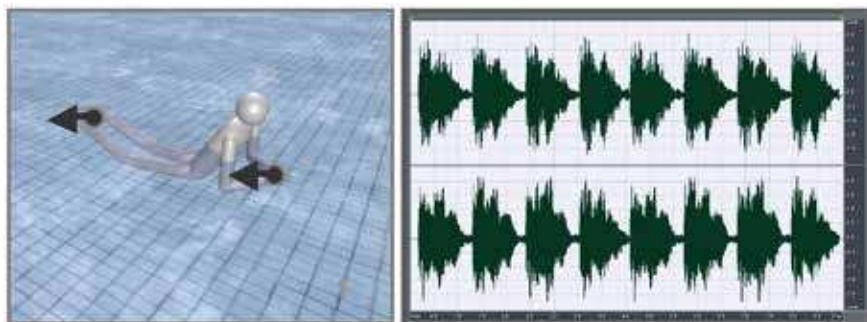


Fig.43: Stile a rana: componenti orizzontali del movimento relativo del polso e della caviglia (solo tratti). Vengono calcolati e utilizzati per modulare la frequenza e l'ampiezza del suono. Vengono mostrati 8 cicli in circa 9 secondi, il che indica un'elevata frequenza dei tratti.

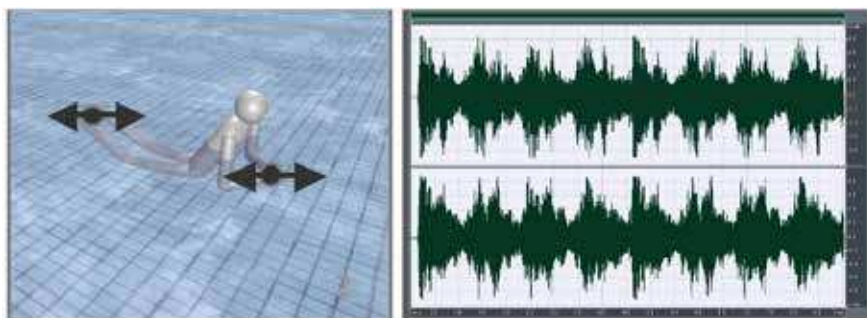


Fig.44: Stile a rana: Componenti orizzontali del movimento relativo del polso e della caviglia (cicli completi) modulando la frequenza e l'ampiezza del suono.

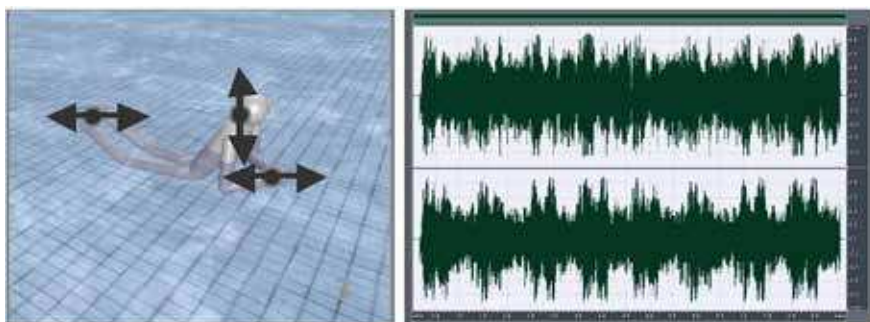


Fig.45: Stile a rana: Componenti orizzontali del movimento relativo del polso e della caviglia e componenti verticali. Nozione di movimento relativo della punta del collo.

Ruolo della sonificazione nell'apprendimento motorio

Anche gli autori Effenberg, Fehse, Schmitz, Krueger e Mechling nell'articolo " Movement Sonification: Effects on Motor Learning beyond Rhythmic Adjustments " evidenziano come questo feedback sonoro possa migliorare in modo significativo l'apprendimento motorio, specialmente in attività complesse che richiedono precisione e controllo fine. La loro ricerca mostra che il feedback acustico non è semplicemente un accompagnamento ritmico, ma fornisce dettagli specifici e continui sul movimento, permettendo al soggetto di autoregolarsi e correggersi senza necessità di ulteriori interventi da parte dell'istruttore o del coach. Questo aspetto rende la sonificazione una tecnica particolarmente utile sia per atleti esperti che per principianti, così come per individui che necessitano di riabilitazione motoria.

L'obiettivo centrale dell'articolo è capire se e come la sonificazione possa influire sull'apprendimento motorio in modi più profondi rispetto a una regolazione del ritmo .

Per testare questa ipotesi, il team di ricerca ha condotto esperimenti strutturati coinvolgendo partecipanti impegnati in attività motorie specifiche. I partecipanti sono stati divisi in gruppi , alcuni dei quali hanno ricevuto un feedback acustico generato in tempo reale sulla base dei loro movimenti, mentre altri hanno svolto gli stessi compiti senza alcun feedback sonoro. Le principali variabili analizzate includevano: Precisione del movimento; Velocità di esecuzione; Fluidità e continuità del movimento; Adattabilità e coordinazione nell'esecuzione di schemi motori complessi.

Benefici della Sonificazione nel Processo di Apprendimento Motorio

I risultati emersi indicano che i partecipanti che hanno ricevuto feedback acustico in tempo reale hanno mostrato miglioramenti significativi sulla consapevolezza del movimento rispetto a quelli che non hanno avuto accesso alla sonificazione. Alcuni dei miglioramenti specifici osservati sono descritti nei seguenti punti:

Miglioramento della Consapevolezza del Movimento e della Precisione

La sonificazione trasforma ogni movimento in un'esperienza sonora "visibile" in tempo reale, amplificando la percezione delle caratteristiche del movimento come velocità, traiettoria e accuratezza. Questo tipo di feedback aumenta la consapevolezza della qualità della propria prestazione, consentendo ai soggetti di identificare errori o irregolarità in modo intuitivo e rapido. I dati dello studio dimostrano che i partecipanti hanno mostrato un aumento significativo della precisione dei movimenti quando ricevevano feedback sonoro, rendendo i gesti più accurati e vicini agli obiettivi prefissati.

Facilitazione dell'Autocorrezione e della Capacità di Adattamento

Il feedback acustico particolarmente in tempo reale è utile per l'autocorrezione, poiché ogni variazione sonora (in termini di frequenza, intensità o tono) segnala immediatamente eventuali deviazioni rispetto al movimento corretto. Questo permette di apportare correzioni rapide e intuitive durante l'esecuzione del movimento, senza la necessità di interventi esterni. I partecipanti sono stati in grado di adattare i loro movimenti in modo più efficace grazie alla soni-

ficazione, dimostrando una maggiore capacità di autocorrezione che ha migliorato la qualità e la fluidità dei movimenti.

Supporto alla memorizzazione motoria e all'apprendimento duraturo

Uno dei benefici più rilevanti della sonificazione è il supporto che offre nella memorizzazione dei modelli motori. Il suono associato a movimenti specifici funge da ancoraggio mentale, facilitando la ripetizione del movimento stesso anche quando il feedback acustico non è disponibile. Lo studio ha evidenziato che i partecipanti che hanno utilizzato la sonificazione hanno mantenuto un miglioramento nelle abilità motorie anche dopo periodi prolungati senza feedback, indicando che la sonificazione contribuisce a un apprendimento più stabile e duraturo.

Miglioramento della fluidità del movimento e sviluppo di schemi motori complessi

Il feedback sonoro aiuta a mantenere una sequenza di movimenti più fluida e continua, suggerendo che la sonificazione può promuovere una maggiore coordinazione e sincronia tra i diversi componenti del movimento. Questo è particolarmente vantaggioso per l'apprendimento di movimenti complessi che richiedono precisione e fluidità, come il lancio di una palla o una sequenza coreografica. La sonificazione fornisce informazioni essenziali su ritmo, forza e direzione, facilitando la sincronizzazione dei vari aspetti del movimento e portando a una performance motoria meno frammentata.

Adattabilità della sonificazione ai bisogni individuali

Un aspetto innovativo della sonificazione è la sua flessibilità e adattabilità alle esigenze spe-

cifiche di ogni individuo. Il feedback sonoro può essere personalizzato per enfatizzare determinati aspetti del movimento al secondo livello di abilità del soggetto. Per un principiante, ad esempio, potrebbe essere utile un feedback semplice e immediato, mentre un atleta esperto potrebbe beneficiare di un feedback più complesso che sottolinea dettagli più avanzati della tecnica. Questa personalizzazione rende la sonificazione applicabile in contesti diversi, come lo sport di alto livello, la riabilitazione e l'apprendimento motorio per principianti.

Principi di sonificazione per il movimento

La sonificazione utilizza le caratteristiche del movimento, come la forza o l'accelerazione, per generare suoni corrispondenti. Questi suoni, mappati accuratamente al movimento, possono trasmettere informazioni su vari aspetti dell'azione, come ritmo, intensità e durata. Due categorie principali di suoni vengono considerate:

Suoni legati ai materiali: Il tipo di suono prodotto può variare in base ai materiali in gioco (come il rumore di una pallina di tennis rispetto a quello di una pallina da ping-pong).

Suoni legati alla cinematica del movimento: parametri come l'ampiezza o la durata del suono sono collegati alla velocità o alla forza del movimento.

Effetti della sonificazione su percezione e azione

L'articolo di Alfred O. Effenberg "Movement Sonification: Effects on Perception and Action" esplora il concetto di sonificazione interattiva. Questo approccio si basa sull'idea che i suoni, se opportunamente abbinati a specifiche azioni motorie, possono fungere da ulteriore canale di feedback sensoriale, arricchendo la percezione di chi compie il movimento e favorendo un apprendimento più efficace. In attività moto-

rie dove i suoni naturali sono meno presenti o assenti, la sonificazione può "aggiungere" un feedback acustico anche per quelle fasi di movimento che altrimenti sarebbero silenziose. La sonificazione si propone dunque di integrare suoni creati artificialmente per rendere udibili le caratteristiche dinamiche del movimento e migliorare la comprensione dei dettagli sottili del controllo motorio

Esperimento sulla sonificazione dei movimenti

L'esperimento condotto presso l'Università di Bonn mirava a testare se la sonificazione, unita a un feedback visivo, poteva migliorare la precisione percettiva e la capacità di riproduzione di movimenti complessi, come i salti contro-movimento (CMJ), rispetto a situazioni con solo feedback visivo o solo sonoro.

L'esperimento si è articolato in due fasi:

Valutazione del movimento: I partecipanti dovevano stimare l'altezza di due salti consecutivi.
Riproduzione del movimento: i partecipanti dovevano riprodurre l'altezza di un salto appena osservato.

In entrambe le fasi, sono stati usati tre diversi tipi di feedback:

Condizione visiva (VT): **Proiezione video del salto senza suoni aggiuntivi.**

Condizione audiovisiva (AVT): **Proiezione video accompagnata da una sonificazione del movimento.**

Condizione uditiva (AT): **Solo la sonificazione del movimento, senza il video.**

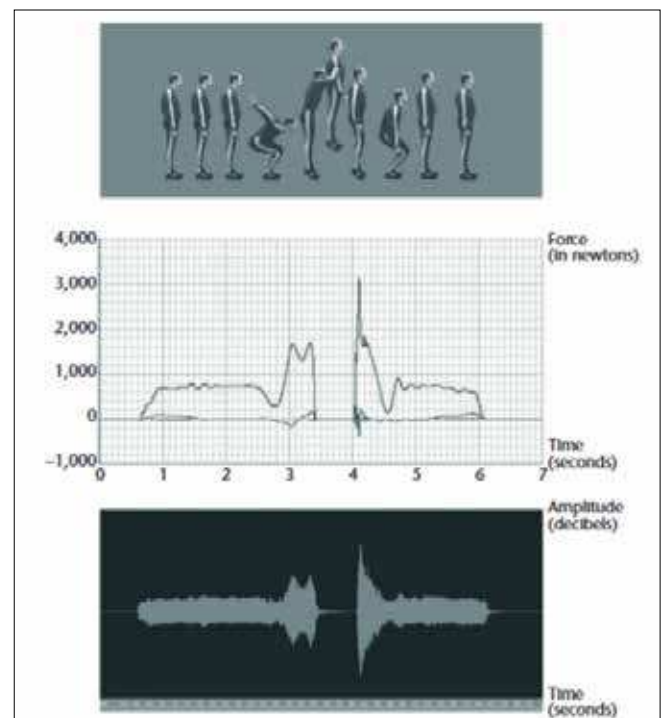


Fig 46: La Figura mostra una sonificazione di un CMJ eseguito su una piastra di forza Kistler. Le piastre di forza contengono sensori al quarzo che registrano le variazioni di forza riguardo al movimento. Sono stati mappati i componenti verticali della forza di reazione al suolo all'ampiezza e alla frequenza del suono. Il peso dell'atleta era di circa 790 N. Il livello di picco del componente verticale della forza di reazione al suolo ha raggiunto circa 3.200 N. Il parametro ha attivato e modulato l'ampiezza e la frequenza di un suono elettronico in tempo reale.

Metodologia

Secondo le prove empiriche sulla dissociazione del flusso percettivo, erano necessarie due diverse indagini: valutazione del movimento e riproduzione del movimento.

Nel primo esperimento, quaranta studenti (22 uomini e 18 donne di età compresa tra 20 e 34 anni) sono stati posizionati davanti a uno schermo e due altoparlanti per osservare salti di altezze diverse eseguiti da un atleta su una pedana di forza. Il suono è stato emesso da due monitor audio posizionati accanto alla proiezione video in simmetria rispetto agli assi ottici. Ogni soggetto è stato sottoposto a tutti e tre i trattamenti precedentemente descritti. L'ordine dei trattamenti è stato randomizzato e ogni sessione sono state incluse 24 prove. Tutti i soggetti hanno ascoltato le sonificazioni del movimento per la prima volta. Gli studenti avevano lo scopo di valutare la differenza di altezza tra due salti consecutivi.

Nel secondo esperimento, sono stati selezionati 40 studenti maschi di età compresa tra 20 e 33 anni, che hanno osservato su video singoli salti di altezze differenti e dovevano poi eseguire un salto per replicare l'altezza vista. I salti presentati rientravano in un intervallo dal 60 al 90 per cento del livello massimo individuale di ciascun soggetto, precedentemente misurato attraverso l'uso di una pedana di forza. Le condizioni di feedback audiovisivo e visivo venivano applicate in alternativa, e l'ordine di presentazione era casuale per ogni partecipante. Ogni trattamento includeva 20 prove.



Fig 47: Nella prima indagine i soggetti erano seduti di fronte a un tavolo. Viene effettuata una proiezione visiva, uditiva e audiovisiva e deve essere stimata la differenza di altezza di due salti consecutivi.

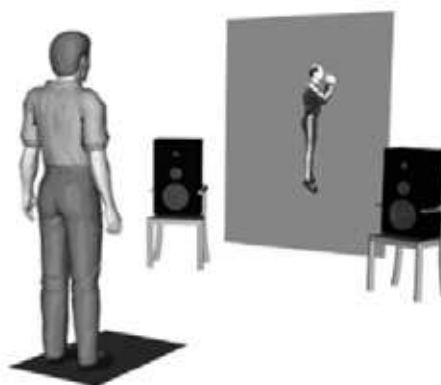


Fig 48: Nella seconda indagine, i soggetti sono di fronte alla proiezione e gli è stato chiesto di riprodurre le altezze di diversi salti. I loro salti sono stati misurati con una pedana di forza Kistler. I trattamenti sono stati ridotti a condizioni visive, audiovisive ed esclusivamente uditive.

Risultati degli esperimenti

L'analisi statistica dei risultati ha mostrato che:

Nel primo esperimento si rivela che ulteriori informazioni uditive convergenti possono migliorare l'accuratezza della percezione per movimenti sportivi complessi.

Il secondo esperimento dimostra che ulteriori informazioni uditive convergenti possono anche migliorare l'accuratezza della riproduzione dei movimenti sportivi rispetto alla condizione visiva.

Nella valutazione del movimento infatti, la precisione dei partecipanti è stata maggiore nella condizione audiovisiva rispetto alle altre. L'errore assoluto medio (AE) è stato di 3,48 cm con feedback audiovisivo, rispetto a 4,41 cm e 4,70 cm rispettivamente per le condizioni visive e uditive. L'uso di suoni convergenti (cioè

sincronizzati con il video) ha quindi migliorato la capacità dei partecipanti di percepire accuratamente le altezze.

Nella riproduzione del movimento, l'errore assoluto medio è stato di 2,54 cm nella condizione audiovisiva, mentre nella condizione solo visiva è stato di 3,17 cm. Anche in questo caso, il feedback audiovisivo ha permesso una riproduzione più accurata dell'altezza dei sali osservati.

I risultati suggeriscono che il feedback audiovisivo, comprendente una sonificazione accuratamente mappata ai parametri di movimento, migliora sia la percezione che la riproduzione di movimenti complessi. È inoltre emerso che la sonificazione interattiva sembra attivare non solo processi cognitivi consci, ma anche meccanismi percettivi inconsci, che potrebbero contribuire al miglioramento del controllo motorio.

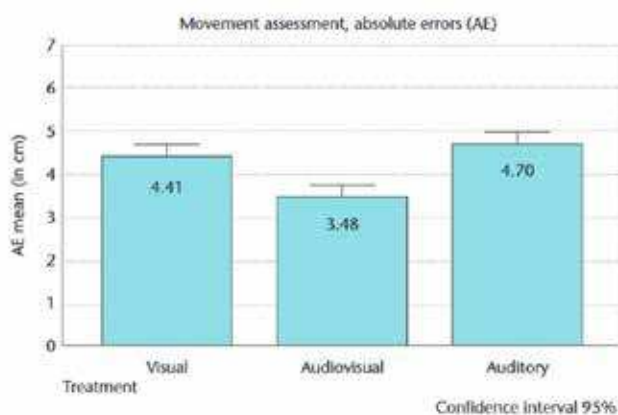


Fig 49: Valutazione del movimento, errore assoluto (AE) per i trattamenti nell'parte visiva, audiovisiva e uditiva.

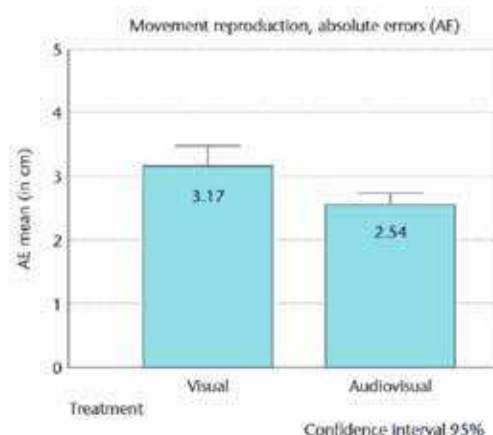


Fig 50: Errore assoluto (AE) per il trattamento visivo e audiovisivo sulla riproduzione del movimento.

Sonificazione interattiva del movimento nello squat

Lo squat a corpo libero è un movimento accessibile, versatile ed efficace, fondamentale per le comuni attività quotidiane come stare in piedi, sedersi e sollevare pesi. Tuttavia, molte persone hanno difficoltà a capire come eseguire correttamente questo movimento. È stato dimostrato che l'allenamento con il peso corporeo migliora la forza, la potenza e la resistenza in molti gruppi demografici. Gli esercizi con il peso corporeo non sono solo utili per mantenere un corpo sano, ma servono anche a rafforzare e preparare il nostro corpo alle attività della vita quotidiana come stare seduti, in piedi e sollevare pesi. L'incapacità di eseguire questi movimenti può essere un indicatore iniziale di problemi più grandi come il disallineamento di articolazioni e muscoli. Gli esercizi con il peso corporeo offrono agli utenti un modo conveniente per allenarsi al di fuori di una palestra. In particolare, lo squat a corpo libero è parte integrante di molti movimenti atletici ed è un esercizio fondamentale per rafforzare i muscoli della parte inferiore del corpo. Sebbene lo squat sia un movimento fondamentale per le attività della vita quotidiana, molti individui non hanno conoscenze sulla forma corretta dello squat, il che può portare a un'esecuzione del movimento non ottimale in assenza di un allenatore o di un trainer.

I recenti progressi nelle tecnologie di rilevamento hanno utilizzato paradigmi interattivi progettati per incoraggiare l'attività fisica e il fitness attraverso trainer automatizzati e sistemi di guida che riducono la necessità di un monitoraggio costante. Varie tecniche di acquisizione dati, come unità di misura inerziale (IMU) e dispositivi di tracciamento ottico, sono stati utilizzati per catturare dati di movimento e fornire feedback in tempo reale su descrittori di movi-

mento rilevanti per l'attività attraverso modalità tattili, visive e uditive. Newbold ha utilizzato cadenze musicali per incoraggiare i partecipanti a superare il punto di flessione target del ginocchio, mostrando che il suono può fungere da incentivo o correttore, a seconda delle condizioni. Parallelamente, Hale et al. hanno progettato un sistema che combina feedback simultaneo (durante il movimento) e feedback terminale (a fine esercizio), migliorando significativamente la precisione della flessione del ginocchio e la posizione del centro di pressione. Questo sistema, basato su segnali acustici e suoni riepilogativi, ha evidenziato come il feedback uditivo possa allenare contemporaneamente più parametri. Il feedback simultaneo si è rivelato particolarmente utile per correggere immediatamente gli errori, prevenendo danni articolari dovuti a ripetizioni scorrette. Inoltre, le tecnologie di sonificazione sono state affiancate da approcci visivi come interfacce grafiche basate su Kinect o sistemi di cattura del movimento, che hanno mostrato benefici nella traiettoria del movimento e nella coerenza muscolare.

L'obiettivo dell'articolo analizzato "a real-time movement sonification application for bodyweight squat Training" è quello di integrare sistemi che forniscono un feedback sonoro contestuale e sequenziale, adattandosi alle diverse fasi dello squat e rendendo l'allenamento più inclusivo e sicuro per principianti, anziani e persone con disabilità visiva. Attraverso due iterazioni, il lavoro ha raffinato l'uso della sonificazione, passando da una valutazione preliminare delle mappature sonore a una loro estensione per includere parametri aggiuntivi come l'allineamento del ginocchio, lo spostamento del peso e il posizionamento dei piedi.

Iterazione 1

Il primo obiettivo era quello di progettare e valutare schemi di mappatura per rappresentare la flessione del ginocchio durante lo squat. La prima fase del progetto si è focalizzata sulla progettazione di cinque mappature sonore, realizzate utilizzando modelli fisici creati nel linguaggio Faust. Le mappature rappresentavano la flessione del ginocchio modulando diverse caratteristiche sonore:

Whistling Bottles: Il suono del fischio imitava la distanza dell'utente dal bersaglio attraverso il volume del riverbero.

Modulated Sine Wave: La frequenza dell'onda aumenta o diminuisce in base alla flessione del ginocchio.

Conch Trumpet: L'intensità del suono aumentava avvicinandosi al target e diminuiva in posizione eretta.

Wooden Keyboard: Le note della tastiera aumentano o diminuiscono per enfatizzare la discesa e la risalita nello squat.

Tuned Bars: Il ritmo diventava più lento o veloce in base all'angolo del ginocchio.

Elementi tecnici

Per catturare i movimenti corporei, è stata utilizzata una telecamera Kinect collegata a un PC tramite USB-C, in grado di tracciare 32 giunti con un frame-rate di 30 fps. L'interfaccia dell'applicazione è stata sviluppata su Unity3D, con feedback sonoro sincronizzato al movimento.

Valutazione e risultati

La valutazione ha coinvolto quattro partecipanti esperti nella musica ed elaborazione del suono. Durante l'esperimento, i partecipanti hanno eseguito squat ascoltando ogni mappatura sonora e rispondendo a un questionario che valutava tre dimensioni principali: attrazione estetica, informatività del feedback e tolleranza all'ascolto prolungato.

La Wooden Keyboard è stata preferita per estetica e ascolto prolungato, ma giudicata poco informativa.

La Modulated sine wave è stata considerata molto informativa ma stressante.

Conch Trumpet è stata apprezzata per la sua combinazione di piacevolezza e chiarezza del feedback.

Whistling Bottles e le barre accordate sono risultate meno intuitive.

Sulla base dei risultati, si è deciso di adottare la Conch Trumpet per la fase successiva, grazie al suo equilibrio tra estetica e funzionalità. Tuttavia, è stato riconosciuto che l'assenza di randomizzazione delle mappature durante il test potrebbe influenzare i risultati.

Fig 51:
Risposte dei partecipanti al questionario
dell'iterazione 1

Participant No.	Q1: Preference	Q2: Informative	Q3: Extended Listening
1	Whistling Bottles	Sine Wave	Whistling Bottles
2	Conch Trumpet	Conch Trumpet	Conch Trumpet
3	Wooden Keyboard	Sine Wave	Wooden Keyboard
4	Wooden Keyboard	Conch Trumpet	Wooden Keyboard

Fig 52:
Diagramma del flusso del segnale per
l'applicazione squat trainer.

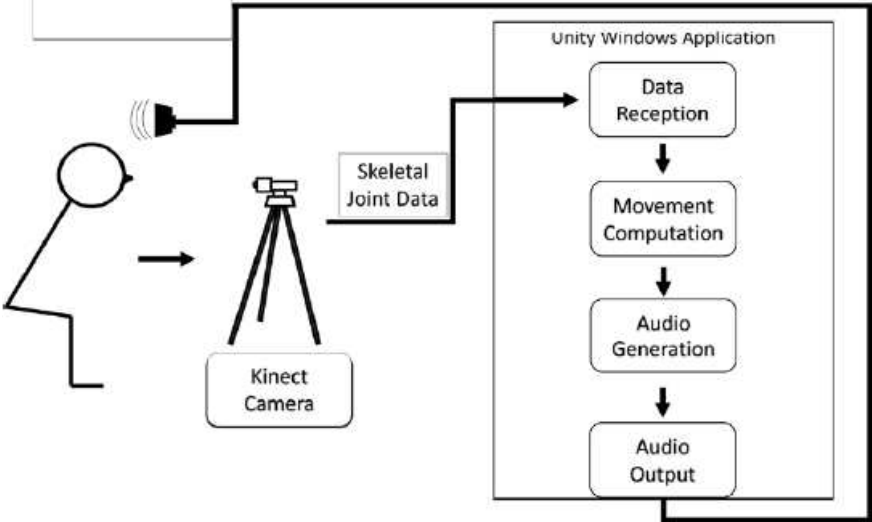
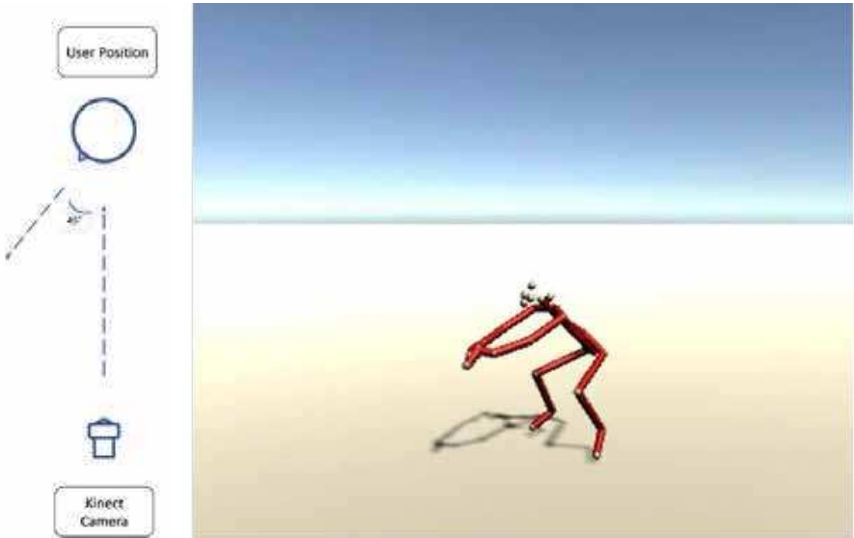


Fig 53:
Posizione dell'utente durante la valuta-
zione dell'applicazione.
- Vista dall'alto della telecamera e della
posizione dell'utente.
-Visuale dell'utente dal punto di vista
della telecamera.



Iterazione 2

Nella seconda iterazione, il progetto è stato ampliato per includere ulteriori caratteristiche dello squat. Il sistema di sonificazione è stato integrato con istruzioni verbali automatizzate per fornire un feedback in tempo reale e migliorare la tecnica complessiva dell'utente. Un'innovazione importante è stata l'introduzione di una fase di calibrazione personalizzata, in cui l'intervallo di movimento ottimale del ginocchio è stato determinato con l'assistenza di un fisioterapista o di un trainer. Durante l'esecuzione dello squat, il feedback uditivo e verbale guidava l'utente nel rispettare i quattro requisiti fondamentali:

- Corretta posizione dei piedi.
- Flessione del ginocchio nell'intervallo target.
- Allineamento corretto tra ginocchio e piede.
- Distribuzione uniforme del peso.

L'obiettivo era creare un movimento fluido e uniforme, evitando l'urgenza o lo stress indotto dai suoni ad alta frequenza, come osservato nell'onda sinusoidale. Il Conch Trumpet, già preferito nella prima iterazione, si è rivelato particolarmente adatto per stimolare movimenti regolari, grazie alla sua intensità crescente in fase di discesa e decrescente in posizione eretta. Quattro partecipanti maschi hanno fornito feedback sull'usabilità dell'applicazione. Tutti i partecipanti avevano un background in elaborazione di suoni e musica. Ogni partecipante ha completato una fase iniziale di calibrazione per adattare il sistema alle proprie caratteristiche fisiche, dopodiché ha testato l'interfaccia eseguendo il movimento dello squat seguendo le indicazioni sonore. Al termine, i partecipanti hanno valutato il sistema tramite il questionario SUS, che includeva anche due domande extra

focalizzate sull'informatività del feedback e sulla sua tollerabilità per un ascolto prolungato. Il sistema ha ottenuto un punteggio SUS medio di 78,75, indicativo di una buona usabilità. Tuttavia, alcune aree hanno evidenziato margini di miglioramento. In particolare, i partecipanti hanno mostrato qualche riserva nell'uso frequente del sistema (SUS1) e sulla sicurezza percepita nell'utilizzo (SUS9). Questo suggerisce che, sebbene il sistema sia funzionale e ben progettato, potrebbe beneficiare di ulteriori accorgimenti per rendere l'esperienza più coinvolgente. L'introduzione di elementi di gamification potrebbe rappresentare una soluzione utile per aumentare il desiderio di utilizzo e il coinvolgimento dell'utente, migliorando così la percezione generale.

La valutazione ha confermato che il sistema fornisce feedback sonori informativi e facili da comprendere, inoltre riesce a sostenere gli utenti per eseguire lo squat con maggiore consapevolezza. Questo approccio è stato apprezzato per la sua capacità di rendere l'apprendimento del movimento più naturale, consentendo agli utenti di sviluppare una maggiore connessione con l'attività fisica. Questo lavoro rappresenta un passo innovativo nell'uso della sonificazione per migliorare l'apprendimento del movimento. Grazie al suo feedback sonoro simultaneo e sequenziale, l'applicazione consente agli utenti di eseguire gli squat in modo più sicuro e consapevole, eliminando le distrazioni derivanti dall'uso di feedback visivi. Sebbene ci siano margini di miglioramento, i risultati ottenuti sono promettenti e suggeriscono che il sistema possa essere una base solida per sviluppi futuri nell'allenamento fisico e nella riabilitazione.

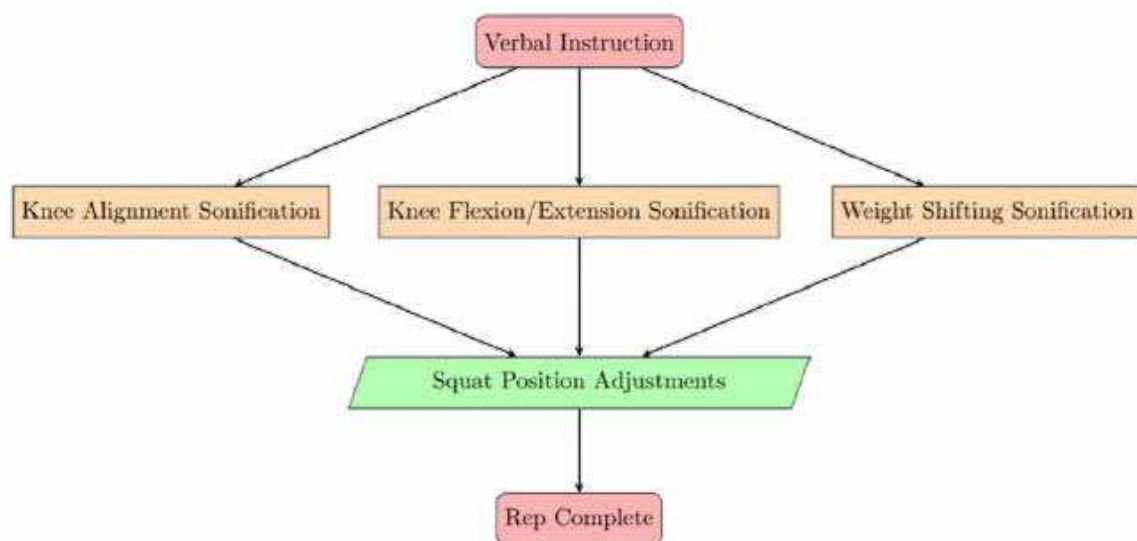


Fig. 54: Rappresentazione grafica del diagramma di flusso delle aggiunte di sonificazione durante le ripetizioni dopo il raggiungimento della distanza target del piede. 1: viene attivata la sonificazione della flessione/estensione dello squat, 2: viene attivata la sonificazione dell'allineamento del ginocchio e 3: Viene attivata la sonificazione con spostamento del peso.

Participant No.	SUS1	SUS2	SUS3	SUS4	SUS5	SUS6	SUS7	SUS8	SUS9	SUS10	SUS, Grade
1	4	1	5	3	4	2	5	1	5	2	85, A
2	3	1	3	4	5	1	3	2	2	3	62.5, D
3	4	2	4	1	4	2	3	2	3	2	72.5, B
4	4	1	5	1	5	1	5	1	4	1	95, A
Mean Ratings	3.75	1.25	4.25	2.25	4.5	1.5	4	1.5	3.5	2	78.75, B

Fig. 55: Valutazioni individuali dei partecipanti al questionario SUS. Il questionario SUS includeva 10 elementi. Il SUS alterna affermazioni positive dispari, per le quali è auspicabile un punteggio alto, e affermazioni negative pari, per le quali è auspicabile un punteggio basso, valutate su una scala Likert da 1 (fortemente in disaccordo) a 5 (fortemente d'accordo). SUS1: Penso che mi piacerebbe usare questo sistema frequentemente; SUS2: Ho trovato il sistema inutilmente complesso; SUS3: Ho pensato che il sistema fosse facile da usare; SUS4: Penso che avrei bisogno del supporto di una persona tecnica per poter usare questo sistema; SUS5: Ho trovato le varie funzioni in questo sistema ben integrate; SUS6: Ho pensato che ci fosse troppa incoerenza in questo sistema; SUS7: Immagino che la maggior parte delle persone imparerebbe a usare questo sistema molto rapidamente; SUS8: Ho trovato il sistema molto macchinoso da usare; SUS9: Mi sentivo molto sicuro nell'usare il sistema; SUS10: Ho dovuto imparare molte cose prima di poter iniziare a usare questo sistema. La codifica a colori corrisponde alla valenza delle affermazioni nel questionario: positivo (verde) e negativo (rosso).

Asimmetria durante la corsa

L'articolo "a real-time embodied sonification model to convey temporal. Asymmetry during running" approfondisce un tema centrale per molti corridori: l'asimmetria nell'andatura e il suo impatto sulla performance e sul dispendio energetico. Nonostante si presuma che una corsa ideale sia simmetrica, anche gli atleti senza problemi fisici mostrano delle differenze tra la gamba sinistra e la destra durante il movimento. Questa asimmetria, in particolare nel tempo di contatto con il suolo, non è solo naturale ma può aumentare la fatica e influire negativamente sul dispendio energetico della corsa dell'atleta. Ad esempio, uno squilibrio del 10% nei tempi di contatto può portare a un aumento del 7,8% della potenza metabolica richiesta, un dato significativo per chi si allena o gareggia.

Attualmente, i dispositivi indossabili per i runner, come i modelli Garmin, possono monitorare molte variabili biomeccaniche, incluso l'equilibrio tra i tempi di contatto delle gambe. Tuttavia, questi strumenti presentano un limite evidente: forniscono feedback visivi che richiedono al corridoio di guardare uno schermo. Questo non solo distoglie l'attenzione dall'attività fisica, ma risulta anche poco pratico durante il movimento, dato che il corridoio dovrebbe interrompere il naturale oscillare delle braccia per controllare i dati.

Il lavoro presentato da Thomas Albert Rushton e Prithvi Ravi Kantan propone una soluzione innovativa: utilizzare il feedback uditivo per comunicare in tempo reale le informazioni relative all'asimmetria dell'andatura.

Gli autori hanno sviluppato un sistema che combina un sensore inerziale (IMU) posizionato sul corpo del corridoio con un algoritmo capace di rilevare eventi chiave dell'andatura, come il momento di appoggio e stacco del piede. Questi dati vengono poi utilizzati per calcolare l'asimmetria e trasformati in suoni intuitivi che il runner può percepire e interpretare in tempo reale. Ad esempio, le differenze nei tempi di contatto tra il piede sinistro e il destro potrebbero essere rappresentate da variazioni nel tono o nel ritmo dei suoni, creando un feedback immediato e facile da comprendere.

Per testare il sistema, è stato coinvolto un corridoio esperto che ha corso su un tapis roulant a diverse velocità e in due modalità: con un'andatura normale e con un'andatura volutamente asimmetrica. Durante queste sessioni, i dati sono stati raccolti tramite sensori IMU posizionati sul torace e sulle gambe. Le informazioni registrate hanno confermato la capacità del sistema di rilevare con precisione le variazioni nell'andatura e di tradurle nei segnali sonori significativi.

Questo sistema di feedback sonoro rappresenta una novità importante per il mondo della corsa. Non solo potrebbe aiutare i corridori a migliorare la propria "economia" di corsa, ma potrebbe anche contribuire alla prevenzione degli infortuni, monitorando e correggendo squilibri che altrimenti passerebbero inosservati. Inoltre, la combinazione di tecnologia indossabile e sonificazione apre la strada a un nuovo modo di allenarsi, in cui il corridoio può ricevere informazioni dettagliate senza interrompere il proprio ritmo e concentrazione.

Running Type	Speed (km/h)	Steps Recorded	Mean Error (s)	95% CI (s)
Natural	7.5	146	-0.0084	[-0.0089, -0.0078]
Natural	10	160	-0.0015	[-0.0020, -0.0009]
Natural	12.5	180	0.0053	[0.0046, 0.0060]
Natural	15	192	0.0121	[0.0114, 0.0129]
Asymmetric	7.5	149	-0.0045	[-0.0057, -0.0032]
Asymmetric	10	154	-0.0008	[-0.0020, 0.0004]

Fig. 56: Concordeza tra i tempi dell'impatto del piede registrati sull'IMU montata sul tronco e su IMU montate sui tibiali. L'Errore medio è la differenza media tra il tempo di appoggio del piede registrato a livello del polpaccio come picco di accelerazione antero-posteriore e il tempo di appoggio del piede registrato a livello del tronco.

Il cuore della ricerca è lo sviluppo di un algoritmo per analizzare i movimenti dei corridoi utilizzando i sensori IMU (Unità di Misurazione Inerziale). Questo sistema identifica eventi fondamentali dell'andatura come il momento in cui il piede lascia il suolo (toe-off) o tocca il suolo (foot-strike). Gli sviluppatori hanno sfruttato i dati video sincronizzati con i dati IMU per progettare l'algoritmo, garantendo che i rilevamenti fossero precisi e basati su un oggetto di riferimento. L'algoritmo si concentra principalmente sull'analisi dell'accelerazione verticale (asse Y), che rappresenta la direzione più influenzata dal movimento del corridore. Attraverso una serie di passaggi matematici, si estraggono picchi significativi nei dati. Questi rappresentano i momenti cruciali del passo. Una volta identificati, questi eventi vengono utilizzati per calcolare parametri importanti come:

La cadenza: ovvero il numero di passi al minuto, un indicatore fondamentale per il ritmo del corridoio.

Il tempo di contatto con il suolo (GCT): quanto tempo il piede rimane in contatto con il terreno,

una misura legata all'efficienza del movimento e al rischio di infortuni.

Simmetria: calcolata confrontando i tempi di contatto dei due piedi, permette di capire se il corridoio tende a privilegiare un lato rispetto all'altro.

Un altro aspetto cruciale è stato capire quale piede fosse coinvolto nei vari momenti dell'andatura. Questa informazione è stata ricavata osservando la torsione del busto tramite il sensore giroscopico, che rileva i movimenti di imbardata (rotazione attorno all'asse verticale). Filtrando i dati per ridurre il rumore, è stato possibile identificare in modo affidabile la polarità del passo: segnale positivo per il piede sinistro, negativo per il destro.

Per assicurarsi che il metodo fosse preciso, i ricercatori lo hanno confrontato con misurazioni prese direttamente sulla tibia, una tecnica consolidata in letteratura. I risultati hanno dimostrato che l'algoritmo era accurato entro 20 millisecondi, un livello di precisione più adeguato per l'applicazione pratica.

La **sonificazione** è stata progettata per sincronizzarsi con il passo del corridoio. Ad ogni stacco (momento in cui il piede lascia il suolo) viene generato un suono che riflette informazioni chiave:

La **cadenza**: è rappresentata dalla frequenza del suono. Più è veloce il ritmo di corsa, più alto è il tono del suono. Questo utilizza una metafora intuitiva: velocità del passo = altezza del suono.

L'**asimmetria**: viene evidenziata attraverso modifiche al timbro del suono. Se i due piedi hanno un tempo di contatto con il suolo molto diverso, il suono diventa più ruvido o rumoroso, segnalando la necessità di un aggiustamento.

La **direzione dello squilibrio**: è mappata nello spazio stereo. Se il piede destro domina, il suono si sposta a destra, e viceversa.

Per rendere il sistema ancora più espressivo, sono stati introdotti effetti sonori aggiuntivi:

- Quando l'asimmetria supera una certa soglia, vengono applicati effetti come il riverbero, per far percepire il grado di errore.
- La sonificazione utilizza la modulazione di frequenza (FM), una tecnica versatile che permette di creare timbri ricchi e adattabili in tempo reale.

L'applicazione permette di regolare diversi parametri sonori durante l'allenamento come le soglie di asimmetria, la durata e l'intensità dei suoni, per bilanciare il feedback immediato e aggregato (cioè basato su più passi).

Il sistema è stato implementato in un'applicazione autonoma sviluppata in C++, utilizzando il framework audio JUCE. Questa piattaforma non solo esegue la sonificazione in tempo reale, ma permette anche di:

- Analizzare dati preregistrati.
- Visualizzare metriche come la cadenza e il bilanciamento del GCT.
- Modificare le impostazioni per adattarsi a diversi stili di corsa.

Questo approccio rappresenta una svolta nel monitoraggio dell'andatura. La sonificazione rende i dati biomeccanici immediatamente comprensibili, trasformando l'esperienza di corsa in un dialogo interattivo tra corridoio e tecnologia. In questo modo, il sistema non solo aiuta a migliorare le prestazioni, ma riduce anche il rischio di infortuni, promuovendo una corsa più equilibrata ed efficiente.

Gli autori propongono di estendere la sperimentazione a un gruppo più diversificato di corridori, includendo persone con vari gradi di asimmetria temporale per verificare la robustezza dell'algoritmo in scenari reali (outdoor). Inoltre, il sistema potrebbe beneficiare di ulteriori sviluppi nella progettazione della sonificazione, coinvolgendo gli utenti finali per personalizzare suoni e mappature secondo le preferenze individuali. Infine, si potrebbero esplorare nuove modalità di feedback, come l'attivazione dei suoni al momento del contatto del piede anziché al distacco.

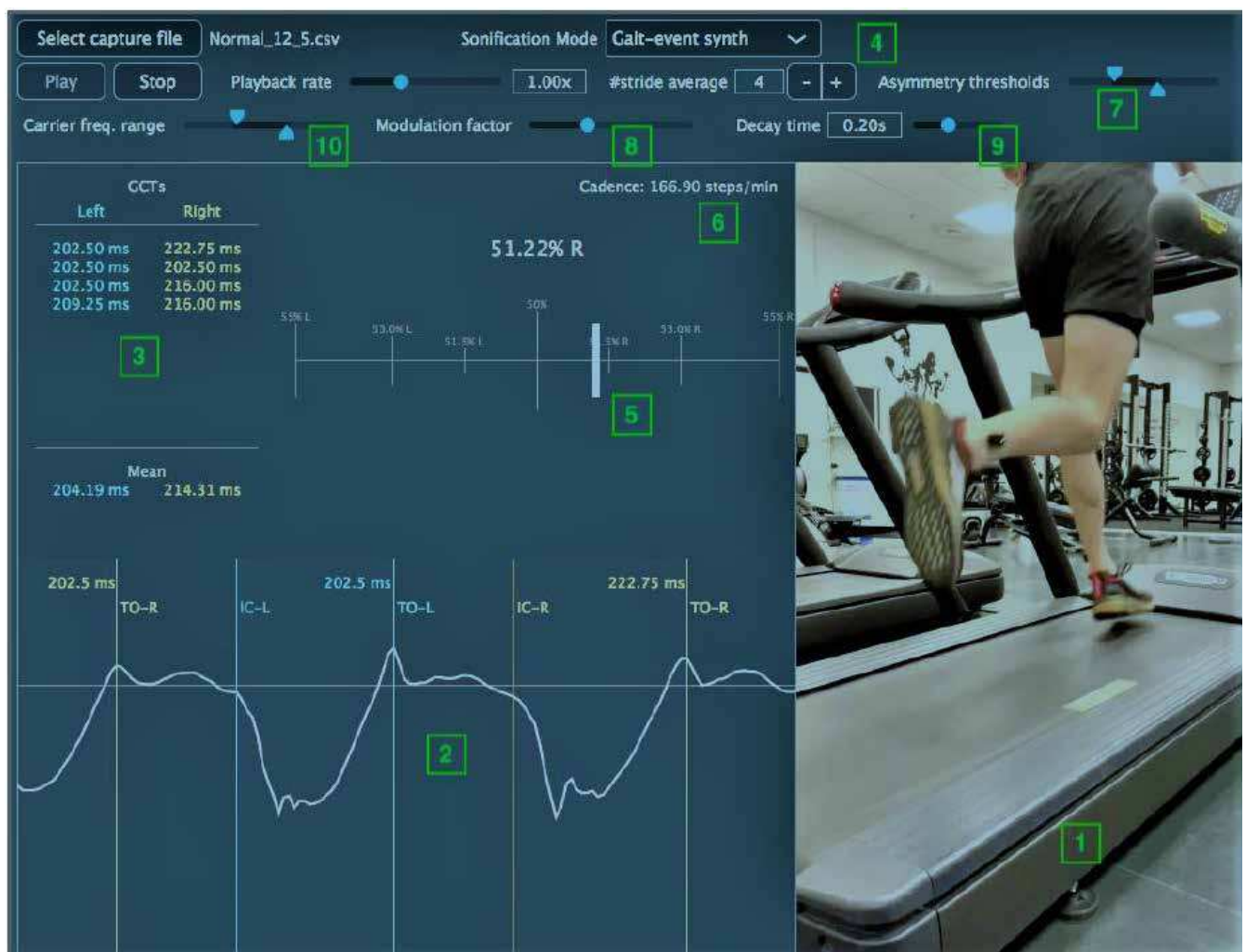


Fig. 57: L'applicazione di sonificazione dell'andatura. Il filmato (1) è sincronizzato con l'accelerazione verticale (2), dove sono indicati gli eventi dell'andatura e i tempi di contatto con il suolo. Sono elencati i tempi di contatto con il suolo recenti per ogni piede, più la media (3) rilevata sul numero di passi specificati dai pulsanti di incremento/decremento nella parte superiore dell'interfaccia (4). Il bilanciamento del tempo di contatto con il suolo (5) è visualizzato al centro dell'interfaccia, con la cadenza (6) sopra. Le soglie per l'asimmetria "tollerabile" ed "estrema" sono regolabili tramite il cursore in alto a destra (7). Il cursore in alto al centro (8) regola l'intensità dell'effetto di modulazione da introdurre al di sopra della soglia "tollerabile". Il tempo di decadimento delle note attivate su eventi di toe-off è regolabile tramite un altro cursore (9). Il cursore in alto a sinistra (10) regola la gamma di frequenze corrispondenti alle modifiche nella cadenza.

La flessibilità parametrica e la possibilità di regolazione in tempo reale rendono questo sistema ideale per un rapido processo iterativo di progettazione della sonificazione, con un focus sull'esperienza dell'utente.

Lo schema di sonificazione è progettato per fornire molteplici flussi di feedback al corridore in modo intuitivo, con l'obiettivo di richiamare la

sua attenzione su cambiamenti nella cadenza e nell'asimmetria del contatto con il suolo, senza distrarlo dall'atto della corsa.

Sebbene il potenziale informativo e correttivo dello schema richiesto sia ancora in una fase di valutazione rigorosa, gli autori ritengono che la sonificazione dell'asimmetria temporale durante la corsa rappresenti un'area di ricerca promettente.

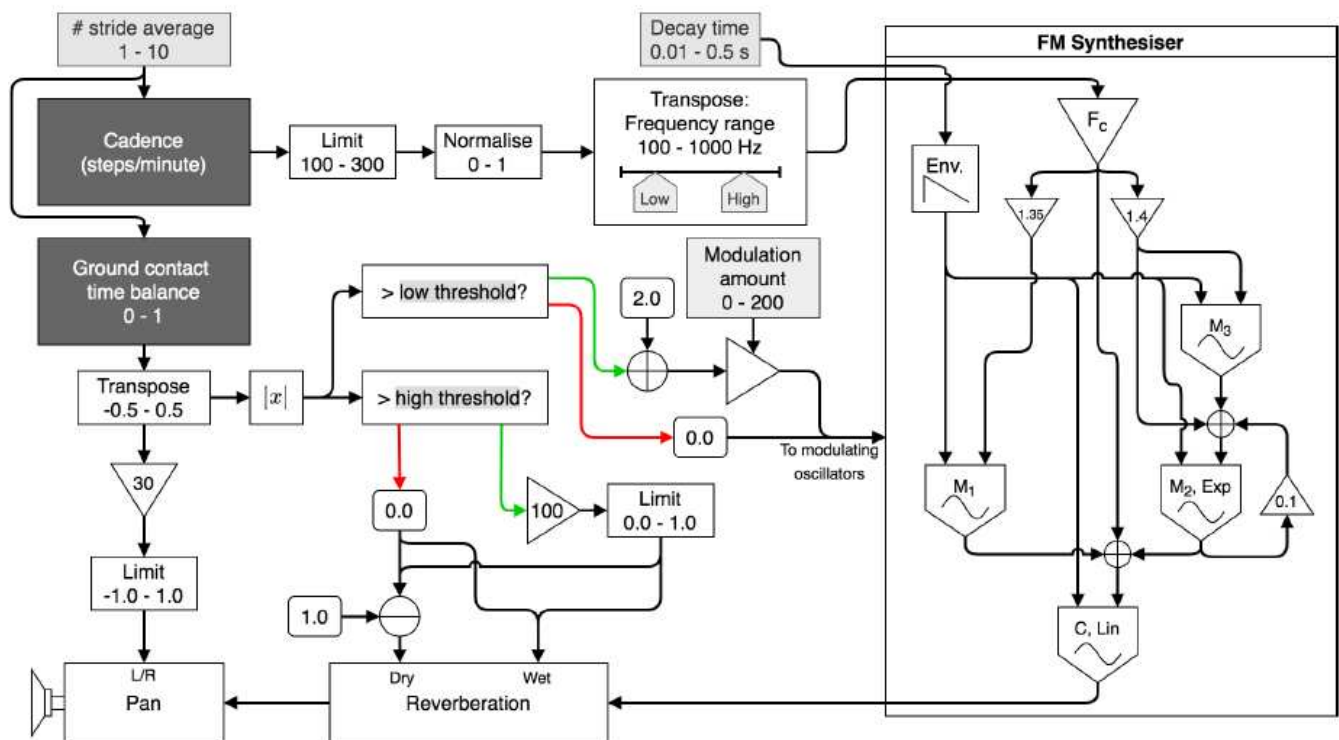


Fig. 58: Diagramma a blocchi dello schema di mappatura e del motore di sintesi audio. I blocchi grigio scuro indicano le caratteristiche aggregate dell'andatura utilizzate come fonti di dati di controllo per i parametri FM. Gli elementi grigio chiaro sono parametri modificabili in fase di esecuzione nell'interfaccia. Gli elementi triangolari indicano moltiplicazioni, sia per la figura all'interno del triangolo, sia per un parametro in fase di esecuzione. I numeri all'interno di rettangoli arrotondati indicano valori costanti. Per la quantità di modulazione, il parametro viene utilizzato per scalare gli indici di modulazione per gli oscillatori M1, M2 e M3, più l'importo del feedback per M2 (che produce timbri più ricchi di frequenze elevate quando viene applicata la FM).

Modello di aspettativa di sonificazione del movimento

Modello di aspettativa di sonificazione del movimento

Le persone interpretano la musica non solo come suoni, ma come esperienza incarnata, influenzata da aspettative inconsce che emergono dalla familiarità con le strutture musicali. Se l'uso di stimoli musicali durante esercizi intensi può ridurre lo sforzo percepito, aumentando la resistenza, allora il design musicale può essere utilizzato per alterare il modo in cui le persone percepiscono il proprio corpo e le loro capacità.

In questo contesto, il concetto di **autoefficacia** assume particolare rilevanza. Le persone con bassa autoefficacia, cioè una fiducia limitata nelle proprie capacità, spesso evitano attività percepite come difficili o non credono di poterle completare con successo. Bandura definisce l'autoefficacia come un fattore chiave per la motivazione e la capacità di superare gli ostacoli. Feedback che enfatizzano i successi piuttosto che gli insuccessi si sono dimostrati efficaci nel migliorare la performance motoria e nel rafforzare la fiducia. Alterare il feedback sulle prestazioni (es. informando i partecipanti che avevano ottenuto un risultato migliore rispetto alla realtà) può migliorare significativamente i risultati percepiti e reali.

Basandosi su questi principi, nell'articolo "Movement sonification expectancy model: leveraging musical expectancy theory to create movement-altering sonifications", Joseph Newbold, Nicolas E. Gold e Nadia Bianchi-Berthouze elaborano un modello teorico innovativo chiamato Movement Sonification Expectation Model (MoSEM), basato sulla teoria delle aspettative musicali di Huron.

Queste vengono integrate nella teoria delle aspettative musicali con i principi di feedback motorio per progettare sonificazioni in grado di influenzare il comportamento motorio, aumentando la motivazione e sostenendo i progressi, in particolare tra gli individui con scarsa fiducia nelle proprie capacità motorie.

Teoria delle aspettative e modello MoSEM

Le aspettative musicali, come descritto nella teoria ITPRA di **Huron**, rappresentano un potente strumento per comprendere le risposte cognitive ed emotive delle persone:

Immaginazione (I): Previsione di un risultato.

Tensione (T): Eccitazione in attesa del risultato.

Previsione (P): Valutazione dell'accuratezza delle aspettative.

Reazione (R): Risposta emotiva immediata alla previsione.

Valutazione (A): Giudizio consapevole del risultato.

Il modello MoSEM integra i principi della teoria delle aspettative musicali con il feedback motorio, proponendo diverse fasi che spiegano come la sonificazione influisce sul comportamento.

Generazione dell'aspettativa di movimento:

La sonificazione aiuta le persone a monitorare il proprio movimento. Tuttavia, per chi ha bassa autoefficacia, le aspettative possono essere limitate dalla mancanza di fiducia nelle proprie capacità, riducendo sia la qualità che la quantità di movimento eseguito. La sequenza viene quindi "bloccata", ostacolando i progressi.

Feedback positivo e motivazione: Studi sull'auto-efficacia dimostrano che il feedback attributivo (es. "Hai fatto un ottimo lavoro") migliora la motivazione e il coinvolgimento. Le sonificazioni progettate per enfatizzare il successo personale possono quindi rafforzare la fiducia e spingere le persone a superare le proprie barriere.

Ruolo dei segnali contestuali: Le aspettative di movimento non derivano solo dalla sonificazione, ma anche dai segnali presenti nell'ambiente. Ad esempio, il ritmo di un metronomo o segnali visivi possono essere combinati con la stabilità armonica per costruire una "mappa" di aspettative che guida il comportamento.

Fase Uno: Aspettativa del Movimento e sonificazione informativa

La sonificazione del movimento mira a rappresentare dati sensoriali ampliando il feedback propriocettivo. Una sonificazione informativa potrebbe migliorare la capacità dell'individuo di prevedere e valutare il proprio movimento, rendendo più chiara la relazione tra anticipazione e azione. Tuttavia, le persone tendono a interpretare la sonificazione in modo musicale e incarnato, rendendo complessa l'applicazione di un approccio puramente informativo. Le persone con scarsa fiducia nelle proprie capacità faticano a formare aspettative chiare sui risultati. Questo influenza tutte le fasi dell'elaborazione delle aspettative: immaginazione e tensione sono limitate dalla scarsa fiducia, previsione e reazione mostrano movimenti ridotti, la valutazione porta a una percezione negativa delle proprie abilità, ostacolando il progresso. La sonificazione può quindi giocare un ruolo cruciale nel superare queste barriere, rafforzando l'aspettativa e la percezione del movimento.

Esperienza individuale della sonificazione informativa

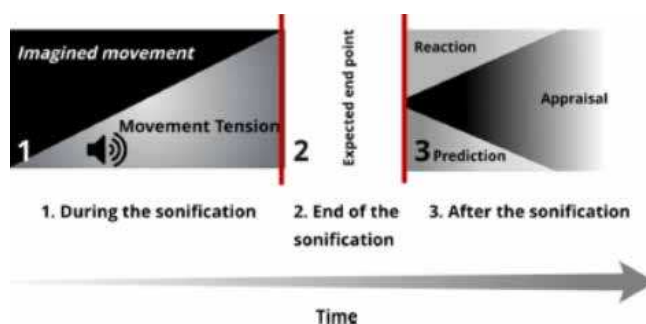


Fig. 59: La figura illustra l'applicazione della teoria dell'aspettativa musicale di Huron. Vengono evidenziate le diverse fasi che un individuo vive durante l'interazione con la sonificazione;

Durante la sonificazione:

L'individuo sperimenta l'aspettativa immaginativa e la tensione, anticipando un risultato previsto (ad esempio, il completamento del movimento). La sonificazione informa sul progresso e sulla direzione del movimento, ma non modifica il comportamento motorio in tempo reale.

Punto finale della sonificazione:

Si verifica la risposta di previsione, dove l'individuo valuta se il risultato corrisponde all'aspettativa creata. Tuttavia, l'azione di movimento stessa non è influenzata dalla sonificazione: è solo tracciata.

Dopo la sonificazione:

L'individuo entra nella fase di reazione e valutazione, riflettendo sull'accuratezza e sull'utilità della sonificazione. Sebbene la percezione del risultato possa essere valutata, la natura del movimento non subisce alcun cambiamento significativo.

In una sonificazione puramente informativa, mentre le aspettative e le valutazioni sono ben definite (grazie alla chiarezza dell'anticipazione e del tracciamento), la qualità intrinseca del movimento e la sua percezione da parte dell'individuo restano invariate. Questo sottolinea la limitazione di sonificazioni progettate unicamente per informare, rispetto a quelle progettate per influenzare o migliorare il comportamento motorio.

Fase due: migliorare l'aspettativa del movimento con la musica (musificazione)

Quando si utilizza una sonificazione musicale che avanza con il movimento dell'individuo, si crea una progressione musicale che rafforza l'aspettativa del movimento. La sonificazione, legata al controllo diretto del movimento, genera un'aspettativa musicale parallela ma correlata all'aspettativa del movimento. Questo intreccio influenza come il movimento viene percepito e sperimentato.

Seguendo il modello ITPRA di Huron:

- La risposta di immaginazione **costruisce un'anticipazione musicale collegata al movimento.**
- La risposta di tensione **cresce con l'evoluzione della musica, incoraggiando il proseguimento del movimento verso l'obiettivo.**
- La risposta di previsione **si manifesta quando l'aspettativa musicale e quella del movimento coincidono, fornendo un rinforzo positivo.**
- La risposta di reazione **si riflette nella percezione del movimento come completo, facilitando un ritorno al punto di partenza.**
- La risposta di valutazione **associa il completamento della musica a una sensazione di successo personale.**

Questa dinamica mostrata in figura, evidenzia come la coincidenza tra i punti finali musicali e di movimento crea una sensazione di risoluzione emotiva, supportando l'autoefficacia e la percezione di successo.

Esperienza individuale di sonificazione musicale (aspettativa soddisfatta)

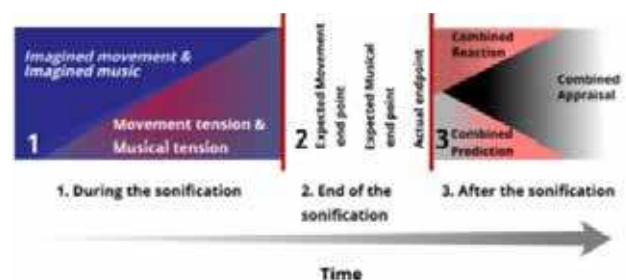


Fig. 60: La figura illustra come l'aspettativa musicale possa allinearsi e interagire con l'aspettativa del movimento durante l'esecuzione di un'azione fisica. Il processo inizia quando il movimento prende avvio e cresce gradualmente, con una tensione che si sviluppa verso un punto finale atteso, mentre la sonificazione musicale genera un'aspettativa simile in relazione alla conclusione del movimento stesso. L'intensità e la struttura della musica accompagnano il movimento, creando un'aspettativa di completamento che corrisponde alla progressione fisica. Quando il movimento si avvicina al suo punto finale, la tensione musicale e quella motoria si fondono, e la persona, consapevole della conclusione imminente, reagisce anticipando la fine e formulando una previsione rispetto al risultato.

Quando il movimento si conclude, e le aspettative musicali e motorie si allineano perfettamente, si verifica una sensazione di "completezza" che coinvolge tanto il suono quanto il movimento. Questo significa che la musica non è solo una cornice che accompagna l'azione fisica, ma diventa un vero e proprio indicatore di completamento per il movimento stesso. La sonificazione, infatti, fornisce un feedback che non solo riflette la fine del movimento ma contribuisce a rafforzare la percezione che l'azione sia stata compiuta con successo, grazie all'armonia tra la dimensione sonora e quella motoria. Questo aiuta la persona a sentirsi più consapevole e in controllo del proprio corpo, migliorando l'esperienza complessiva. La completezza musicale, percepita nel momento finale, diventa un rinforzo positivo che conferma il completamento del movimento, generando una sensazione di soddisfazione e di successo sia a livello fisico che emotivo.

Fase Tre: Adattare le aspettative del movimento

Nell'ambito della sonificazione musicale, quando le aspettative musicali vengono disattese, il movimento o l'azione fisica (ad esempio il movimento di una persona mentre interagisce con un sistema) viene influenzato dalla musica in modo non lineare o prevedibile. La sonificazione può, infatti, riflettere il movimento dell'individuo attraverso suoni che si aspettano una certa coerenza, ma se questa aspettativa viene sfidata (ad esempio con un cambiamento imprevisto nel ritmo o nella tonalità), ciò può alterare la percezione del movimento e persino la sua interpretazione. Questo tipo di sonificazione può sorprendere, confondere o stimolare l'individuo, cambiando il modo in cui la persona percepisce il proprio movimento, la propria performance e la propria esperienza complessiva. Quindi, attraverso il legame tra aspettativa musicale e percezione del movimento, è possibile influenzare il comportamento dell'individuo. Alterando la progressione musicale rispetto al movimento, è possibile modulare la percezione del punto finale. Ad esempio, se la musica rimane instabile (ad esempio con tensione armonica), il desiderio di risoluzione musicale spinge l'individuo a continuare il movimento oltre il previsto, ritardando le risposte di previsione, reazione e valutazione. Se la musica si risolve prima che il movimento sia completo, l'individuo percepisce il movimento come concluso, fermandosi prematuramente. Questi meccanismi, illustrati in figura, mostrano come la musica possa estendere o abbreviare il movimento, fungendo da estensione del feedback propriocettivo e influenzando direttamente il comportamento motorio.

Esperienza individuale di sonificazione musicale (aspettativa disattesa)

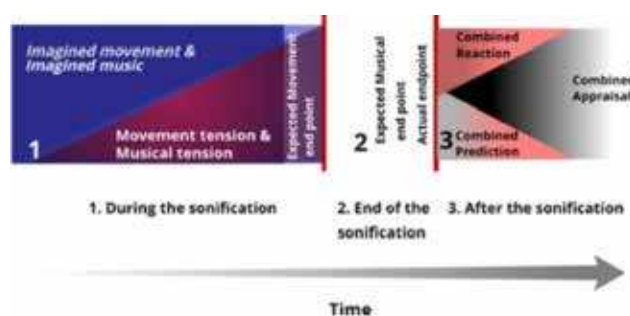


Fig. 61: La figura descrive come la sonificazione musicale possa alterare l'aspettativa di movimento di un individuo, creando un'interazione dinamica tra il movimento fisico e il suono.

Alterazione dell'aspettativa musicale (blu/rosso):

Qui, la sonificazione modifica l'aspettativa musicale che una persona si forma. Il suono associato al movimento crea una previsione musicale che, come in una composizione musicale, potrebbe essere attesa dal corpo, creando una sensazione di tensione crescente verso una conclusione del movimento.

Incongruenza tra conclusione musicale e movimento:

mentre il movimento inizia e cresce in tensione, la musica che lo accompagna sembra anticipare una conclusione che non coincide con il termine previsto del movimento fisico.

Adattamento del movimento all'aspettativa musicale:

Poiché esiste una connessione tra il movimento dell'individuo e la sonificazione, questa dissonanza tra il movimento previsto e la musica porta l'individuo a adattare il movimento e la sua valutazione in modo che si allineino con l'aspettativa musicale. L'individuo, infatti, modifica la sua percezione o il suo comportamento per allinearsi con il cambiamento nell'aspettativa musicale, cercando di rispondere alla musica in modo da "completare" il movimento in un modo che corrisponde alla musica, piuttosto che al movimento fisico inizialmente previsto.

Indagine su Aspettative Musicali, Sonificazione e Segnali Percettivi

Per validare il MoSEM, è stato condotto uno studio in cui i partecipanti hanno completato compiti di movimento sincronizzati con sonificazioni musicali.

Lo studio ha analizzato l'interazione tra sonificazione, aspettative musicali e segnali percettivi durante un movimento specifico: alzare e abbassare un braccio. Sono stati svolti movimenti "aperti" (ottenuti senza alcun riferimento visivo ed i partecipanti avevano gli occhi chiusi) e "chiusi" (realizzata introducendo segnali visivi).

Utilizzando un design che sfrutta le aspettative musicali, si è misurato l'effetto del suono sul movimento in presenza o assenza di segnali visivi.

Partecipanti

Lo studio ha coinvolto 23 partecipanti, di età compresa tra 18 e 57 anni. Il setup sperimentale prevedeva l'utilizzo di uno smartphone fissato al braccio, il cui giroscopio a 3 assi registrava i movimenti. Durante il movimento del braccio, lo smartphone riproduceva una sequenza di accordi musicali che culminava in un finale armonico stabile (risolto) o instabile (non risolto).

I partecipanti dovevano abbassare il braccio da una posizione iniziale sollevata, attivando la progressione musicale, e tornare indietro alla posizione iniziale seguendo la sequenza inversa. Le variabili indipendenti erano stabilità armonica (stabile/instabile), e tipo di movimento (aperto/chiuso).

Le misurazioni principali includevano:

- La quantità di movimento oltre il punto target.
- Il tempo per ritornare al punto di partenza.
- La velocità di movimento verso l'estensione massima.

Dopo ogni condizione, i partecipanti hanno valutato la loro esperienza su una scala Likert a sette punti (ad esempio, "Mi sono sentito ricompensato alla fine del movimento").

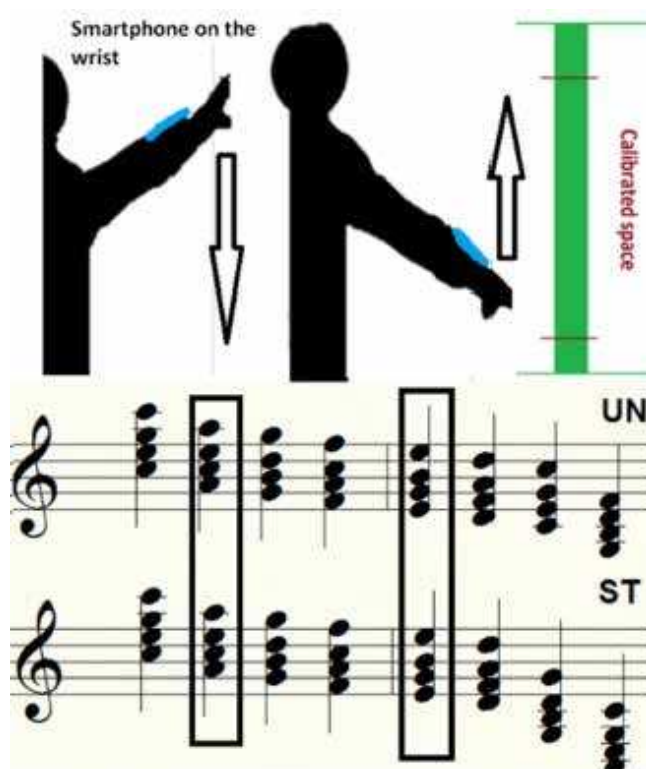


Fig. 62: Due silhouette mostrano il setup sperimentale utilizzando un movimento del braccio: i partecipanti si muovono all'interno dello spazio calibrato con i marcatori visivi di fronte a loro (con gli occhi aperti o chiusi). Lo spartito musicale mostra la sonificazione completa con una conclusione musicalmente finita (ST—stabile) o non finita (UN—instabile).

Risultati principali

Lo studio ha osservato che la **quantità di movimento** variava in modo significativo in base alla stabilità o instabilità della sonificazione. Quando le aspettative musicali venivano sfidate, i partecipanti mostravano una maggiore ampiezza nei movimenti, come se cercassero di compensare o completare la discrepanza percepita tra la musica e il movimento previsto. Questo comportamento rifletteva un'azione quasi istintiva, motivata dal bisogno di allineare il movimento all'esperienza sonora percepita. Al contrario, in condizioni di stabilità musicale, i movimenti più contenuti e misurati, suggerendo che i partecipanti percepivano meno necessità di esplorare o modificare il movimento, grazie alla sensazione di prevedibilità e completezza fornita dalla sonificazione.

Un altro aspetto chiave emerso riguarda il **tempo impiegato** per completare i movimenti. Nei casi in cui la musica risultava instabile o lasciava una sensazione di incompiutezza, i partecipanti impiegavano più tempo per portare a termine i movimenti. Questo rallentamento era legato all'aumento dell'incertezza, che richiedeva maggiore attenzione per coordinare il movimento in modo adeguato. Invece, quando la sonificazione era stabile e si allineava alle aspettative, i partecipanti completavano i movimenti più rapidamente. Questa fluidità suggerisce che una sonificazione prevedibile può ridurre lo sforzo cognitivo, rendendo l'intero processo più immediato ed efficiente.

La **velocità del movimento** si è rivelata un indicatore interessante della risposta motoria. In condizioni di instabilità, la velocità tendeva a

ridursi, poiché i partecipanti si muovevano più lentamente per cercare di adattarsi al cambiamento delle aspettative musicali. Questo rallentamento riflette un maggiore bisogno di controllo e concentrazione per compensare l'incertezza generata dalla discrepanza sonora. Al contrario, in situazioni erano di stabilità musicale, i movimenti più rapidi e sicuri, indicando che una musica coerente e prevedibile favorisce un'esecuzione motoria più naturale.

Espansione del MoSEM

In aggiunta, lo studio ha evidenziato che la dipendenza dai segnali esterni (come quelli visivi) variava in base al tipo di movimento. Nei movimenti più "aperti" e liberi, la sonificazione assumeva un ruolo predominante come guida, mentre nei movimenti "chiusi", i partecipanti si affidavano maggiormente ai segnali visivi per orientarsi.

Questa dinamica dimostra come la sonificazione possa influenzare non solo la prestazione motoria ma anche la percezione che le persone hanno del proprio movimento.

Questi risultati possono essere utilizzati per espandere il Movement Expectation Sonification Model (MoSEM) per vedere come questi segnali esterni possano interferire con l'aspettativa di movimento.

L'aggiunta di segnali visivi o di altro tipo esterni alla sonificazione, oltre al feedback propriocettivo, possono essere considerati un ulteriore segnale che indica che è stata raggiunta la fine della sonificazione, da cui il cambiamento nella risposta di reazione.

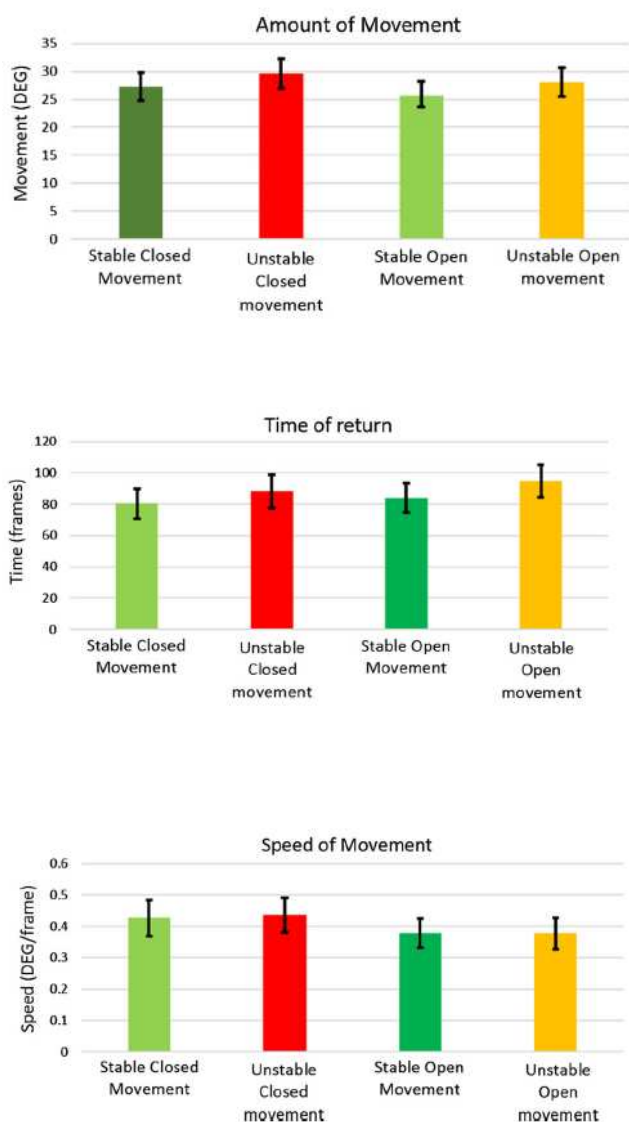


Fig. 62: Media (errore standard) della quantità di movimento, del tempo di ritorno e della velocità del movimento per cadenze stabili e instabili, sia nei movimenti aperti (senza segnali aggiuntivi) sia nei movimenti chiusi (con segnali aggiuntivi).

Implicazioni per la progettazione di sonificazioni

I risultati dello studio offrono spunti significativi per migliorare il design delle sonificazioni, mostrando come i suoni possono interrompere la percezione e l'esecuzione del movimento.

L'utilizzo consapevole della sonificazione basata sull'aspettativa musicale permette di alterare non solo il modo in cui le persone si muovono, ma anche come percepiscono il movimento stesso. Questo apre nuove possibilità in ambiti come la riabilitazione, l'apprendimento motorio e l'esercizio fisico, dove il suono può essere utilizzato non solo per trasmettere informazioni, ma anche per motivare e guidare il movimento in modo intenzionale.

Il modello MoSEM (Movement Expectation Sonification Model) rappresenta un quadro teorico utile per progettare queste sonificazioni, mostrando come i segnali uditivi e altri tipi di segnali possono interagire per plasmare l'aspettativa e il comportamento motorio.

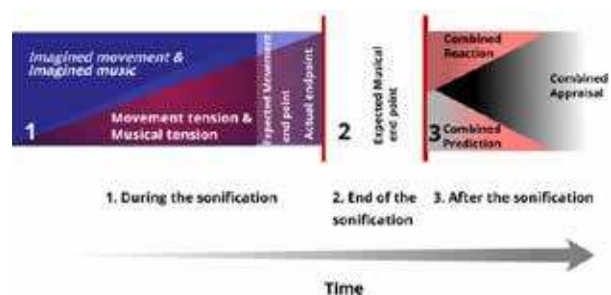


Fig. 64: La figura mostra come gli indizi esterni (non sonori) possono influenzare l'uso dell'aspettativa musicale come predittore del punto finale in un movimento chiuso (indizi aggiuntivi al l'impatto finale del movimento, il grado in cui il movimento può essere alterato dalla sonificazione).

Sonificazione dell'immagine motoria sul tiro nel basket

Nell'articolo "Sonification of Motor Imagery in the Basketball Jump Shot: Effect on Muscle Activity Amplitude", gli autori affrontano un tema innovativo nel campo della scienza dello sport. Esplora l'uso della sonificazione come strumento per migliorare l'immagine motoria e il controllo muscolare durante il tiro in sospensione nel canestro nello sport del basket, migliorando così il controllo muscolare e la precisione del gesto.

Gli autori hanno studiato il modo in cui l'ascolto di suoni progettati specificamente per rappresentare il tiro in sospensione influisce sull'attività muscolare degli atleti. Per fare ciò, hanno analizzato l'attivazione di determinati muscoli coinvolti nel tiro, utilizzando strumenti come l'elettromiografia (EMG), che misurano l'intensità del segnale elettrico prodotto dai muscoli durante il movimento.

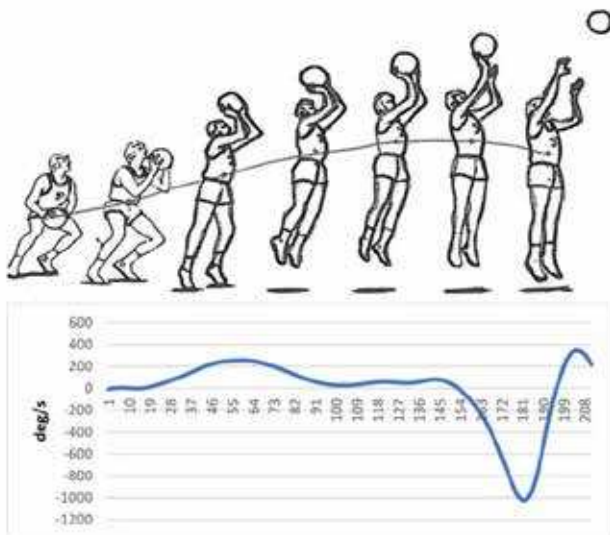


Fig. 65: Velocità angolare dell'articolazione del gomito rispetto alle diverse fasi del tiro in sospensione nel basket (asse orizzontale: intervallo di tempo, asse verticale: velocità angolare).

I risultati hanno mostrato che la sonificazione ha effetti positivi sia sul piano fisico che mentale. Da un lato, migliora la capacità di controllare i muscoli durante l'esecuzione del tiro, rendendo il gesto più fluido ed efficace; dall'altro, aiuta gli atleti a formare un'immagine mentale più precisa del movimento, facilitando l'apprendimento motorio.

Nello specifico la ricerca ha dimostrato che l'uso di un pattern audiovisivo durante l'immaginazione motoria, porta a una maggiore attivazione dei muscoli coinvolti nell'esecuzione del movimento rispetto a condizioni alternative, come l'assenza di pattern o l'utilizzo di un pattern solo visivo. La combinazione di stimoli visivi e uditivi ha un effetto sinergico che amplifica il coinvolgimento neuromuscolare. Il suono, combinato con la componente visiva, sembra avere un ruolo cruciale nel potenziare l'immaginazione motoria, rendendo più ricca e dettagliata l'esperienza mentale del movimento e favorendo così un maggiore coinvolgimento fisico dei muscoli.

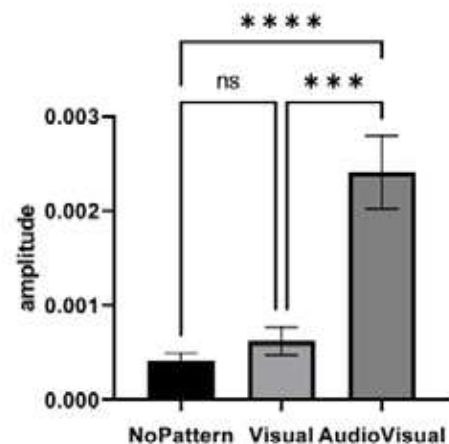


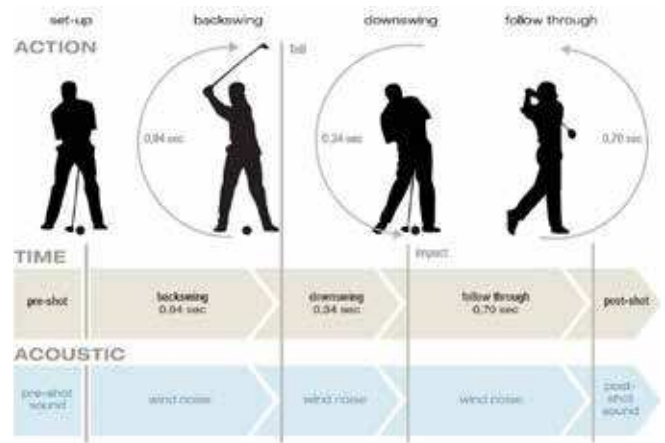
Fig. 66: Intervallo di attività dei muscoli estensori del gomito in tre condizioni: nessun pattern, pattern visivo e pattern audiovisivo;

Sistema di allenamento dello swing nel golf

Anche nell'articolo "A real-time golf-swing training system using sonification and sound image localization", gli autori hanno esplorato come differenti tipi di stimoli possano influenzare l'attività dei muscoli estensori del gomito durante l'immaginazione o l'esecuzione di un movimento.

Lo studio si è concentrato su tre condizioni sperimentali: l'assenza di pattern, l'utilizzo di un pattern visivo e l'integrazione di un pattern audio-visivo, per comprendere quale approccio fosse più efficace nell'attivare i muscoli coinvolti.

Nella prima condizione, i partecipanti non ricevevano alcun supporto esterno, né visivo né sonoro, per l'immaginazione del movimento. I risultati hanno mostrato che l'attività muscolare in questa configurazione era la più bassa tra le tre condizioni analizzate. Questo dato indica che l'assenza di stimoli esterni limita la capacità dei partecipanti di attivare i muscoli in modo efficace durante l'immaginazione motoria.



Nella seconda condizione, i partecipanti osservavano segnali visivi progettati per rappresentare il movimento, con l'intento di facilitare la costruzione mentale del gesto. In questa situazione, l'attività muscolare è aumentata rispetto alla condizione senza pattern, suggerendo che gli stimoli visivi contribuiscono a migliorare la percezione e l'immaginazione del movimento.

La terza condizione, univa segnali visivi con stimoli sonori. Questa combinazione si è rivelata la più efficace, producendo il massimo livello di attivazione muscolare. La sinergia tra suono e immagine sembra rendere l'immaginazione motoria più ricca e dettagliata, facilitando un coinvolgimento più completo del sistema neuromuscolare.

Lo studio evidenzia come l'integrazione di segnali uditivi e visivi rappresenti una strategia efficace per aumentare l'attivazione muscolare rispetto agli altri casi. Gli autori suggeriscono che questo approccio possa avere applicazioni pratiche significative nel miglioramento delle performance sportive, grazie a un maggiore controllo neuromuscolare.

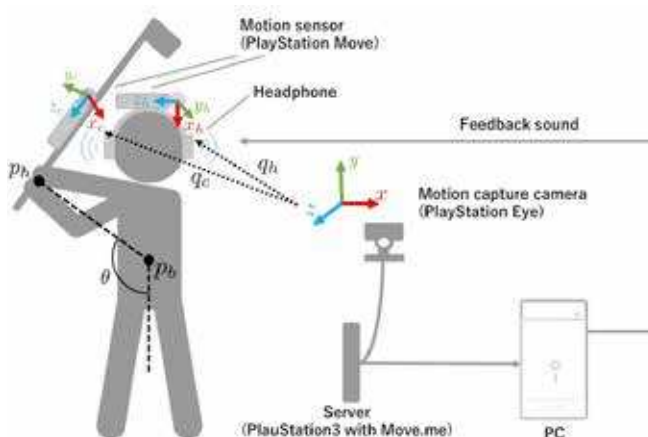


Fig. 67: Panoramica del sistema

Studio su un pattinatore di velocità

Nell'articolo "Embodying Complexity through Movement Sonification: Case Study on Empowering the Speed-Skater" **analizza il potenziale della sonificazione del movimento per migliorare la consapevolezza corporea e ottimizzare le prestazioni atletiche.** La sonificazione viene proposta come una soluzione efficace per fornire agli atleti un feedback immediato e intuitivo sulle loro azioni, aiutandoli a gestire e perfezionare movimenti complessi.

I ricercatori in questo caso, si sono concentrati su uno speed skater (un pattinatore di velocità), per esplorare come il feedback sonoro in

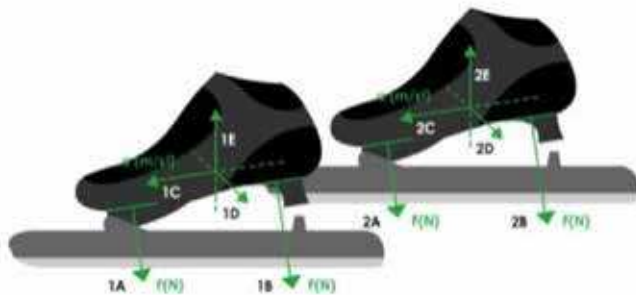


Fig. 68: Dispositivo che misura le forze sulla parte anteriore e posteriore del pattino da velocità e l'accelerazione in tre direzioni. Due dispositivi per pattini da velocità, uno per ogni pattino da velocità dell'atleta, con una connessione wireless continua al processore centrale vengono utilizzati per elaborare i dati di movimento. Con un peso di soli 60 grammi, la piattaforma per pattini da velocità non interferisce con il pattinaggio di velocità professionale consentendo studi sul campo in laboratorio. Ciò si traduce in un ciclo di feedback in tempo reale poiché le cuffie RF forniscono il paesaggio sonoro. Oltre a elaborare una sonificazione, il processore centrale può registrare i dati di movimento. I dispositivi per pattini da velocità sono in grado di misurare le forze nella parte anteriore e posteriore del pattino da velocità distribuite dall'atleta nella direzione verticale sul piano sagittale e l'accelerazione in tre direzioni.

tempo reale possa supportare l'apprendimento motorio e il perfezionamento della tecnica. La ricerca parte dalla premessa che il pattinaggio di velocità sia uno sport estremamente complesso, in cui il successo dipende dalla perfetta sincronizzazione di molti fattori biomeccanici, come l'angolo delle articolazioni, la forza applicata sul ghiaccio, la distribuzione del peso e l'equilibrio dinamico durante le spinte.

Per condurre lo studio, i ricercatori hanno installato sensori sul corpo dell'atleta e sull'attrezzatura utilizzata durante l'allenamento. Attraverso questi sensori, sono stati registrati parametri come la posizione del corpo, l'angolo delle articolazioni (ad esempio delle ginocchia), la forza applicata sul ghiaccio, la distribuzione del peso e la simmetria delle spinte. Questi dati, una volta acquisiti, venivano elaborati in tempo reale da un software che li trasformava in segnali sonori distinti. Ogni variazione nel movimento dell'atleta veniva quindi codificata in suoni specifici, fornendo un feedback immediato e continuo sull'esecuzione. Ad esempio, un cambiamento nella tonalità del suono poteva segnalare una postura scorretta o una distribuzione del peso non ottimale, mentre variazioni nel volume o nella durata del suono potevano evidenziare problemi nella simmetria delle spinte o nell'intensità dello sforzo. Durante le sessioni di allenamento, il pattinatore riceveva questi segnali sonori attraverso le cuffie. Questo feedback in tempo reale gli permetteva di ascoltare direttamente le caratteristiche del proprio movimento, riconoscendo immediatamente eventuali errori o inefficienze. In pratica, i suoni traducevano in modo intuitivo la complessità biomeccanica del pattinaggio di velocità, consentendo all'atleta di correggere la

propria tecnica senza dover ricorrere a istruzioni verbali o analisi video post-allenamento. Un suono acuto e continuo poteva indicare una spinta non uniforme, mentre un suono intermittente poteva segnalare uno scarso equilibrio durante una curva.

I risultati dello studio hanno dimostrato che la sonificazione del movimento è un metodo estremamente efficace per migliorare la consapevolezza corporea e il controllo motorio. Il pattinatore coinvolto nel caso di studio ha mostrato un notevole miglioramento nella precisione dei movimenti e nell'efficienza della tecnica, riducendo gli errori e affinando dettagli fondamentali come la postura, l'equilibrio e la distribuzione del peso durante la spinta. Inoltre, l'atleta ha riferito di sentirsi più coinvolto e motivato, grazie alla sensazione di maggiore

controllo sul proprio corpo e alla possibilità di identificare in tempo reale le aree su cui lavorare. La sonificazione si è rivelata utile nella gestione della complessità biomeccanica di uno sport in cui numerose variabili devono essere controllate simultaneamente. Tradurre queste variabili in suoni facilmente interpretabili ha semplificato il processo di apprendimento e ottimizzazione del gesto tecnico. Questo approccio ha il vantaggio di essere altamente personalizzabile, poiché i suoni possono essere modulati per evidenziare aspetti specifici del movimento, adattandosi alle esigenze dell'atleta. La sonificazione del movimento rappresenta una metodologia innovativa con un ampio potenziale applicativo per gli sport ad alta complessità tecnica, ma anche in ambiti come la riabilitazione motoria e l'apprendimento di movimenti complessi.



Fig. 69: Frouke Oonk sperimenta la sonificazione del movimento in un test di laboratorio sul campo.

Sonificazione nel canottaggio

Il progetto di sonificazione applicato al canottaggio, come descritto nell'articolo "Listen to Your Boat – Effectively Using Sonification in Rowing", offre un approccio innovativo per migliorare la tecnica e la performance degli atleti, traducendo i dati sul movimento della barca in suoni facilmente percepibili. I dati più rilevanti sono quelli sull'accelerazione della barca, che vengono trasformati in variazioni di tono, in modo che gli atleti possano ascoltare le modifiche in tempo reale mentre remano.

Il principale vantaggio della sonificazione sta nell'alto livello di risoluzione temporale che fornisce: un suono continuo, la cui tonalità cambia in base all'accelerazione, permette agli atleti di percepire immediatamente le sfumature nei movimenti e nelle variazioni della forza applicata. Questo tipo di feedback acustico è particolarmente utile per concentrarsi su fasi specifiche del movimento, come il "drive" e il "recovery".

Ad esempio, nella fase di "drive" (la spinta della pala nell'acqua), è stato possibile identificare e correggere un fenomeno chiamato "drive hump", che si verifica quando l'accelerazione della barca diminuisce improvvisamente subito dopo il colpo iniziale. Questo è un segno di una sincronizzazione inefficace tra i vogatori, che può essere dovuta a una perdita di coordinazione o di forza applicata.

Nella sonificazione, questa perdita di accelerazione è stata rappresentata da un "blip", un suono anomalo che gli atleti potevano percepire mentre remavano. Una volta identificato il suono, gli atleti hanno potuto correggere la loro sincronizzazione, cercando di ottenere un'accelerazione più costante e fluida.



Fig. 70: Frame del video di sonificazione rowing motion. Analisi dell'accelerazione della barca, fasi della remata.

Nel recupero, una fase del movimento in cui la barca dovrebbe rallentare progressivamente in modo uniforme, la sonificazione ha permesso agli atleti di percepire variazioni di accelerazione che altrimenti sarebbero passate inosservate. Un suono costante e uniforme, infatti, indica che la barca sta decelerando in modo ottimale, senza fluttuazioni indesiderate che potrebbero ridurre l'efficienza del movimento. Il sistema sonoro, regolato per aumentare la sensibilità, consentiva di distinguere anche piccole variazioni nei movimenti, come una pressione disomogenea sui poggiapiedi, che avrebbero potuto compromettere la stabilità della barca.

La sonificazione è stata utilizzata anche per ottimizzare la fase del "catch", in cui i vogatori devono sincronizzare perfettamente la loro azione per evitare errori come il "sitting and waiting", che si verifica quando uno dei vogatori non arriva al catch al momento giusto. In questo caso, la sonificazione ha aiutato a correggere la decelerazione, che altrimenti potrebbe essere irregolare o mal coordinata.

Gli allenatori e i ricercatori hanno adattato il sistema per garantire che il feedback sonoro fosse il più utile possibile in ogni scenario specifico.

Per esempio, in situazioni in cui l'accelerazione era molto bassa, la sonificazione veniva modificata per essere meno sensibile alle variazioni, evitando suoni fastidiosi o confusionari.

L'approccio della sonificazione è stato considerato molto utile per gli atleti, perché permette loro di sviluppare una maggiore consapevolezza della propria tecnica, affinando la percezione delle forze e dei movimenti mentre remano. Questa consapevolezza immediata, grazie al feedback sonoro, aiuta gli atleti a migliorare la loro tecnica senza dover interrompere il flusso dell'allenamento per fare analisi visive o verbali.

La sonificazione rappresenta quindi un avanzamento importante nel coaching del canottaggio, offrendo agli atleti e agli allenatori un potente strumento per perfezionare ogni aspetto del movimento, migliorando la coordinazione, l'efficienza e la percezione del gesto atletico.



Fig. 71: Impostazioni di sonificazione nell'app Rowing in Motion

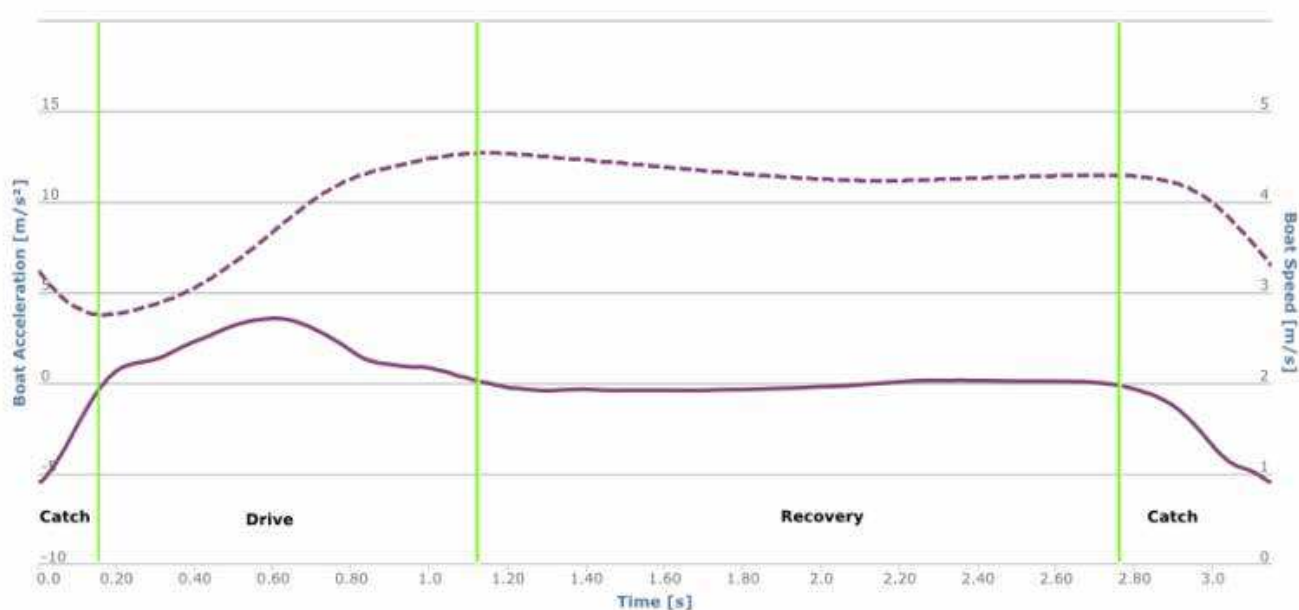


Fig. 72: Variazione della velocità e dell'accelerazione dell'imbarcazione per un ciclo di bracciata a 20 colpi al minuto.

Ruolo del feedback uditivo nell'allenamento individuale

Le ricerche presentate mostrano come nell'allenamento individuale, la sonificazione possa migliorare il controllo motorio sfruttando parametri acustici che forniscono feedback immediato, aiutando a perfezionare movimenti complessi come quelli sportivi. Possiamo dividerle in:

Cronometraggio e Sincronizzazione:

I segnali uditivi, mappati in ritmi o toni specifici, aiutano l'atleta a seguire un ritmo preciso o ad allineare gesti complessi.

Rilevamento e correzione degli errori:

Suoni di feedback immediato indicano variazioni rispetto al movimento previsto. Se il suono si modifica durante un salto o un esercizio di pesistica, l'atleta può riconoscere automaticamente la deviazione e correggere l'esecuzione in tempo reale.

Equilibrio e postura:

Segnali di sonificazione spazializzati indicano lo spostamento del corpo, avvisando di inclinazioni o squilibri. Questo è particolarmente utile per migliorare la postura in esercizi come lo squat o il pilates, dove il feedback uditivo indica la simmetria.

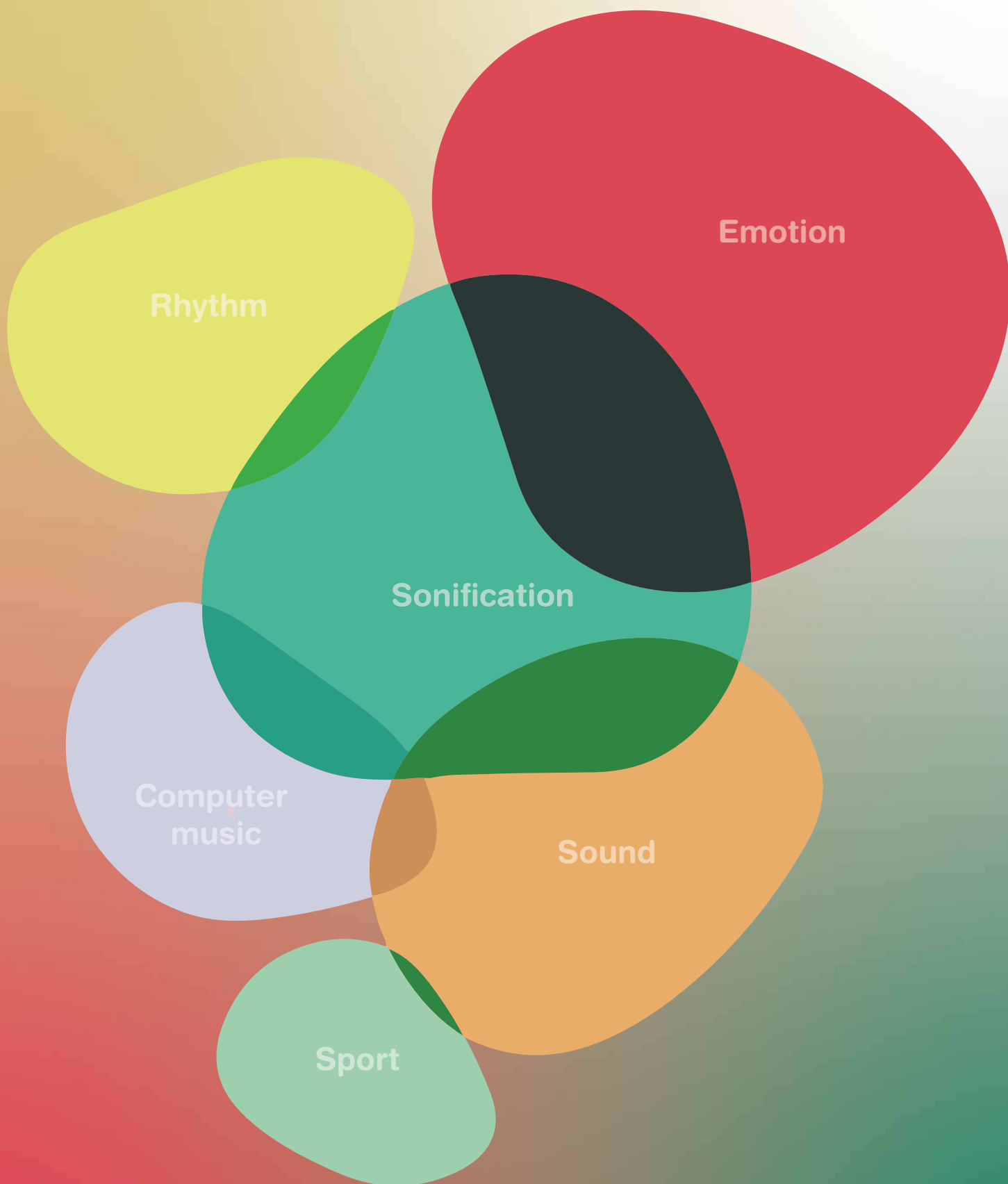
Apprendimento e sviluppo delle competenze:

Gli atleti possono usare la sonificazione per perfezionare abilità complesse.

Interazioni intermodali:

La combinazione di sonificazione con altri sensi, come il feedback visivo, migliora la percezione del movimento. La sincronizzazione di un suono con un'immagine aiuta a cogliere sfumature motorie che altrimenti sarebbero difficili da percepire.





Sonificazione nell'allenamento individuale

Gli effetti della sonificazione sulla performance sportiva riescono ad essere particolarmente evidenti negli **esercizi individuali a corpo libero**. Questo avviene perchè negli esercizi aerobici, i tempi musicali rapidi e i ritmi energetici aiutano a mantenere la resistenza.

L'allenamento a corpo libero è una forma di esercizio fisico che utilizza il peso del corpo come resistenza, senza l'uso di attrezzature o macchinari. Include esercizi come flessioni, squat, affondi e addominali, e può essere adattato a vari livelli di abilità. Questa modalità di allenamento è molto versatile e la rende accessibile a persone di tutte le età e forme fisiche.

Questa tipologia di allenamento coinvolge l'intero corpo, richiedendo resistenza, controllo e sincronizzazione.

La dissociazione agisce attenuando la fatica percepita, mentre la regolazione dell'eccitazione può motivare o calmare l'atleta a seconda della fase di allenamento, come durante il riscaldamento o la defaticazione.

La sincronizzazione con il ritmo musicale favorisce movimenti costanti e controllati, l'acquisizione delle abilità motorie diventa più intuitiva grazie al ritmo, e il flusso si raggiunge più facilmente poiché l'atleta si immerge nell'allenamento in modo ritmico e coinvolgente.

In questo contesto, la musica funziona come una guida versatile, che supporta ogni aspetto della performance e risulta particolarmente efficace per il coinvolgimento fisico e mentale.



L'allenamento sportivo

Fasi dell'allenamento

Le sessioni di allenamento a corpo libero si articolano in diverse fasi, ognuna con un ruolo cruciale per garantire efficacia e sicurezza.

Queste fasi includono il riscaldamento, la fase principale di esercizio e il defaticamento, ognuna di queste è pensata per preparare il corpo, migliorare le prestazioni e la facilità.

1. Riscaldamento

Il riscaldamento è una fase fondamentale che prepara il corpo all'attività fisica. Durante questa fase, l'obiettivo principale è aumentare la temperatura corporea e migliorare la circolazione sanguigna, affinché i muscoli e le articolazioni siano pronti per lo sforzo. Un riscaldamento efficace può durare da 5 a 15 minuti e può includere attività aerobiche leggere come jogging sul posto, salti leggeri o esercizi di mobilità articolare. Inoltre, si possono includere esercizi di stretching dinamico, come affondi o rotazioni del busto, che aumentano la flessibilità e la mobilità. Questa preparazione non solo riduce il rischio di infortuni, ma aiuta anche a migliorare la prestazione durante l'allenamento vero e proprio.

2. Fase Principale

La fase principale dell'allenamento è dove si svolgono gli esercizi mirati, ed è il cuore della sessione.

In questa fase devono essere eseguiti una serie di esercizi di corpo libero che possono inclu-

dere flessioni, squat, affondi, trazioni e plank. Questa fase può essere strutturata in vari modi, a seconda degli obiettivi individuali, come il miglioramento della forza, della resistenza o della flessibilità. Gli allenamenti possono essere organizzati in circuiti, dove si alternano diversi esercizi con brevi pause, o in serie, dove si esegue un esercizio per un numero prestabilito di ripetizioni prima di passare al successivo. La durata della fase principale varia in base al livello di fitness e agli obiettivi, ma può durare da 20 a 60 minuti.

3. Defaticamento e recupero

La fase di defaticazione e recupero è altrettanto importante quanto il riscaldamento e la fase principale. Iniziare immediatamente dopo l'allenamento e mira a riportare gradualmente il corpo a uno stato di riposo. Questa fase include esercizi di stretching statico per migliorare la flessibilità e per rilassare i muscoli affaticati. Gli esercizi possono includere allungamenti dei principali gruppi muscolari coinvolti durante l'allenamento, come gambe, braccia e schiena.

Il recupero, pur essendo spesso trascurato, è essenziale per il successo a lungo termine di un programma di allenamento. Permette ai muscoli di ripararsi e ricostruirsi dopo lo sforzo, contribuendo così a migliorare la forza e la resistenza nel tempo. Un buon recupero può includere il riposo attivo, come camminare leggere o yoga, ed una buona idratazione.

Tipologie di allenamento



Allenamento di forza

L'allenamento di forza a corpo libero si basa sull'utilizzo del peso del corpo per sviluppare la forza muscolare. Questo tipo di allenamento è accessibile e versatile, poiché non richiede attrezzature e può essere eseguito in vari ambienti, da casa alla palestra. Esercizi come flessioni (push-up), squat, trazioni (pull-up) e affondi possono essere adattati per diverse capacità fisiche. Per esempio, le flessioni possono essere eseguite con le ginocchia a terra per i principianti o con una mano sollevata per aumentarne la difficoltà. Questo approccio non solo costruisce muscoli, ma migliora anche la stabilità delle articolazioni e la resistenza muscolare, rendendo l'allenamento funzionale e applicabile a diverse attività quotidiane e sportive. Inoltre, l'allenamento di forza stimola la densità ossea e può contribuire a un miglioramento della postura e della salute metabolica.



Allenamento di resistenza

L'allenamento di resistenza si concentra sul miglioramento della capacità cardiovascolare e sulla resistenza muscolare. Questa tipologia può includere circuiti ad alta intensità in cui si alternano esercizi di forza e cardio. Esempi di esercizi includono jumping jacks, burpees e mountain Climbers, che non solo aumentano la resistenza fisica ma favoriscono anche la perdita di peso e migliorano la salute cardiovascolare. Durante un allenamento di resistenza, i muscoli vengono stimolati a lavorare in modo continuo, il che aiuta a migliorare l'efficienza del cuore e dei polmoni. Questo tipo di allenamento può anche essere personalizzato per diversi livelli di intensità, consentendo a chiunque di partecipare, dagli atleti professionisti a chi è all'inizio del proprio percorso di fitness. L'allenamento di resistenza è particolarmente efficace per bruciare calorie e migliorare la composizione corporea.



Allenamento di flessibilità

L'allenamento di flessibilità è essenziale per migliorare la mobilità e l'elasticità muscolare attraverso esercizi di stretching. Questa forma di allenamento può includere stretching statico e dinamico, yoga e pilates. Il miglioramento della flessibilità non solo aiuta a prevenire gli infortuni, ma migliora anche la postura e la prestazione generale in altre attività fisiche. Gli esercizi di stretching possono essere eseguiti in qualsiasi momento e in qualsiasi luogo, rendendoli una parte facilmente integrabile nella routine quotidiana. La flessibilità è fondamentale anche per gli atleti, poiché consente movimenti più ampi e fluidi, migliorando l'esecuzione tecnica negli sport. Inoltre, l'allenamento di flessibilità può aiutare a ridurre la tensione muscolare e lo stress, favorendo un recupero più rapido dopo l'allenamento.



Allenamento di equilibrio e coordinazione

L'allenamento di equilibrio e coordinazione si concentra sul miglioramento della stabilità del corpo e del controllo dei movimenti. Esercizi come l'agility ladder, affondi su una gamba e movimenti di equilibrio su superfici instabili (come un cuscinetto di equilibrio) sono fondamentali per sviluppare queste abilità. Il miglioramento dell'equilibrio è particolarmente importante per prevenire le cadute, specialmente negli anziani, e per migliorare la prestazione in molti sport. Un buon equilibrio e coordinazione sono essenziali per eseguire movimenti complessi e per mantenere una buona postura durante le attività fisiche. Questo tipo di allenamento è vantaggioso anche per gli atleti, poiché una solida base di equilibrio permette una maggiore agilità e reattività durante le competizioni.

Gruppi muscolari coinvolti nell'allenamento

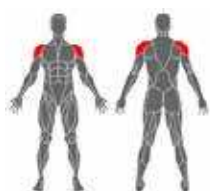
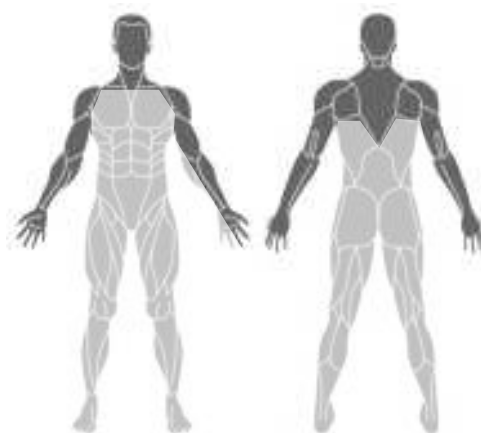
Parte Superiore del Corpo

I muscoli della parte superiore del corpo comprendono principalmente pettorali, deltoidi, dorsali, trapezi e braccia (bicipiti e tricipiti). Gli esercizi a corpo libero come flessioni, trazioni e dip sono ideali per allenare questi muscoli.

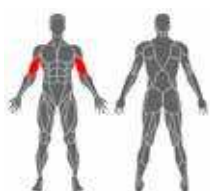
Pettorali e deltoidi: Coinvolti in movimenti di spinta come le flessioni, questi muscoli sono fondamentali per sviluppare la forza e la stabilità della parte anteriore e superiore del tronco.

Dorsali e trapezi: Questi muscoli della schiena sono cruciali per stabilizzare il tronco e aiutano nei movimenti di trazione, come le trazioni e gli esercizi di tirata. Sono essenziali per migliorare la postura e il controllo scapolare.

Bicipiti e tricipiti: Spesso lavorano in sinergia con spalle e pettorali. Gli esercizi a corpo libero che coinvolgono le braccia, come push-up vari e dip, aiutano a rafforzare questi muscoli.



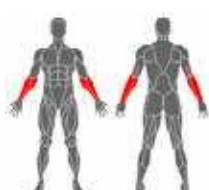
Spalle (Deltoidi)



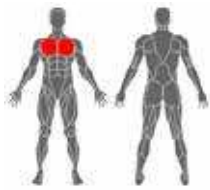
Braccia, *bicipiti*



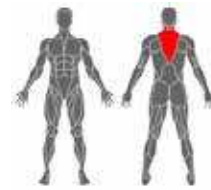
Braccia (Tricipiti)



Avambracci (Flessori ed estensori)



Petto (Pettorali)



Schiena (Trapezio, Romboidi)

Parte superiore

Pike Push-Up

Gruppo muscolare primario:
tricipiti, deltoidi

Gruppo muscolare secondario:
petto, trapezio, addominali

Categoria: Forza



Parte superiore

Trazioni alla sbarra (pull up)

Gruppo muscolare primario:
spalle, dorso

Gruppo muscolare secondario:
pettorali.

Categoria: Forza



Parte superiore

Dips

Gruppo muscolare primario:
tricipiti, pettorali, deltoidi

Gruppo muscolare secondario:
addominali

Categoria: Forza



Parte superiore

Australian pull up - Inverted Rows (variante)

Gruppo muscolare primario: pettorale, dorsale

Gruppo muscolare secondario:
bicipiti

Categoria: Forza



Parte superiore

Clap Push-Up

Gruppo muscolare primario:
Pettorali, deltoidi anteriori,
tricipiti

Gruppo muscolare secondario:
Addominali

Categoria: Forza



Parte superiore

Trazioni alla sbarra (chin up)

Gruppo muscolare primario:
spalle, dorso

Gruppo muscolare secondario:
pettorali.

Categoria: Forza



*Tutti gli esercizi presentati possono presentare delle varianti

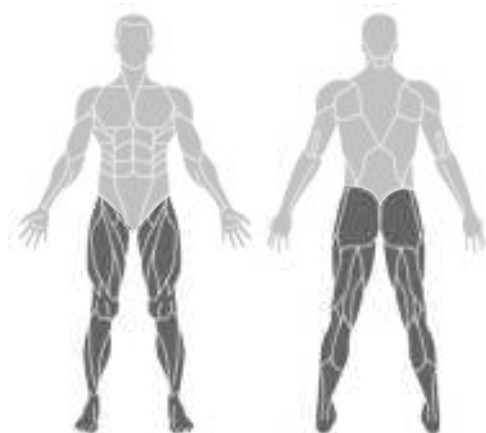
Parte inferiore del corpo

I principali muscoli della parte inferiore sono i quadricipiti, i glutei, i muscoli posteriori della coscia, i polpacci e gli adduttori/abductori. Gli esercizi come squat, affondi e step-up sono indicati per potenziare e tonificare le gambe.

Quadricipiti e glutei: Questi sono tra i muscoli più forti del corpo, cruciali per la stabilità e la potenza delle gambe. Squat e affondi attivano intensamente questi muscoli.

Muscoli posteriori della coscia e polsi: I posteriori della coscia stabilizzano il ginocchio e il bacino, mentre i polpacci aiutano a dare spinta e sostegno durante i movimenti come salti o corsa.

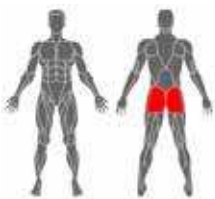
Adduttori e abductori: Questi muscoli laterali delle gambe permettono il controllo dei movimenti laterali e stabilizzano l'articolazione dell'anca. Sono attivati in esercizi come affondi laterali.



Quadricipiti



Polpacci



Glutei (Grande, Medio, Piccolo)



Femorali

Parte Inferiore

Affondi frontali

Gruppo muscolare primario:
Quadricipiti, glutei.

Gruppo muscolare secondario:
Adduttori, polpacci, core.

Categoria: Forza



Parte Inferiore

Bulgarian Split Squat

Gruppo muscolare primario:
Glutei, ischiocrurali.

Gruppo muscolare secondario:
Core, polpacci.

Categoria: Forza



Parte inferiore

Side Lunge

Gruppo muscolare primario:
Quadricipiti, glutei, polpacci.

Gruppo muscolare secondario:
Core

Categoria: Forza, cardio



Parte inferiore

Squat

Gruppo muscolare primario:
Quadricipiti, glutei.

Gruppo muscolare secondario:
Adduttori, polpacci, core.

Categoria: Forza



Parte inferiore

Lunge, affondi (varianti laterali)

Gruppo muscolare primario:
Quadricipiti, glutei.

Gruppo muscolare secondario:
Adduttori, polpacci, core.

Categoria: Forza



Parte inferiore

Pistol Squat

Gruppo muscolare primario:
Quadricipiti, glutei.

Gruppo muscolare secondario:
Adduttori, polpacci, core.

Categoria: Forza



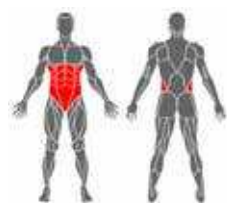
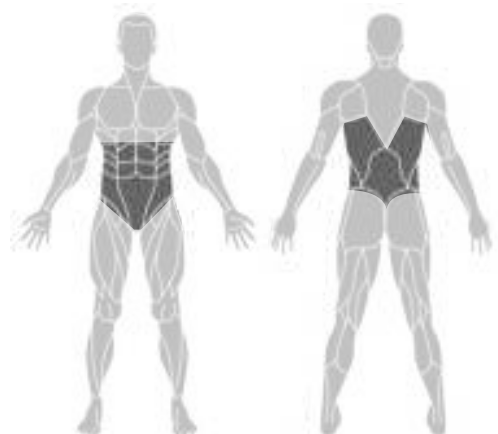
*Tutti gli esercizi presentati possono presentare delle varianti

Core

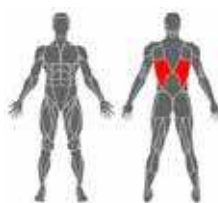
Il core include muscoli come addominali, obliqui, muscoli lombari e trasverso dell'addome, essenziali per la stabilità del corpo e la postura. Il core è il centro di equilibrio e forza del corpo. Quando è allenato, permette di eseguire movimenti più sicuri e potenti, facilitando l'equilibrio negli esercizi complessi.

Addominali e obliqui: supportano la colonna vertebrale e facilitano i movimenti di torsione e flessione laterale del tronco. Plank, sit-up e crunch sono tra gli esercizi base per questi muscoli.

Muscoli lombari e trasverso dell'addome: Fondamentali per la stabilizzazione della zona lombare e del bacino, questi muscoli aiutano a prevenire lesioni e a mantenere un corretto allineamento della colonna. Gli esercizi di stabilità come plank laterali e superman li coinvolgono in modo significativo.



Addominali (Retto dell'Addome, Obliqui, Trasverso dell'Addome)



Schiena (Dorsali)



Erettori spinali

Core

Plank Jack

Gruppo muscolare primario:
addominali, spalle

Gruppo muscolare secondario:
braccia, petto, schiena, gambe

Categoria: Cardio e forza



Core

Side Plank

Gruppo muscolare primario:
addominali, obliqui, glutei

Gruppo muscolare secondario:
spalle, adduttori, quadricipiti

Categoria: Forza e cardio



Core

Toe Tap Plank

Gruppo muscolare primario:
core, deltoidi, tricipiti, petto

Gruppo muscolare secondario:
glutei, quadricipiti

Categoria: Forza



Core

Mountain Climber (anche alle parallele)

Gruppo muscolare primario:
Addominali, quadricipiti.

Gruppo muscolare secondario:
Spalle, tricipiti.

Categoria: Cardio



Core

Russian twist

Gruppo muscolare primario:
Obliqui, addominali.

Gruppo muscolare secondario:
Lombari, flessori dell'anca.

Categoria: Forza



Core

Bicycle Crunch

Gruppo muscolare primario:
Addominali, obliqui.

Gruppo muscolare secondario:
Flessori dell'anca, quadricipiti.

Categoria: Forza



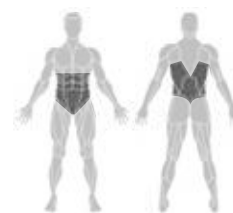
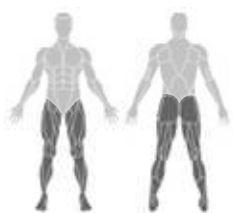
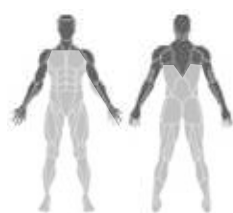
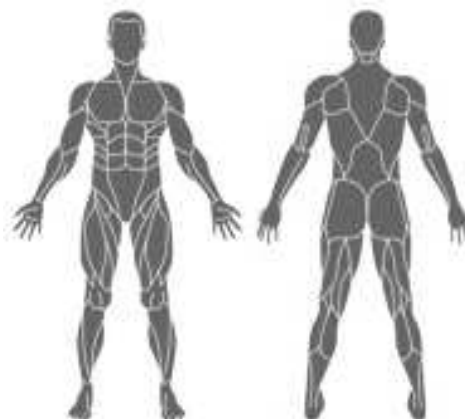
*Tutti gli esercizi presentati possono presentare delle varianti

Total body

Gli esercizi total body coinvolgono contemporaneamente più gruppi muscolari, rendendo l'allenamento più completo e funzionale.

Movimenti funzionali e complessi: Esercizi come burpees, mountain climbers e jumping jacks coinvolgono la parte superiore, inferiore e il core. Questi movimenti stimolano resistenza e forza complessiva, ideali per migliorare la condizione fisica generale.

Eseguendo esercizi che coinvolgono contemporaneamente diversi gruppi muscolari, il corpo migliora in termini di coordinazione, resistenza e forza funzionale, rendendo il total body ideale per chi vuole ottimizzare il tempo di allenamento con risultati su più fronti



Coinvolgimento di tutti i gruppi muscolari

Burpees

Full body

Gruppo muscolare primario:
Quadricipiti, glutei, pettorali,
spalle.

Gruppo muscolare secondario:
Tricipiti, polpacci, core.

Categoria: Cardio



Jumping Jack

Full body

Gruppo muscolare primario:
Quadricipiti, polpacci.

Gruppo muscolare secondario:
deltoidi, addominali.

Categoria: Cardio



Leg lift Plank

Full body

Gruppo muscolare primario:
core, glutei, deltoidi

Gruppo muscolare secondario:
tricipiti, quadricipiti

Categoria: Cardio



High Knees

Full body

Gruppo muscolare primario:
Quadricipiti, polpaccio.

Gruppo muscolare secondario:
Addominali, flessori dell'anca.

Categoria: Cardio



Broad Jump

Full body

Gruppo muscolare primario:
Quadricipiti, glutei, polpacci.

Gruppo muscolare secondario:
Core

Categoria: Forza, cardio



Bear Crawls

Full Body

Gruppo muscolare primario:
Quadricipiti, polpacci.

Gruppo muscolare secondario:
Deltoidi, addominali.

Categoria: Cardio



*Tutti gli esercizi presentati possono presentare delle varianti

Esercizi per la coordinazione ed il ritmo

Il ritmo e il timing

Ogni forma di movimento ha un ritmo d'esecuzione caratterizzato da durate, pause, velocità e intensità. Questa miscela di elementi varia in funzione delle specifiche attività svolte.

Quindi la capacità di ritmo consente nel saper dosare tali elementi per organizzare il proprio movimento in modo che l'azione risulti fluida e armoniosa.

In musica il ritmo è basato sulla suddivisione del tempo ed è scandito da accenti forti e deboli che dipendono dalla durata delle note e dalla presenza di pause più o meno lunghe. Quando si individua la struttura di una musica si parla di ritmo musicale.

I motivi sonori e ritmici possono essere tradotti in movimento. Attraverso l'apprendimento motorio e l'allenamento, si può imparare a individuare queste strutture ritmiche e a integrarle nel repertorio dei propri movimenti.

L'obiettivo è utilizzare un'attività motoria con velocità differenti, vale a dire saper modificare l'impegno dinamico della forza accelerando e decelerando a piacere l'esecuzione.

Con il termine timing s'intende invece la corretta scelta di tempo per compiere un'azione. Per essere al posto giusto al momento giusto occorre grande precisione spazio-temporale (colpire una pallina con una racchetta, ricevere in corsa un passaggio ecc). Il timing favorisce quindi la precisione d'esecuzione, mentre la differenziazione del ritmo stimola la creatività.

Criteri per migliorare la capacità di ritmo

Negli sport caratterizzati da una riproduzione ritmica del gesto, saper mantenere e regolare il proprio ritmo è fondamentale per rendere più economico il lavoro muscolare (minori sono le brusche variazioni di ritmo a cui si sottopone l'organismo, maggiore è il risparmio energetico totale conseguito nell'esecuzione del gesto).

Anche saper alternare gli stati di tensione e distensione dei gruppi muscolari impegnati durante l'esercizio, capacità indispensabile per compiere movimenti elastici, è in stretto rapporto con la capacità di ritmo.

Per poter sviluppare capacità di ritmo in modo variato, è possibile svolgere una varietà di esercizi tra cui:

- A. Regolare il proprio ritmo in azioni cicliche in funzione dell'obiettivo da raggiungere.
 - Correre un giro registrando il tempo e ripeterne altre 10 mantenendo la stessa velocità
- B. Regolare il proprio ritmo in base a riferimenti spaziali precisi (ostacoli, segnali al suolo)
 - Superare in corsa vari tipi di ostacoli posti a distanze regolari
 - Eseguire balzi nei cerchi posti a distanze regolari
 - Correre a slalom
- C. Eseguire esercizi seguendo una battuta ritmica proposta con intervalli costanti e variati.
 - Salire e scendere da una panca
 - Riprodurre delle strutture ritmiche prima battendo le mani e poi abbinando dei movimenti a scelta

L'Agility Ladder

L'agilityladder è una scaletta distesa a terra con spaziature normalmente fisse, ma che possono essere anche variate aumentando la difficoltà esecutiva degli esercizi. Serve per realizzare spostamenti molto rapidi ma di ampiezza limitata, dove la coordinazione degli appoggi viene stabilita da precise sequenze ritmiche.

Questa attività coinvolge in particolar modo la capacità coordinativa speciale di ritmo, oltre che quella di reazione, di combinazione degli elementi e di equilibrio, e contribuisce a migliorare il controllo dei movimenti per renderli più efficaci e fluidi. Questo attrezzo viene utilizzato dagli atleti di numerose discipline per aumentare il livello di coordinazione globale, durante la fase di preparazione generale, e per facilitare l'acquisizione delle abilità tecniche specifiche dove l'esercizio richiama il gesto proprio della disciplina.



Esempi di esercizi

Spostamenti laterali

- Due piedi in laterale

Piedi dietro alla scaletta posizionati lateralmente. Metti il piede sinistro nel primo quadrato seguito dal destro. Ripeti questo movimento fino alla fine della scaletta.

- Due dentro e due fuori

Piedi posizionati lateralmente al primo quadrato. Il piede sinistro entra nel primo quadrato, seguito dal destro. Porta il piede sinistro fuori dalla scaletta, di fronte al secondo quadrato, poi fai lo stesso col piede destro. Ripeti fino alla fine della scaletta.

- Uno dentro e due fuori

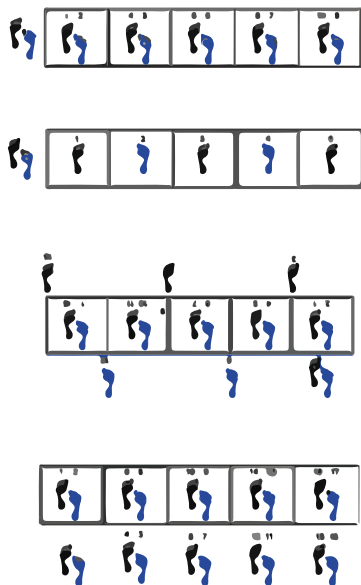
Piedi posizionati lateralmente al primo quadrato. Porta il piede destro nel primo quadrato. Il piede sinistro si posiziona in direzione del quadrato seguente, ma fuori da esso, come se tornasse alla posizione iniziale. Il piede destro va a lato del piede sinistro, tornando poi alla posizione iniziale. Porta il piede sinistro nel secondo quadrato. Ripeti il movimento fino alla fine della scaletta.

- Incrocio avanti

Piedi dietro alla scaletta posizionati lateralmente. Il piede destro entra nel primo quadrato incrociando il piede sinistro che segue. Percorri tutta la scaletta in laterale, poi esegui l'esercizio anche da sinistra verso destra.

- Incrocio avanti, incrocio dietro

Piedi dietro alla scaletta posizionati lateralmente. Il piede destro entra nel primo riquadro, incrociando davanti il sinistro che segue. Quindi il piede destro entra nel secondo quadrato incrociando dietro il piede sinistro che lo segue. Ripeti la sequenza fino alla fine della scaletta, poi esegui l'esercizio anche da sinistra verso destra, iniziando con il piede sinistro.



Spostamenti frontali

- Un piede alla volta:

Piedi dietro alla scaletta. Si avanza in skip lungo la scaletta mettendo un piede in ciascun quadrato

- In successione in avanti:

Piedi dietro alla scaletta. Come l'esercizio precedente, solo che questa volta tutti e due i piedi entrano in successione in ogni quadrato

- Dentro e fuori

Piedi dietro alla scaletta. Salta con entrambi i piedi ed entra nel primo quadrato, quindi salta e appoggia i piedi fuori dal quadrato, uno a destra e l'altro a sinistra, quindi ripetere in successione.

- Sinistro, piedi pari, destro, piedi pari

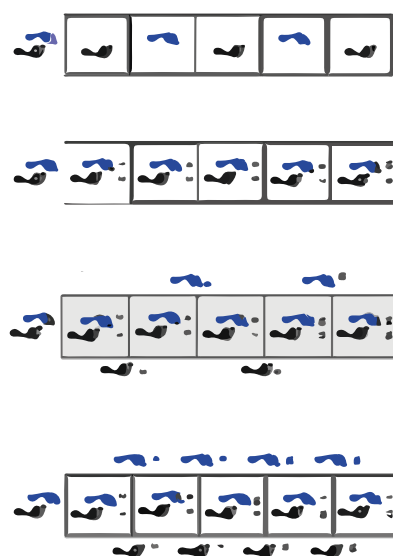
Piedi dietro alla scaletta. Salta e appoggia il piede sinistro nel primo quadrato, quindi spingi col piede sinistro e appoggia entrambi i piedi nel secondo quadrato. Salta e appoggia il piede destro nel terzo quadrato e quindi spingi con il piede destro e appoggia entrambi i piedi nel quarto quadrato e così via.

- Fuori a destra e a sinistra

Piedi a sinistra della scaletta. Alterna rapidamente gli appoggi destro e sinistro nel primo quadrato, quindi il destro lateralmente a destra, poi alterna gli appoggi sinistro e destro nel secondo quadrato, quindi il sinistro lateralmente a sinistra e così via.

- Incrocio e accosta

Piedi a sinistra della scaletta. Il piede sinistro, incrociando il piede destro entra nel primo quadrato, seguito dal destro. Quindi il piede sinistro esce a destra fuori dal primo quadrato, sempre incrociato dal destro e poi seguito da esso.



L'importanza degli spazi outdoor nella sonificazione

L'ambiente esterno ha un ruolo essenziale nelle attività sportive e rappresentano un contesto ideale per la pratiche individuali come la corsa, il trekking o esercizi a corpo libero come affondi, piegamenti, salti, stretching e yoga.

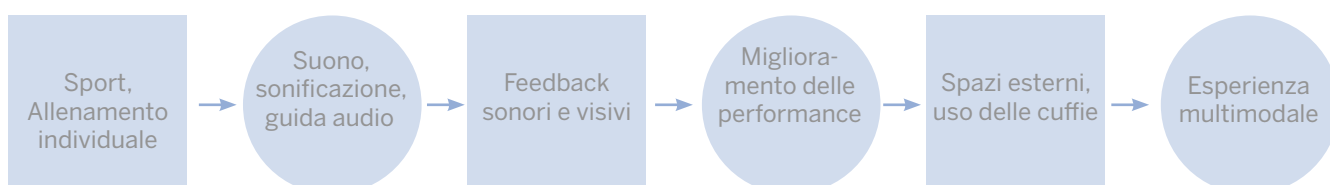
Allenarsi all'aria aperta non solo arricchisce l'esperienza fisica, ma ha dimostrato di migliorare il benessere psicologico, favorendo la concentrazione e riducendo i livelli di stress. La natura offre inoltre una serie di stimoli variabili e dinamici, che rendono più coinvolgente e completa l'esperienza sportiva rispetto a un ambiente chiuso. In questo contesto, la sonificazione del movimento si rivela uno strumento innovativo, particolarmente utile per il monitoraggio e la correzione dell'esecuzione degli esercizi.

Gli esercizi a corpo libero richiedono movimenti ampi e ripetitivi, possono essere ottimizzati grazie alla sonificazione. Questa tecnologia potrebbe fornire all'atleta una guida in tempo reale sull'esecuzione corretta degli esercizi. Ad esempio, durante un affondo, un suono specifico può segnalare se il peso corporeo non è distribuito correttamente tra le gambe, evitando così pressioni eccessive su un lato e aiutando l'atleta a mantenere una postura bilanciata. Nei salti, invece, la sonificazione può monitorare e correggere la simmetria della spinta e dell'atterraggio, offrendo un feedback utile per migliorare la precisione e l'efficacia del movimento.

Questo particolare tipo di supporto sonoro è vantaggioso per chi si allena da solo all'aperto, dove la possibilità di monitorare visivamente la postura è limitata. Grazie alla sonificazione, l'atleta riceve un "istruttore virtuale" che accompagna il movimento senza interferire con il flusso dell'esercizio. Inoltre, la sonificazione può essere utilizzata per migliorare la consapevolezza corporea e l'autocontrollo in discipline come lo yoga o lo stretching dinamico, in cui è fondamentale mantenere equilibrio e stabilità durante le transizioni tra le posizioni.

Un feedback sonoro che segnala una postura corretta o un respiro sincronizzato con il movimento permette all'atleta di integrarsi meglio con l'ambiente circostante, creando una sinergia tra corpo e mente.

La sonificazione del movimento, oltre a migliorare la qualità dell'esecuzione tecnica, aumenta il senso di connessione con l'ambiente naturale. Non solo permette all'atleta di percepire le proprie azioni in modo intuitivo, ma crea un ambiente di allenamento immersivo, dove il suono guida e motiva, favorendo la concentrazione e l'efficacia degli esercizi a corpo libero. In un ambiente outdoor, questa combinazione di natura e tecnologia permette di sperimentare un allenamento consapevole, centrato sulla qualità del movimento e sulla sinergia tra corpo e ambiente.



Analisi critica

Analisi critica

Dalla ricerca presentata, emerge come la sonificazione del movimento, la sincronizzazione in tempo reale tra percezione e azione con il ritmo dell'allenamento, giochino un ruolo essenziale sia a livello motorio sia emozionale.

Nella sonificazione, i movimenti vengono tradotti in segnali uditivi, creando un canale immediato di feedback che aiuta gli utenti a regolare il proprio ritmo e l'intensità. Questo tipo di feedback supporta un controllo motorio più preciso, trasformando il suono in un alleato prezioso per la consapevolezza corporea.

Oltre alla precisione motoria, il suono e il ritmo influenzano anche l'aspetto emozionale dell'esperienza. In modo simile alla musica, la sonificazione riesce a coinvolgere e motivare gli utenti, favorendo un'attività fisica meno faticosa e più coinvolgente. In questo modo, si realizza un'esperienza multimodale, che combina la percezione sonora e corporea con un impatto emozionale positivo, particolarmente utile in contesti outdoor, dove il contatto con la natura contribuisce al benessere psicofisico.



Caso studio



Questo ha portato alla progettazione di un parco fitness interattivo e multimodale, ideato per sfruttare l'unione tra attività fisica, percezione sensoriale e interazione emotiva. Il parco integra attrezzature interattive che rispondono al tocco dell'utente, generando segnali sonori che offrono un feedback continuo e guidano i movimenti. Ogni stazione presenta un sistema di feedback sonoro che accompagna e motiva l'utente, adattandosi al ritmo e alla qualità della prestazione, aiutando a mantenere l'intensità ottimale dell'esercizio. Questa guida sonora offre inoltre istruzioni in tempo reale, che aiutano l'utente ad eseguire correttamente i movimenti.

In questo contesto, il parco sportivo diventa molto più che una semplice area per l'esercizio: è un sistema interattivo e immersivo che combina la percezione motoria e l'emozione, migliorando la qualità dell'esperienza e permettendo un miglioramento progressivo delle abilità. Grazie a questo approccio, ogni sessione di allenamento si trasforma in un viaggio coinvolgente e personalizzato, che unisce l'ambiente esterno alla tecnologia e alla percezione sonora, portando l'utente a vivere l'attività fisica come un'esperienza armoniosa e completa.

Caso studio

Fit Sound System

Concept

Analisi dei requisiti

Funzionamento

Svolgimento dell'esercizio e guida audio

Sonificazione del ritmo

Modalità d'uso

Sonificazione del ritmo

Caso d'uso

Scelte di mappatura

Approccio alla sonificazione

Esperienza di ascolto

Dall'accesso al suono

Configurazioni

Componenti strutturali

Modularità

Palo strutturale

Sbarre e attrezzature

Componenti tecnologiche

Sistema di illuminazione

Componenti interattivi

Pannello

Pavimentazione interattiva

Totem degli esercizi

Applicazione

Predisposizione area

Tavole tecniche

Tabella delle parti e dei materiali

Allegati e riferimenti

Concept

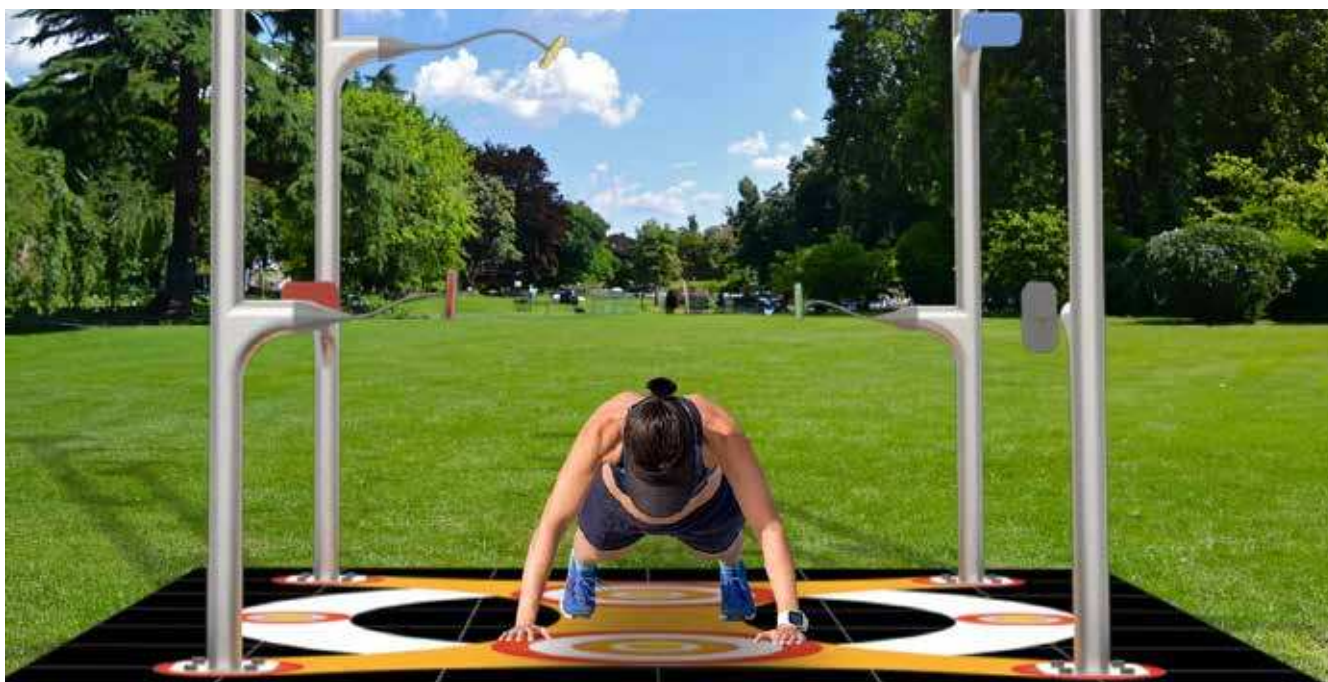
L'idea alla base di questo parco è quella di creare uno spazio che superi l'immagine tradizionale degli attrezzi ginnici, offrendo un ambiente immersivo e interattivo, dove il movimento umano si trasforma in suono e la performance sportiva diventa espressione musicale. L'obiettivo è quello di realizzare un'esperienza che fonda attività fisica, ritmo, musica e percezione, dando vita a un percorso in cui ogni movimento genera un suono, ogni passo si traduce in un'onda sonora, ogni gesto diventa parte di una composizione dinamica.

La sonificazione assume un ruolo attivo: è uno strumento che dialoga con chi si allena, offrendo feedback immediati che guidano e motivano l'utente a migliorarsi. Il parco, quindi, non è solo un luogo per allenarsi, ma un'esperienza sensoriale, dove corpo e mente sono coinvolti insie-

me, trasformando la percezione dello sforzo fisico in un'interazione piacevole e stimolante.

Questo concetto nasce dal desiderio di amplificare la percezione e la consapevolezza corporea durante l'allenamento, facendo leva sulla capacità della sonificazione di creare una connessione tra l'utente e l'ambiente circostante migliorando le prestazioni. Ogni movimento all'interno del parco si riflette in un suono unico e irripetibile, che si evolve in tempo reale e si adatta all'intensità, al ritmo e alla sequenza dei gesti compiuti.

Il parco è quindi strumento intermodale tra attività fisica, emozioni e percezione, studiato per generare una sinergia tra queste dimensioni, incoraggiando l'utente a vivere il movimento non solo come sforzo ma come esperienza.



11.1

Analisi dei requisiti

Analisi dei requisiti

Ambito	ID	Requisito	Dettaglio
Interazione	01	Applicazione mobile	Consentire l'accesso ad un'applicazione mobile per ricevere feedback e monitorare i progressi.
	02	Pannelli sonori interattivi	Integrare pannelli sonori interattivi in posizioni strategiche per l'allenamento e dotarli di sensori per rilevare il tocco degli utenti.
	03	Pavimentazione interattiva	Fornire una pavimentazione interattiva e sicura fornendo feedback sonoro che si adatta in tempo reale al ritmo e all'intensità dell'allenamento.
Spazio e Funzionalità	04	Ambiente multimodale	Creare un ambiente multimodale che riesca a stimolare e migliorare le prestazioni fisiche degli utenti attraverso feedback sonori e visivi.
	05	Area multifunzionale	Progettare uno spazio multifunzionale per una varietà di esercizi aerobici.
	06	Regolazione dei pannelli	Permette agli utenti di adattare la posizione del pannello per migliorare l'esperienza di allenamento.
Feedback	07	Guida audio	Fornire una guida audio per l'allenamento personalizzato in base alle esigenze dell'utente.
	08	Sonificazione del ritmo	Effettuare una sonificazione efficace in base al ritmo di interazione con il parco attraverso gli esercizi.
	09	Totem informativi	Forniscono informazioni sugli esercizi disponibili e le istruzioni d'uso delle strutture
Gestione e alimentazione	10	Accensione e spegnimento automatici	Accensione e spegnimento automatici delle funzionalità in base alla presenza degli utenti, per ottimizzare il risparmio energetico.
	11	Illuminazione sostenibile	Dotare il parco di un sistema autonomo e sostenibile per l'illuminazione notturna.
	12	Sistema di autoricarica	Tecnologie integrate all'interno del parco devono garantire l'autonomia energetica
	13	Opzioni di interazione facoltativa	Gli utenti sono liberi di scegliere se interagire o meno con gli elementi del parco.

La struttura del parco si articola in **quattro moduli di allenamento**, concepiti come stazioni autonome e specializzate, ognuna delle quali rappresenta una zona di interazione dedicata all'attività fisica e all'inclusione sensoriale.



FIT SOUND

system



Funzionamento

Il parco sportivo è progettato per offrire un'esperienza di allenamento avanzata, personalizzata e interattiva, basata su una combinazione di tecnologia e sport.

All'ingresso di ogni struttura, i visitatori trovano un **totem informativo** dotato di un display che funge da punto di riferimento per l'intero sistema. Questo dispositivo accoglie gli utenti, fornendo loro un'interfaccia semplice e chiara che consente di esplorare tutte le attività disponibili. Sullo schermo vengono visualizzate informazioni dettagliate, tra cui le modalità di allenamento proposte, le istruzioni pratiche per utilizzare le attrezzature in sicurezza e le indicazioni necessarie per iniziare il percorso di allenamento.

Totem informativo



Per una gestione più comoda e flessibile, gli utenti possono scaricare **un'app mobile dedicata**. Questa applicazione consente di sincronizzare il programma di allenamento con lo smartphone, fornendo accesso immediato a una serie di funzioni avanzate. L'utente può selezionare il programma di allenamento che meglio si adatta alle proprie esigenze configurando ogni aspetto del proprio percorso.

Una volta scelto il programma, il sistema fornisce istruzioni precise su come **regolare le zone di interazione**: i pannelli interattivi. Essi sono regolabili in tutte le direzioni grazie al tubolare flessibile permettendo di personalizzare l'allenamento in base alle caratteristiche fisiche dell'utente e alla natura dell'esercizio.

Regolazione dei pannelli interattivi in base all'esercizio e alle necessità individuali dell'utente



Dopo aver configurato il programma, l'utente indossa delle **cuffie** che forniscono istruzioni audio dettagliate e segnali sonori per guidarlo passo dopo passo durante l'allenamento.

L'intero sistema è pensato per un **esperienza di allenamento individuale** e le cuffie offrono un'immersione completa, eliminando le distrazioni esterne e consentendo di concentrarsi esclusivamente sull'attività fisica.

Il sistema coordina ogni elemento – **input** (pannelli e pavimentazione) **output** (feedback audio, sonificazione, feedback visivo dal totem, feedback sull'applicazione) – per garantire che l'esperienza sia fluida, coinvolgente e personalizzata.

Durante l'allenamento, il sistema invia segnali visivi sul totem per indicare il tipo di esercizio da eseguire, il tempo di esecuzione e l'area da attivare.

Questo approccio permette di integrare l'aspetto visivo e uditivo in un'**esperienza multisensoriale** unica, in cui ogni elemento del parco collabora per supportare l'utente nel raggiungimento dei propri obiettivi.

Una volta aver familiarizzato con la struttura, effettuata la registrazione e la creazione della scheda si può passare all'**avvio dell'allenamento** individuale tramite app.

L'utente indossa le cuffie



L'utente avvia l'allenamento tramite l'applicazione dedicata



Zone di interazione

I pannelli interattivi assieme alla pavimentazione rappresentano le **zone di interazione** del parco. Attraverso di essi si crea un percorso dinamico e motivante.

Ogni **pannello** è progettato per adattarsi alle esigenze individuali dell'utente, grazie a una regolazione semplice e precisa di altezza e inclinazione. Sono dotati di sensori avanzati che rilevano i **tocchi** dell'utente con estrema precisione. Durante l'allenamento, i sensori registrano i movimenti e inviano feedback in tempo reale, attraverso segnali visivi e audio. Questo sistema aiuta l'utente a correggere eventuali errori, mantenere una postura corretta e migliorare l'efficacia dell'esercizio. I pannelli sono pensati per una vasta gamma di attività, che spaziano da esercizi statici a movimenti dinamici, offrendo un allenamento completo e personalizzabile.

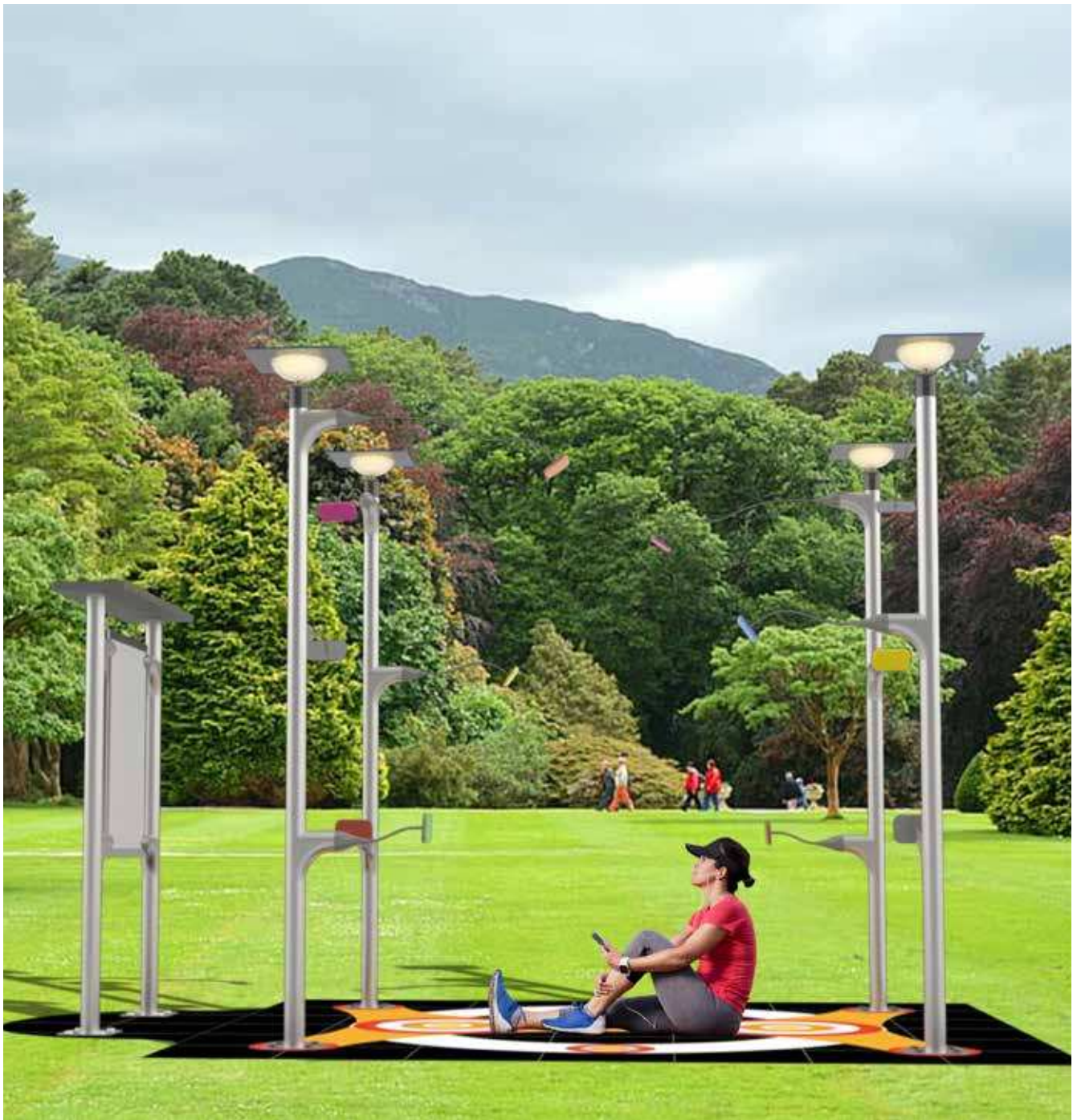
L'utente interagisce con un pannello



La **pavimentazione** interattiva è pensata per integrare gli esercizi che coinvolgono movimenti a terra o dinamiche di spostamento. La pavimentazione, realizzata con materiali resistenti e sicuri, è dotata di sensori sensibili alla **pressione** che rilevano in tempo reale il posizionamento e i movimenti dell'utente, rispondendo con una sonificazione del ritmo di esercizio individuale. Questa tecnologia permette di arricchire l'esperienza di allenamento includendo esercizi che coinvolgono i piedi o l'intero corpo, come salti, spostamenti laterali o esercizi di equilibrio. Le indicazioni visive sul totem guidano l'utente verso una corretta esecuzione dei movimenti.

L'utente interagisce con la pavimentazione





Svolgimento dell'esercizio e guida audio

La struttura del parco si articola in **quattro moduli di allenamento**, concepiti come stazioni autonome e specializzate, ognuna delle quali rappresenta una zona di interazione dedicata all'attività fisica e all'inclusione sensoriale.

Una volta attivato l'allenamento tramite l'app, inizia la fase più coinvolgente e dinamica dell'esperienza.

La **guida audio** si attiva, con una voce chiara e motivante che accoglie l'utente e lo prepara per il primo esercizio, spiegandolo con precisione. Ogni movimento è stato selezionato e personalizzato in base alle preferenze dell'utente, registrate e catalogate in una scheda personale. L'obiettivo non è solo allenarsi, ma interagire in

modo totale con gli elementi del parco, creando un'esperienza unica che fonde fisicità e tecnologia. Per una comprensione completa del sistema, l'interazione viene spiegata attraverso l'esercizio pratico mostrato in figura.

L'esercizio inizia con una "**prova di familiarizzazione**", un primo passo per comprendere il funzionamento del sistema. L'utente, seguendo le indicazioni della guida audio, si posiziona accovacciato: i piedi sono ben saldi a terra, le gambe piegate, pronte a scattare, e le braccia sono rilassate ma vicine al corpo, preparate a contribuire al movimento. La guida audio invita a concentrarsi sul pannello interattivo posizionato sopra la testa: "Preparati a saltare. Usa la forza delle gambe, spingiti verso l'alto e tocca il

Sequenza dell'esercizio
del salto

Fase 1:

- Posizione di partenza
- Preparazione al salto

Fase 2:

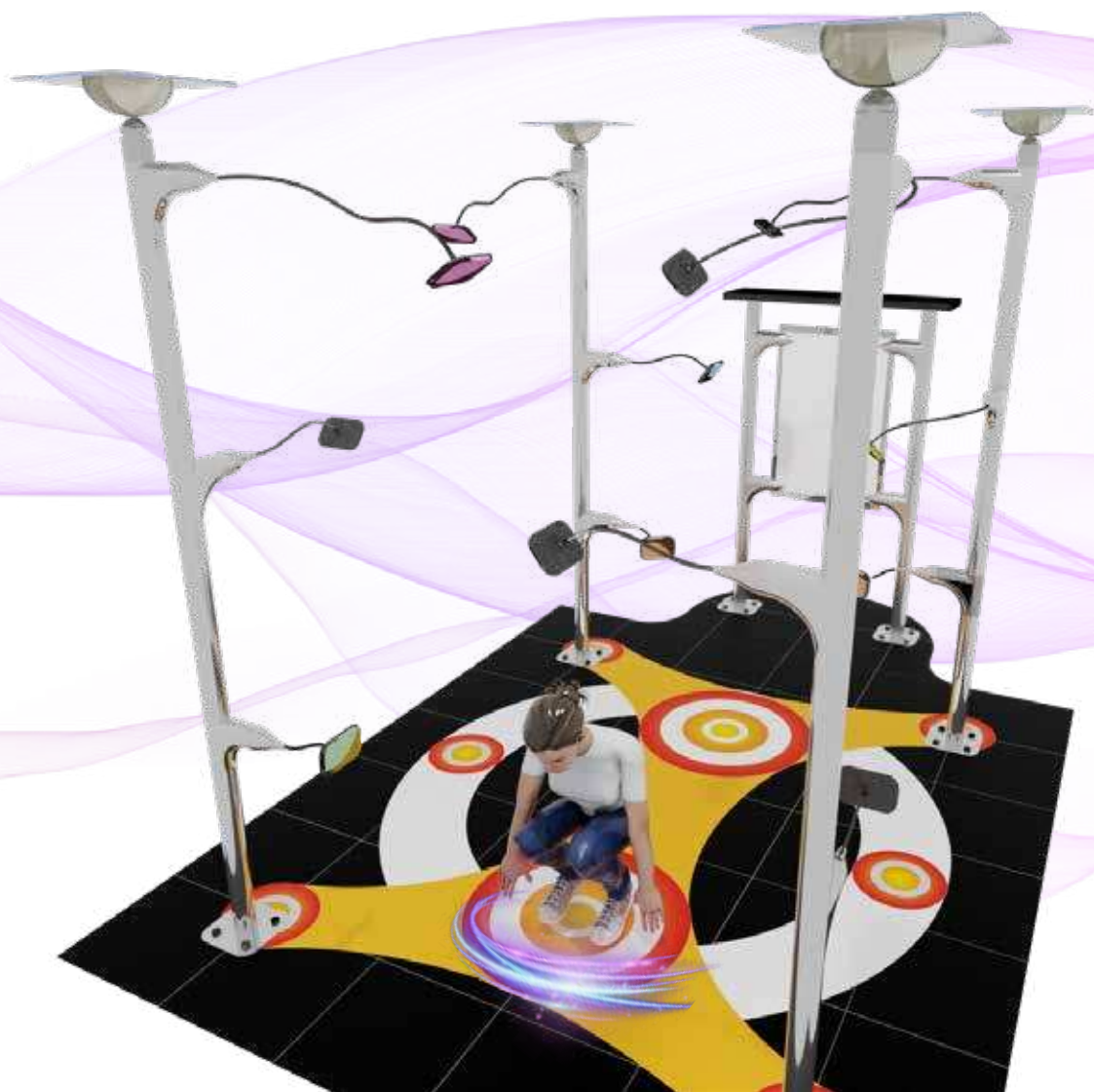
- Esecuzione de salto
- Interazione con il pannello

Fase 3:

- atterraggio

Fase 4:

- ripetizione



Sonificazione del ritmo

pannello rosso con le dita. Tre, due, uno... vai!" Con uno scatto, il corpo si solleva verso l'alto. I piedi si staccano dal suolo, mentre le braccia si slanciano per raggiungere il pannello, e le dita lo toccano con decisione. Al contatto con il pannello, inizia la **sonificazione del ritmo di movimento**. Un suono immediato arriva all'utente: una sequenza di note che cambiano in base alla forza del salto, misurata dalla pavimentazione, e alla precisione del tocco rilevato attraverso i pannelli interattivi. Ogni salto, ogni interazione, genera un feedback sonoro che varia parametricamente a seconda dell'intensità e dell'esecuzione del movimento. La guida audio interviene subito dopo, commentando l'esecuzione: "Ottimo lavoro! Prova a spingerti ancora un po' più in alto nei prossimi salti completando 10 ripetizioni!" L'utente ritorna alla posizione di

partenza pronto a ripetere il movimento, con la consapevolezza che ogni tentativo non solo migliora le sue performance fisiche, ma contribuisce a creare una traccia sonora unica e personale. Attraverso la sonificazione, l'esperienza diventa un processo creativo, in cui l'utente percepisce il proprio corpo come uno strumento che risponde al ritmo del movimento, creando una connessione tra il gesto fisico e la musica generata dal suo stesso corpo. È quindi l'utente che la costruisce arivamente unendo movimento, suono e tecnologia in un'unica, coinvolgente performance. Al termine della sequenza di salti, l'utente riceve un **feedback finale** sui risultati dell'esercizio. La guida audio, insieme al totem e l'app, forniscono un resoconto sul progresso, motivando a proseguire con il prossimo esercizio o a riflettere sui miglioramenti ottenuti.



Modalità d'uso

Una volta iniziata la sessione di allenamento, l'utente comincia ad interagire con gli elementi tecnologici nell'ambiente seguendo le istruzioni fornite in tempo reale dalla guida audio. Queste interazioni possono avvenire toccando i pannelli interattivi indicati, oppure eseguendo esercizi sulla superficie interattiva, progettata per riconoscere e rispondere ai movimenti dell'utente.

I pannelli, posizionati strategicamente, servono per esercizi specifici che richiedono precisione e coordinazione, mentre la pavimentazione interattiva è ideale per esercizi dinamici come salti, affondi o piegamenti. Entrambi gli elementi rendono l'esperienza di allenamento più immersiva e coinvolgente, aggiungendo un livello di interattività che stimola l'utente a completare gli esercizi in modo efficace e divertente.

In questo capitolo, vengono illustrate attraverso delle immagini le modalità d'uso del Fit Sound System, mostrando come gli spazi sono stati progettati per agevolare l'interazione tra l'utente e le diverse strutture. Le rappresentazioni grafiche non si limitano a raffigurare gli esercizi possibili, ma evidenziano anche il rapporto tra il corpo umano, le attrezzature e l'ambiente circostante, offrendo una chiara visione della distribuzione degli spazi e del flusso dei movimenti nel parco. Oltre alle attrezzature per gli esercizi, le immagini vogliono evidenziare soprattutto la modalità di interazione con elementi come i pannelli interattivi, che, grazie alla sonificazione rappresentano il ritmo individuale dell'utente, integrandosi nel design funzionale e tecnologico del parco.

Ogni esercizio è presentato attraverso un'immagine che mostra l'attività all'interno del contesto spaziale, con l'integrazione di effetti che indicano la sonificazione dell'esperienza e disegni in sequenza di movimento che illustrano i passaggi tecnici fondamentali per una corretta esecuzione di ogni esercizio.

Questa combinazione di rappresentazioni visive permette di comprendere non solo le possibilità offerte da ogni struttura, ma anche come il parco favorisca un'esperienza coinvolgente, in cui la tecnologia e il design degli spazi lavorano insieme per migliorare l'attività fisica e la consapevolezza corporea.

Ogni stazione è associata a tre esercizi:

Stazione a terra :

burpees, leg lift plank, bird plank.

Stazione sbarre :

toes to bar, trazioni, monkey bar.

Stazione gambe :

step up, tuck jump, bulgaro squat.

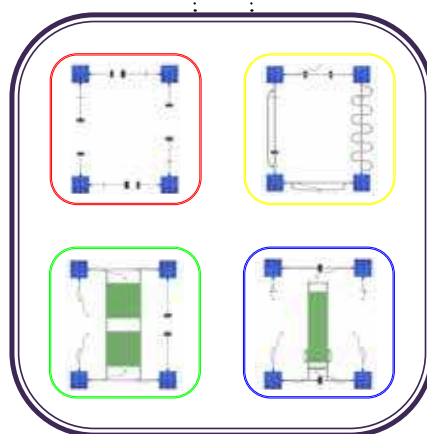
Stazione panca :

leg raise, crunch, calf raise.

Modulo a terra



Modulo sbarre



Modulo gambe



Modulo panca

Stazione a terra

Esempi di esercizi praticabili nel modulo:

Mountain climber



Plank to push up



Agility ladder



Jumping Jack



Side plank



Plank Jack



Reverse plank leg



High knees



1

Burpees



Sequenza dell'esercizio:

Sonificazione dell'interazione:



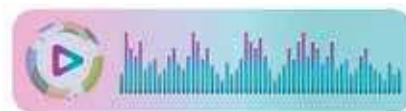
2

Leg lift plank

Sequenza dell'esercizio:



Sonificazione dell'interazione:



3

Bird plank

Sequenza dell'esercizio:



Sonificazione dell'interazione:



Stazione sbarre

Esempi di esercizi praticabili nel modulo:

Pull up - chin up



Dips



Pike Push-Up



Monkey bars



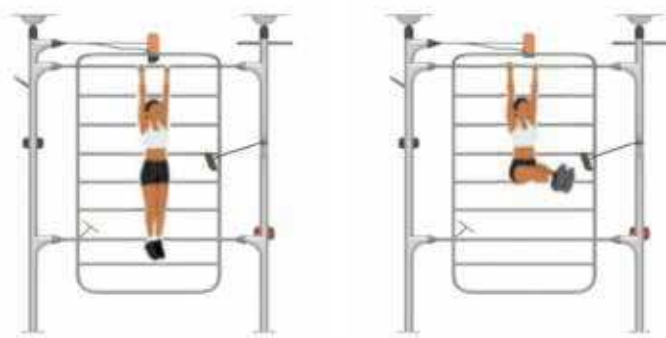
L



1

Toes to bar

Sequenza dell'esercizio:



Sonificazione dell'esercizio:



2

Trazioni

Sequenza dell'esercizio:



Sonificazione dell'esercizio:



3

Monkey bar

Sequenza dell'esercizio:



Sonificazione dell'esercizio:



Stazione box

Esempi di esercizi praticabili nel modulo:

Pistol squat



Squat jump



Affondi frontali



Affondi laterali



Lounge, affondi



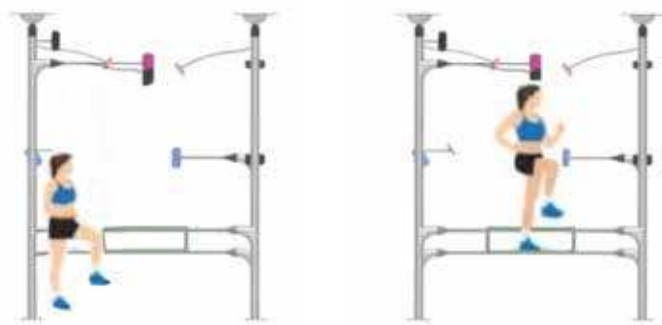
Squat



1

Step up

Sequenza dell'esercizio:



Sonificazione dell'interazione:



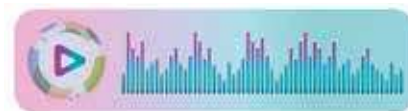
2

Tuck jump

Sequenza dell'esercizio:



Sonificazione dell'interazione:



3

Bulgarian split squat

Sequenza dell'esercizio:



Sonificazione dell'interazione:



Stazione panca

Esempi di esercizi praticabili nel modulo:

Flutter Kick



Russian Twist



Bicycle Crunch



Reverse Crunch



L-Sit



Hollow body hold



Crunch Twist



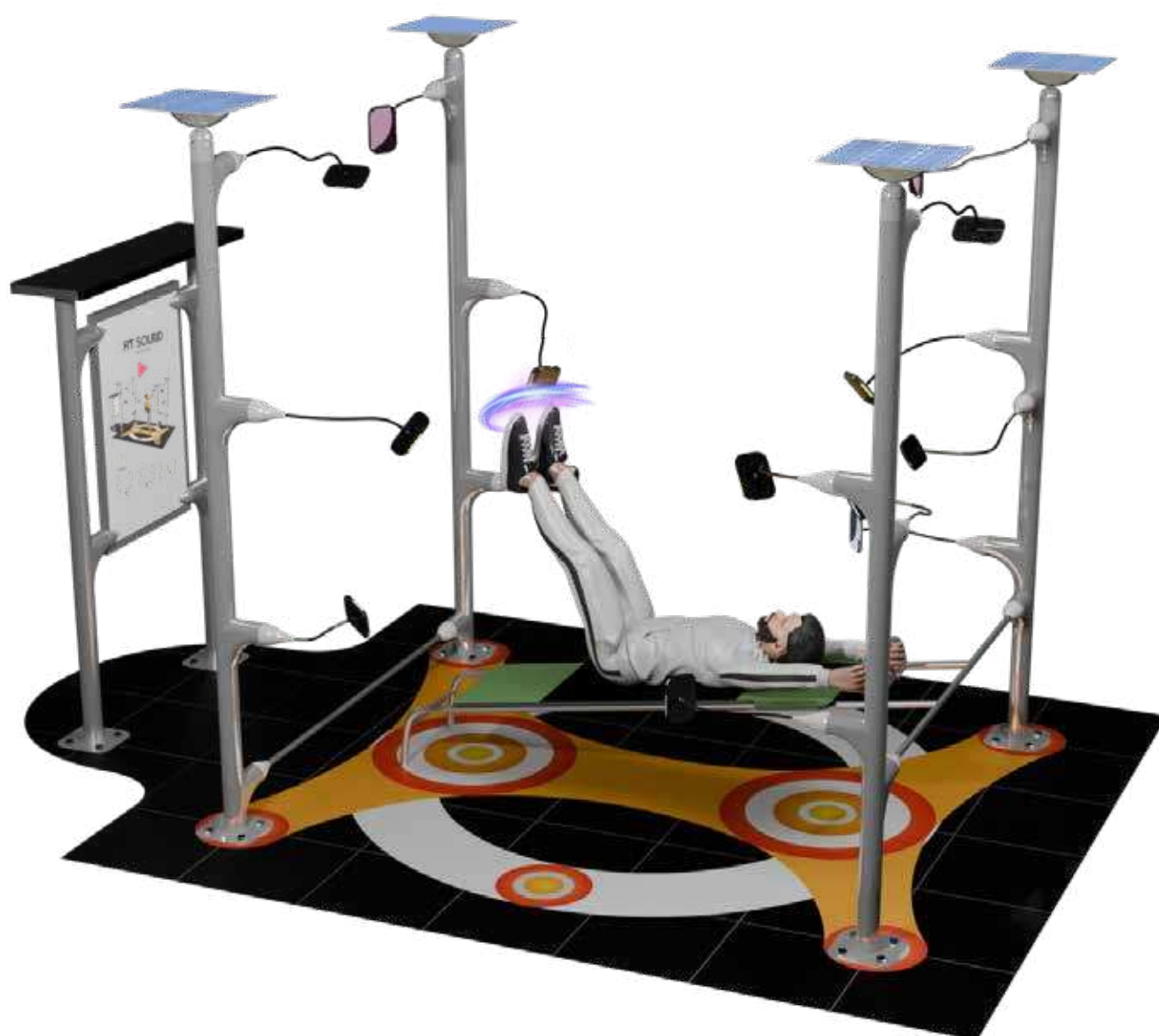
1

Leg raise

Sequenza dell'esercizio:



Sonificazione dell'interazione:



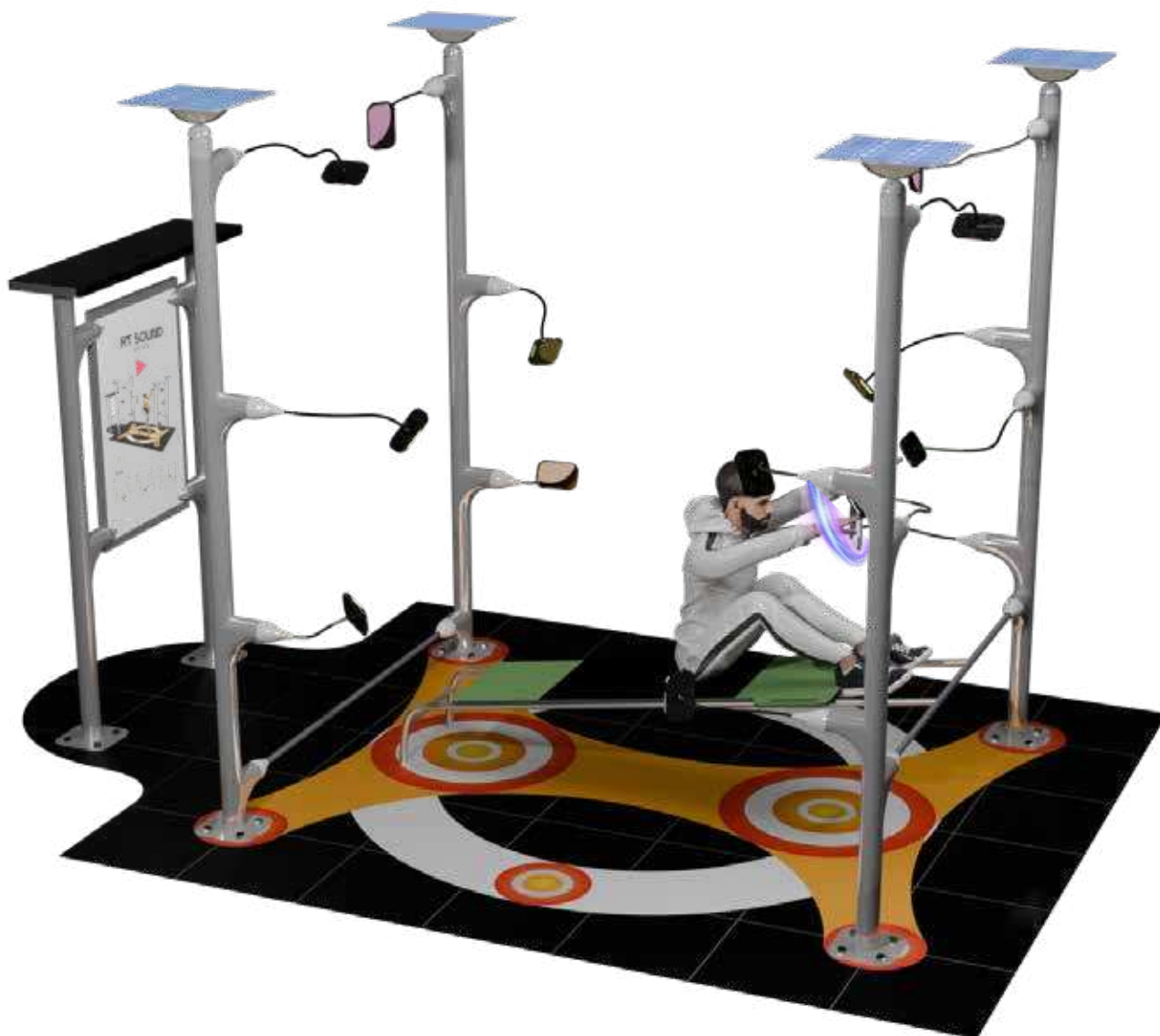
2

Crunch

Sequenza dell'esercizio:



Sonificazione dell'esercizio:



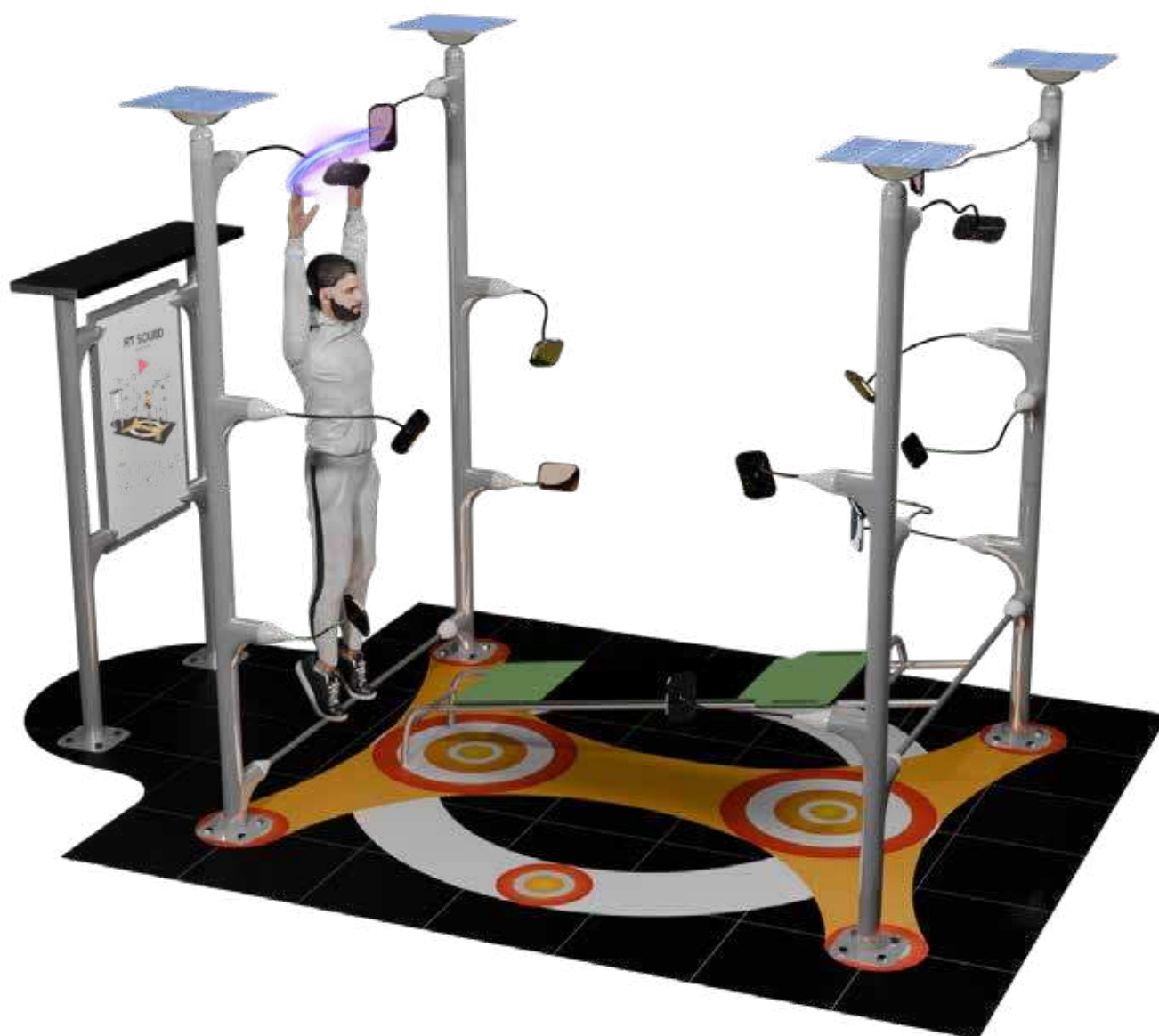
3

Calf raise

Sequenza dell'esercizio:



Sonificazione dell'esercizio:



Sonificazione del ritmo

Con lo scopo di fornire una panoramica più approfondita dell'uso del suono in questo progetto, verrà utilizzata la **Data Sonification Canvas**, uno strumento progettuale che guida il processo di trasformazione dei dati in suoni in modo strutturato e sistematico. Si tratta di un framework che aiuta a pianificare, progettare e implementare una sonificazione efficace, tenendo conto degli utenti, degli obiettivi, dei contesti e delle scelte tecnologiche.

Viene utilizzata principalmente per definire: Gli utenti e i loro bisogni: **identifica chi interagirà con la sonificazione e quali informazioni o supporto richiedono.** Gli obiettivi della sonificazione: **cosa si vuole ottenere, ad esempio analisi dei dati, comunicazione di informazioni, o miglioramento dell'esperienza utente.** Le scelte di design sonoro: **descrivono come i dati verranno map-**

pati ai suoni, quali tipi di suoni verranno utilizzati e come verranno percepiti.

L'adozione della Data Sonification Canvas nel progetto, offre un metodo sistematico per progettare una sonificazione che sia coinvolgente e in linea con le esigenze degli utenti.

La tela è divisa in 4 sezioni riguardanti i casi d'uso, scelte di mappatura, approccio alla sonificazione ed esperienza di ascolto. Ognuna di queste cerca di rispondere a domande fondamentali come: Chi sono gli utenti e quali sono gli obiettivi e il contesto della sonificazione? Come si associano i parametri dei dati ai parametri del suono? Lo scopo è rappresentare dati concreti o effettuare una narrazione?

Nelle pagine seguenti verranno analizzati i vari punti della tela.

1 Use Case: Who are your users, what are the goals and the context of your sonification?

2 Mapping Choices: How do you map data parameters to sound parameters?

Users Who are the users of your sonification? What will do they have to interact with the phenomenon? Do they have a specific domain about it? Do they have any specific competence or knowledge of the phenomenon? What level of interaction are they expected to have?	Goals What are the specific goals you want to achieve with the sonification? Which specific events does it address? Is it for analysis, explanation, communication, ultimately...	Context In which context will the sonification be experienced? Is it a web application? Is it used in a security operations center to be a public museum? Is it played through headphones or speakers? Is it a gadget or a new project? Does it have any specific cultural connotation?	Type of Sounds In which context will the sonification be experienced? Is it intended to mimic an existing sound? Does it have a specific timbre or tone? Is it intended to be a sound that evokes a specific feeling?	Behaviour What are the rules that the changes in the dataset or changes in the sound?
			Functions What is the specific function of the sonification? Is it intended to represent a specific data? Is it intended to represent a specific data? Is it intended to represent a specific data?	Multi-modality Are you using any sound or is sound coupled with other sensory modalities?
Analytical Are you representing hard values from a dataset?		Narrative Do you want to communicate a message or tell a story?		
		Causal How does the information on the phenomenon that produced the sound?	Semantic How does the sound relate to the data?	Reduced How does the sound relate to the data?

3 Sonification Approach: How would you position your approach to the sonification?

4 Listening Experience: How do you imagine your users will listen to the sonification?

Data sonification canvas (Lenzi S., Ciuccarelli P., Liu H. Hua Y.)

The Data Sonification Canvas is under a CC BY-SA 4.0 license.  Lenzi S. and Ciuccarelli P.

1. Caso d'uso

Utente

Gli utenti sono partecipanti di allenamenti individuali nel parco sportivo outdoor. Non necessariamente esperti di sonificazione, essi si avvicinano alla tecnologia con l'obiettivo di migliorare le proprie prestazioni sportive. Le loro competenze variano: alcuni sono atleti esperti, mentre altri sono principianti interessati a un'esperienza personalizzata e interattiva. La sonificazione deve quindi adattarsi a diversi livelli di comprensione e coinvolgimento, con una comunicazione chiara e intuitiva.

Obiettivi

Gli obiettivi principali della sonificazione sono: Fornire feedback immediato durante l'esecuzione degli esercizi, per la segnalazione del ritmo. Supportare la motivazione attraverso segnali audio che accompagnano il flusso degli allenamenti.

Rendere l'esperienza multisensoriale, combinando indicazioni visive, sonore e fisiche per un maggiore coinvolgimento.

Questo approccio risponde a bisogni di comunicazione, sostegno e motivazione.

Ricerca utente (metodo personas):

Il metodo *personas* è una tecnica utilizzata nel design di prodotti per creare rappresentazioni semi-fittizie dei principali segmenti di utenti o clienti di un prodotto o servizio. Una *personas* è una descrizione dettagliata di un archetipo di utente, che rappresenta un gruppo più ampio di utenti con caratteristiche, esigenze e comportamenti simili. Vengono elencati quattro esempi di persone che potrebbero utilizzare il parco, differenziati per età, sesso e scopo dell'allenamento.



Luca, 17 anni, Studente

Scopo dell'allenamento: Migliorare la forza e la resistenza per le competizioni sportive
Classi di allenamento: Allenamenti di Gruppo ad alta energia



Mara, 28 anni, Professionista del Marketing

Scopo dell'allenamento: Mantenere la forma fisica e alleviare lo stress
Classi di allenamento: Allenamenti brevi ad alta intensità, sessioni di yoga rilassanti.



Marco, 45 anni, Dirigente d'Azienda

Scopo dell'allenamento: Migliorare la resistenza fisica
Classi di allenamento: Sessioni intense di allenamento funzionale. Allenamenti ad alta intensità che combinano cardio e forza.



Anna, 65 anni, Pensionata

Scopo dell'allenamento: Mantenere la mobilità e migliorare l'equilibrio
Classi di allenamento: Esercizi di stretching per mantenere la flessibilità, esercizi per migliorare l'equilibrio e la mobilità.

Contesto

La sonificazione avviene principalmente attraverso delle **cuffie**. Questo consente un feedback audio diretto e non invasivo, che si adatta alle esigenze specifiche di ciascun partecipante.

Il contesto è principalmente locale, poiché il parco sportivo è concepito come un'area dedicata a un pubblico variegato, che può includere sia appassionati di fitness esperti sia principianti.

La sonificazione è progettata con connotazioni culturali neutre, utilizzando suoni universali e

non legati a simbolismi specifici garantendo un ambiente sportivo inclusivo. Inoltre è combinata con altri strumenti sensoriali, come i segnali visivi offerti dai totem e il coinvolgimento fisico con gli elementi interattivi. Questo approccio multimodale consente agli utenti di percepire i feedback attraverso più canali, aumentando la comprensione e l'efficacia dell'allenamento.

La tecnologia è progettata per adattarsi al comportamento dell'utente in tempo reale, modificando i parametri sonori in base ai movimenti o al livello di difficoltà dell'esercizio.



2. Scelte di mappatura

La sonificazione nel parco sportivo si basa su una progettazione accurata dei suoni, che sfrutta diverse tipologie e comportamenti per offrire un feedback immediato agli utenti durante gli allenamenti.

1. Tipo di suono

I suoni utilizzati sono generati tramite un sintetizzatore digitale, il che permette una grande flessibilità nel design sonoro. Le loro caratteristiche principali sono l'essere simbolici e piacevoli (comprensibili, ma non invasivi) con alcune componenti iconiche per rappresentare il ritmo e l'intensità degli esercizi. Alcuni suoni rappresentano fenomeni legati ad eventi caratterizzanti dell'allenamento, come l'inizio e la conclusione. I suoni non imitano quelli della natura o delle attività umane, ma si basano su toni musicali e pattern digitali. Questo permette una comunicazione più universale e libera da potenziali interpretazioni culturali o personali.

2. Comportamento dei suoni

Il comportamento dei suoni è dinamico e si adatta in tempo reale ai dati raccolti dai sensori durante l'allenamento.

Frequenza sonora :

La frequenza dei suoni aumenta con il ritmo dell'attività fisica, fornendo un'indicazione chiara dell'intensità del movimento. Ad esempio, durante un esercizio veloce, il suono diventa più acuto e rapido, motivando l'utente a mantenere o migliorare il ritmo.

Durata dei toni :

I toni più brevi possono segnalare errori o inter-

ruzioni, mentre i toni più lunghi indicano pause o transizioni. Ad esempio, un breve segnale sonoro potrebbe avvisare che un movimento è stato eseguito in modo errato.

Tonalità variabile :

Le tonalità cambiano per indicare il progresso o il completamento di un esercizio. Un suono ascendente (che sale di tonalità) potrebbe segnalare il completamento di una serie, mentre un suono più basso potrebbe suggerire la necessità di riprovare.

3. Funzioni sonore

I suoni utilizzati servono a rappresentare diversi aspetti dell'allenamento attraverso tre principali modalità di significato:

Indice: alcuni suoni sono direttamente correlati al fenomeno, come il segnale che conferma il rilevamento di un tocco su un pannello.

Iconico: il ritmo dei suoni rappresenta simbolicamente il ritmo ottimale di un esercizio (ad esempio, una frequenza sonora crescente per aumentare la velocità).

Simbolico: i toni musicali cambiano per indicare lo stato di completamento di un esercizio (ad esempio, una sequenza ascendente per segnalare la fine positiva di una serie).

Queste scelte consentono di creare un sistema di feedback sonoro intuitivo e motivante, che comunica con l'utente senza distrarlo dall'allenamento.

3. Approccio alla sonificazione

Gestione e modulazione del ritmo (software musicale)

Il software musicale rappresenta il cuore del sistema, gestendo l'interazione tra l'utente e l'esperienza sonora per creare un allenamento unico. Questo sistema riceve input in tempo reale dai pannelli interattivi o dalla pavimentazione, elaborandoli per modulare il ritmo musicale in base al tipo di esercizio e agli obiettivi dell'utente.

Ogni tocco su un pannello o pressione sulla pavimentazione viene registrato come un evento sonoro dal software. Il tipo di input (intensità, durata, sequenza) viene tradotto in parametri musicali, come variazioni nel tempo, nel tono o negli effetti sonori.

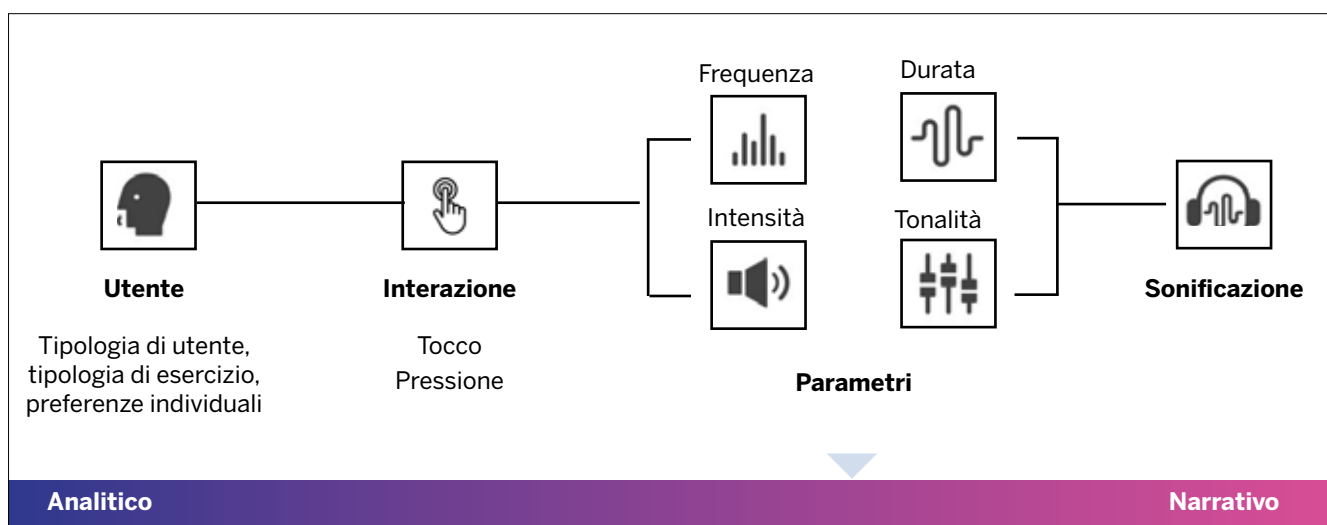
Il software sincronizza la musica in tempo reale con il ritmo dell'allenamento, regolando aspetti come frequenza, intensità, durata e timbro.

I BPM possono essere adattati alla velocità dell'esercizio (ad esempio, un ritmo più veloce per il cardio, uno più lento per stretching o yoga).

Possono essere inoltre create dinamiche sonore aumentando l'intensità per le fasi più impegnative o attenuandola durante i momenti di recupero ed inseriti effetti e variazioni aggiungendo suoni dinamici o armonie per rendere l'esperienza musicale più coinvolgente.

Ogni tocco contribuisce alla costruzione del brano musicale, creando una sonificazione interattiva e personalizzata.

La scelta dei parametri sonori varia in base all'obiettivo della sonificazione e di conseguenza, il suono risultante può essere molto diverso a seconda dei casi d'uso (questo parametro varia a seconda dei requisiti scelti dall'utente stesso e dalle sue preferenze in fase di registrazione).



4. Esperienza di ascolto

Feedback audio

L'approccio adottato è comunicativo e narrativo. La sonificazione non si limita a rappresentare dati concreti, ma racconta una **storia** durante l'allenamento, guidando l'utente in un percorso fatto di ritmo, progressione e risultati. I dati raccolti dai sensori sono trasformati in una sequenza sonora coerente, che comunica informazioni in tempo reale e rafforza l'esperienza dell'utente.

Il suono generato dal sistema viene trasmesso in tempo reale alle cuffie dell'utente, offrendo un feedback esclusivo e immersivo.

L'utilizzo delle cuffie rende il feedback audio un elemento privato e personalizzato, favorendo la concentrazione e riducendo le distrazioni.

La riproduzione immersiva crea un legame diretto tra l'utente e l'allenamento, eliminando barriere e amplificando l'impegno, con effetti positivi sia sul piano pratico che su quello emotivo. Sentire la musica che cambia in base ai propri movimenti crea una sensazione di controllo e coinvolgimento, che può portare ad un aumento dei livelli di energia e una riduzione della percezione della fatica. L'utente non è più solo un esecutore passivo dell'allenamento, ma un creatore attivo dell'ambiente sonoro.

Esperienza di ascolto

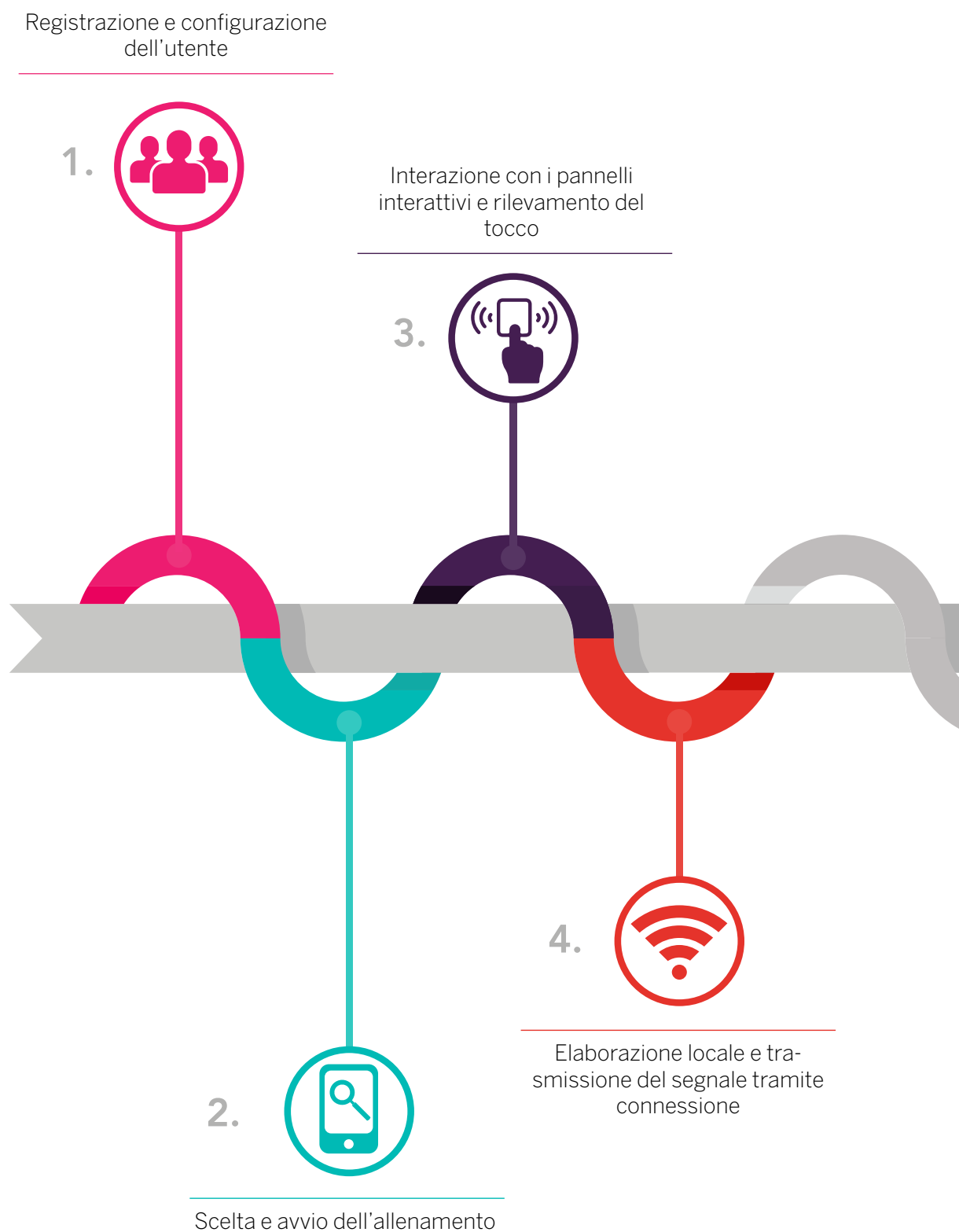
Causale: Gli utenti raccolgono informazioni sul fenomeno rappresentato dai suoni, come il ritmo o la precisione dei movimenti. Ad esempio, un suono irregolare può segnalare un errore nell'esecuzione di un esercizio.

Semantico: alcuni suoni richiedono una breve fase di apprendimento, per comprendere il loro significato simbolico (ad esempio, il cambio di tono per rappresentare il completamento di un esercizio).

Ridotto: L'attenzione si concentra anche sulle caratteristiche del suono stesso, come il ritmo e l'intensità, che diventano indicatori chiave per modulare l'allenamento.



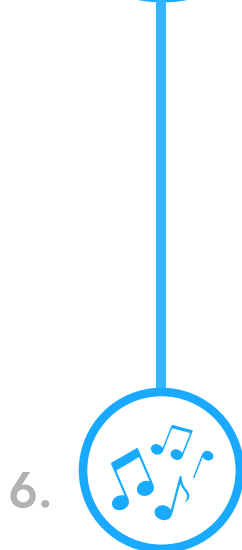
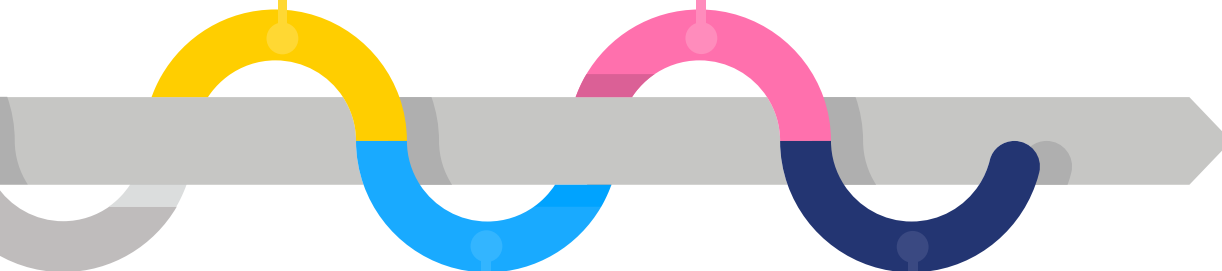
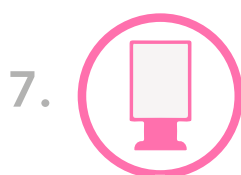
Dall'accesso al suono



Gestione e modulazione del
ritmo musicale attraverso il
software



Feedback visivo dal totem
informativo

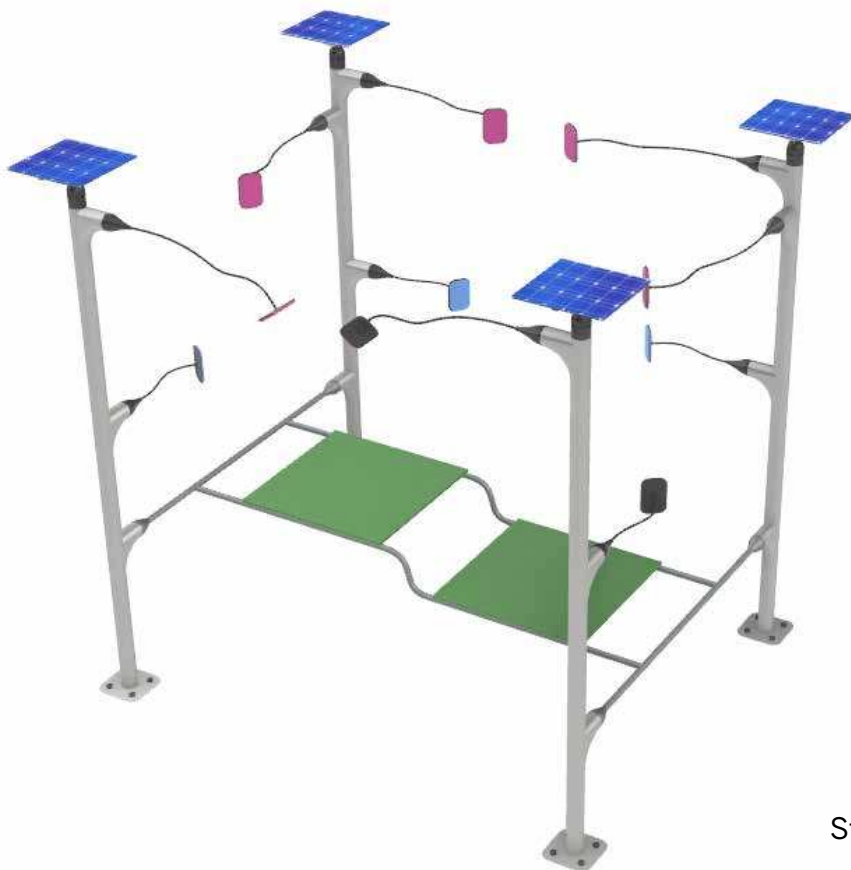


Generazione e riproduzione del
suono nelle cuffie



Salvataggio dati e monitoraggio
delle prestazioni

Stazione a terra



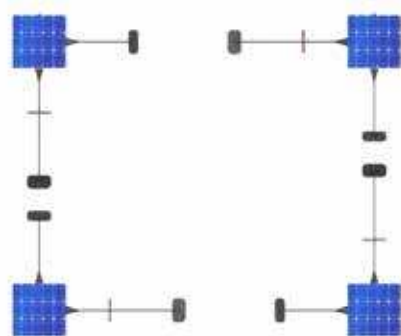
Stazione gambe

Stazione panca

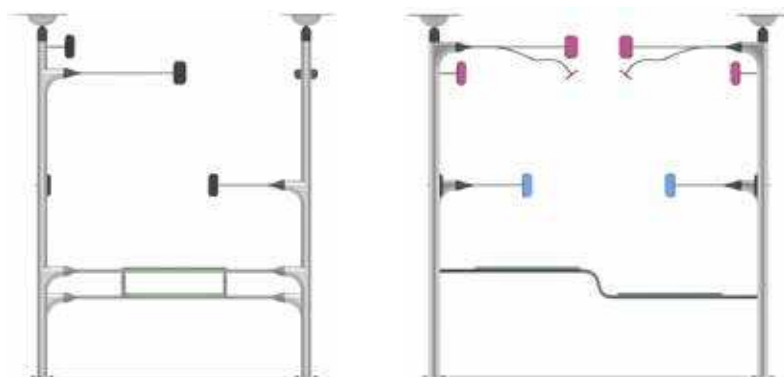
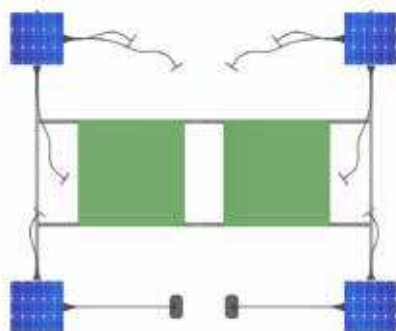


Stazione sbarre



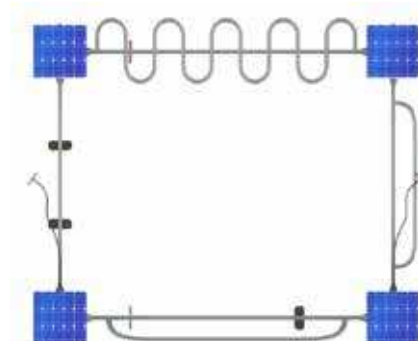
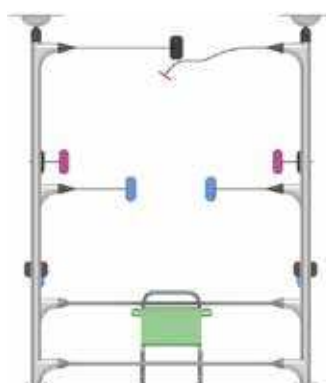
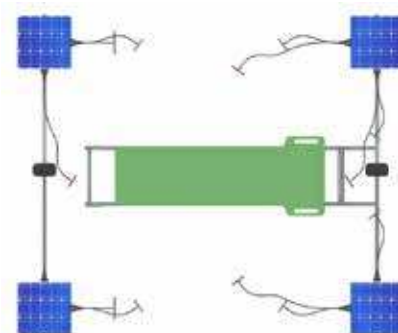


Stazione a terra



Stazione gambe

Stazione panca

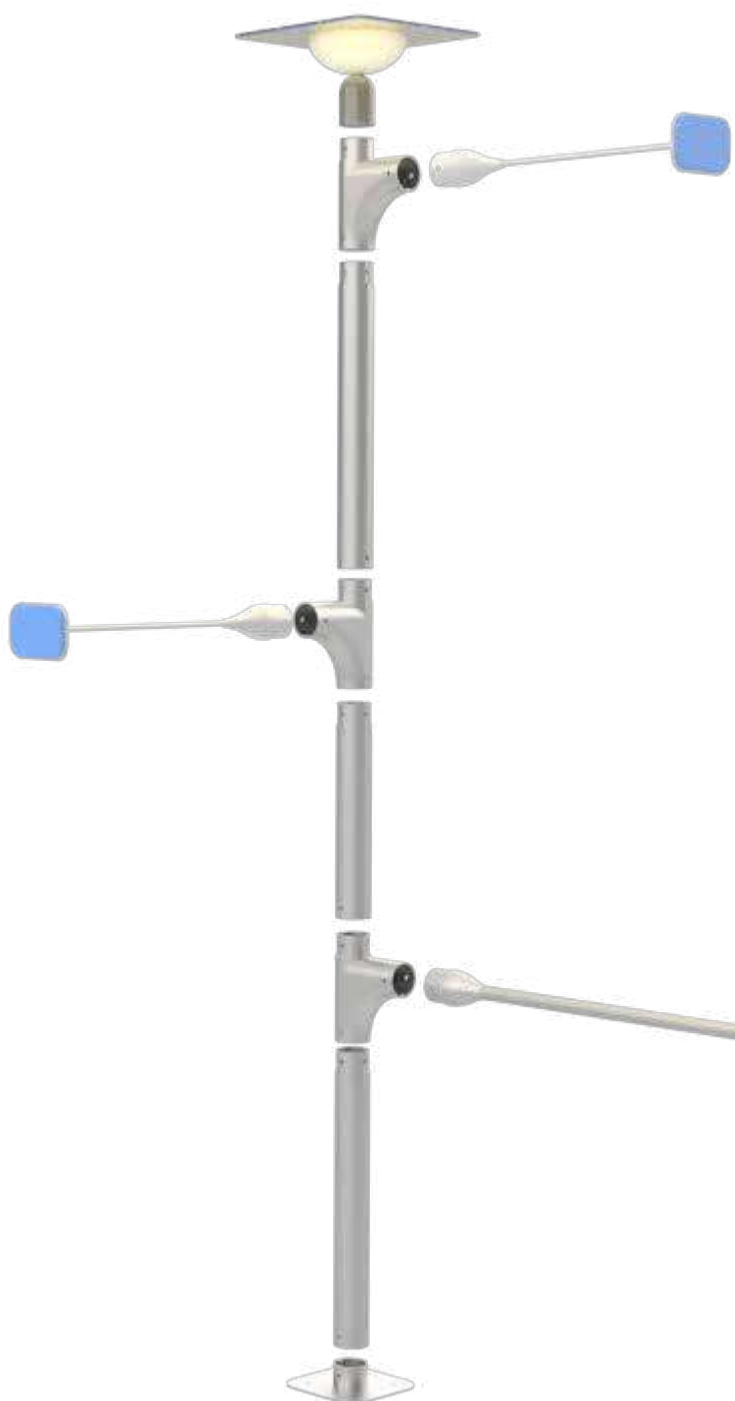


Stazione sbarre

Componenti strutturali

Modularità

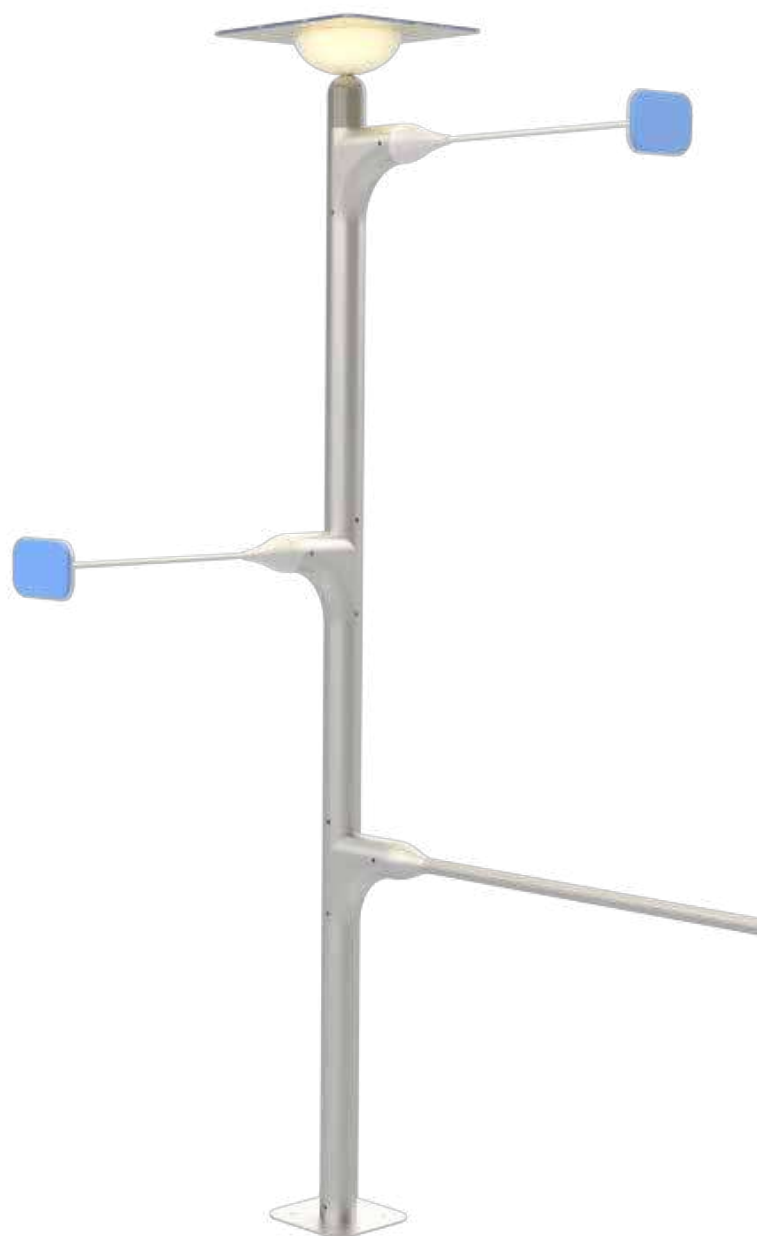
La **modularità** è un concetto fondamentale in questo progetto in quanto il parco consente un'elevata flessibilità nell'adattamento delle strutture alle diverse esigenze e utilizzi nel tempo. L'idea alla base di questo sistema modulare è che ogni componente possa essere facilmente combinato, aggiunto, modificato o sostituito, senza necessità di interventi complessi. Questa caratteristica è particolarmente vantaggiosa in un contesto dinamico come quello di un parco, dove le necessità degli utenti possono cambiare, e nuove attrezzature o funzioni potrebbero essere introdotte nel tempo. La modularità non si limita a una semplice configurazione, ma consente una vera e propria evoluzione del parco, adattandolo continuamente alle esigenze delle persone che lo utilizzano. Al centro di questa modularità c'è il **palo strutturale**, che funge da elemento portante e connettore per tutti gli altri componenti del parco. Il palo è progettato per essere componibile in più parti, rendendo possibile la creazione di diverse soluzioni in base alle necessità. Esso è formato da elementi che si collegano, in particolare il modulo di connessione ha un'uscita in tre punti. Questo sistema permette di unire i vari componenti del parco, come pannelli interattivi, supporto per attrezzi e moduli di connessione, in modo che possano essere facilmente adattati, aggiunti o sostituiti senza dover intervenire sulla struttura di base. Nella parte inferiore del palo, è presente una piastra di base che garantisce un fissaggio stabile al suolo, assicurando così che la struttura rimanga salda e sicura durante l'uso. La parte superiore del palo è progettata per accogliere gommini di rivestimento che offrono una protezione morbida, o in alternativa, può essere dotata di un sistema di illuminazione solare autonomo. Lateralmente, i moduli di connes-



sione consentono di aggiungere una varietà di attrezzi o supporti per attrezzi, come i pannelli interattivi. Questi possono essere disposti in modo diverso a seconda delle necessità di allenamento, e la loro posizione può essere facilmente modificata per adattarsi ai diversi utenti. L'uso di questi moduli laterali offre una grande versatilità, consentendo di cambiare l'esperienza dell'utente senza alterare la struttura principale del palo.

Il palo strutturale

Il palo strutturale è l'elemento cardine di questo parco. Progettato per sostenere carichi e sollecitazioni, oltre che sbarre e attrezzature e si distingue per la sua modularità ed adattabilità. Grazie alla sua struttura versatile, questo palo consente di espandere e personalizzare il parco con facilità, mantenendo stabilità e sicurezza anche sotto carichi significativi. La configurazione di tutti gli elementi del palo permette un montaggio dall'alto verso il basso, garantendo precisione e flessibilità in fase di installazione. Il palo strutturale è composto da tre parti principali: la base, la struttura ed il modulo. Ogni componente è studiato per svolgere una funzione specifica, pur offrendo possibilità di personalizzazione che si adattano alle diverse esigenze progettuali.



Palo strutturale

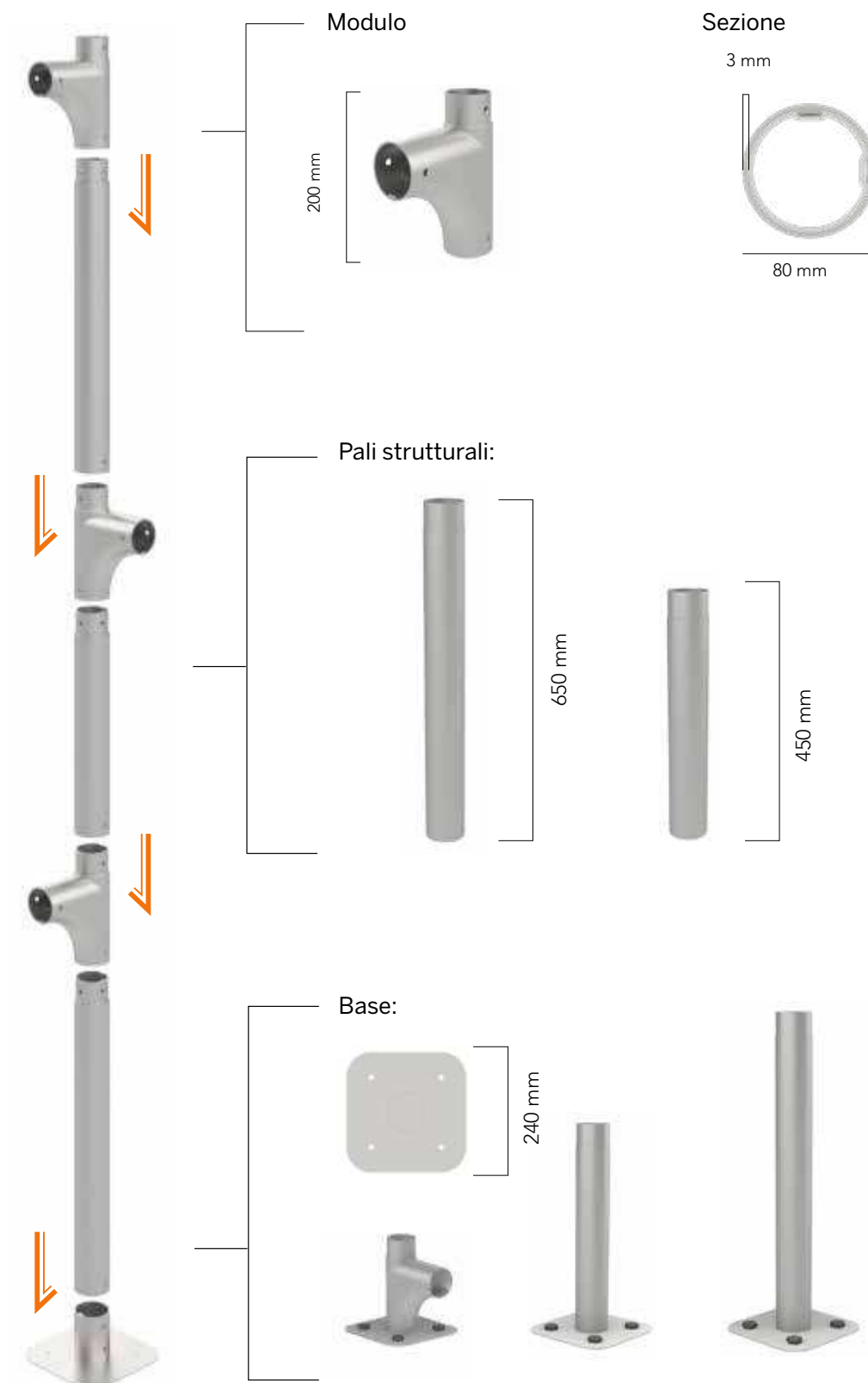
1. La Base: rappresenta il punto di ancoraggio al terreno ed è realizzata per garantire stabilità e resistenza nel tempo. È composta da una piastra in acciaio 240x240x6 mm. La piastra funge da elemento fondamentale per il fissaggio del palo al suolo, per questo è dotata di quattro fori per permettere l'inserimento delle viti. Può avere tre configurazioni possibili. Possono essere inseriti e fissati attraverso viti, tubolari cilindrici verticali che costituiscono l'inizio della struttura o il modulo, che permette il fissaggio di sbarre o pannelli interattivi nella parte bassa della struttura.

2. La Struttura: è costituita da tubolari cilindrici, il cui scopo principale è fornire supporto verticale e stabilità. I pali hanno un diametro standard di 80 mm. Sono previste due opzioni di altezza per soddisfare diverse esigenze progettuali: 450 mm o 650 mm

3. Il Modulo: determina la flessibilità e la capacità di adattabilità a personalizzate del parco. È integrato direttamente nei pali verticali ed è progettato per fungere da punto di connessione per sbarre, pannelli o attrezzature. Esso infatti permette di configurare il palo in diverse modalità, favorendo l'aggiunta di nuovi elementi senza compromettere la stabilità complessiva. La sua caratteristica principale include tre uscite funzionali: una uscita orizzontale, pensata per agganciare barre orizzontali o per i pannelli interattivi; una uscita verticale inferiore che consente il montaggio del modulo sul palo strutturale principale; ed una uscita verticale superiore predisposta per l'installazione di un cappuccio protettivo, un palo cilindrico, oppure un elemento per l'illuminazione notturna automatica. Queste uscite sono dotate di fori che permettono il fissaggio tramite viti.



Configurazione e assemblaggio



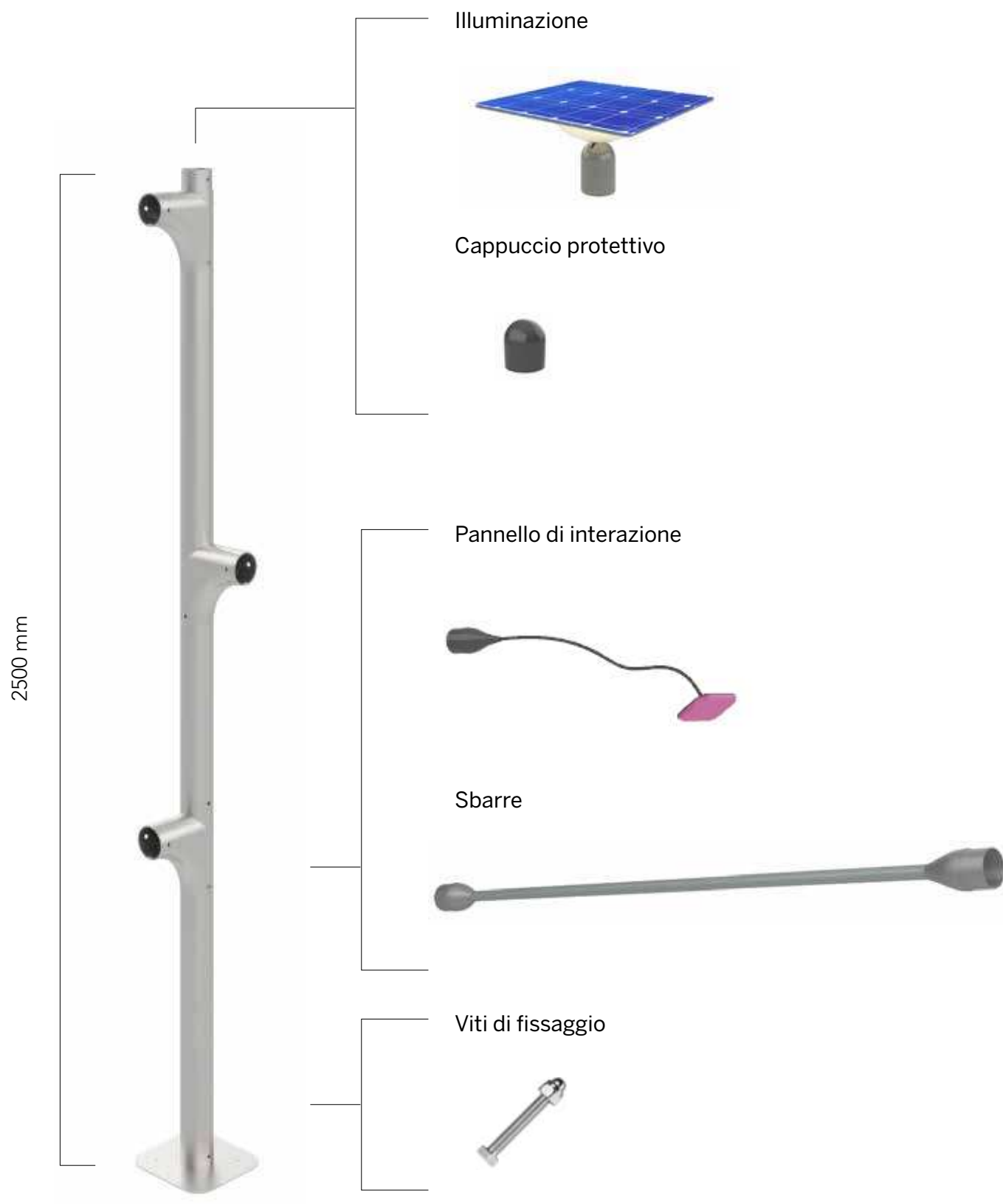
I pali strutturali del parco rappresentano “l’ossatura” principale su cui vengono costruite e configurate le varie postazioni e attrezzature. Le loro componenti principali – base, struttura, modulo – offrono una piattaforma solida e versatile per il montaggio. Tuttavia, per rendere queste strutture complete e funzionali, è necessario integrare elementi aggiuntivi, come sbarre o pannelli, che ne ampliano le possibilità di utilizzo e personalizzazione. I moduli integrati nei pali strutturali giocano un ruolo centrale nel collegare gli elementi tra loro e configurare il parco secondo le esigenze specifiche. Questi elementi di congiunzione sono progettati per garantire un montaggio preciso e sicuro grazie a un sistema unificato di incastro. Ai moduli possono essere montate le varie tipologie di **sbarre** (per esercizi o di supporto) ed i **pannelli sonori di interazione** (componenti con cui l’utente interagisce per attivare il sistema di sonificazione del ritmo). Questa versatilità permette di trasformare ogni palo strutturale in un elemento multiuso, massimizzando l’efficienza dello spazio e la varietà delle attività disponibili.

La parte superiore del palo strutturale è progettata per essere personalizzabile in base alla configurazione e all’altezza complessiva della struttura. Due opzioni principali permettono di completare il palo in modo sicuro e funzionale: il **gommino di sicurezza** o il **sistema di illuminazione**. Il gommino di sicurezza è un cappuccio protettivo in gomma resistente che viene utilizzato quando la struttura non supera i 2 metri di altezza e protegge gli utenti da eventuali urti accidentali, aumentando la sicurezza del parco. Il sistema di illuminazione automatica è un terminale dotato di una lampada LED alimentata da un pannello solare con tecnologia solar tracking e una batteria autonoma. La sua funzione principale è quella di fornire illuminazione notturna indipendente ed ecologica, migliorando l’accessibilità e la sicurezza del parco in condizioni di scarsa luce. La soluzione automatizzata non richiede connessione alla rete elettrica e si adatta a parchi pubblici o aree isolate.

Inserimento dei componenti



Elementi di connessione e terminale del palo



Sbarre ed attrezzature

Nel parco, le sbarre rappresentano un elemento fondamentale sia per l'esecuzione degli esercizi a corpo libero che per il supporto di attrezzi specifici. Sono pensate in acciaio inossidabile, per resistere alle condizioni atmosferiche e garantire un utilizzo sicuro e duraturo. Alle estremità, le sbarre sono dotate di elementi dotati di guide che permettono il loro inserimento nei moduli dei pali strutturali, assicurando un fissaggio stabile e preciso. Tutte le sbarre del parco hanno un diametro standard di 30 mm, una misura che rende la presa confortevole e adatta alle diverse tipologie di utenti che possono frequentare il parco.

Le sbarre si dividono in due tipologie principali: sbarre per esercizi, pensate per il lavoro diretto sul corpo, e sbarre di supporto, utilizzate come struttura portante per le attrezzature. Ogni tipologia ha caratteristiche specifiche che la rendono adatta al suo scopo.

Assemblaggio:



Sbarre per Esercizi

Le sbarre per esercizi sono destinate all'uso diretto durante le sessioni di allenamento a corpo libero. Queste sbarre sono progettate per supportare una varietà di esercizi mirati al potenziamento di forza, coordinazione e resistenza, con un focus particolare su braccia, spalle, dorsali e core. Ogni sbarra per esercizi si distingue per il tipo di allenamento che consente di svolgere.

Le sbarre presenti in questa categoria sono: Sbarra dritta; Sbarra dritta doppia; Monkey bar; Spalliera.

Sbarre di Supporto

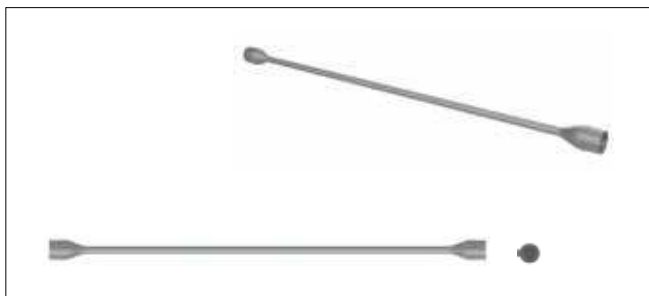
Le sbarre di supporto non sono direttamente utilizzate per gli esercizi, ma rivestono un ruolo essenziale nel fornire stabilità e solidità agli attrezzi montati sul parco fitness. Queste sbarre fungono da punti di ancoraggio per altre attrezzature, come panche e box, aggiungendo versatilità alla struttura. Esse consentono di ampliare l'offerta di allenamenti, includendo esercizi per gambe, addominali e altre parti del corpo.

In questa categoria sono presenti: Sbarre per modulo gambe, Sbarra per panca

Attrezzatura

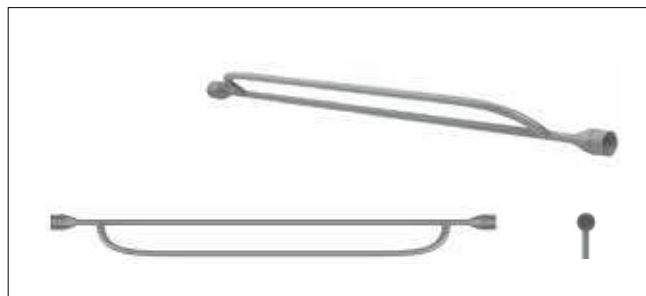
L'attrezzatura viene montata sulle sbarre di supporto e rappresenta un elemento fondamentale per garantire la varietà e l'efficacia degli allenamenti. In questa categoria sono presenti box e panca.

Sbarre per esercizi



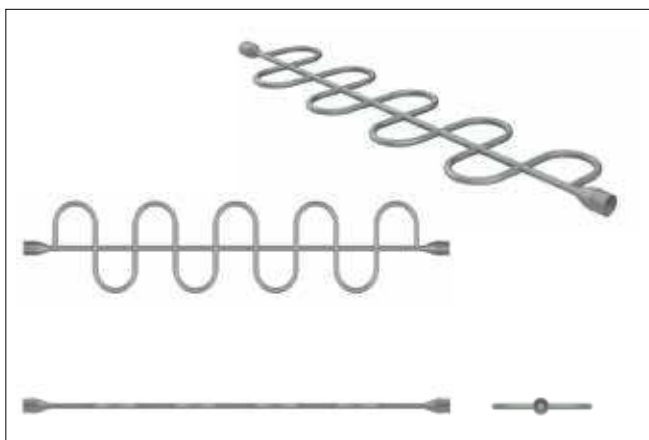
Sbarra dritta

Sbarra cilindrica disposta orizzontalmente. Ideale per esercizi come pull-up, chin-up, muscle-up e altri movimenti che rafforzano la parte superiore del corpo, in particolare braccia, spalle e dorsali. È semplice ma estremamente versatile, rappresenta uno degli attrezzi base per chi pratica calisthenics o allenamento funzionale.



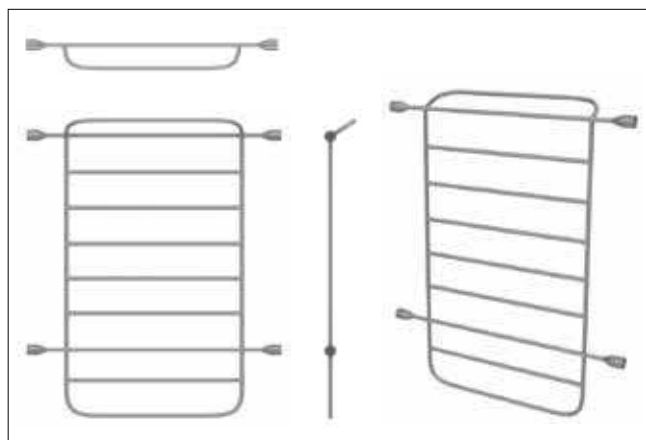
Sbarre parallele

Due sbarre parallele, poste a una distanza calcolata per consentire movimenti più complessi e dinamici. Perfetto per allenamenti multifunzionali passaggi da una barra all'altra. Offrono una maggiore varietà di esercizi rispetto alla sbarra singola, permettendo di lavorare in modo più approfondito su stabilità, equilibrio e forza



Monkey bar

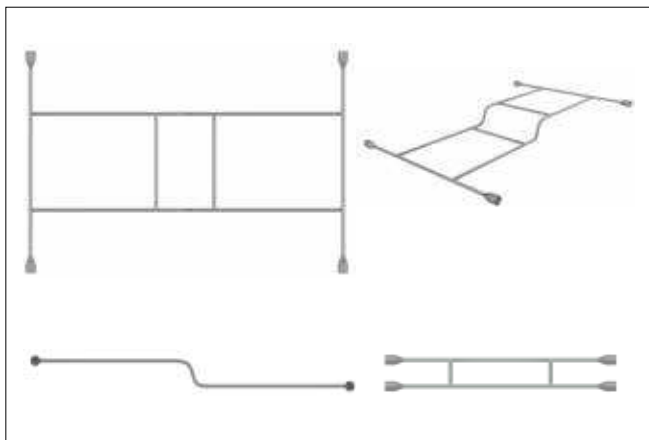
Una struttura composta da un tubo metallico piegato a forma di "S" e una sbarra centrale dritta. La configurazione ondulata crea segmenti con altezze e direzioni variabili. È adatto per esercizi di arrampicata, trazioni e percorsi dinamici che migliorano forza, coordinazione e resistenza. L'andamento curvo e irregolare della struttura offre una sfida stimolante per l'atleta, che deve adattarsi a prese di diverse altezze e angolazioni.



Spalliera

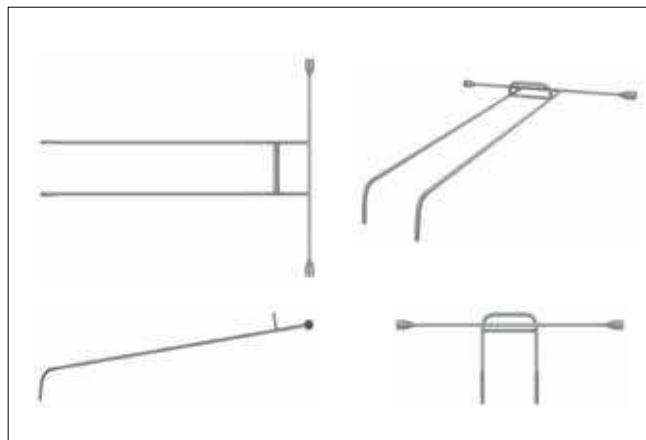
Una struttura con barre orizzontali di diverse altezze. Viene utilizzata per stretching, esercizi di mobilità o allenamenti che richiedono supporto per le gambe o il busto. Risulta essere un elemento versatile e adatto a tutti, dalle attività di riscaldamento e defaticazione agli esercizi per la forza e la flessibilità.

Sbarre di supporto



Sbarre per modulo gambe

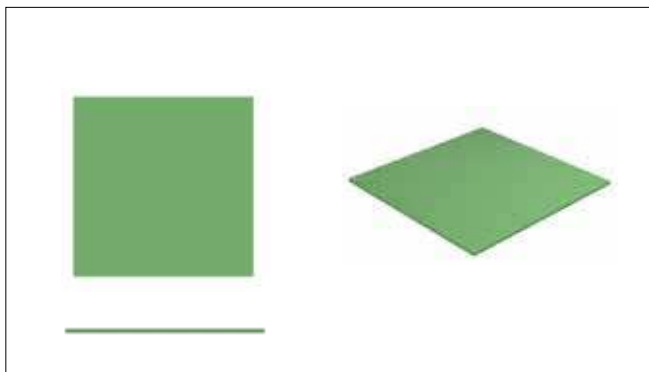
Progettate per sostenere gli attrezzi dedicati all'allenamento delle gambe, fissando i supporti per esercizi come affondi e squat aiutando a mantenere stabilità e sicurezza durante i movimenti complessi.



Sbarre per modulo panca

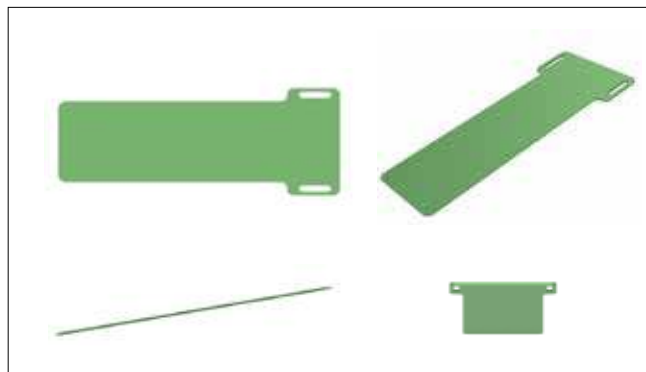
Queste sbarra funge da base di supporto per la panca da allenamento fornendo un ancoraggio stabile alla panca e rendendola sicura durante gli esercizi.

Attrezzatura



Box

Questa attrezzatura è progettata per allenare in modo mirato la parte inferiore del corpo, migliorando forza, equilibrio e coordinazione. La piattaforma robusta, viene utilizzata per esercizi pliometrici come salti, step-up o lavori di forza esplosiva risultando ideale per migliorare potenza, rapidità e controllo dei movimenti. Il box si adatta a utenti di ogni livello grazie alle diverse altezze disponibili.



Panca

La panca rappresenta uno degli strumenti più versatili all'interno del parco, consentendo un'ampia gamma di esercizi che coinvolgono diverse fasce muscolari. Perfetta per esercizi come addominali, sollevamenti delle gambe, piegamenti o allenamenti con pesi liberi. Facilita l'allenamento di core, pettorali, spalle e braccia, rendendo possibile una routine completa in un'unica postazione.

Gommino di rivestimento (protezione e sicurezza)

I gommini di rivestimento applicati al termine dei pali strutturali per l'allenamento, in particolare quelli di altezza inferiore ai due metri, rappresentano un elemento fondamentale sia dal punto di vista della sicurezza sia per la funzionalità del sistema. Questo dettaglio, spesso percepito come marginale, è invece cruciale per garantire un utilizzo sicuro e prolungare la durabilità delle strutture.

In primo luogo, i gommini servono a garantire che l'interazione con i pali sia sicura. Essendo installati a un'altezza facilmente raggiungibile, i terminali dei pali sono più esposti a contatti accidentali, soprattutto durante gli allenamenti o il movimento all'interno dell'area. I gommini, grazie alla loro morbidezza, attivano gli urti e proteggono l'utente da eventuali spigoli o superfici dure, riducendo così il rischio di lesioni.

I gommini non proteggono solo le persone: sono fondamentali anche per preservare i pali stessi. Funzionano infatti da barriera contro l'acqua, l'umidità, la polvere e gli altri agenti atmosferici che potrebbero infiltrarsi nei terminali, causando corrosione o danni strutturali nel tempo. Oltre agli aspetti funzionali, i gommini contribuiscono anche a migliorare l'estetica delle attrezzature ridefinendo i terminali dei pali in modo elegante.

Dal punto di vista dei materiali, questi rivestimenti sono realizzati con gomma EPDM.

Questo materiale offre una combinazione di elasticità, durata e resistenza agli agenti atmosferici, rendendolo perfetto per un utilizzo outdoor.



Componenti tecnologiche

Le tecnologie integrate nel parco sportivo outdoor non sono semplici accessori, ma elementi essenziali che ridefiniscono l'esperienza di allenamento. Questi componenti svolgono il ruolo di mediatori tra l'utente e l'ambiente, offrendo supporto, personalizzazione e un'interazione più profonda.

La combinazione di tecnologie hardware e software consente di superare i limiti degli allenamenti tradizionali creando un ecosistema intelligente e interattivo, capace di rispondere alle esigenze degli utenti in modo dinamico, intuitivo e personalizzabile.



Sensori Capacitivi:

Rilevano il tocco dell'utente sui pannelli installati a terra e sui pali strutturali.



Solar tracker panels:

Pannello solare inclinabile in base alla luce del sole



Illuminazione automatica:

L'illuminazione è regolata in modo autonomo grazie a sensori.



Connessione Wireless:

Trasmette i dati tra i pannelli, il server e l'app.



Microcontrollore:

Elabora il segnale del sensore e trasmette i dati.



Software Musicale:

Genera suoni sincronizzati con i tocchi dell'utente e il tipo di allenamento.



Applicazione Mobile:

Gestisce la registrazione, la selezione dell'allenamento e fornisce istruzioni audio in tempo reale.



Server Cloud/Database:

Memorizza e analizza i dati dell'allenamento per il monitoraggio dei progressi.

Sistema di illuminazione

L'illuminazione del parco è progettata per rispondere alle esigenze di sicurezza e funzionalità, garantendo un'esperienza positiva agli utenti anche nelle ore serali. Questo sistema autonomo è un esempio di innovazione sostenibile, sfruttando l'energia solare per alimentare le luci LED.

La peculiarità di questo sistema risiede nella sua indipendenza dalla rete elettrica. La luce viene alimentata da energia solare, convertita in elettricità grazie a un pannello solare e immagazzinata in una batteria integrata.

Questo significa che il sistema non richiede infrastrutture o lavori di cablaggio, può essere installato ovunque, anche in luoghi remoti o difficili da raggiungere, e riduce i costi operativi a lungo termine, eliminando le spese energetiche.



Il sistema di illuminazione può essere installato come terminale dei pali strutturali, inserendolo ad incastro dall'alto verso il basso e presenta la stessa modalità di fissaggio con viti delle altre componenti. Si integra con il design del parco, offrendo una soluzione non solo funzionale ma anche esteticamente discreta. La presenza di questo sistema garantisce che ogni area del parco sia illuminata in modo uniforme, creando un ambiente sicuro, accogliente e adatto a tutte le ore del giorno e della notte.



Funzionamento

Nel sistema di illuminazione ogni componente lavora in sinergia per garantire un funzionamento autonomo, efficiente e affidabile. Il processo, dalle fasi di raccolta dell'energia fino all'illuminazione automatica si articola in questo modo:

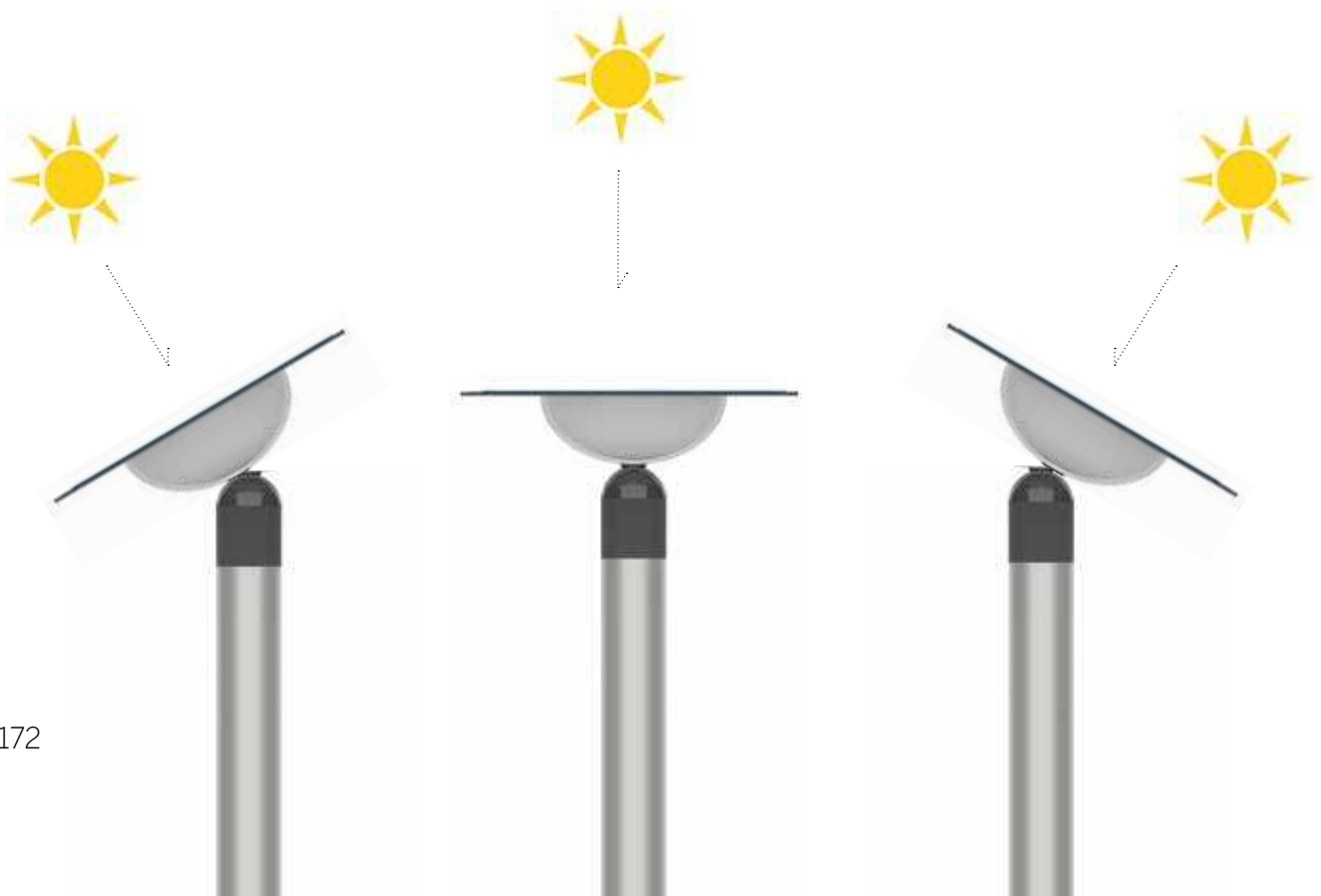
Raccolta energetica ottimizzata

Il cuore del sistema è il pannello solare, montato su un meccanismo che gli permette di ruotare su due assi. Questo movimento è controllato da un sensore di tracciamento solare (fotocellula), che utilizza due piccoli motori per orientare il pannello in modo che segua costantemente la posizione del sole da est a ovest. Grazie a questa tecnologia il pannello riesce a catturare la luce solare per tutto l'arco della giornata, evitando zone d'ombra o inclinazioni non ottimali. L'efficienza di raccolta energetica aumenta in

modo significativo rispetto a un pannello statico, massimizzando l'energia prodotta anche in condizioni atmosferiche meno favorevoli, come in presenza di nuvole o durante le ore mattutine e serali.

Il tracciamento funziona in modo preciso ed efficiente.

Al sorgere del sole, il pannello si orienta verso l'est, inclinato per catturare i primi raggi del giorno. Durante la giornata l'algoritmo regola l'inclinazione e la rotazione in tempo reale, seguendo il sole mentre si sposta verso l'ovest. Questo garantisce che il pannello sia sempre perpendicolare ai raggi solari, il che massimizza la capacità di raccolta energetica. Alla fine del giorno, il sistema prepara il pannello per un reset verso la posizione iniziale, pronto per un nuovo ciclo di raccolta il giorno successivo.



Accumulo di Energia

L'energia raccolta durante il giorno viene immagazzinata in una batteria ricaricabile al litio, elemento cruciale per il funzionamento del sistema. Questo tipo di batteria è stato scelto per la sua affidabilità e la capacità di conservare una grande quantità di energia in uno spazio compatto. La batteria svolge due funzioni principali:

Alimentazione dell'Illuminazione Notturna:

Durante la notte, l'energia immagazzinata viene utilizzata per accendere i LED.

Supporto al sistema di rotazione:

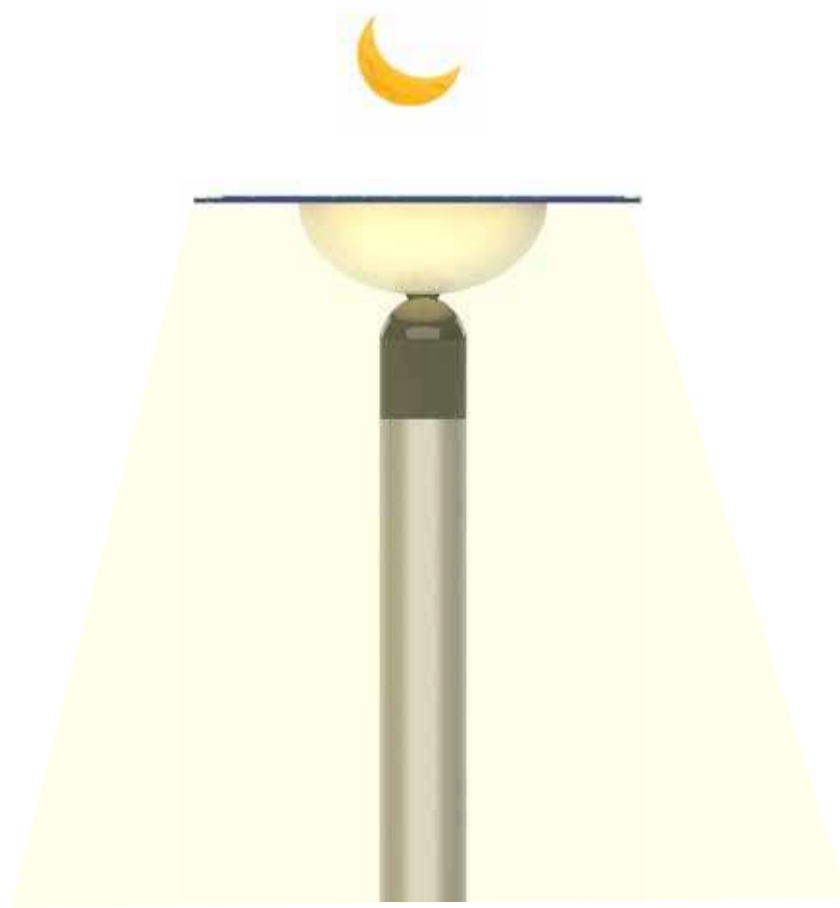
fornisce energia ai motori responsabili del movimento del pannello solare. Grazie a questo meccanismo di accumulo, il sistema è completamente indipendente dalla rete elettrica e funziona in modo affidabile.

Illuminazione Automatica

Quando il sensore percepisce un abbassamento della luminosità (al calare del sole), invia un segnale per accendere i LED che, alimentati dalla batteria, forniscono una luce uniforme, garantendo la sicurezza e la visibilità degli utenti del parco durante le ore serali.

Quando il sole sorge ed i livelli di luce aumentano, il sensore spegne automaticamente la luce LED, conservando energia per il successivo ciclo notturno.

Questo meccanismo elimina la necessità di interventi manuali o timer preimpostati, offrendo un'illuminazione affidabile e senza sprechi. Inoltre, l'uso di LED assicura un consumo energetico minimo, contribuendo a preservare l'energia accumulata.



Analisi dei componenti del sistema

Partendo dalla parte superiore fino alla base:

1. Pannello solare

Il pannello solare è posizionato al vertice del sistema ed è costituito da celle in silicio monocristallino ad alta efficienza. La superficie è rivestita con un vetro temperato antiriflesso per aumentare la captazione della luce e proteggerlo dagli agenti atmosferici. Il pannello è montato su un supporto che consente l'inclinazione e la rotazione.

2. Inseguitore solare

Il tracker solare, attraverso algoritmi per monitorare la posizione del sole riesce ad orientare il pannello nella direzione ottimale ed una fotocellula sensibile alla luminosità rileva il livello di luce ambientale, attivando o disattivando automaticamente il LED.

3. Batteria

La batteria ricaricabile LiFePO₄ (litio-ferro-fosfato) immagazzina l'energia raccolta dal pannello solare durante il giorno e fornirla alle luci LED e ai motori di movimento. Ha un circuito di protezione BMS (Battery Management System) integrato, che regola il flusso di carica e protegge da sovraccarichi.

4. Scocca per luce LED

La scocca protegge il sistema di illuminazione LED. È realizzata in PMMA per resistere agli agenti atmosferici e contiene un riflettore integrato per massimizzare l'efficienza luminosa del LED, assicurando una distribuzione uniforme della luce.

5. LED

I LED sono scelti per la loro efficienza energetica, lunga durata e capacità di fornire una luce brillante. La luminosità è regolata automaticamente per adattarsi ai livelli di carica della batteria, aumentando l'efficienza energetica.

6. Scocca di rivestimento elementi interni

Questa struttura esterna protegge tutti i com-

ponenti interni, gli ingranaggi e il cablaggio elettrico, isolati da guarnizioni in silicone per prevenire infiltrazioni.

7. Motore per l'inclinazione

Un motore passo-passo è responsabile del movimento di inclinazione del pannello solare. Lavora in collaborazione con il tracker solare per mantenere il pannello sempre orientato verso il sole.

8. Ingranaggi di trasmissione (inclinazione)

Due ingranaggi trasmettono il movimento del motore al pannello, consentendo l'inclinazione precisa e graduale. Sono in acciaio temprato per resistere all'usura e alle sollecitazioni meccaniche.

9. Piastra di rotazione

Consente il movimento rotatorio del pannello solare intorno al proprio asse verticale. La piastra è fissata alla struttura e progettata per sopportare il peso del pannello e dei suoi supporti. Integra fori prefilettati per il fissaggio dei cuscinetti e degli ingranaggi.

10. Cuscinetti per la rotazione

I cuscinetti riducono l'attrito durante la rotazione del pannello, garantendo un movimento fluido e prolungando la durata del sistema. Sono posizionati tra la piastra di rotazione e la struttura portante.

11. Motore per la rotazione

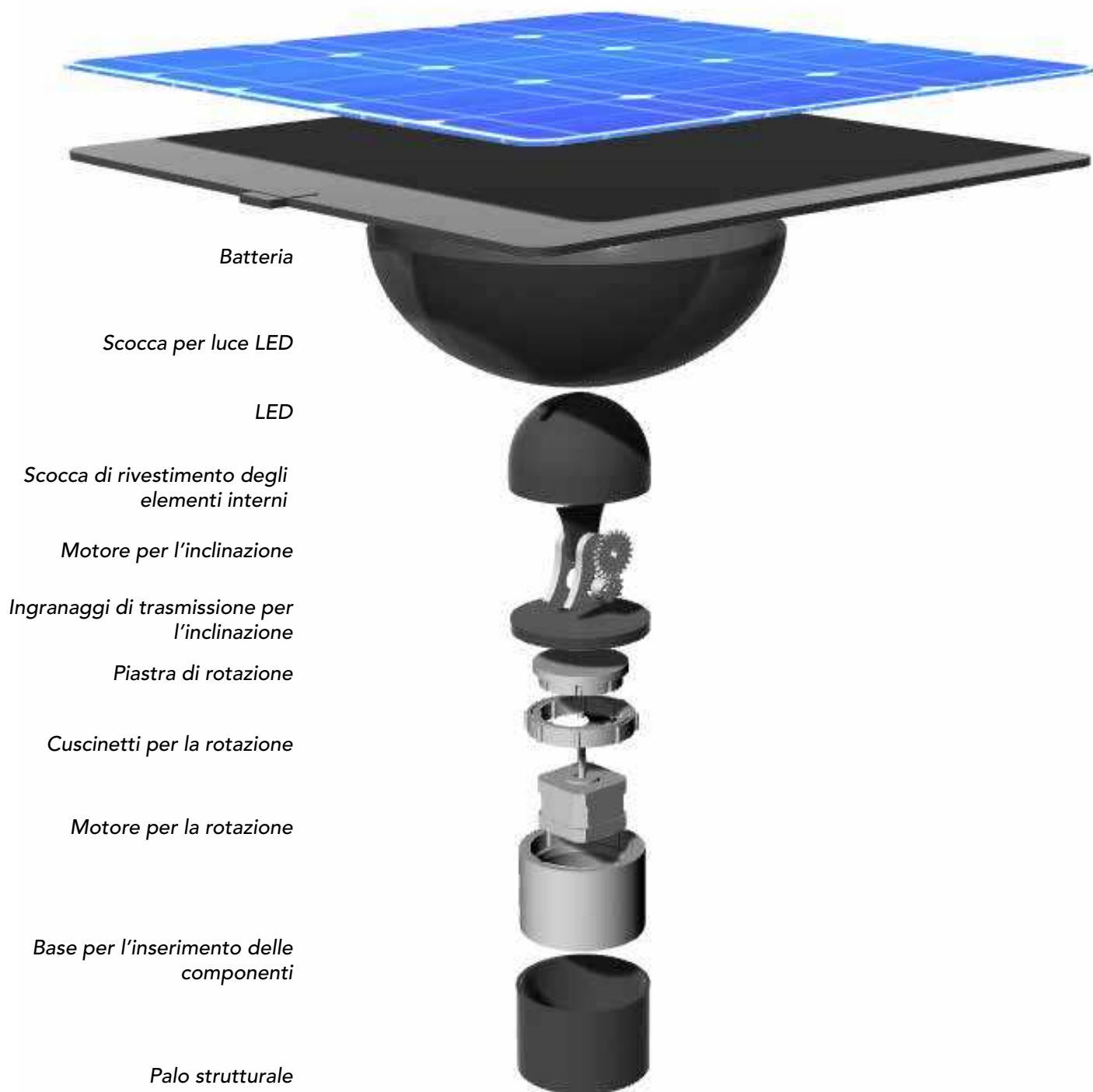
Questo motore gestisce la rotazione del pannello lungo l'asse verticale. È montato sulla base della piastra rotante e collegato agli ingranaggi tramite un albero di trasmissione. Controllato dal tracker solare, orienta il pannello in direzione del sole.

12. Base per l'inserimento delle componenti

Alla base del sistema si trova un modulo strutturale che integra e sostiene tutte le componenti. La base è il punto di connessione tra il sistema di illuminazione e il resto della struttura.

Pannello Solare

Inseguitore solare



Componenti interattive

Sono presenti due modalità di interazione differenti all'interno del parco, ognuna con caratteristiche che riflettono la loro posizione:



Pannelli

L'interazione con i pannelli è prevalentemente verticale, con il corpo che lavora contro la gravità per raggiungere le superfici interattive. Questo porta a un focus su equilibrio, stabilità e forza delle parti superiori, spesso in combinazione con movimenti dinamici del tronco.

Rilevamento del tocco (Sensori Capacitivi)

All'interno dei pannelli interattivi sono integrati sensori capacitivi, che rilevano il tocco dell'utente trasformandolo in un segnale elettrico. Quando il pannello viene toccato, il sensore capta la variazione del campo elettrico causata dal contatto, registrando con precisione la posizione e il momento dell'interazione. Questo segnale viene poi elaborato dal sistema per confermare l'avvenuto tocco e procedere con l'istruzione successiva o il feedback in tempo reale.



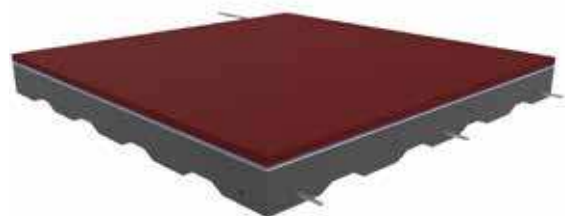


Pavimentazione

Progettata per coinvolgere prevalentemente le gambe e i piedi, stimolando la motricità degli arti inferiori e il movimento globale del corpo. La sua posizione orizzontale richiede un'interazione diretta con la superficie del pavimento.

Rilevamento della pressione (Pavimentazione interattiva)

La pavimentazione è dotata di sensori di pressione che rilevano i punti e l'intensità del contatto con la superficie. Questi sensori trasformano il segnale di pressione in un segnale elettrico, registrando la posizione dell'utente durante gli esercizi (ad esempio, un passo avanti o indietro) e la forza applicata, utile per monitorare salti o esercizi di equilibrio. Il sistema utilizza questi dati per sonificare la qualità e il ritmo del movimento.



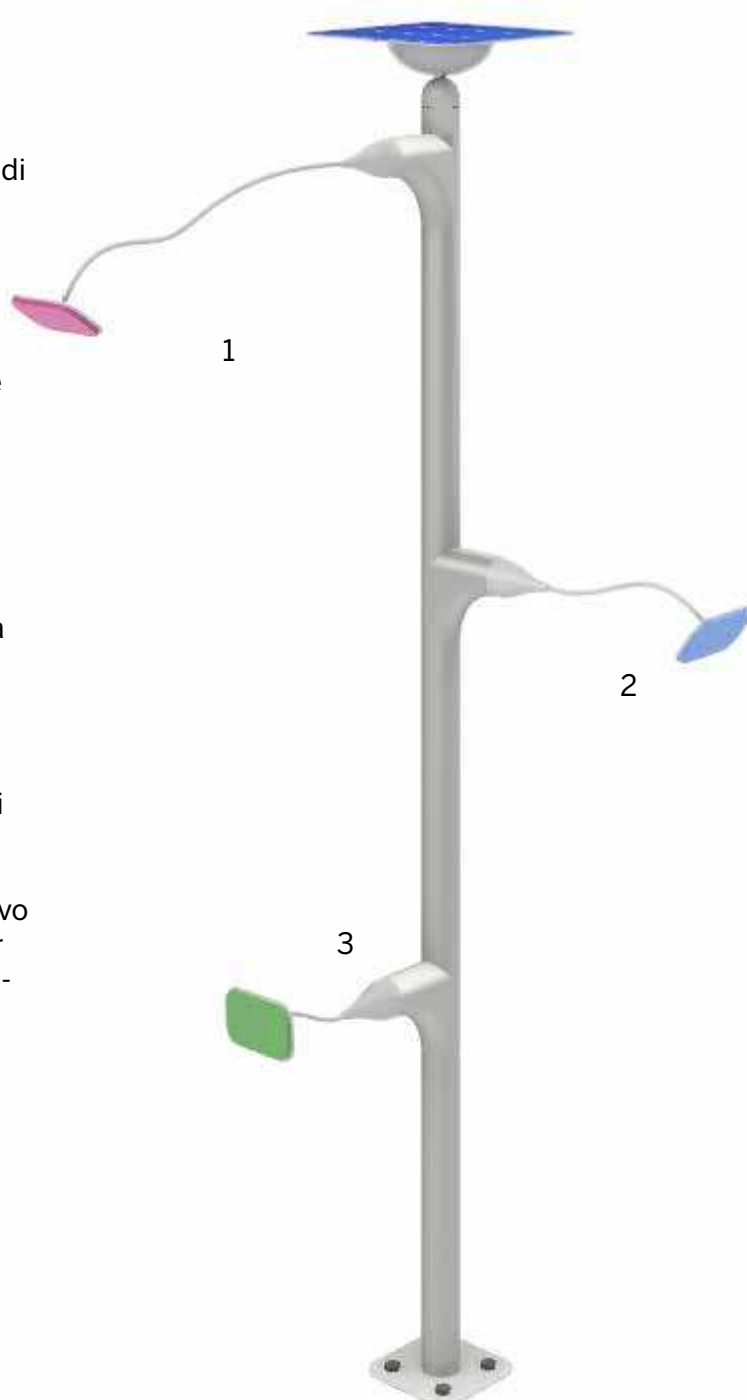
Pannello

I pannelli di interazione del parco rappresentano un'innovativa soluzione per allenamenti individuali che combinano movimento fisico e stimoli interattivi. Questi dispositivi sono progettati per essere utilizzati tramite il contatto di varie parti del corpo (come mani, piedi, ginocchia) durante lo svolgimento degli esercizi.

Modalità di utilizzo

L'esperienza offerta dai pannelli di interazione è pensata per soddisfare una vasta gamma di necessità, permettendo all'utente di regolare il dispositivo in base all'altezza, alla propria conformazione fisica e al tipo di esercizio da eseguire. Durante l'allenamento, l'interazione con i pannelli diventa un elemento chiave, trasformando movimenti semplici in una sfida interattiva.

L'utente può, ad esempio, toccare i pannelli in sequenza con mani o piedi seguendo le indicazioni della guida audio, oppure concentrarsi su un unico pannello per esercizi specifici che richiedono velocità o precisione. La combinazione di colori, suoni e flessibilità del dispositivo offre una soluzione completa e stimolante per chi desidera un allenamento innovativo ed efficace all'aperto.



Funzioni e struttura

Struttura e regolabilità

I pannelli di interazione sono stati progettati per adattarsi alle esigenze di chi pratica attività fisica all'aperto, offrendo versatilità e personalizzazione. Essi sono fissati su pali strutturali attraverso delle viti di fissaggio, in corrispondenza dei moduli di connessione strategicamente posizionati. Questo sistema consente di installare i pannelli generalmente a tre diverse altezze: in alto, al centro e in basso.

- (1) Posizionamento in alto: ideale per esercizi che coinvolgono le braccia o che richiedono movimenti verso l'alto, come salti o flessioni dinamiche.
- (2) Posizionamento centrale: perfetto per allenamenti che si concentrano sull'area del busto o movimenti a portata d'utente senza dover piegare o alzare eccessivamente le braccia.
- (3) Posizionamento basso: Pensato per esercizi che coinvolgono i piedi o movimenti vicini al terreno, come squat o affondi.

La possibilità di regolare l'altezza del pannello garantisce un'esperienza di allenamento personalizzata, sia per utenti di diversa statura sia per la varietà di esercizi che possono essere eseguiti.

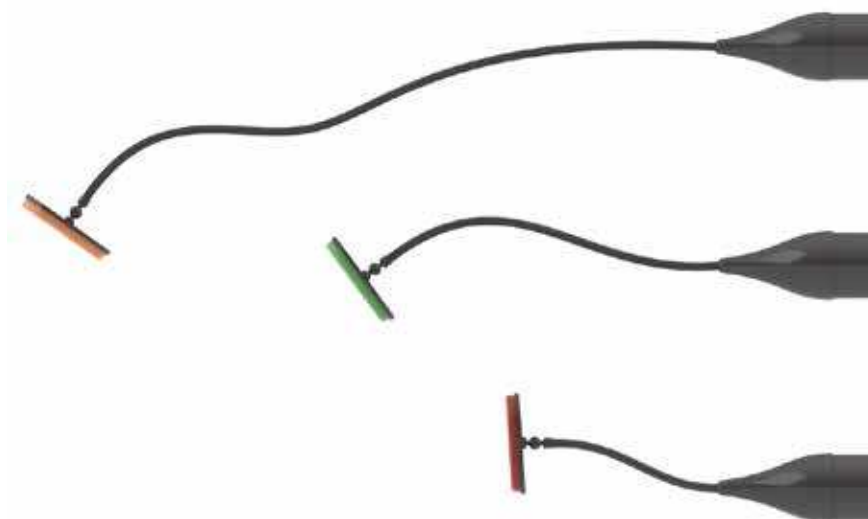
Per supportare questa flessibilità, i pannelli sono dotati di un cordone flessibile disponibile in tre diverse lunghezze:

- 500 mm, adatto ai pannelli posizionati in alto.
- 300 mm, per le posizioni centrali.
- 200 mm, per i pannelli montati più in basso.

Questa configurazione garantisce che ogni utente possa trovare la regolazione più adatta, indipendentemente dall'esercizio o dalla propria altezza, migliorando l'ergonomia e il comfort.

Tre lunghezze del cavo

- (1) 500 mm
- (2) 300 mm
- (3) 200 mm



Snodo assiale a 360°

Una delle caratteristiche più innovative dei pannelli è lo snodo assiale a 360°, un meccanismo che consente al pannello di ruotare completamente su se stesso e permette un certo grado di inclinazione.

Questo dettaglio non solo aumenta la versatilità del dispositivo, ma permette anche agli utenti di interagire con il pannello da diverse angolazioni, senza dover adattare la propria posizione in modo scomodo.

Grazie allo snodo, il movimento angolare del pannello è fluido e controllato e garantisce stabilità durante l'uso. Questo significa che, anche durante gli esercizi più dinamici o che richiedono un contatto ripetuto con il pannello, il dispositivo rimane stabile, assicurando una connessione solida con il palo. La capacità di adattamento a qualsiasi posizione rende il pannello accessibile a utenti di ogni livello di abilità e lo rende idoneo per una vasta gamma di esercizi.

Materiali e colorazioni

I pannelli di interazione sono realizzati con materiali altamente resistenti, progettati per resistere sia all'uso intensivo sia alle difficili condizioni atmosferiche che si possono incontrare in un ambiente outdoor. La durabilità è fondamentale per garantire la sicurezza e la funzionalità del dispositivo nel tempo, anche in condizioni di utilizzo continuo.

Un altro aspetto distintivo è la scelta dei colori. Ogni pannello è caratterizzato da una colorazione unica, che non è puramente estetica, ma ha una funzione pratica. La guida audio che accompagna l'allenamento utilizza i colori dei pannelli come punto di riferimento per indicare agli utenti quale pannello toccare durante un esercizio. Ad esempio, potrebbe dire: "Tocca il pannello rosso" oppure "Interagisci con il pannello verde". Questo sistema di associazione rende il processo immediato e intuitivo, semplificando l'interazione e migliorando l'esperienza dell'utente, soprattutto per chi utilizza il parco per la prima volta.





Cavo flessibile

Nucleo: metallo
Rivestimento: plastica

Pannello

Tasto e pannello: HDPE
Sensore capacitativo



Sensore capacitativo

Ogni pannello è dotato di un sensore capacitivo integrato, una tecnologia che rileva il tocco dell'utente. Questa funzione aggiunge un elemento interattivo agli allenamenti, poiché il pannello non rileva solo il contatto, ma reagisce producendo un segnale sonoro. Questo segnale è sincronizzato con il ritmo degli esercizi, creando un feedback immediato e chiaro per l'utente.

La funzione di sonificazione aiuta a mantenere la cadenza corretta durante le ripetizioni, rendendo l'allenamento più efficace e coinvolgente.



I sensori capacitivi senza contatto rappresentano una tecnologia avanzata e versatile, particolarmente utile in ambienti dove è necessario garantire affidabilità, durata e resistenza agli agenti esterni. Il loro utilizzo nei pannelli di interazione offre vantaggi significativi sia in termini di funzionalità sia di esperienza utente.

Principio di funzionamento del sensore

I sensori capacitivi funzionano rilevando variazioni nel campo elettrostatico generato intorno alla loro superficie. Quando un oggetto entra in contatto con la superficie del pannello, la capacità elettrica cambia. Questo cambiamento viene rilevato dal sensore, che invia un segnale alla scheda di controllo per elaborare l'interazione.

Questa tecnologia non richiede un contatto diretto, rendendo possibile il rilevamento attraverso strati protettivi non conduttivi, come appunto la plastica, il materiale utilizzato per il rivestimento esterno del pannello. A differenza dei pulsanti meccanici tradizionali, i sensori capacitivi non necessitano di pressione per attivarsi. È sufficiente avvicinare una parte del corpo (come una mano o un piede) alla superficie sensibile per innescare il rilevamento. Questo lo rende particolarmente adatto per allenamenti dinamici e rapidi, dove è importante garantire un'interazione fluida senza interruzioni.

I sensori possono essere completamente sigillati dietro superfici non conduttive, rendendoli altamente resistenti all'acqua, alla polvere e agli urti. Questa caratteristica è cruciale per dispositivi utilizzati in ambienti esterni, soggetti a condizioni atmosferiche variabili e usura costante.

I sensori capacitivi sono in grado di rispondere rapidamente a ogni interazione, garantendo un'esperienza utente reattiva. Inoltre, la sensibilità può essere regolata per distinguere tra contatti intenzionali e accidentali, migliorando ulteriormente l'efficienza.

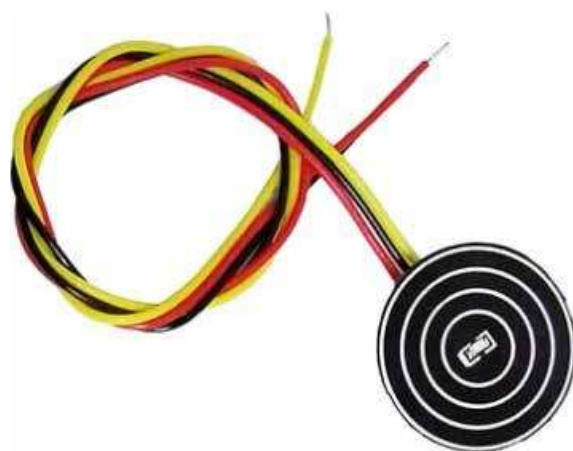
Un altro elemento particolarmente interessante è la capacità dei sensori di interfacciarsi con il computer board per sincronizzare il rilevamento del tocco con la musica. Questo significa che ogni tocco o avvicinamento può generare un suono o essere sincronizzato con un ritmo musicale. Questa funzione non solo rende l'allenamento più coinvolgente e divertente, ma può anche essere utilizzata per creare sequenze ritmiche interattive, dove i partecipanti seguono un ritmo specifico toccando i pannelli in ordine e stimolare il senso del ritmo e della coordinazione negli esercizi.

Caratteristiche tecniche aggiuntive

Sensibilità regolabile: i sensori possono essere tarati per adattarsi a diversi materiali di copertura o per rilevare contatti da distanze variabili, offrendo flessibilità per diverse applicazioni.

Consumo energetico ridotto: la tecnologia capacitiva è nota per essere efficiente dal punto di vista energetico, ideale per dispositivi alimentati a batteria o a energia solare.

Compatibilità con diversi microcontrollori: i sensori capacitivi possono essere facilmente integrati con microcontrollori o schede elettroniche, ampliando le possibilità di programmazione e personalizzazione.



Dati tecnici

Modalità operativa: On-off-on
Corrente nominale: 0,7 Ampere
Materiale: Plastica
Tensione di alimentazione: 3 - 30 V
Dimensioni articolo: 20 x 20 x 10 mm
Metodo di controllo: Tocco Pulsante
Classificazione di protezione int.: IP00
Marchio: THLMT

Pavimentazione interattiva

In questo contesto, la pavimentazione gioca un ruolo fondamentale, non solo come base fisica, ma come elemento capace stimolare corpo e mente. La pavimentazione interattiva rappresenta una delle innovazioni più interessanti in questo parco, poiché unisce funzionalità e tecnologia, garantendo sia sicurezza sia un'esperienza creativa.

Essa introduce una dimensione nuova nel modo in cui tendenzialmente viviamo lo sport e il movimento, soprattutto in spazi esterni. Grazie alla tecnologia dei sensori, la pavimentazione non è più un semplice supporto statico, ma diventa protagonista dell'esperienza. La possibilità di interagire con la pavimentazione stimola la curiosità e rende l'esperienza più memorabile e trasforma il movimento in un'attività divertente, incentivando anche i meno motivati a partecipare. Ha lo scopo fondamentale di trasformare ogni passo, salto o esercizio, in un suono o una melodia. La sonificazione è uno strumento educativo e divertente allo stesso tempo. Attraver-

so il feedback in tempo reale del ritmo di allenamento individuale, gli utenti sono incentivati a muoversi con regolarità, migliorando la loro coordinazione e il senso del tempo.

Un altro requisito fondamentale in qualsiasi spazio dedicato allo sport, specialmente in un parco che può essere frequentato da persone di tutte le età e abilità, è la sicurezza. Le piastrelle antitrauma sono studiate per offrire una superficie capace di attuare gli urti in caso di caduta. Essendo realizzate con materiali elastici e resistenti, queste piastrelle offrono numerosi vantaggi come l'assorbimento degli impatti (ridurre il rischio di infortuni), l'adattabilità agli ambienti esterni, la stabilità e la sostenibilità dei materiali di cui sono realizzati. Queste caratteristiche rendono la pavimentazione antitrauma una scelta ottimale. Prima di vedere nello specifico la pavimentazione interattiva, nelle pagine a seguire vengono descritti i criteri per ottenere una pavimentazione stabile e sicura.



Linee generali per l'installazione

La corretta installazione e fissaggio delle piastrelle antitrauma è un passaggio essenziale per garantire la sicurezza e la durata della pavimentazione. Questo processo deve essere pianificato e realizzato considerando il tipo di terreno su cui le piastrelle verranno posizionate. A seconda delle condizioni del suolo – che può variare da superfici naturali a basi cementizie – è necessario adottare tecniche specifiche.

Tuttavia, esistono alcune regole generali che devono essere rispettate per ottenere un risultato ottimale e sono quelle di avere un drenaggio efficiente - per evitare problemi legati all'accumulo di acqua -, una buona stabilità (un terreno mal compattato potrebbe causare irregolarità, portando a situazioni pericolose come l'affioramento di bordi) e un buon livellamento del terreno (possono compromettere la posa delle piastrelle, causando zone instabili o inclinazioni pericolose per gli utenti).

Adattare la pavimentazione alle diverse tipologie di suolo in base al contesto

Il parco deve poter essere installato in ambienti diversi a seconda delle esigenze e delle opportunità offerte dal territorio, risultando adattabile a una vasta gamma di contesti e spazi. La possibilità di montare il parco in contesti urbani, semi-naturali o completamente naturali può essere resa possibile grazie ad un'attenta progettazione della pavimentazione. Ogni area ha le sue peculiarità: una piazza cittadina, un giardino pubblico, una scuola, un centro sportivo o un'area naturale sono luoghi con caratteristiche uniche in termini di suolo, drenaggio, stabilità e livellamento. È essenziale, quindi, adottare approcci diversi per la preparazione del terreno,

assicurando che la pavimentazione sia stabile, sicura e funzionale ovunque venga installata.

Ogni terreno ha caratteristiche specifiche che richiedono interventi mirati per garantire una superficie stabile, sicura e durevole. La pavimentazione deve essere infatti compatibile con il tipo di suolo disponibile che possiamo distinguere in cementi, ghiaia o sabbia stabilizzata, o basi naturali come erba o terra.

Modalità di fissaggio della pavimentazione: sicurezza e stabilità in ogni contesto

Il fissaggio, assicura la stabilità delle piastrelle e amplifica loro capacità di resistere alle sollecitazioni del tempo. La scelta della tecnica di fissaggio deve essere ponderata considerando il tipo di sottofondo su cui il parco sarà installato. Comprendere il contesto di installazione è quindi essenziale per scegliere tra adesivi (solitamente in resina), fissaggi ad incastri o sistemi meccanici come tasselli. Ogni sistema ha i suoi punti di forza e deve essere applicato correttamente per valorizzare il parco, sia dal punto di vista pratico che estetico.



Struttura e componenti della pavimentazione

La pavimentazione antitrauma del parco è formato da piastrelle, ognuna delle quali ha una forma quadrata, con dimensioni di 500 mm, ed è composta da due strati principali:

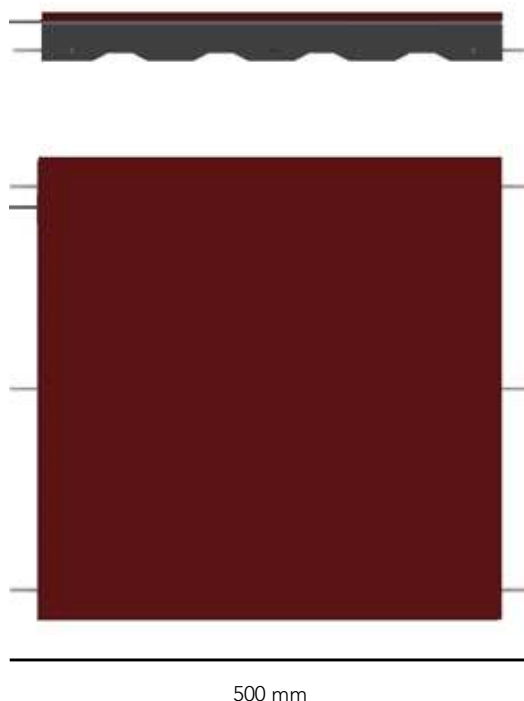
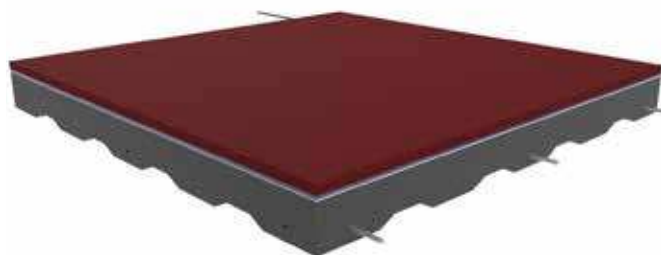
La base della piastrella è realizzata con granuli di gomma SBR, un materiale altamente resistente, che assicura un'ottima capacità di assorbimento degli impatti. Lo spessore di 15 mm consente una protezione ottimale.

La superficie superiore della piastrella è realizzata con un materiale EPDM, che è particolarmente resistente agli agenti atmosferici, ai raggi UV e agli sbalzi di temperatura. Con uno spessore di 8 mm, la finitura in EPDM è progettata per offrire una superficie antiscivolo e durevole.

All'interno della piastrella si trova il sistema interattivo, l' Electronic Pressure Mat, un sensore integrato che rileva la pressione esercitata sulle piastrelle. Questo sistema è progettato per rispondere al ritmo e al movimento degli utenti, creando effetti sonori che reagiscono in tempo reale.

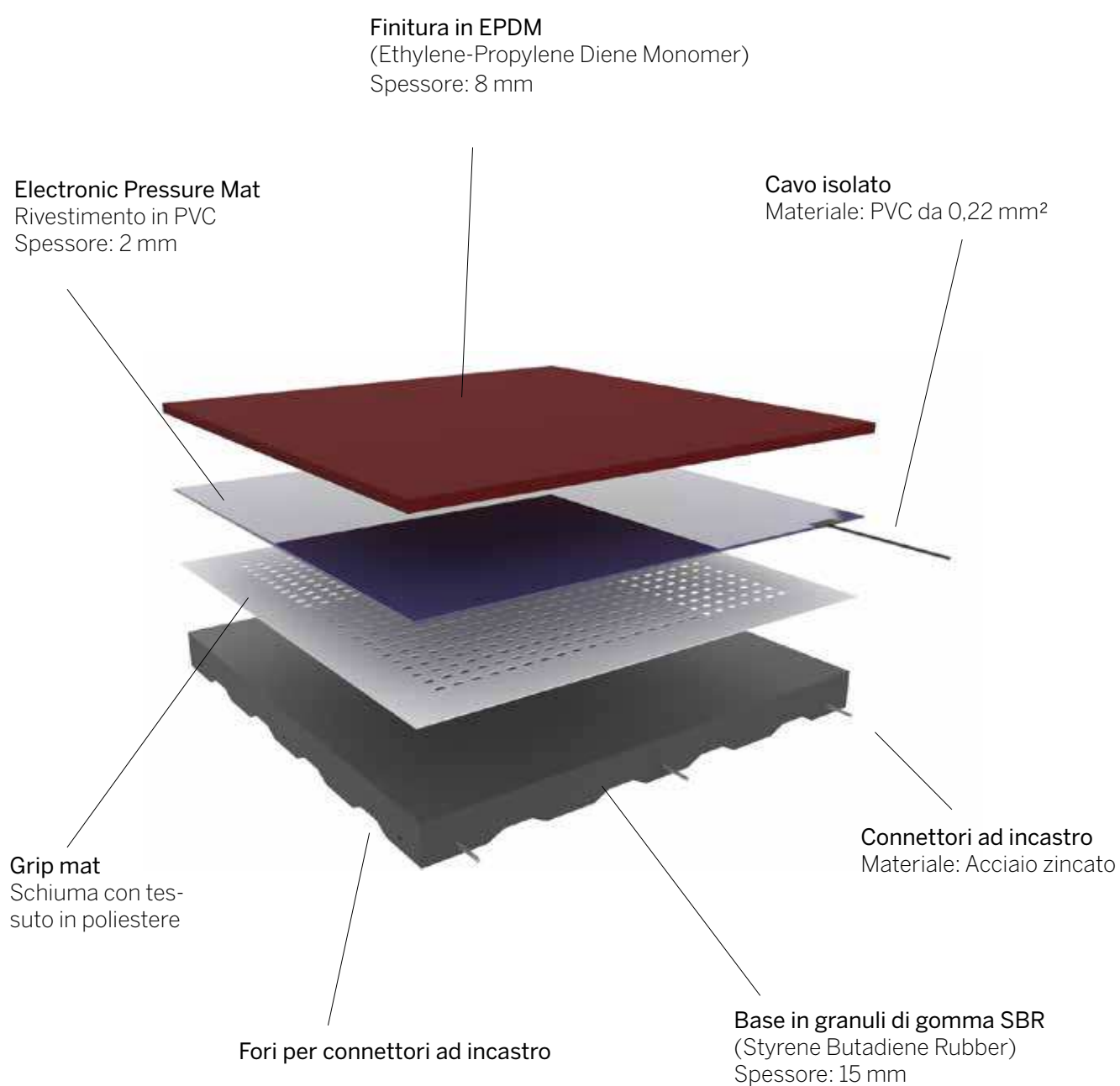
Il sistema di fissaggio è costituito da un sistema di connettori ad incastro, che permette di unire facilmente i moduli tra loro, creando una superficie continua senza l'uso di colle o adesivi. Questo sistema è ideale per tutte le tipologie di sottofondo, dalle basi rigide come il cemento a quelle più morbide come sabbia o ghiaia.

Tuttavia, a seconda del tipo di terreno su cui viene installato il parco, può essere necessario utilizzare adesivi specifici per garantire una maggiore stabilità e resistenza.



18.7

Componenti



Unità hardware: sistema di rilevamento

Il tappeto di rilevamento della pressione è un dispositivo integrato nella pavimentazione, progettato per permettere l'interazione con gli utenti tramite il rilevamento della pressione esercitata sulla sua superficie. Questo tappeto è in grado di rilevare in modo preciso il passaggio di una persona, attivando la sonificazione in risposta alla pressione applicata.

È completamente sigillato con un robusto rivestimento in PVC IP67 (spessore 2 mm) che garantisce che il tappeto sia completamente impermeabile e resistente a una vasta gamma di elementi, tra cui polvere, acqua, acidi, sali e molti prodotti chimici, assicurando una lunga durata e prestazioni ottimali anche in ambienti esterni. Questa protezione assicura che il tappeto possa essere utilizzato in ambienti umidi o in presenza di liquidi senza compromettere il funzionamento del sensore.

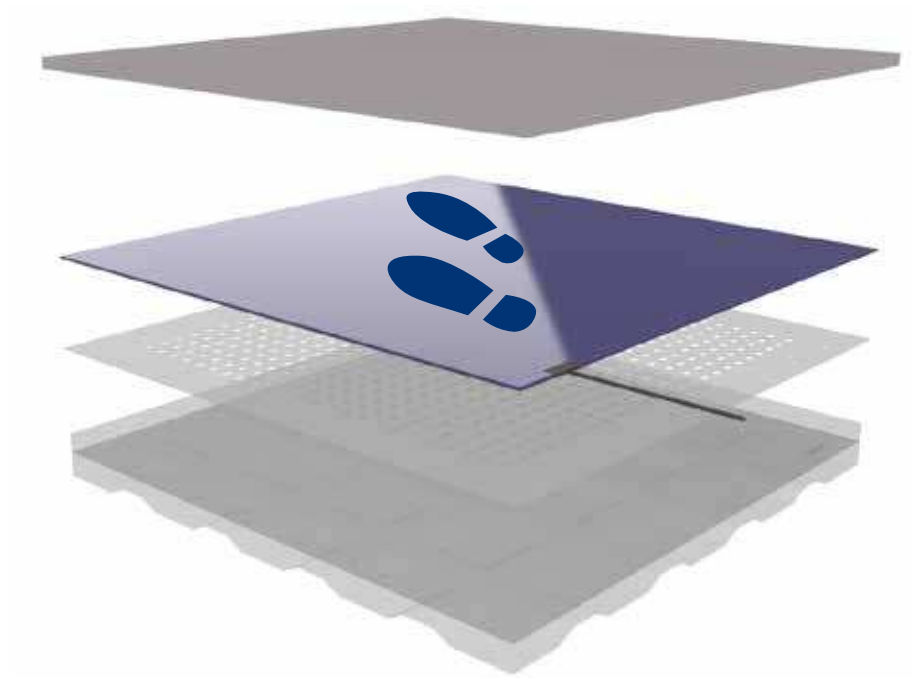
Al suo interno si trova un sistema di sensori di pressione avanzati, che lavorano grazie a una tecnologia a film sottile. I sensori della serie RP (sensore sensibile alla forza flessibile), sviluppati da DFRobot. Questi utilizzano un film ultra-sottile per rilevare la pressione statica (come quando una persona si ferma sopra il tappeto) e dinamica (come quando una persona cammina sopra il tappeto). I sensori sono progettati per essere altamente sensibili, con una velocità di risposta rapida, e sono in grado di rilevare anche le basse pressioni applicate in modo discreto. Il tappeto ha un intervallo di rilevamento che va da 10 kg in su. Questo significa che possono rilevare anche pressioni leggere, come quella di una persona che cammina sopra il tappeto, e sono abbastanza sensibili da rispondere anche a cambiamenti di pressione molto piccoli.

Elettronic pressure mat

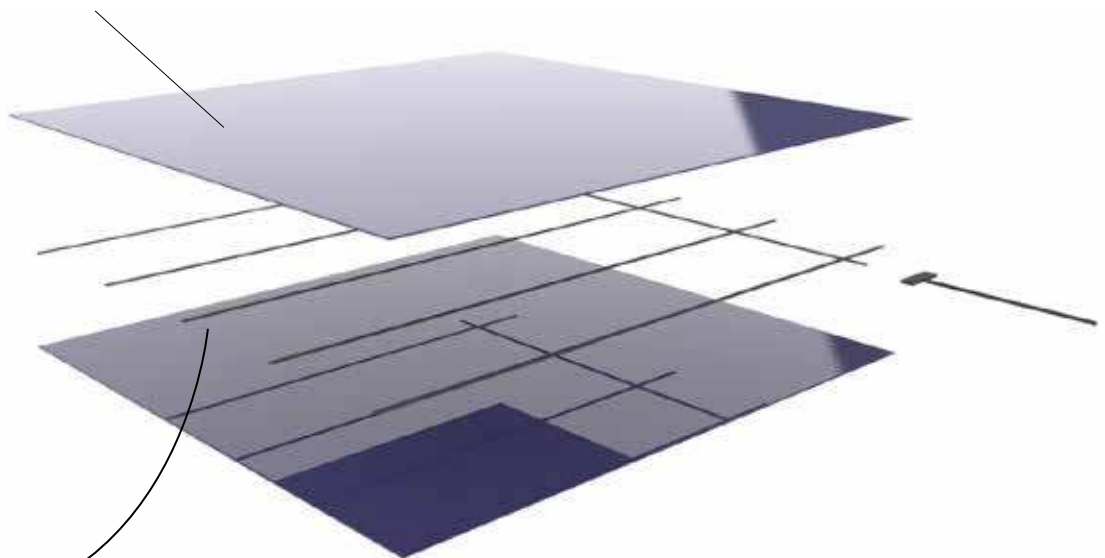


Sensore di pressione a pellicola flessibile





Rivestimento in PVC



Sensori di pressione rivestiti con una pellicola sottile

Pavimentazione personalizzata

La pavimentazione del parco sportivo è progettata anche per ottimizzare lo spazio e l'esperienza emotiva degli utenti. Per questo la realizzazione di disegni a terra riveste un ruolo importante nella progettazione perchè permette di definire sia la disposizione delle strutture di allenamento che di supportare e guidare l'interazione dell'utente con l'ambiente circostante, migliorando l'orientamento, la sicurezza e l'efficacia degli esercizi.

I disegni vengono applicati direttamente sulla superficie delle piastrelle tramite una verniciatura permanente. La verniciatura ad alta resistenza è una tecnica semplice ma efficace perchè riesce sopportare il calpestio continuo, le intemperie e altre sollecitazioni, mantenendo i colori vividi e i disegni ben visibili nel tempo.

La presenza di linee chiare, colorate e forme geometriche possono stimolare la motivazione dell'utente, rendendo l'allenamento più coinvolgente. Inoltre, aiutano ad individuare le aree di interazione all'interno del parco.

Altre funzioni sono:

Integrazione con il movimento:

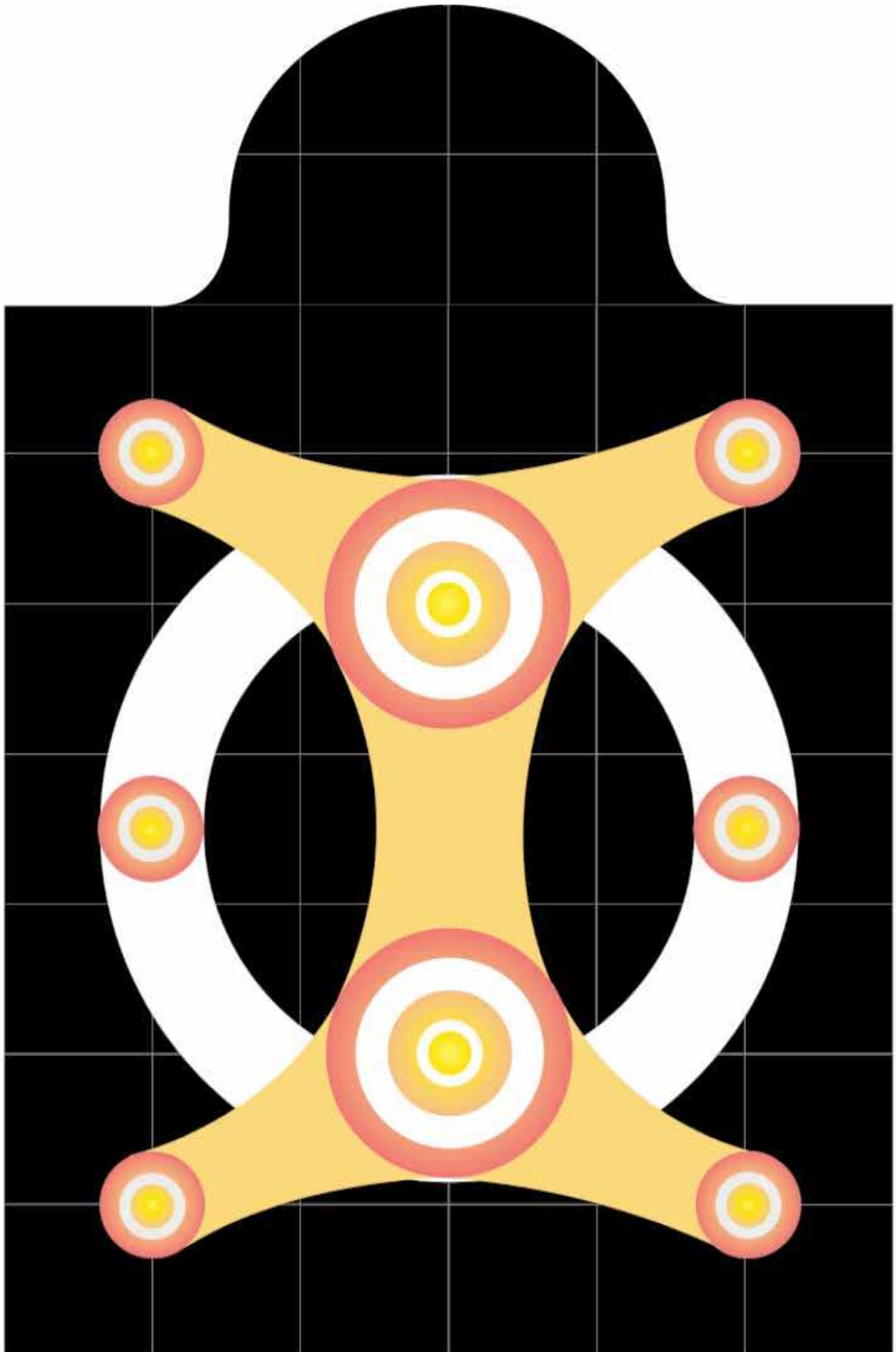
Il disegno è studiato in base alle esigenze specifiche della struttura di allenamento. La sua funzionalità varia a seconda della struttura di allenamento specifica di applicazione. In linea generale possono essere impiegati per tracciare linee guida visive che indicano dove posizionarsi. Ad esempio, nella stazione a terra possono segnare i punti dove devono posizionarsi mani e piedi per eseguire correttamente gli esercizi a terra (come push-up, plank, stretching). Possono indicare la direzione da seguire o dove fermarsi durante esercizi dinamici, come salti, cambi di direzione o esercizi di coordinazione ritmica. In altre aree come la stazione sbarre o box possono indicare il punto di discesa dopo o durante gli esercizi.

Funzione di posizionamento delle strutture:

I disegni servono anche per aiutare nella fase di installazione e assemblaggio delle attrezzature. Infatti, attraverso i motivi tracciati a terra, è possibile individuare con precisione dove posizionare i pali strutturali per l'installazione di attrezzature o totem. Ciò consente di ridurre al minimo gli errori di posizionamento e garantendo una composizione armonica dello spazio.

Spazio e Mobilità:

La dimensione del modulo di pavimentazione, che misura 2,5 metri di larghezza e 3 metri di lunghezza, consente di avere un'area di allenamento sufficientemente spaziosa per esercizi individuali. L'asola per il posizionamento del totem permette di lasciare spazio di manovra per gli utenti che vogliono spostarsi liberamente all'interno della zona di allenamento e allo stesso tempo permettere la visualizzazione delle informazioni da esso fornite.



19.0

Totem degli esercizi

Ogni stazione di allenamento, è dotata di un totem informativo che ha lo scopo di fornire supporto visivo migliorando l'esperienza degli utenti. Oltre alle sue funzionalità, il totem è progettato con un'attenzione particolare all'estetica, garantendo una perfetta integrazione formale con gli altri elementi del parco sportivo. La struttura del totem riprende visivamente gli stessi materiali e linee estetiche dei pali delle attrezzature sportive. Questo dettaglio crea un senso di continuità visiva e coerenza stilistica, eliminando la percezione di un elemento estraneo. Gli stessi materiali, tonalità e finiture del totem seguono quelle delle strutture circostanti, rafforzando l'identità visiva complessiva del parco. Al centro della struttura si trova uno schermo luminoso, resistente e perfettamente visibile in diverse condizioni di luce.



Feedback visivo

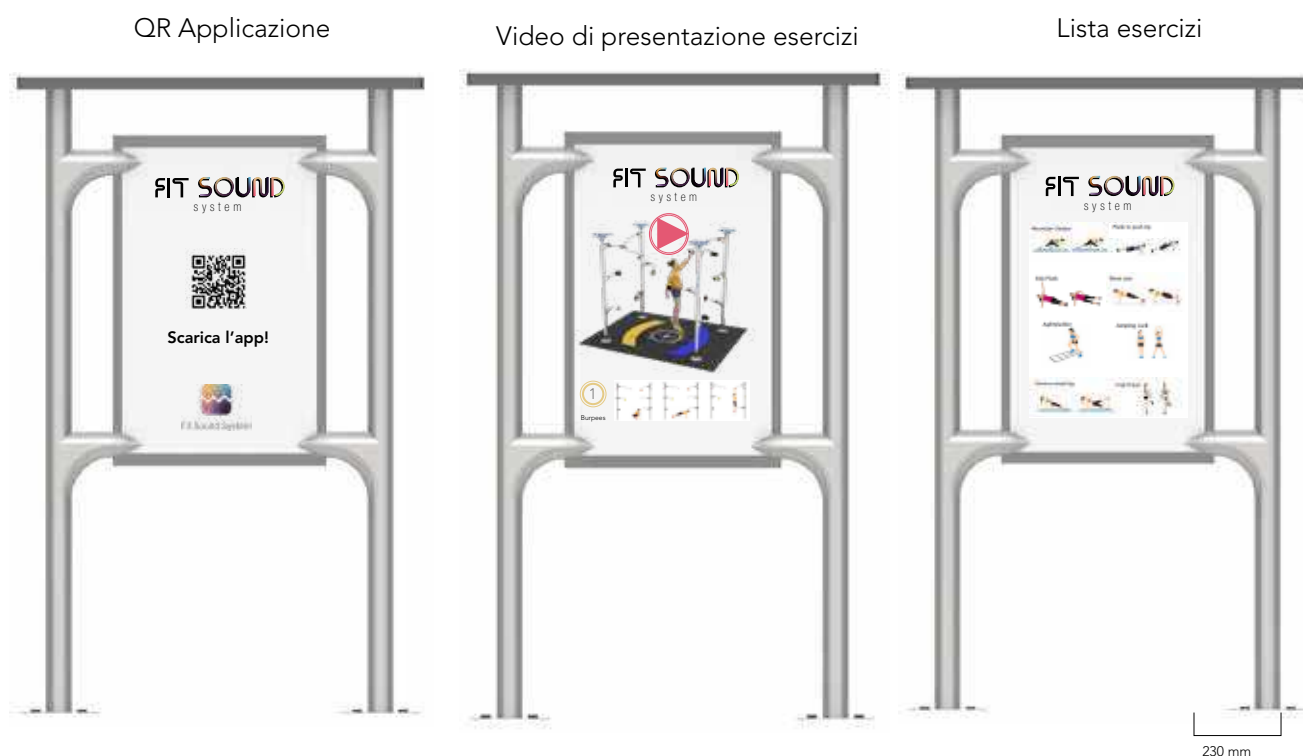
Il totem informativo è quindi un elemento centrale per guidare l'utente durante l'allenamento. L'integrazione tra feedback visivo e sonoro migliora l'esperienza utente attraverso:

Video dimostrativi degli esercizi: animazioni o video reali che illustrano chiaramente come eseguire correttamente i movimenti. I video sono sincronizzati con le fasi dell'allenamento, aggiornandosi automaticamente per corrispondere agli esercizi previsti nella scheda. Il totem quindi lavora in sinergia con la guida audio. Ad esempio, mentre la guida audio descrive come eseguire un esercizio, il totem mostra il relativo video dimostrativo e i dettagli tecnici.

Scheda di allenamento: visualizzazione della sequenza di esercizi, con indicazioni dettagliate come numero di ripetizioni, serie e tempi di recupero.

Feedback in tempo reale: grafici e indicatori che mostrano i progressi dell'utente durante la sessione, come il numero di tocchi rilevati e il ritmo dell'esecuzione.

Risultati dell'esercizio: alla fine di ogni esercizio o sessione, il totem può mostrare un riepilogo dei risultati personali.



20.0

Applicazione

Per comprendere a pieno l'esperienza dell'utente all'interno del parco è necessario distinguere le fasi che lo accompagnano dalla fase di accesso al termine dell'allenamento.

L'utente quindi, è al centro del processo narrativo, in cui ogni momento è pensato affinché l'utente non si senta mai un semplice esecutore, ma il protagonista della propria evoluzione.

Descrivere questi punti ha il fine di comprendere i passaggi tecnici e le funzionalità, ma anche come l'allenamento viene trasformato in un'esperienza personale e unica, creando un legame emotivo tra l'utente, la tecnologia e il luogo.

La registrazione e la configurazione iniziale attraverso le preferenze, per esempio, è sia il primo passo per accedere al sistema, ma anche il momento in cui l'utente inizia a costruire il proprio spazio personale all'interno del parco. Non è un'azione banale, ma l'avvio di una relazione: il sistema si adatta alle sue necessità, dimostrando attenzione e creando fiducia. Ogni fase successiva rafforza questo legame. L'interazione con i pannelli o con i totem informativi rappresenta un dialogo costante tra l'utente e il sistema, in cui ogni tocco e ogni feedback visivo o sonoro diventa una conferma del suo impegno. Gli aspetti tecnologici si trasformano in elementi del racconto, invisibili ma presenti per rendere l'esperienza fluida e immersiva. Ogni sonificazione viene costruita per amplificare il suo potenziale, aiutandolo a superare i propri limiti. Infine, guardando i propri progressi, l'utente vede i suoi risultati, il racconto del proprio impegno e dei traguardi raggiunti, alimentando il desiderio di tornare per raggiungerne altri.



Fit Sound System

Scaricamento e registrazione nell'app

Scaricamento e registrazione nell'app

L'utente inizia il processo scaricando l'applicazione mobile dedicata direttamente dal proprio store di riferimento, disponibile sia per dispositivi iOS che Android. Una volta installata l'app, procedere alla creazione del proprio profilo personale. Durante la registrazione, l'utente inserisce informazioni di base come il nome e il cognome, fornendo anche dati personali utili per personalizzare l'esperienza di allenamento, quali il sesso, l'età, l'altezza e il peso. Questi parametri consentono di adattare i programmi e le raccomandazioni in modo specifico alle caratteristiche fisiche e agli obiettivi dell'utente, garantendo un'esperienza su misura.

Selezione del Programma di Allenamento

Una volta completata la registrazione, l'utente accede all'applicazione per selezionare il proprio programma di allenamento personalizzato. L'app guida l'utente attraverso un'interfaccia per aiutarlo a scegliere un programma in base agli obiettivi desiderati, come migliorare la forza muscolare, aumentare la resistenza, concentrarsi su allenamenti soddisfacenti o raggiungere altri traguardi specifici.

Per facilitare la selezione, l'applicazione offre la possibilità di filtrare i programmi attraverso parametri personalizzabili, come il livello di esperienza (principiante, intermedio o avanzato), la durata delle sessioni e l'ambito di allenamento preferito. Una volta scelto il programma, vengono generati automaticamente schede di allenamento su misura, che includono dettagli sugli esercizi da svolgere, il numero di serie e ripetizioni, i tempi di recupero, e altri suggerimenti specifici per ottimizzare i risultati.

Personalizzazione dell'Esperienza Musicale

L'applicazione integra anche una funzione per migliorare la motivazione e il piacere durante l'allenamento: la selezione di un ritmo musicale di base. Questo ritmo viene scelto tenendo conto delle preferenze musicali dell'utente, come generi o artisti preferiti, e si adatta alla tipologia di esercizi da svolgere.

Inoltre, l'app fornisce istruzioni vocali dettagliate e suggerimenti visivi per ogni esercizio, aiutando l'utente a mantenere una postura corretta ed eseguire i movimenti in sicurezza.

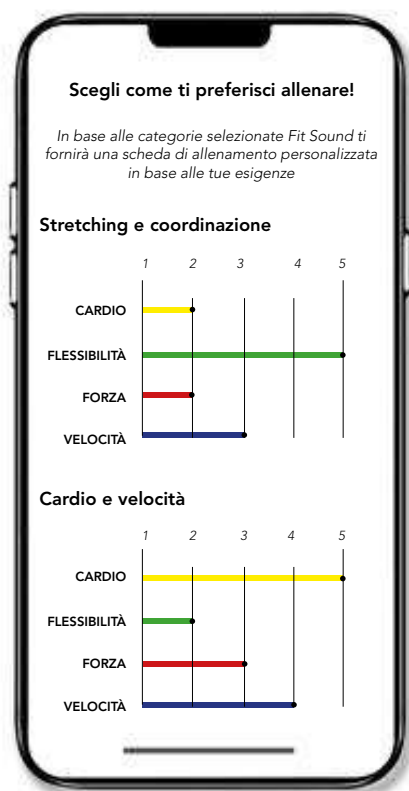


Avvio dell'allenamento

Avvio del programma tramite smartphone

L'utente avvia il programma di allenamento personalizzato direttamente dal proprio smartphone attraverso l'applicazione mobile dedicata. Una volta selezionato il programma desiderato e confermata la sessione, l'app aggiunge un collegamento tra l'utente e l'ambiente di allenamento fisico, attivando virtualmente il "parco" interattivo nella sezione desiderata.

Il ritmo musicale scelto precedentemente inizia ad essere adattato per accompagnare l'allenamento in base alla tipologia di esercizi selezionati.



Guida Audio Dall'Applicazione

Durante la sessione, l'applicazione fornisce indicazioni audio dettagliate in tempo reale per guidare l'utente nell'esecuzione degli esercizi.

Ogni istruzione è progettata per essere chiara e facilmente comprensibile, supportando l'utente con consigli su:

L'esecuzione dei movimenti: **dettagli sui gesti corretti, angoli di movimento e velocità da mantenere.**

La progressione nell'allenamento: **quando passare all'esercizio successivo, il numero di ripetizioni o serie, e i tempi di recupero.**

L'interazione con i pannelli: **l'app indica quali pannelli toccare per completare gli esercizi.**

Questa guida vocale è sincronizzata con il ritmo musicale e l'intensità dell'allenamento, adattandosi dinamicamente alle prestazioni dell'utente. Inoltre, l'applicazione può fornire feedback in tempo reale, motivando l'utente con frasi incoraggianti e suggerimenti per migliorare la postura o l'efficacia dei movimenti.

Questa combinazione di istruzioni audio e sincronizzazione musicale crea un'esperienza fluida e interattiva, trasformando ogni sessione in un allenamento personalizzato, dinamico e motivante, che supporta l'utente passo dopo passo verso il raggiungimento dei propri obiettivi di fitness.

Monitoraggio e feedback

Salvataggio dei Dati (Cloud/Database)

I dati raccolti durante l'allenamento vengono gestiti attraverso un'infrastruttura di archiviazione centralizzata, garantendo sicurezza, accessibilità e possibilità di analisi avanzata. Le informazioni registrate durante l'allenamento sono:

- Numero di tocchi o pressioni effettuate.
- Durata delle sessioni e intervalli di riposo.
- Risultati legati alla sonificazione, come ritmo o intensità musicale associata agli esercizi.

I dati elaborati localmente vengono inviati a un server centrale e vengono poi organizzati in un database strutturato, associato al profilo dell'utente. Vengono eseguite analisi automatiche per identificare pattern e generare insight utili.

Ogni utente può accedere ai propri dati tramite l'app, mantenendo uno storico completo degli allenamenti passati e confrontando i progressi nel tempo.

Feedback e Monitoraggio delle Prestazioni

L'applicazione mobile integra i dati salvati per fornire un supporto continuo e personalizzato all'utente trasformando l'intero percorso in un'esperienza più consapevole, gratificante e orientata al miglioramento continuo.

L'app mostra grafici chiari e intuitivi che rappresentano parametri come:

- Andamento delle sessioni (durata, intensità).
- Miglioramenti nelle prestazioni (numero di ripetizioni, precisione dei tocchi).
- Calorie bruciate e tempo totale dedicato all'allenamento.
- Confronti storici come la visualizzazione dei

miglioramenti settimanali, mensili o su periodi personalizzati.

Il sistema analizza i dati e fornisce raccomandazioni personalizzate come aumentare o ridurre l'intensità degli esercizi o modificare il ritmo per raggiungere obiettivi specifici.

Grazie al feedback continuo e mirato, l'utente si sente accompagnato e supportato, pur mantenendo la libertà di scegliere ritmi e obiettivi.

Monitorare i progressi crea una sensazione di realizzazione, incentivando l'utente a mantenere l'impegno e a superare le proprie prestazioni.



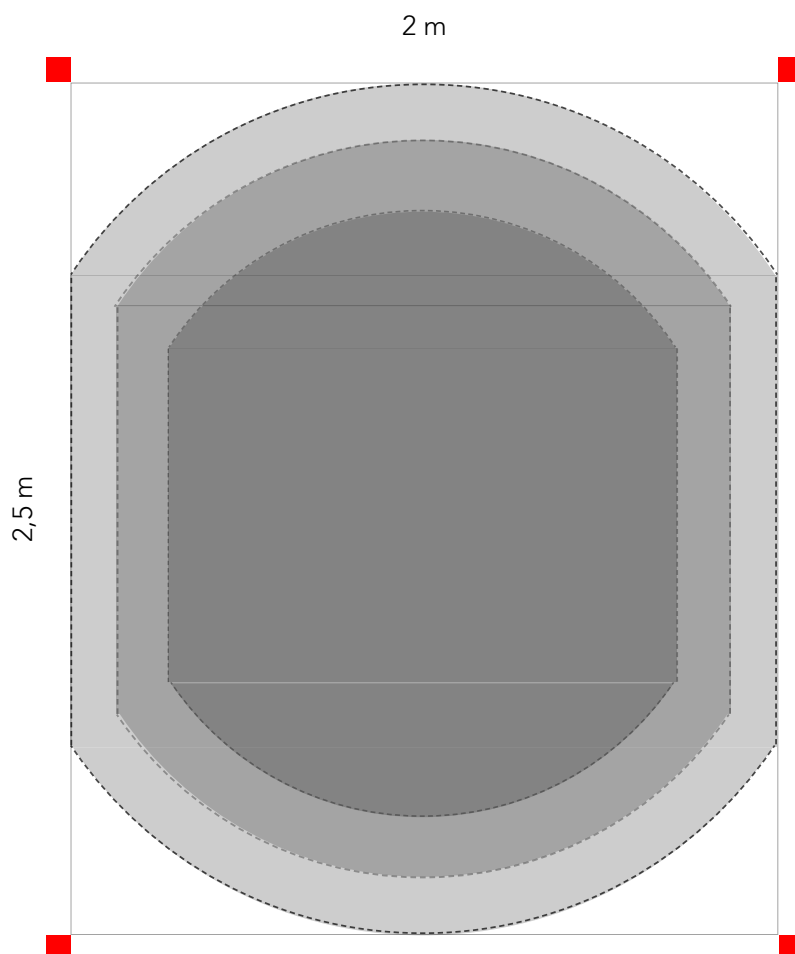
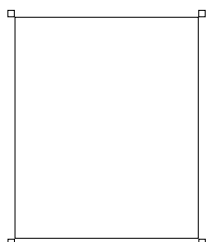
Predisposizione area

Essendo che la struttura deve essere accessibile e confortevole per persone di diverse altezze e corporature, è fondamentale considerare una serie di parametri ergonomici e funzionali. Bisogna considerare le dimensioni dinamiche, ossia quelle misurazioni del corpo riscontrabili in particolari movimenti.

L'obiettivo è garantire che la struttura sia flessibile, consentendo alle persone alte di muoversi liberamente senza urtare i pali, e allo stesso tempo permettere a persone più basse di interagire agevolmente con lo spazio.

Per definire la distanza tra i pali strutturali in ogni modulo, è stato preso in considerazione:

- > 1,50 metri
- < 2 metri
- Pali strutturali



Parametri per la definizione dell'area standard nelle stazioni

Nel parco ogni spazio deve essere pensato per essere funzionale e sicuro. La struttura deve essere flessibile e consentire alle persone di muoversi liberamente e di interagire agevolmente con lo spazio.

Ogni struttura per l'allenamento, richiede uno spazio operativo al suo interno minimo di 5 m² per consentire un allenamento confortevole.

Intorno a ogni modulo è necessario prevedere uno spazio aggiuntivo, per garantire libertà di movimento e prevenire incidenti.

Inoltre c'è da considerare l'area occupata dal totem, che deve essere posizionato in un punto ottimale per essere facilmente accessibile senza interferire con l'attività fisica.

Quindi, per ogni struttura calcoliamo una superficie totale di circa 15 m². Moltiplicando per le 4 strutture, abbiamo un totale di 60 m² dedicati esclusivamente alle aree di allenamento.

Altro spazio dovrà essere utilizzato per:

- Aree di passaggio, come i percorsi che collegano i moduli tra loro e al resto del parco. Questi percorsi dovrebbero essere larghi almeno 1,5-2 metri, abbastanza per far muovere comodamente le persone.

- Zone di relax o socializzazione, panchine e zone d'ombra con una piccola area verde ed eventuali accessori come fontanelle e cestini per i rifiuti.

Distribuzione della struttura

Nelle prossime pagine vedremo come organizzare tutto questo all'interno del parco. Una buona distribuzione garantisce che ogni struttura sia facilmente accessibile e che ci sia abbastanza spazio tra una e l'altra per evitare sovraffollamenti o interferenze.

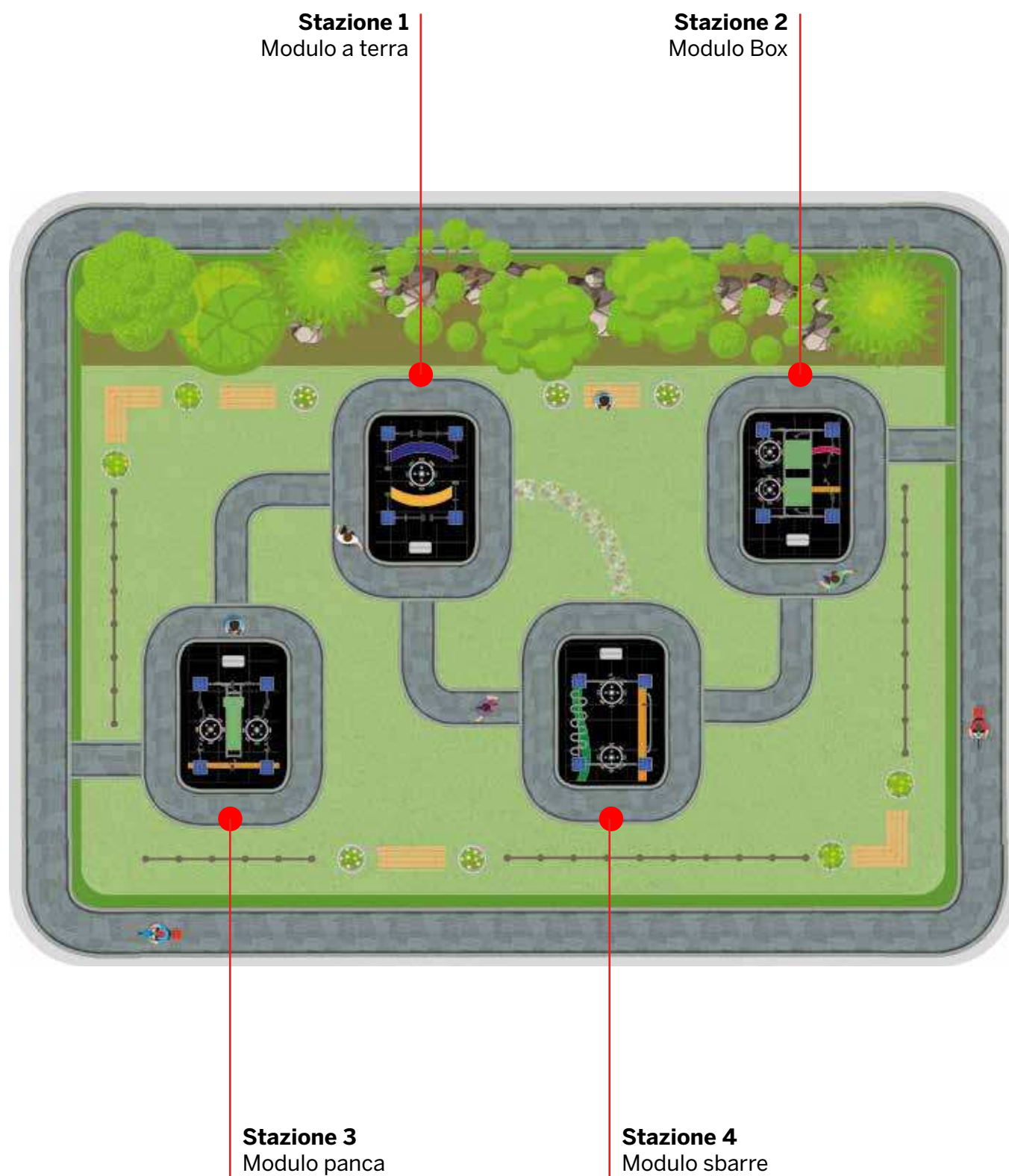
Distanze tra i moduli:

Le strutture dovrebbero essere posizionate ad almeno 5 metri l'una dall'altra. Questa distanza consente agli utenti di muoversi senza disturbarsi a vicenda e di usare i percorsi per spostarsi tra le aree.

Posizionamento dei totem:

I totem informativi dovrebbero essere installati a circa 1 metro dall'attrezzatura, orientati verso il flusso principale degli utenti. Devono essere visibili e facilmente raggiungibili, ma mai intralciare l'attività.

Proposta di layout



Dimensioni area parco: 300 mq

- Stazione panca, 15 mq
- Stazione a terra, 15 mq
- Stazione sbarre, 15 mq
- Stazione box, 15 mq



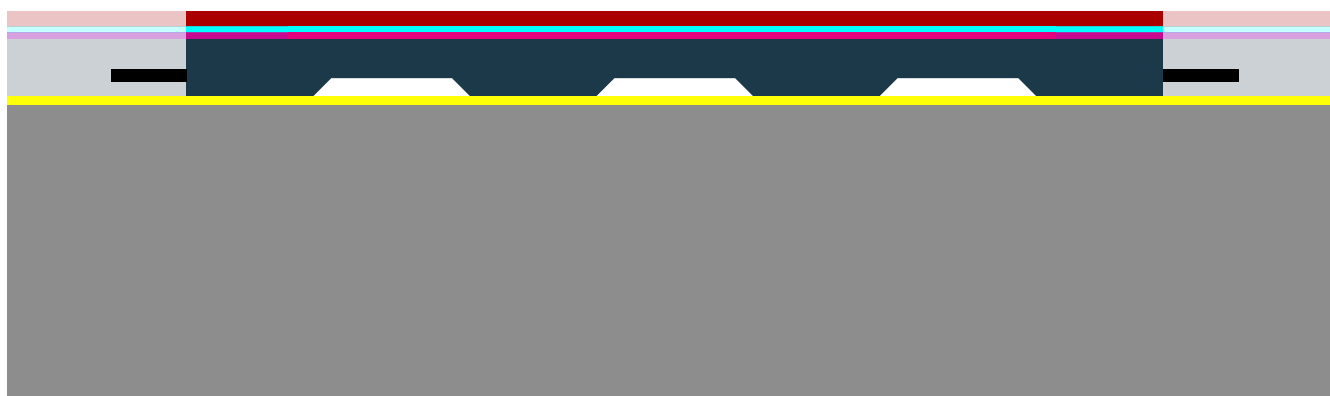
Installazione del pavimento su calcestruzzo

Variante 1A (calcestruzzo)

La pavimentazione può essere fissata mediante adesivi specifici (resina poliuretanica), oltre che rafforzata attraverso gli appositi connettori laterali.

LEGENDA

-  Finitura in EPDM
-  Electronic pressure mat
-  Grip mat
-  Base in granuli di gomma SBR
-  Adesivo in resina poliuretanica
-  Piattaforma in CLS con rete elettrosaldata



Installazione del pavimento su altri terreni

Variante 1B (erba o sabbia compattata)

La pavimentazione può essere fissata attraverso 4 pioli

LEGENDA

-  Finitura in EPDM
-  Electronic pressure mat
-  Grip mat
-  Base in granuli di gomma SBR
-  Prato / sabbia compattata / ghiaia
-  Sottosuolo
-  Pioli o tasselli (a seconda della superficie)



Installazione dei pali su calcestruzzo

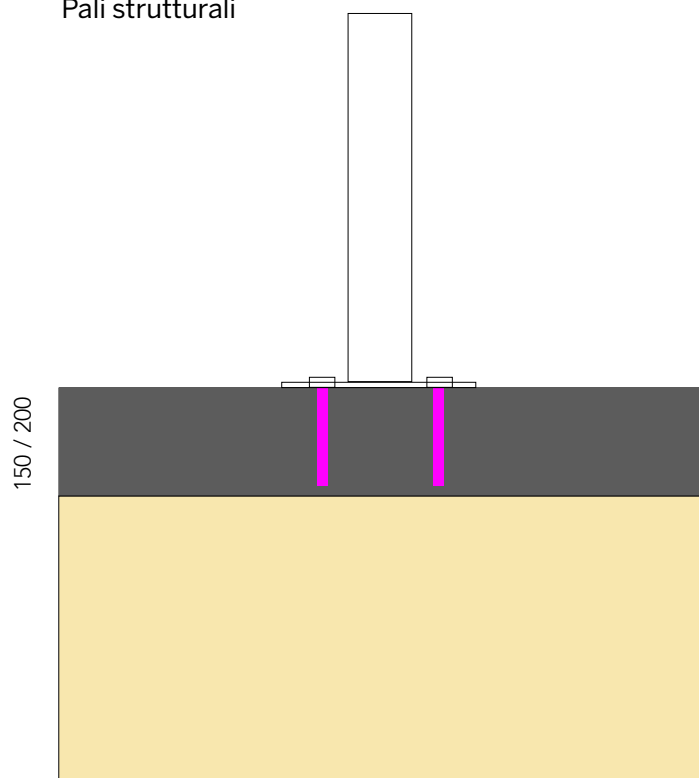
LEGENDA

-  Sottosuolo
-  Piattaforma in CLS con rete elettrosaldata
-  Barra filettata M16
-  Barra filettata M12

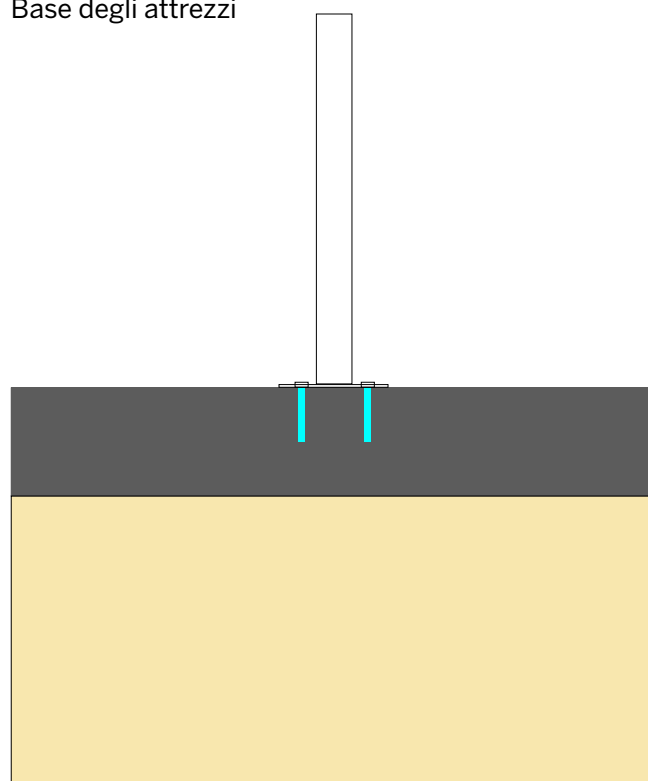
Variante 1A

Le basi degli attrezzi e dei pali strutturali vengono fissate mediante ancoraggio chimico alla piattaforma in CLS con rete elettrosaldata.

Pali strutturali



Base degli attrezzi



Installazione dei pali su altri terreni (terra, ghiaia, sabbia)

LEGENDA

-  Terreno (specifiche nella tabella)
-  Sottosuolo
-  Plinti armati in CLS
-  Barra filettata M16
-  Barra filettata M12

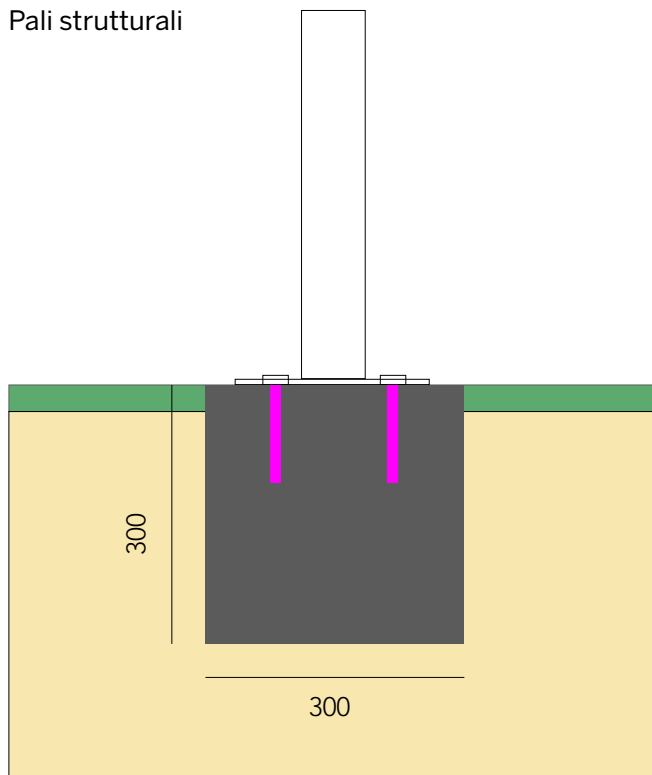
Variante 1B

Le basi degli attrezzi e dei pali strutturali vengono fissate mediante ancoraggio chimico ai plinti in CLS posizionati a livello del suolo

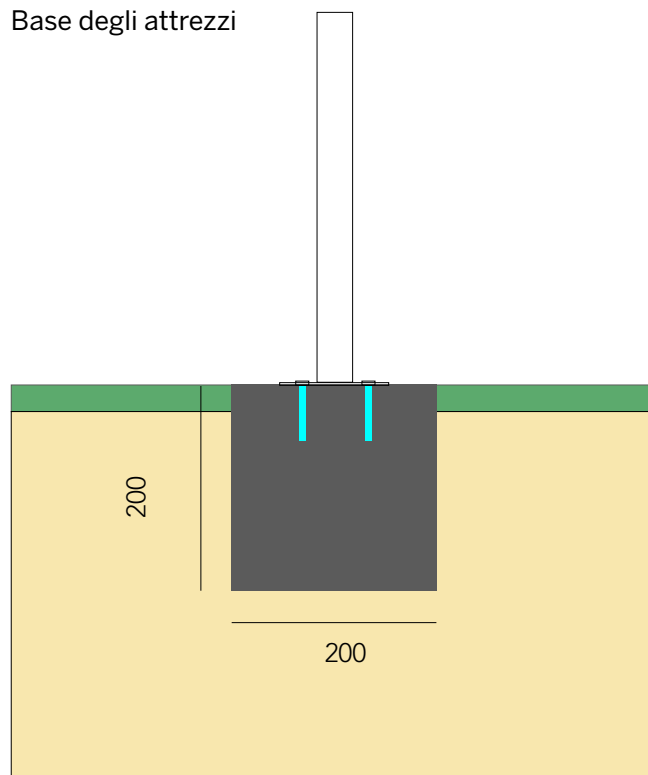
Dettaglio

Le basi di supporto vengono appoggiate perpendicolari al terreno e ancorate mediante dadi alle rispettive barre filettate, precedentemente incollate all'interno del plinto in CLS mediante collante chimico.

Pali strutturali

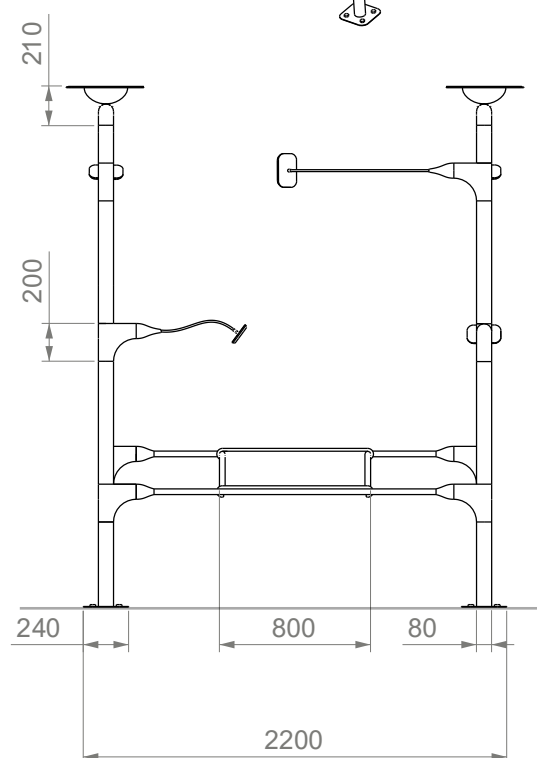
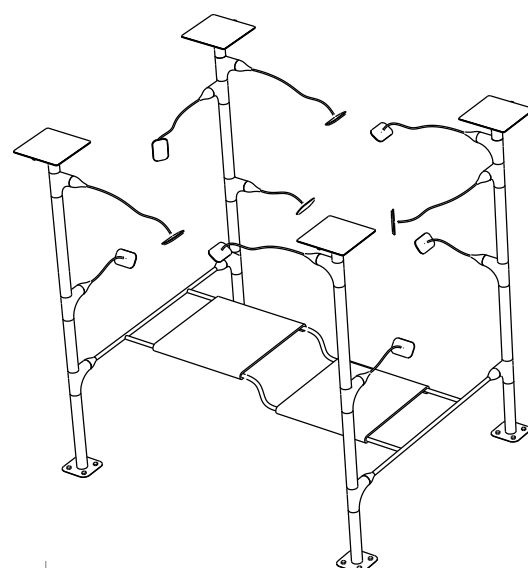
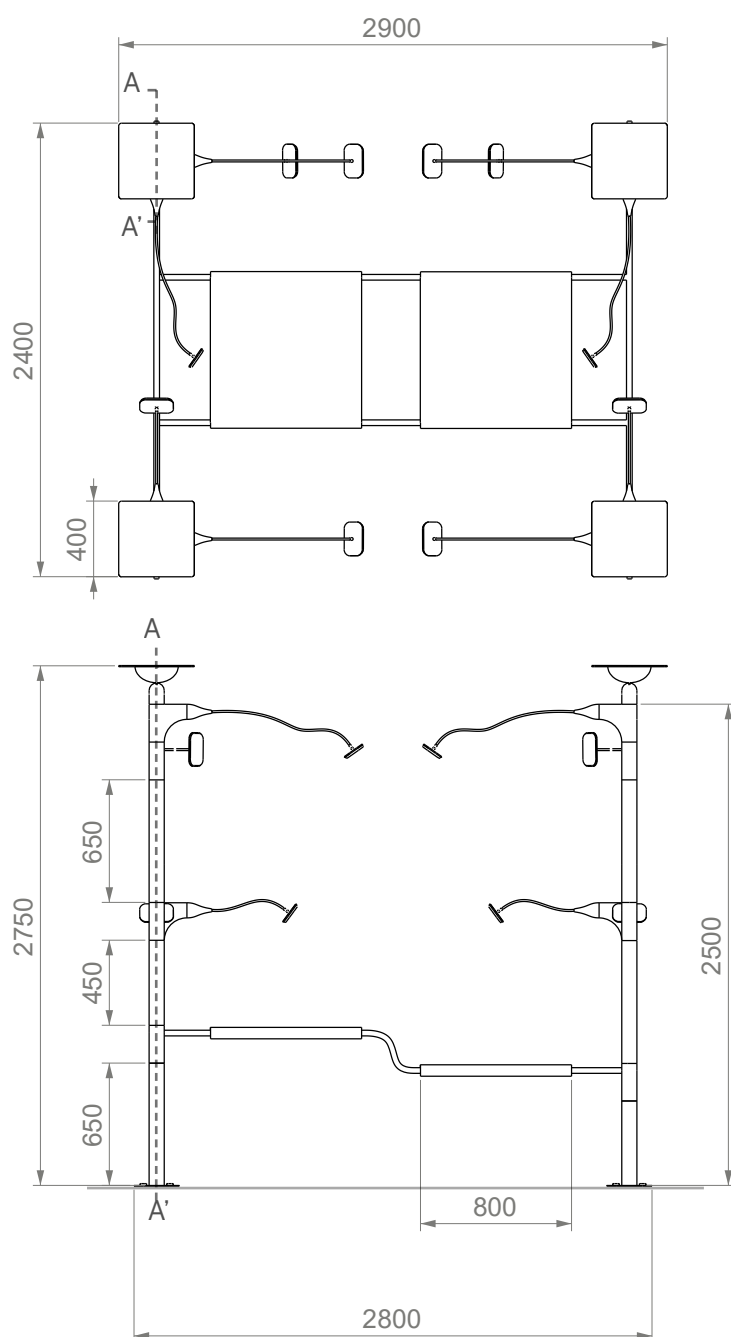


Base degli attrezzi



22.0

Tavole tecniche



Assieme stazione gambe

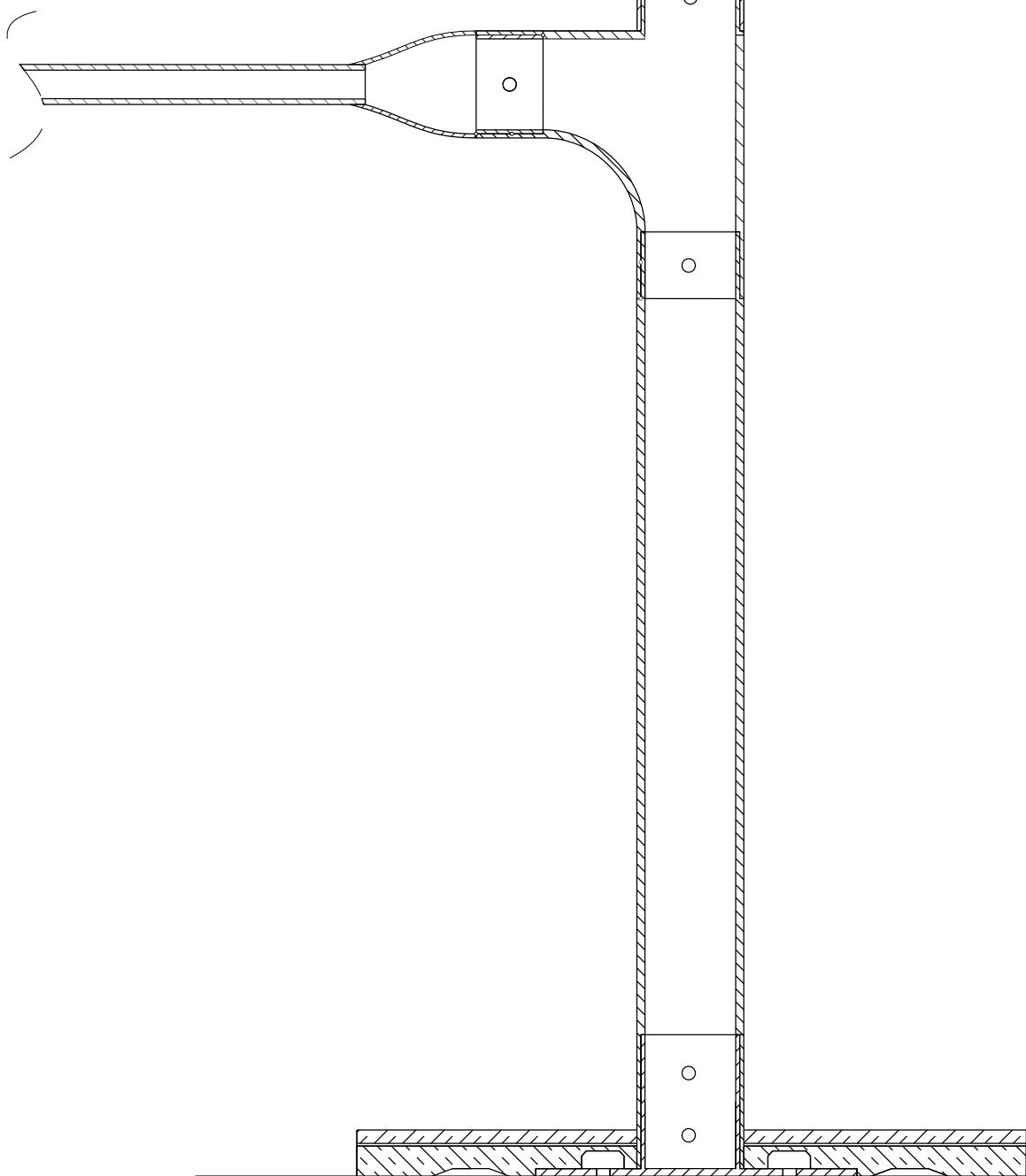
Scala 1:40



Acciaio

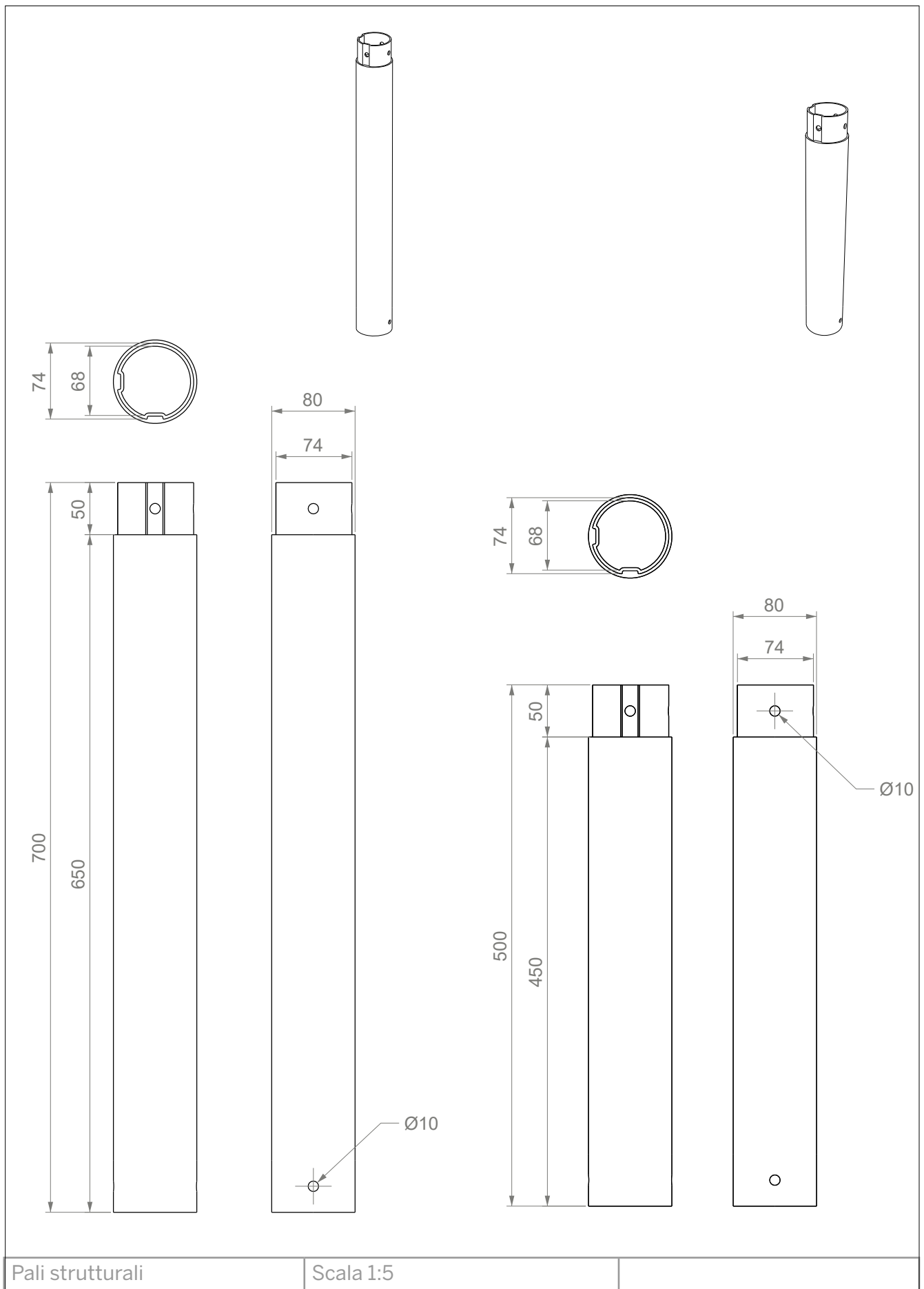


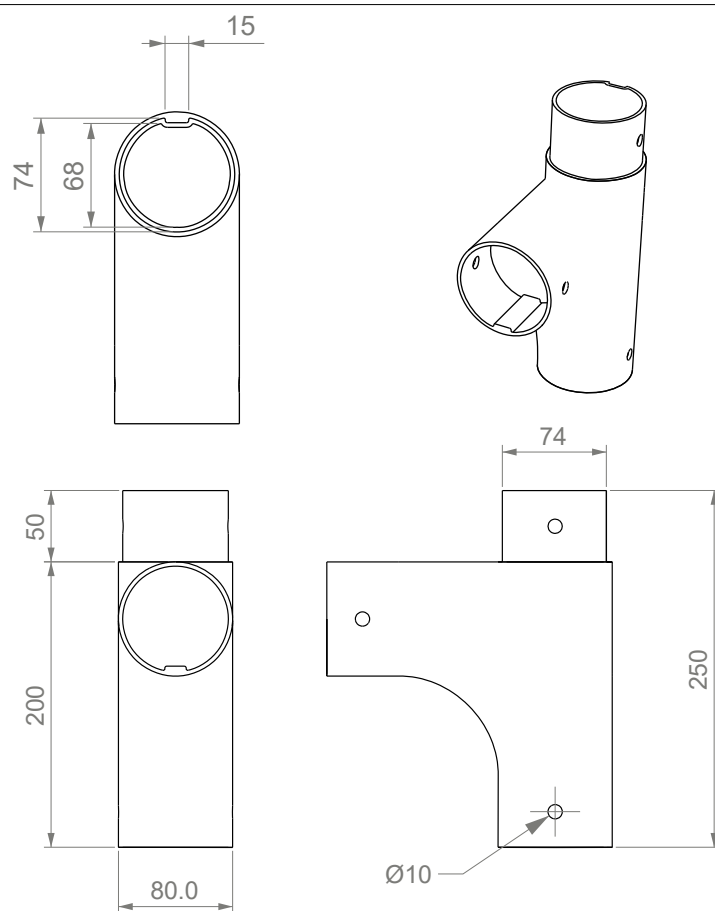
Gomma SBR



Sezione A-A'

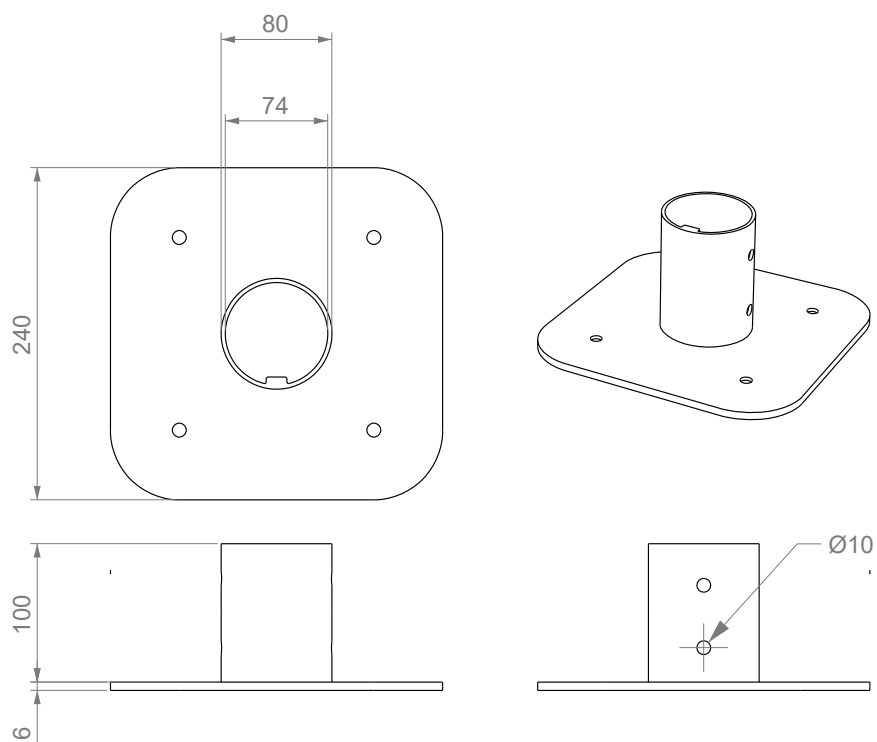
Scala 1:5





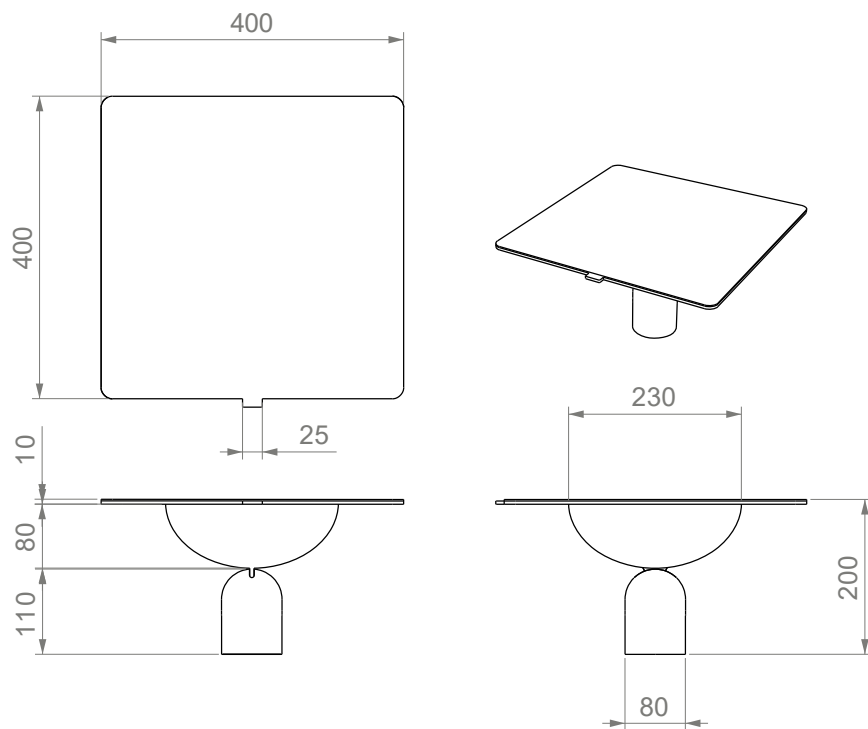
Modulo di collegamento

Scala 1:5



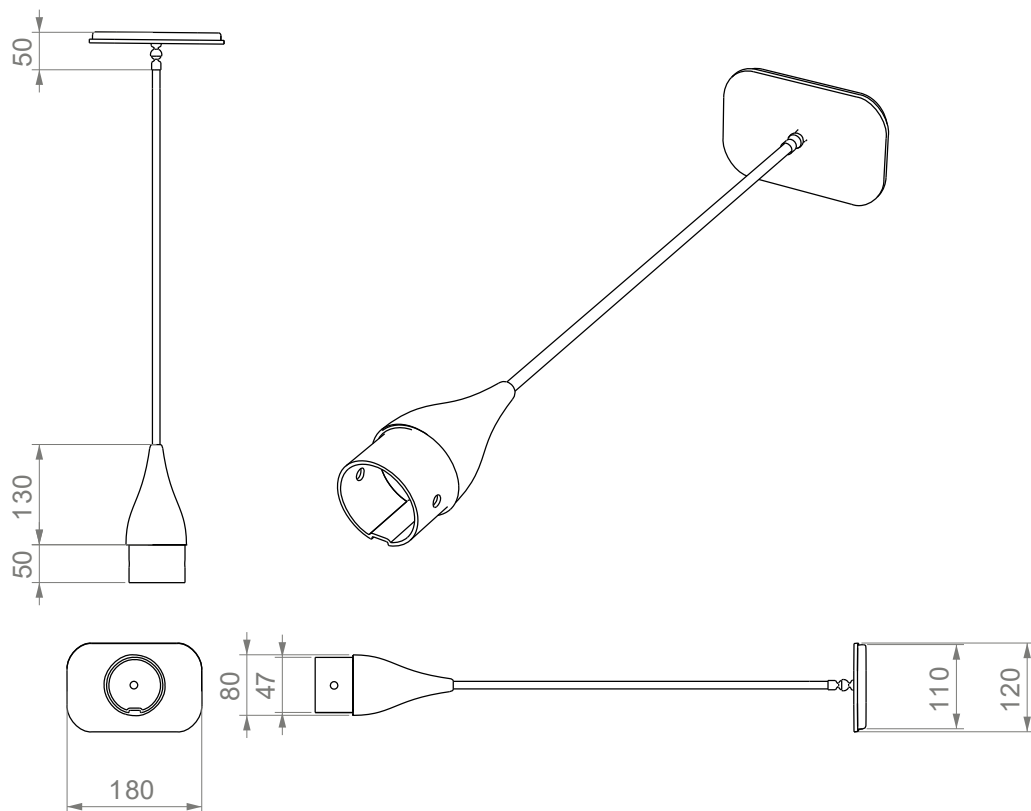
Piastra di base

Scala 1:5



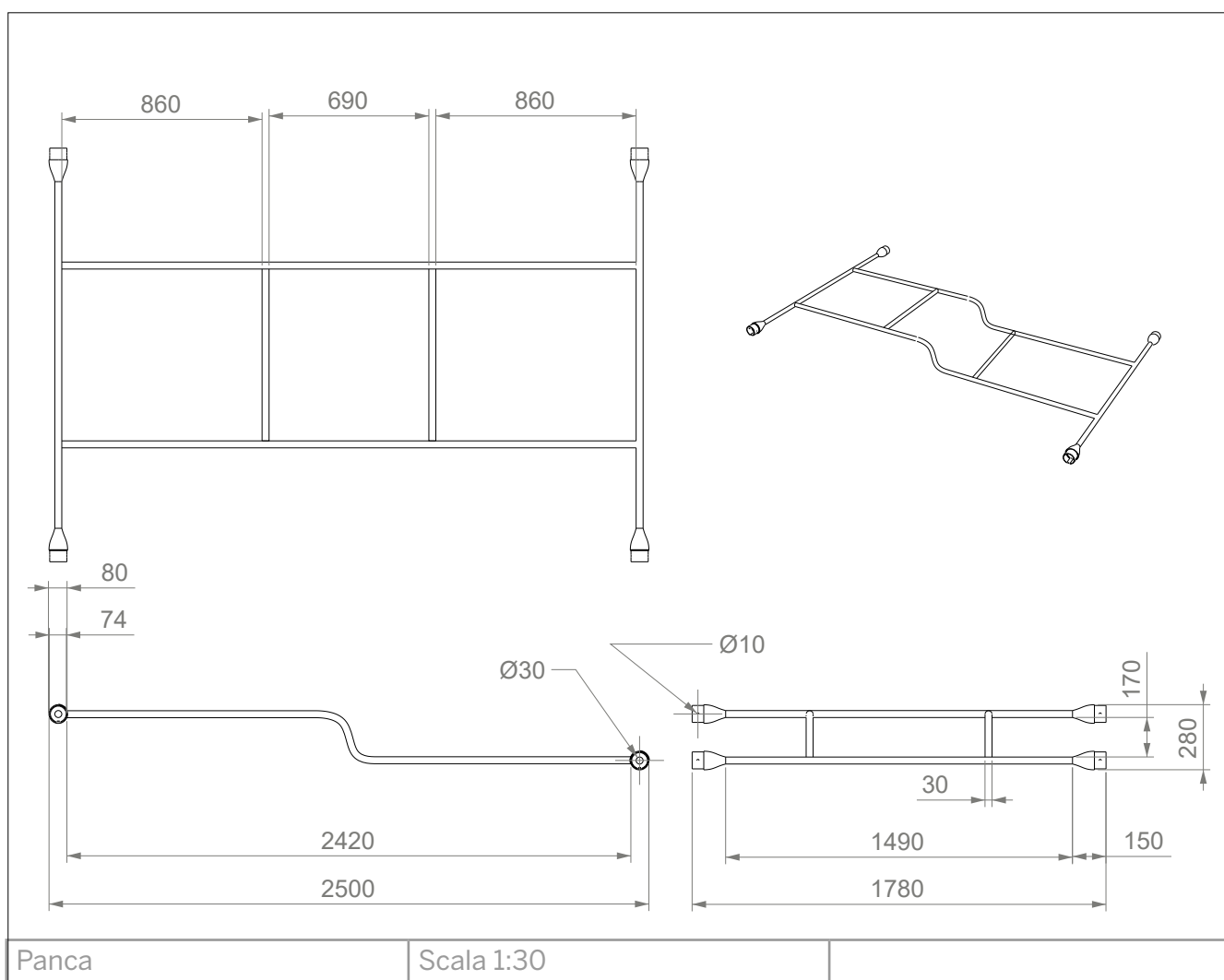
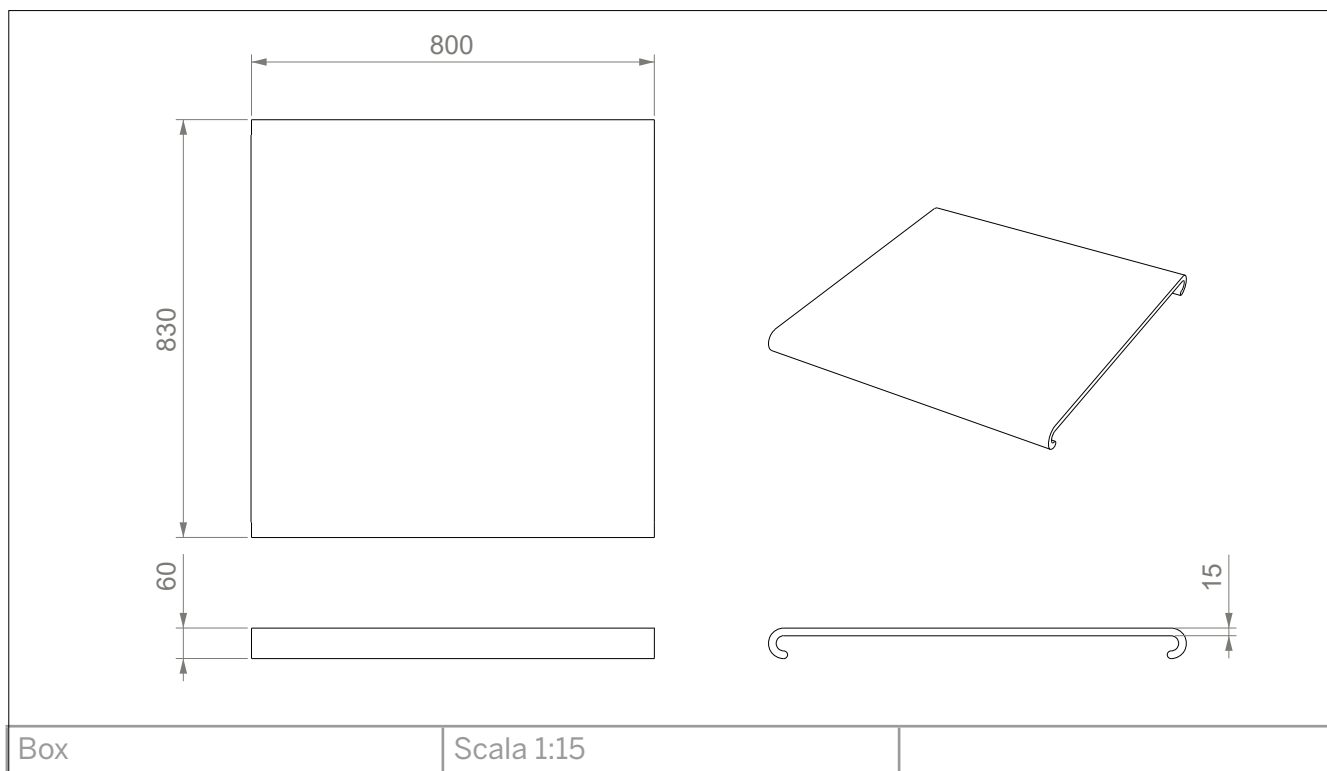
Illuminazione

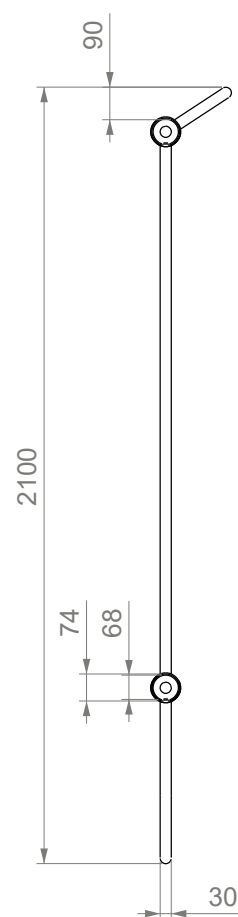
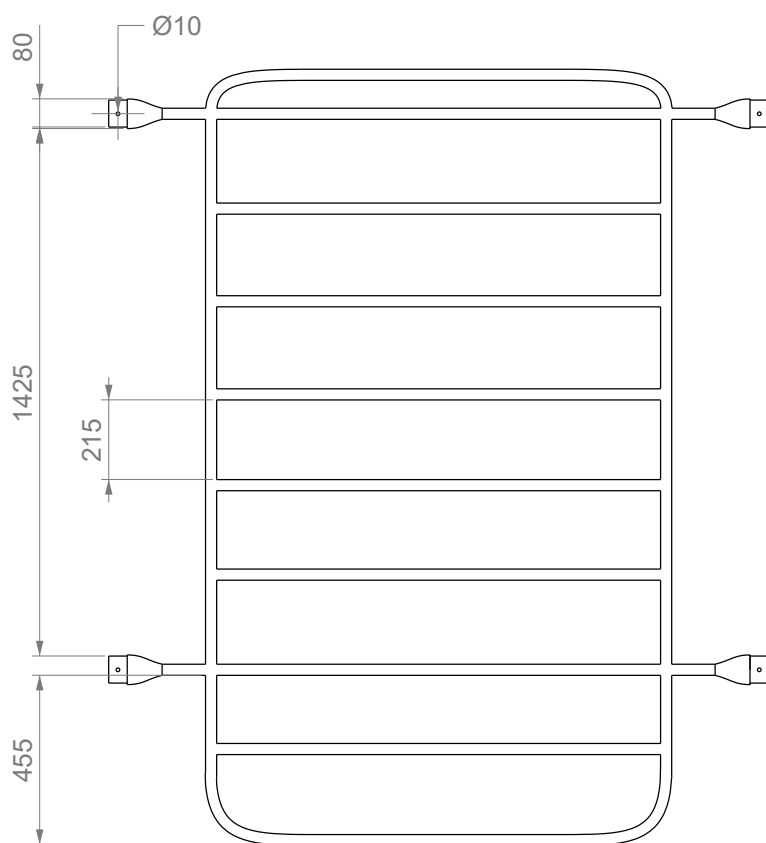
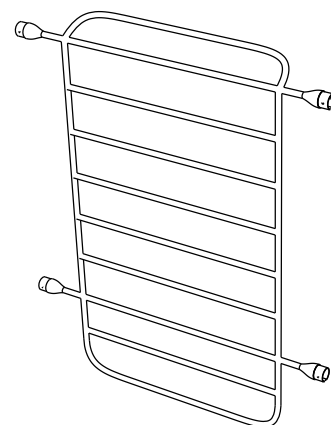
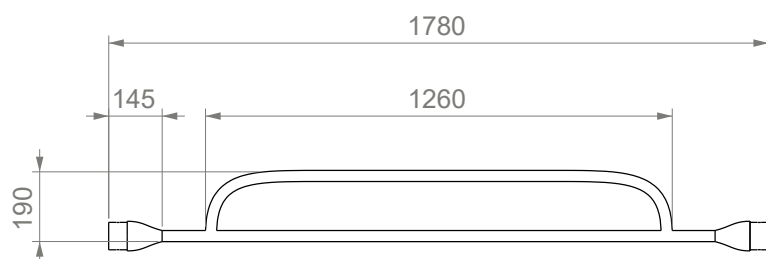
Scala 1:10



Pannello di interazione

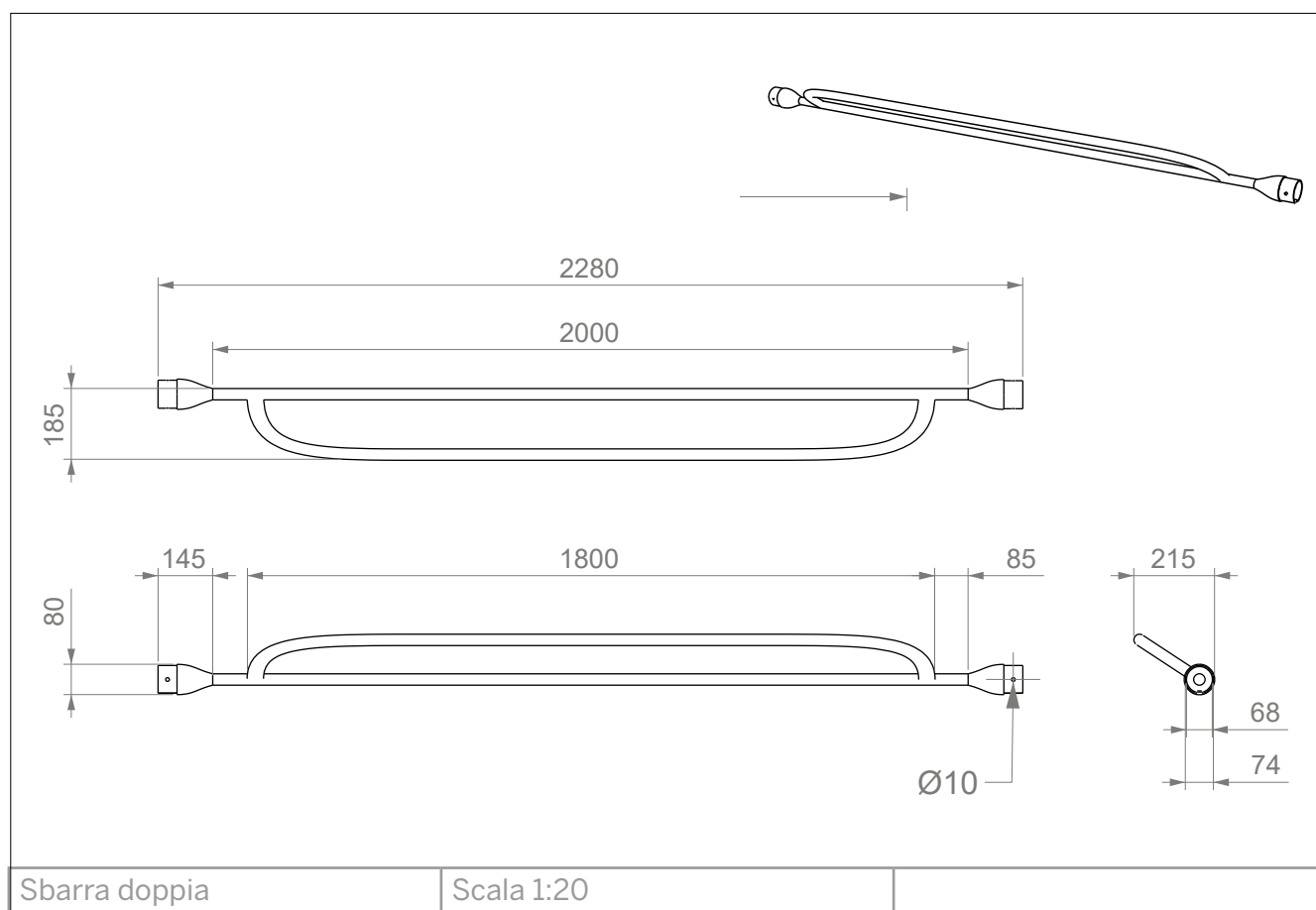
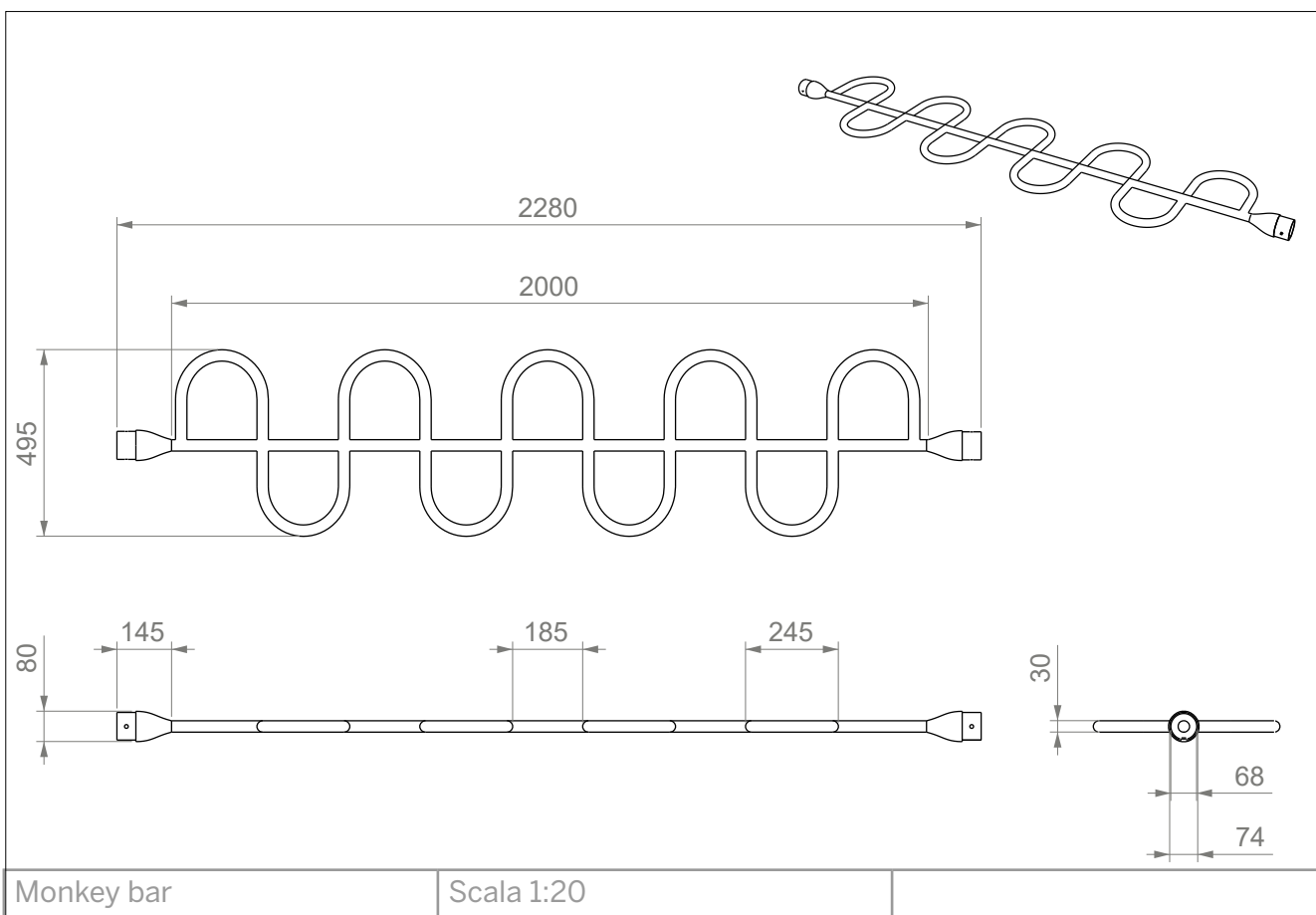
Scala 1:10

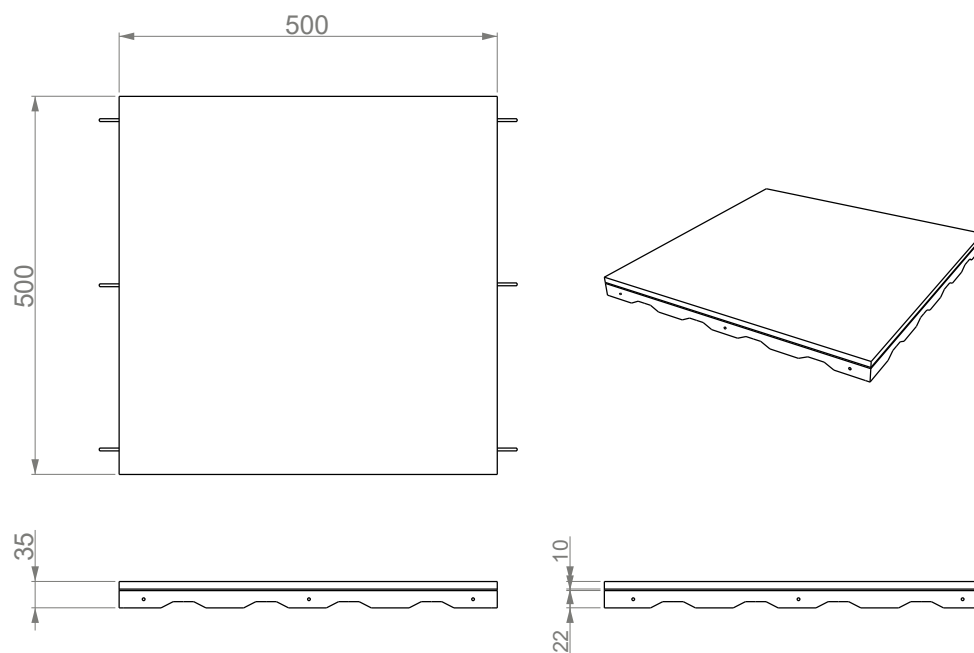




Spalliera

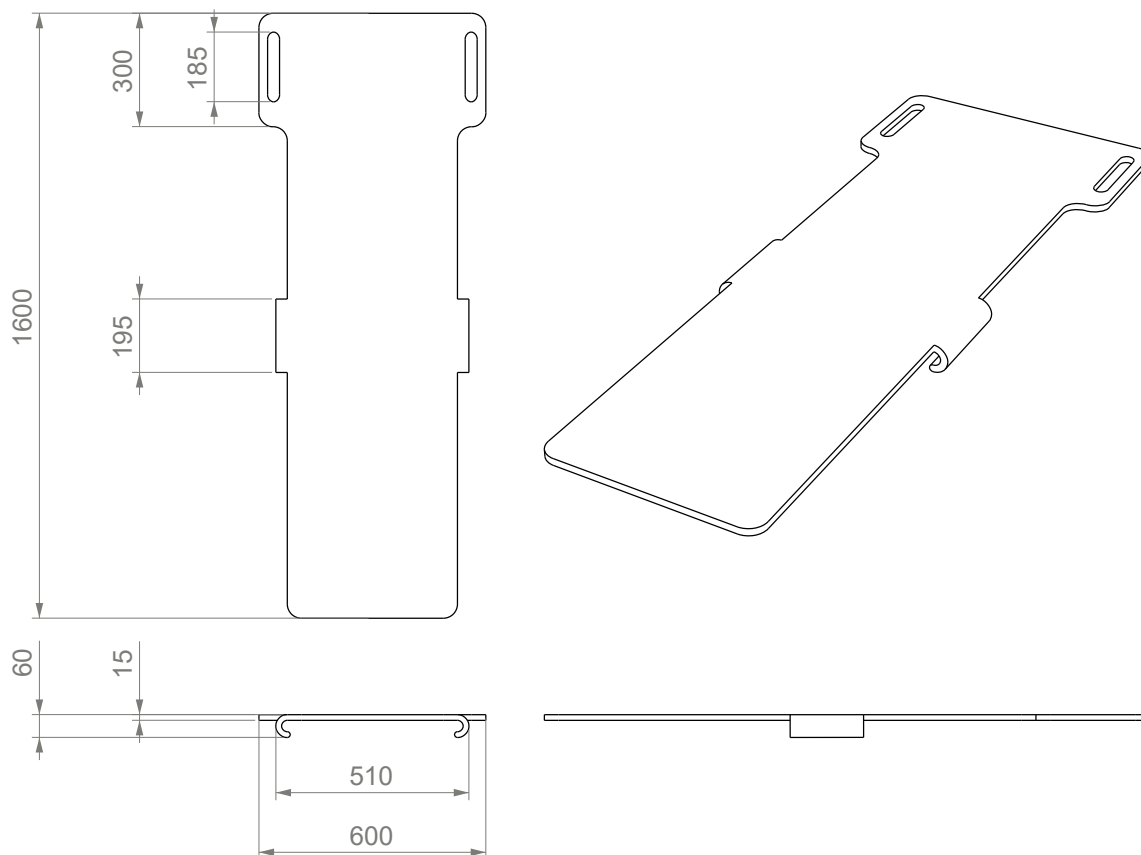
Scala 1:20





Pavimentazione

Scala 1:10



Panca

Scala 1:20

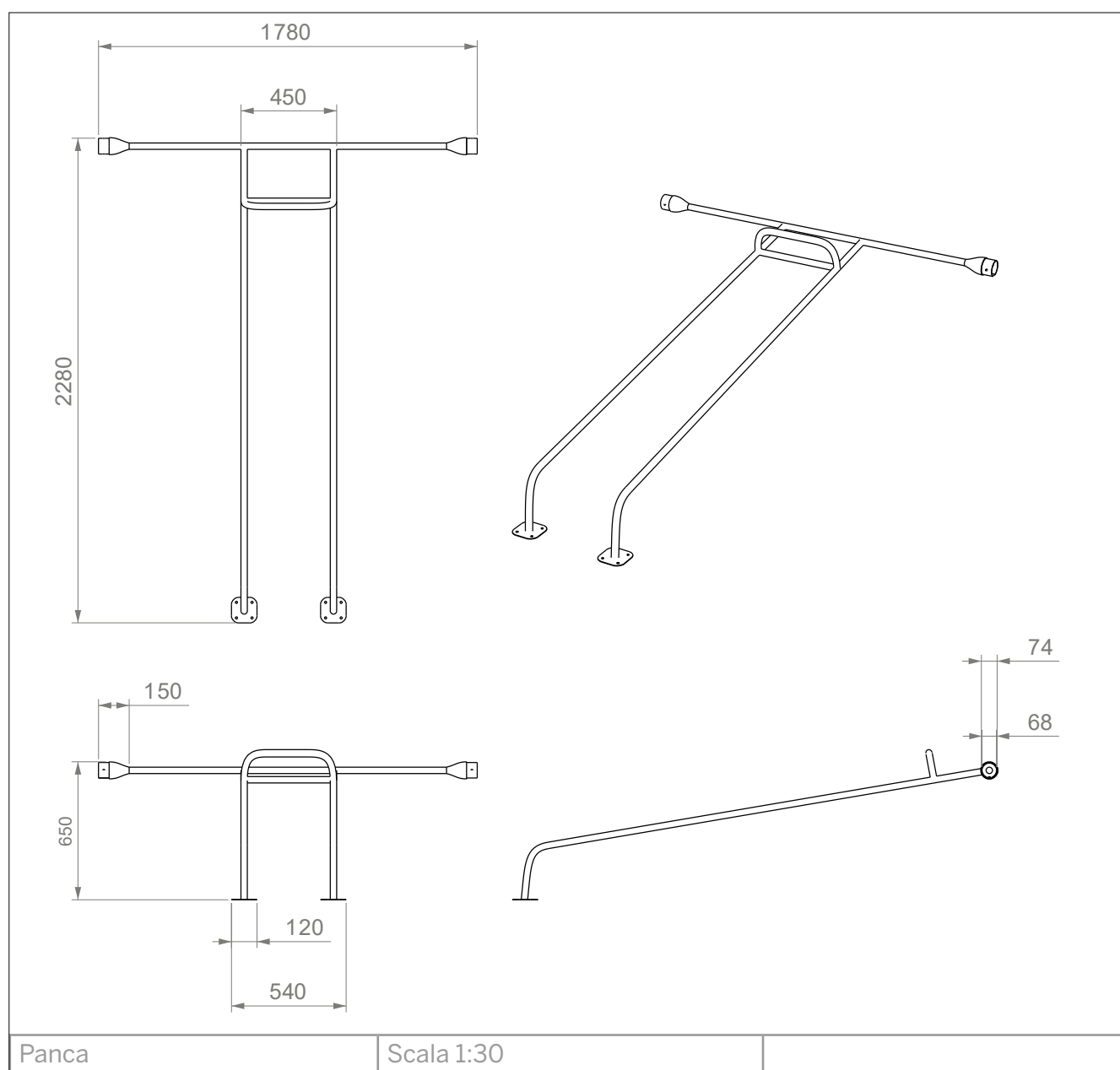
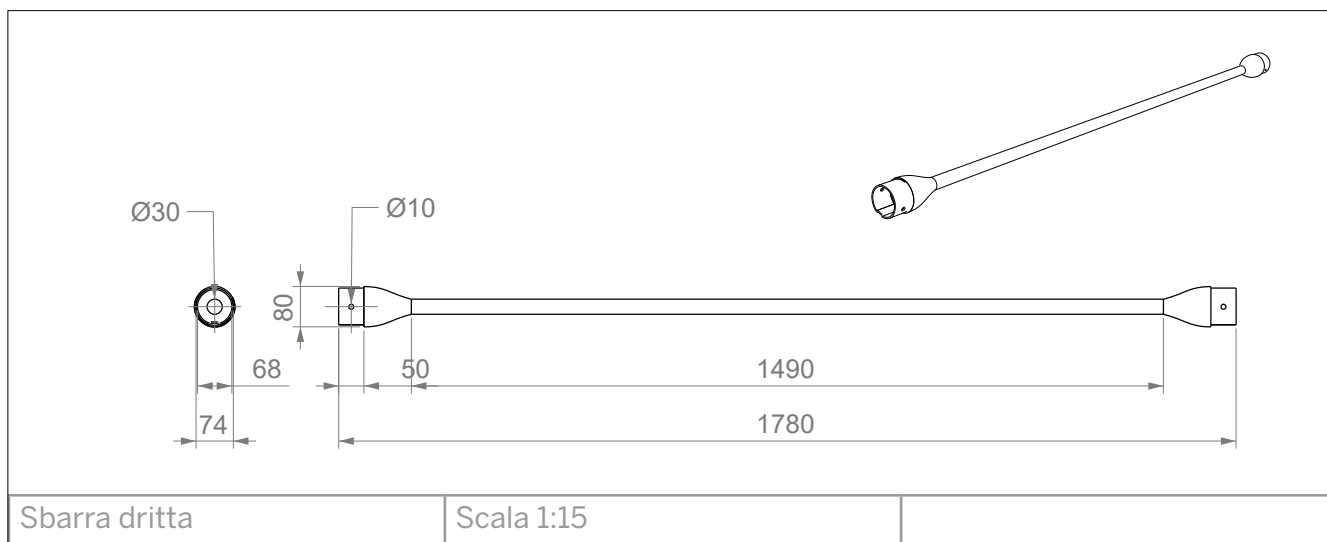


Tabella parti e materiali

Nome componente	Qt	Materiale
Piastra di base	16	Acciaio inossidabile aisi 304
Palo strutturale (g)	24	Acciaio inossidabile aisi 304
Palo strutturale (p)	24	Acciaio inossidabile aisi 304
Modulo di collegamento	48	Acciaio inossidabile aisi 304
Pannello di interazione	34	Polietilene ad alta densità HDPE
Pavimento interattivo	120	Gomma SBR, con finitura EPDM
Illuminazione	16	Scocca in PMMA, giunto in acciaio
Gommino di rivestimento	0	Polietilene ad alta densità HDPE
Sbarra di supporto (panca)	1	Acciaio inossidabile aisi 304
Sbarra di supporto (box)	1	Acciaio inossidabile aisi 304
Monkey bar	1	Acciaio inossidabile aisi 304
Spalliera	1	Acciaio inossidabile aisi 304
Sbarra per esercizi dritta	2	Acciaio inossidabile aisi 304
Sbarra per esercizi doppia	1	Acciaio inossidabile aisi 304
Panca	1	Polietilene ad alta densità HDPE
Box	2	Polietilene ad alta densità HDPE
Viti di fissaggio piastra di base	64	Acciaio inossidabile aisi 304
Viti di fissaggio componenti	256	Acciaio inossidabile aisi 304

Allegati e riferimenti

Bibliografia

Grond, Florian & Berger, J.. (2011). Parameter mapping sonification. The Sonification Handbook. 363-397.

Höner, Oliver & Hunt, Andy & Pauletto, Sandra & Röber, Niklas & Hermann, T. & Effenberg, Alfred. (2011). Aiding movement with sonification in exercise, play and sport. The Sonification Handbook. 525-553.

Esperienze di sonificazione nella computer music e nella riabilitazione. Graziano Bertini, Leonello Tarabella, Massimo Magrini. ISTI- Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione, Area della Ricerca del CNR, Pisa

Nown, TH; Grealy, MA; Andonovic, I.; Kerr, A.; Tachtatzis, C. Un nuovo metodo di stima della posizione online e sistema di sonificazione del movimento: Soniccup. Sensori 2024, 24, 6279.

Andy Hunt, Thomas Hermann. The importance of interaction in sonification (2014)

Rönnberg, Niklas. (2021). Sonification for Conveying Data and Emotion. 56-63. 10.1145/3478384.3478387.

Effenberg, Alfred. (2005). Movement Sonification: Effects on Perception and Action. Multimedia, IEEE. 12. 53 - 59. 10.1109/MMUL.2005.31.

Effenberg, Alfred. (2007). Movement Sonification: Motion perception, behavioral effects and functional data.

Ramezanzade, H.; Badicu, G.; Cataldi, S.; Pari-

mi, F.; Mohammadzadeh, S.; Mohamadtaghi, M.; Zamani Sani, SH; Greco, G. Sonificazione dell'immaginazione motoria nel tiro in sospensione nel basket: effetto sull'ampiezza dell'attività muscolare. Appl. Sci. 2023, 13, 1495.

Yuka Tanaka, Homare Kon, and Hideki Koike. 2018. A real-time golf-swing training system using sonification and sound image localization. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 66, 1–2.

Effenberg, Alfred O.. "Utilizzo della sonificazione per migliorare la percezione e l'accuratezza della riproduzione dei modelli di movimento umano." (2004).

Movement sonification expectancy model: leveraging musical expectancy theory to create movement-altering sonifications, author Joseph W. Newbold and Nicolas E. Gold and Nadia Bianchi-Berthouze, 2020, vol 14, pages 153-166.

Effenberg, Alfred & Fehse, Ursula & Schmitz, Gerd & Krüger, Björn & Mechling, Heinz. (2016). Movement Sonification: Effects on Motor Learning beyond Rhythmic Adjustments. Frontiers in Neuroscience. 10. 10.3389/fnins.2016.00219.

Design dell'interazione, creare applicazioni intelligenti e dispositivi ingegnosi con l'interaction design. Dan Saffer, 2007

Manuale di acustica concetti fondamentali acustica degli interni. Editore Ulrico Hoepli Milano 2003

Sitografia

Psychoacoustics in the Loop. Proceedings of the 7th Interactive Sonification Workshop 2023, Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research)

A real-time movement sonification application for bodyweight squat Training, Cherelle Connor, Prithvi Kantan, Stefania Serafin, 2022

A real-time embodied sonification model to convey temporal Asymmetry during running Thomas Albert Rushton, Aalborg University, Copenhagen, 2022

Lenzi S., Ciuccarelli P., Liu H., Hua Y. 2020. Data Sonification Archive.

Stienstra, Jelle & Overbeeke, Kees & Wensveen, Stephan. (2011). Embodying complexity through movement sonification: Case study on empowering the speed-skater. Personality and Individual Differences - PERS INDIV DIFFER. 39-44. 10.1145/2037296.2037310.

pdf/10.1007/s12193-020-00322-2.pdf

<https://it.wikipedia.org>
<https://www.treccani.it>
<https://youtu.be/>
<https://cymascope.com>
<https://www.lavanderiaavapore.eu/>
<https://www.alphagalileo.org/>
<https://www.sciencedirect.com>
<https://www.researchgate.net>
<https://thesportjournal.org/>
<https://news.mit.edu/>
<https://sonification.design/>
<https://www.nasa.gov/>
<http://www.sonification.design>
<https://doi.org/10.3390/app13031495>
<https://dl.acm.org/>
<https://link.springer.com/content/>
<https://www.hubocan.earth/data-sonification>
<https://www.rowinginmotion.com/>
<https://doi.org/10.3390/s24196279>
<https://doi.org/10.1145/3281505.3281604>

Ricerca

Sonificazione

La sonificazione può essere definita come il processo di mappare dati o informazioni su un dominio sonoro, in modo tale che le caratteristiche del suono rappresentino direttamente le variazioni nei dati. Questo approccio non si limita a generare suoni generici, ma crea una relazione diretta tra dati e parametri acustici, come altezza, durata, volume e timbro.

Dal numero al suono

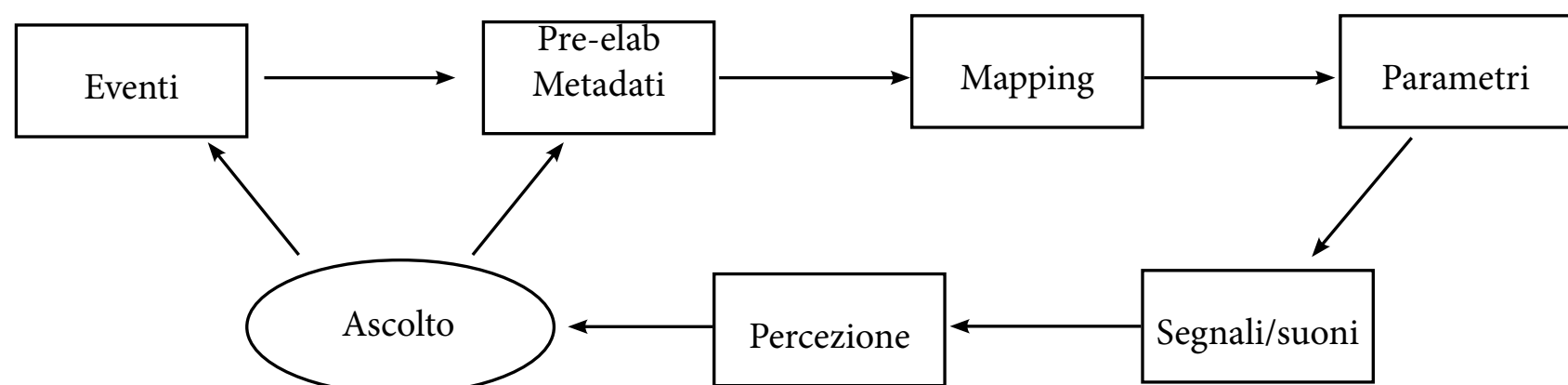


Fig.x: Architettura e funzioni principali di un sistema di sonificazione di eventi

Coinvolgimento emozionale

Il processo che trasforma gli stimoli acustici in esperienze è un fenomeno multidimensionale che coinvolge percezione, interpretazione, memoria e cultura. Ogni suono che percepiamo non è solo un evento sensoriale, ma diventa un'esperienza soggettiva ricca di significati emotivi e cognitivi.

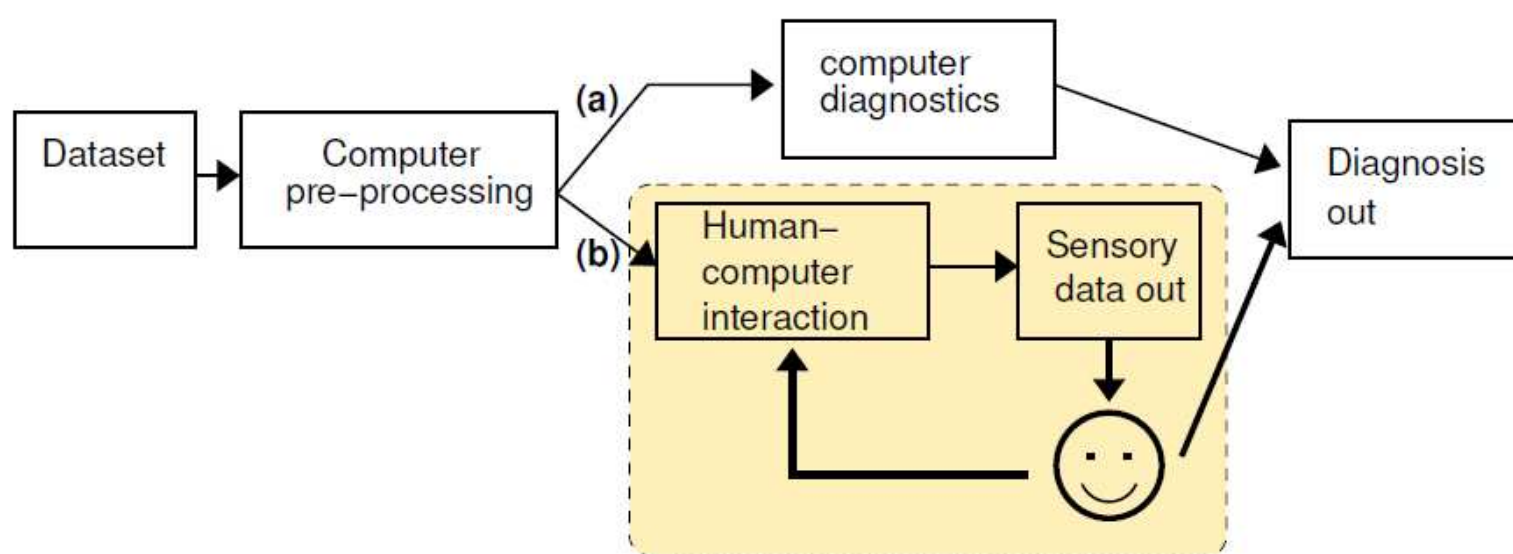


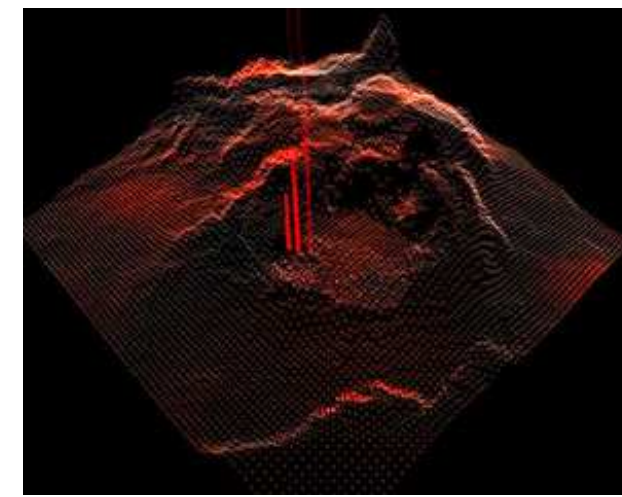
Fig.x: La modalità prevalente di diagnostica assistita da computer (a) trascura l'essere umano e le sue capacità percettive. La sonificazione (b) pone l'essere umano al centro di un controllo interattivo a ciclo continuo.

Applicazioni



Sonificazione dei dati astronomici

Progetto della NASA in cui hanno rappresentato le onde radio di un buco nero nella galassia di Perseo.



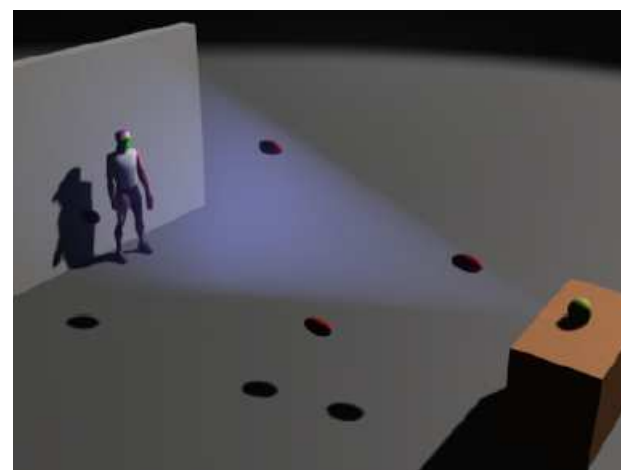
Sonificazione dei segnali sismici dei vulcani

Il progetto "The Volcano listening" consente ai geologi di ascoltare l'attività vulcanica migliorandone il monitoraggio.



Sonificazione dei segnali sismici dei vulcani

Il progetto "The Volcano listening" consente ai geologi di ascoltare l'attività vulcanica migliorandone il monitoraggio.



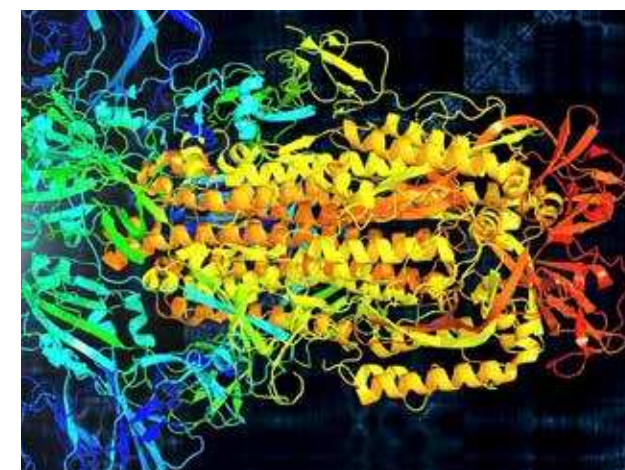
Sonificazione negli audiogiochi interattivi

Esperimento sulle tecnologie di sonificazione spaziale attraverso un audiogioco interattivo ed esplorazione dell'interazione sonora con elementi virtuali.



Sonificazione interattiva nella riabilitazione

Sensori posizionati sul braccio del paziente, coinvolto nella riabilitazione post ictus, rilevano i movimenti e li comunicano in suono accelerando il recupero.



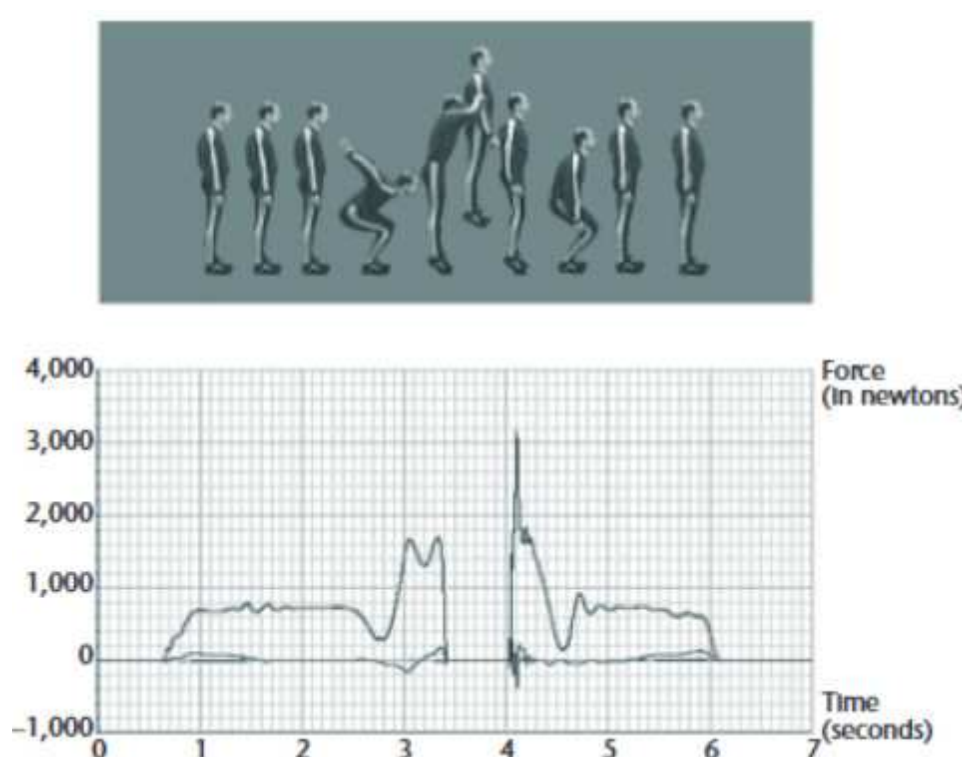
Biomedica, sonificazione per l'analisi proteica (MIT)

Traduzione e sonificazione della proteina spike del SARS-Cov-2 in suono per visualizzarne le proprietà vibrazionali.

Sonificazione del movimento

La sonificazione del movimento si riferisce alla trasformazione dei dati legati al movimento umano in suoni, un processo che consente agli individui di ricevere un feedback acustico immediato e dettagliato. Questo approccio rappresenta una nuova frontiera nel campo del controllo e dell'apprendimento motorio, offrendo un'alternativa ai tradizionali feedback visivi. Mentre i metodi visivi forniscono informazioni

su ciò che accade durante il movimento, la sonificazione aggiunge un elemento sonoro che può essere integrato efficacemente nel processo di apprendimento. Grazie alla sua natura intuitiva, il suono diventa uno strumento fondamentale per migliorare la consapevolezza del corpo e la capacità di autocorrezione. Di seguito sono mostrati esempi di applicazione della sonificazione nello studio del movimento.



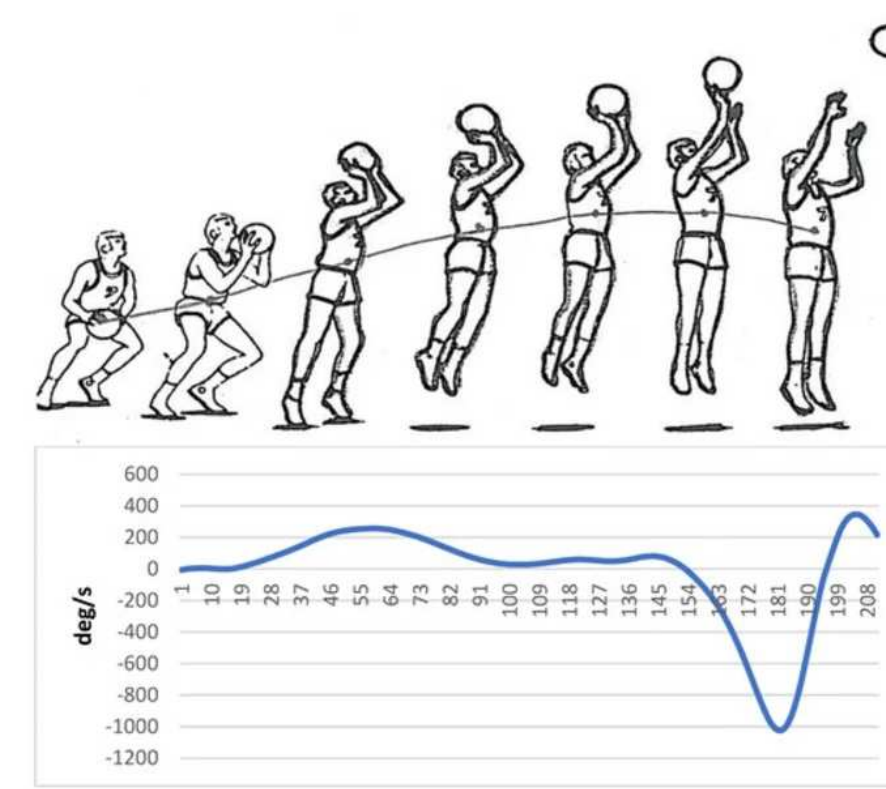
Studio degli effetti della sonificazione su percezione e azione

Esperimento condotto nell'università di Bonn, mirava a testare se la sonificazione unita ad un feedback visivo, poteva migliorare la precisione percettiva e la capacità di riproduzione di movimenti complessi, come i salti.



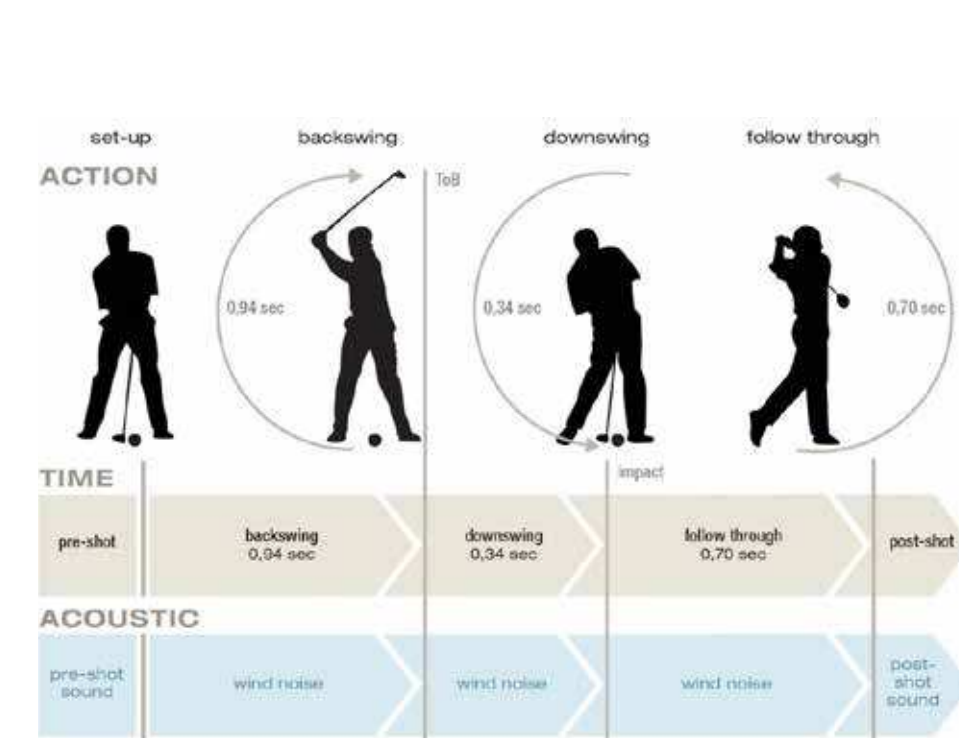
Sonificazione dell'asimmetria nell'andatura durante la corsa

È stato sviluppato un sistema, attraverso sperimentazioni effettuate su un tapis roulant, che riesce a rilevare con precisione i livelli di asimmetria durante la corsa e tradurle in segnali sonori significativi.



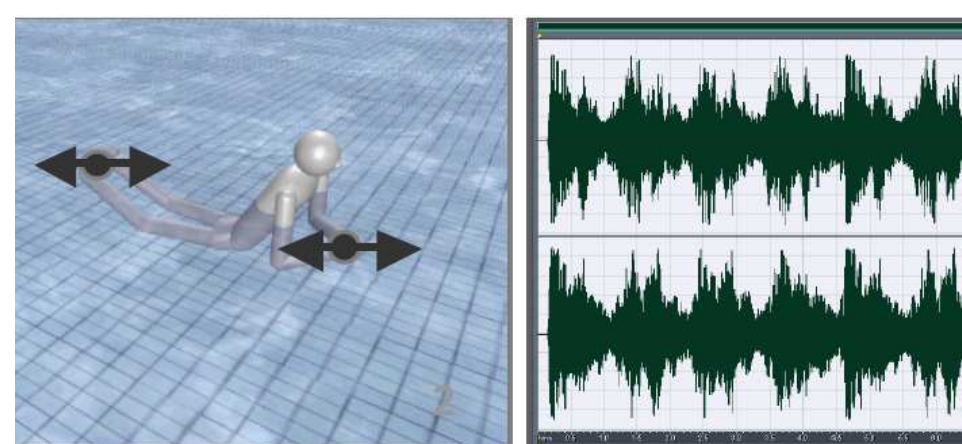
Sonificazione dell'immagine motoria sul tiro nel basket

Nel tentativo di migliorare il controllo muscolare e gestuale sono state effettuate sperimentazioni sulla sonificazione del tiro nel basket attraverso tre condizioni: nessun pattern, pattern visivo, pattern audio-visivo.



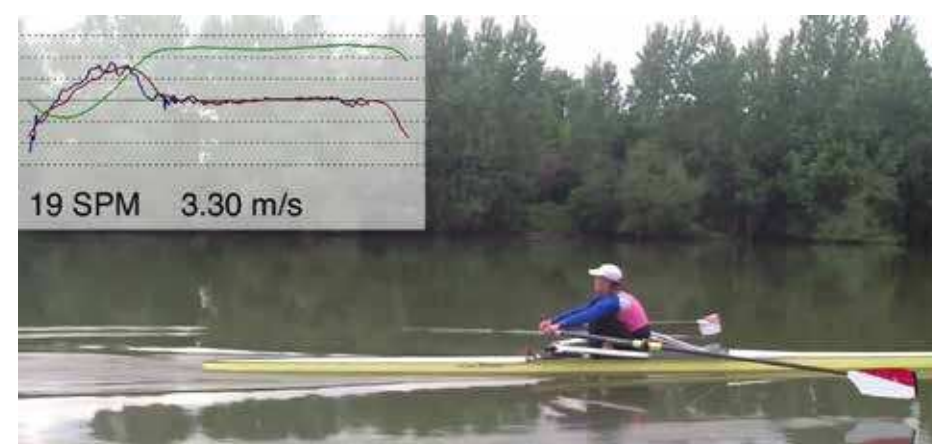
Sistema di allenamento dello swing nel golf

L'uso di diversi stimoli possono influenzare l'attività dei muscoli estensori del gomito durante l'immaginazione o l'esecuzione di un movimento. Come nel precedente studio gli esperimenti sono stati effettuati in tre condizioni: nessun pattern, pattern visivo, pattern audio-visivo.



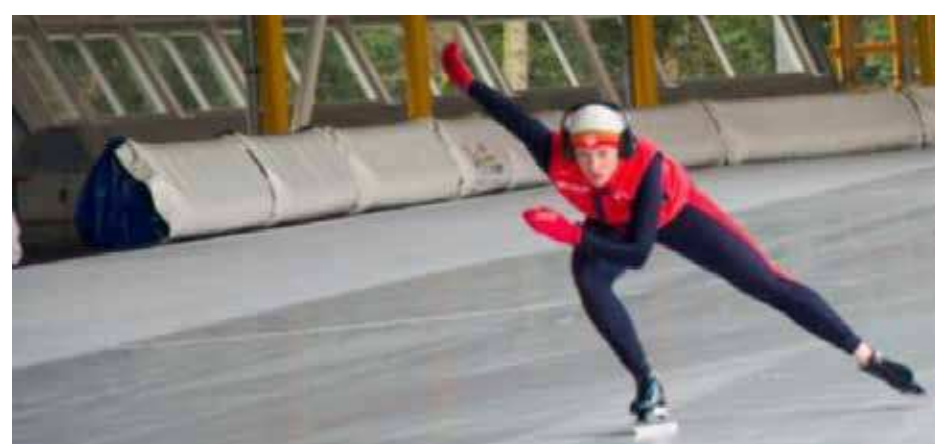
Sonificazione del movimento della bracciata stile rana nel nuoto

Attraverso il MotionLab Sonify System è stato possibile visualizzare e sentire la bracciata a rana durante il nuoto. Sono stati tradotti movimenti del polso e della caviglia in variazioni sonore.



Sonificazione nel canottaggio

Traduzione dei dati sul movimento della barca in suono per il miglioramento della tecnica e delle performance degli atleti. Il principale vantaggio in questo caso è la risoluzione temporale elevata, che permette agli atleti di ascoltare le modifiche in tempo reale mentre remano.



Studio su un pattinatore di velocità

La sonificazione può essere usata per migliorare la consapevolezza corporea e ottimizzare le prestazioni atletiche e velocizzare il perfezionamento della tecnica anche nel pattinaggio di velocità. Uno studio su un professionista.



Sonificazione interattiva del movimento dello squat

Sono stati integrati sistemi che fornivano indicazioni sonore contestuali e sequenziali adattandosi alle diverse fasi dello squat, rilevando tratti fondamentali per una corretta esecuzione come l'allineamento del ginocchio, lo spostamento del peso e il posizionamento dei piedi.

Caso studio

Configurazioni

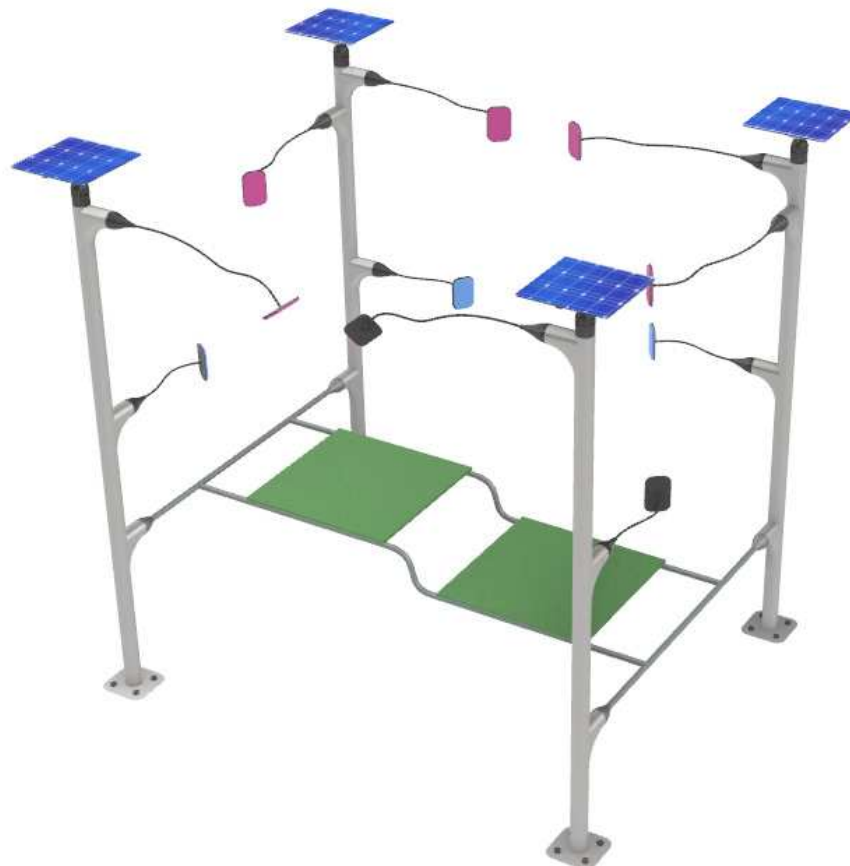
L'idea è quella di realizzare un'esperienza che fonda attività fisica, ritmo e musica, dando vita a un percorso in cui ogni movimento genera un suono, ogni passo si traduce in un'onda sonora, ogni gesto diventa parte di una composizione dinamica unica.

La struttura del parco si articola in quattro stazioni di allenamento, concepite come autonome e specializzate, ognuna delle quali rappresenta una zona di interazione dedicata all'attività fisica e all'inclusione sensoriale.

Stazione a terra



Stazione gambe



Stazione sbarre



Stazione panca

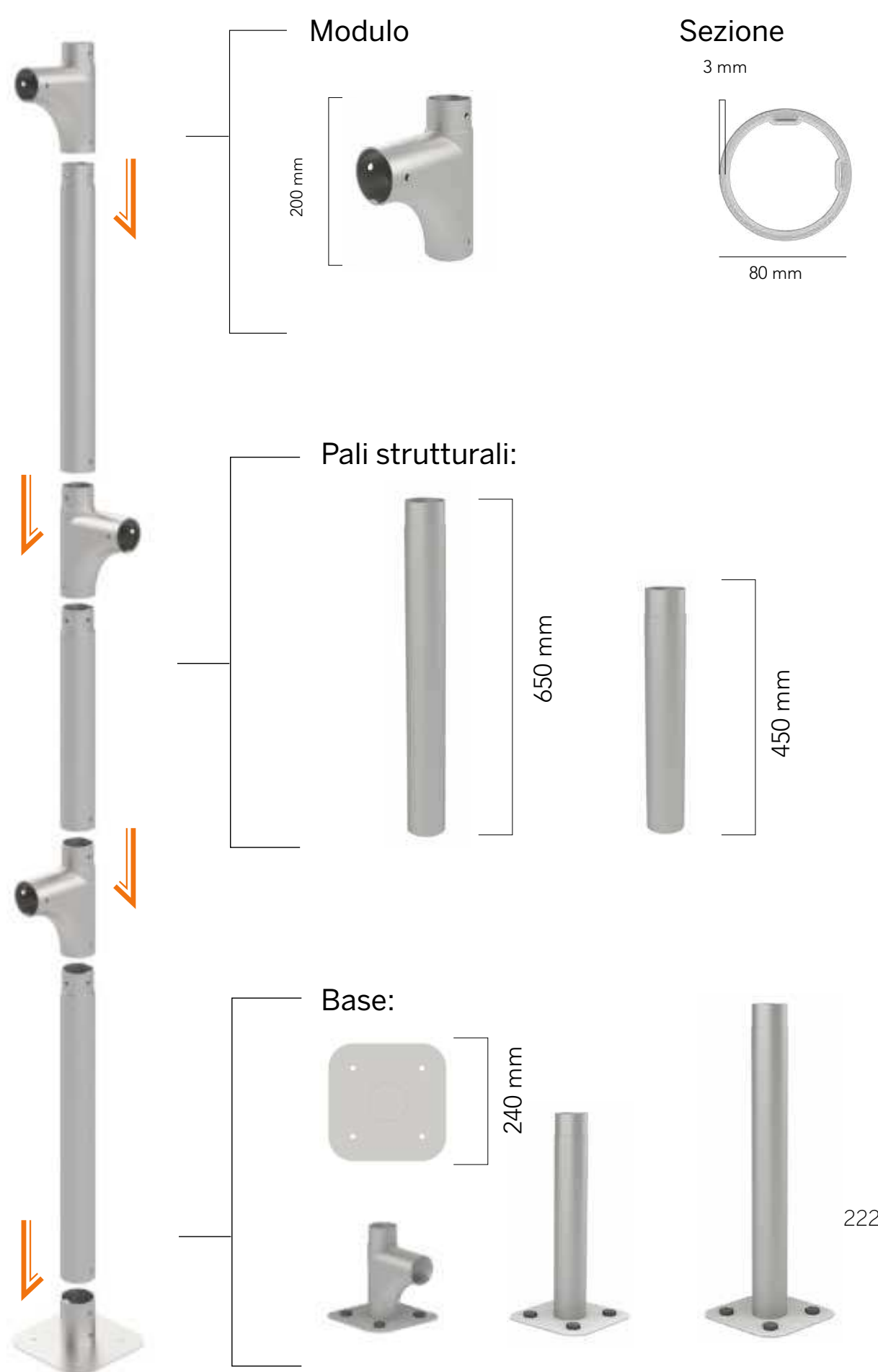


La modularità è un concetto fondamentale in quanto il parco consente un'elevata flessibilità nell'adattamento delle strutture alle diverse esigenze e utilizzi nel tempo.

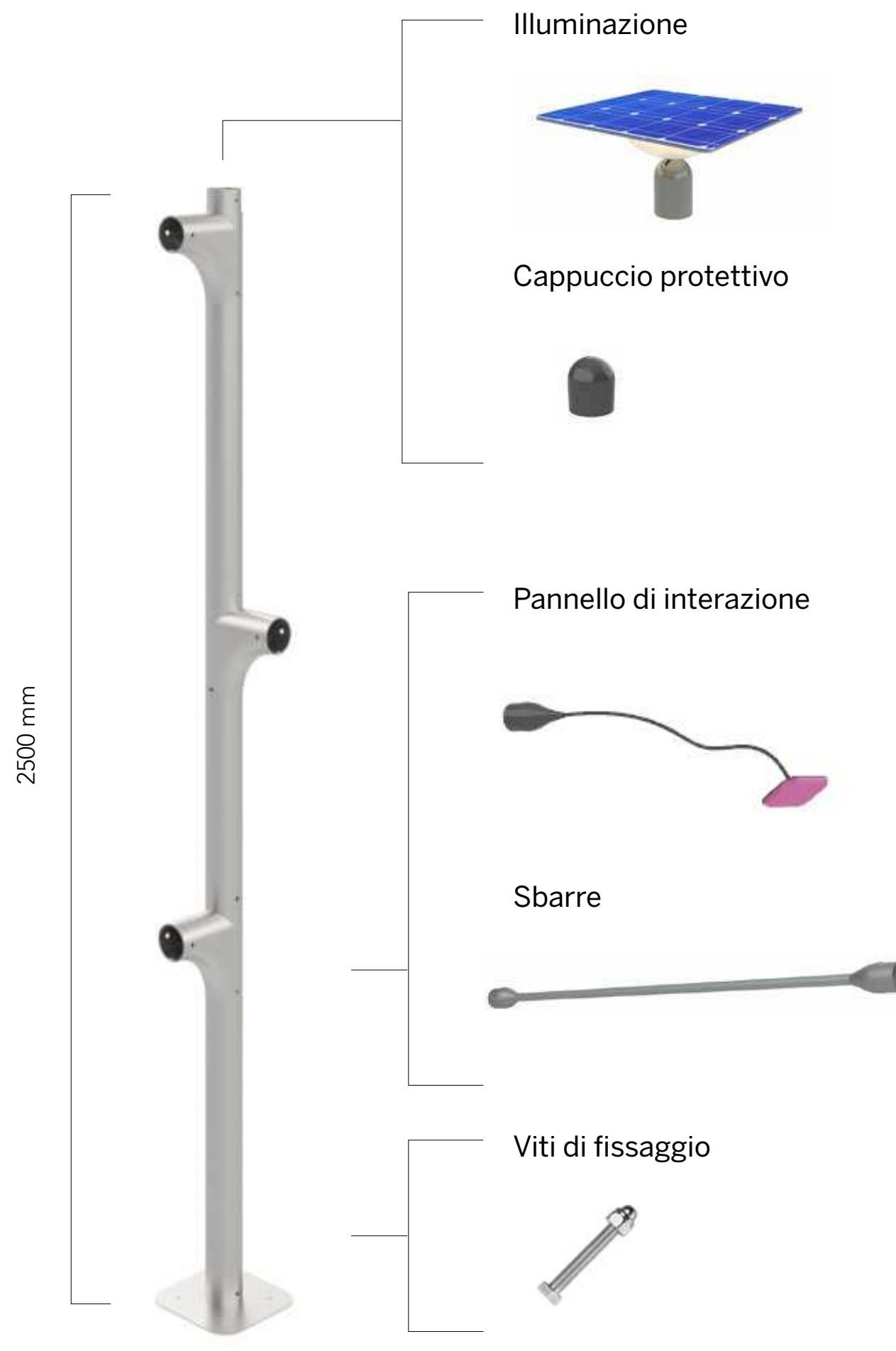
Struttura e componenti

L'idea alla base di questo sistema modulare è che ogni componente possa essere facilmente combinato, aggiunto, modificato o sostituito, senza necessità di interventi complessi.

Configurazione e montaggio



Elementi di connessione



Palo strutturale assemblato



Interazione

Funzionamento

Descrizione dell'esperienza

1.) All'ingresso di ogni struttura, i visitatori trovano un totem interattivo dotato di un display che funge da punto di riferimento per l'intero sistema. Questo dispositivo accoglie gli utenti, fornendo loro un'interfaccia semplice e chiara che consente di esplorare tutte le attività disponibili.

2) Una volta scelto il programma, il sistema fornisce istruzioni precise su come regolare le zone di interazione: i pannelli interattivi. Essi sono regolabili in tutte le direzioni grazie al tubolare flessibile permettendo di personalizzare l'allenamento in base alle caratteristiche fisiche dell'utente e alla natura dell'esercizio selezionato.

3) Dopo aver configurato il programma, l'utente indossa delle cuffie che forniscono istruzioni audio dettagliate e segnali sonori per guidarlo passo dopo passo durante l'allenamento.

4) Una volta aver familiarizzato con la struttura, effettuata la registrazione e la creazione della scheda si può passare all'avvio dell'allenamento individuale tramite app.

5) Al contatto con il pannello o con la pavimentazione interattiva, inizia la sonificazione del ritmo di movimento.

6) Un suono immediato arriva all'utente: una sequenza di note che cambiano in base alla forza del salto, misurata dalla pavimentazione, e alla precisione del tocco rilevato attraverso i pannelli interattivi. Ogni salto, ogni interazione, genera un feedback sonoro che varia parametricamente a seconda dell'intensità e dell'esecuzione del movimento.

Feedback dal totem informativo

1.



Regolazione dei pannelli

2.



Preparazione delle cuffie

3.



Avvio dell'allenamento

4.



Interazione con gli elementi

5.



Sonificazione dell'esperienza

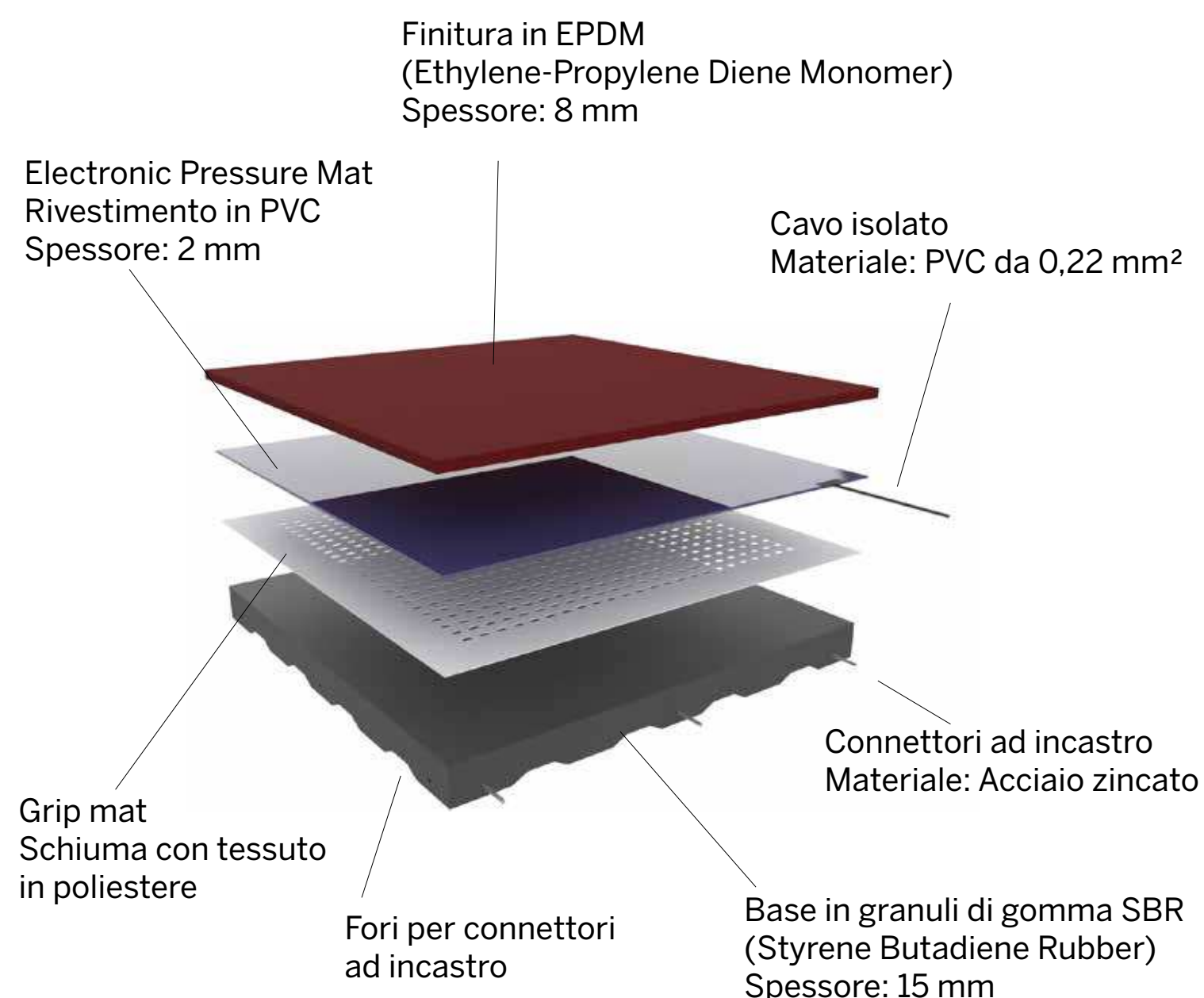
6.



Zone di interazione

I pannelli interattivi e la pavimentazione rappresentano le zone di interazione del parco. Attraverso di essi si crea un percorso dinamico e motivante.

Pavimentazione interattiva



Pannelli interattivi

Tre lunghezze



Cavo flessibile

Nucleo: metallo
Rivestimento: plastica



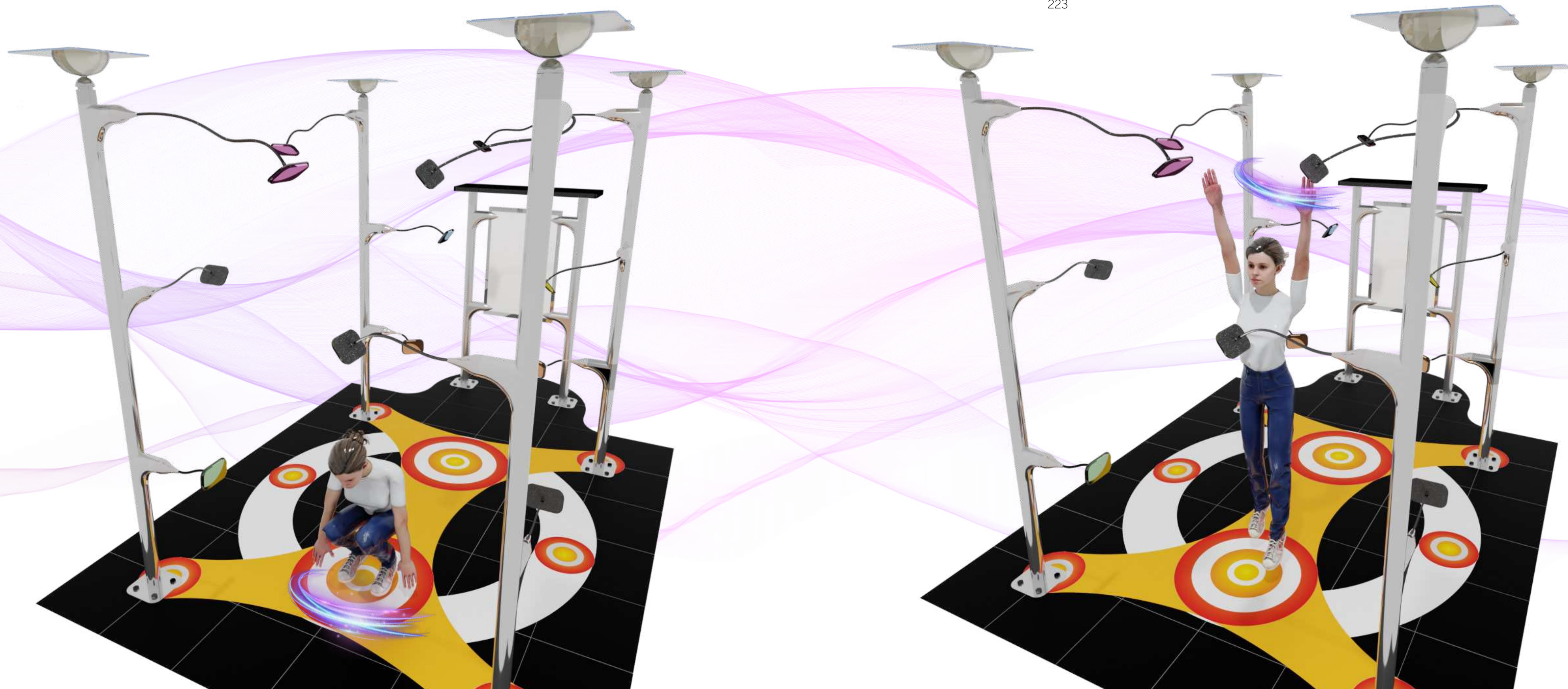
Pannello

Tasto e pannello: HDPE

Sensore capacitativo

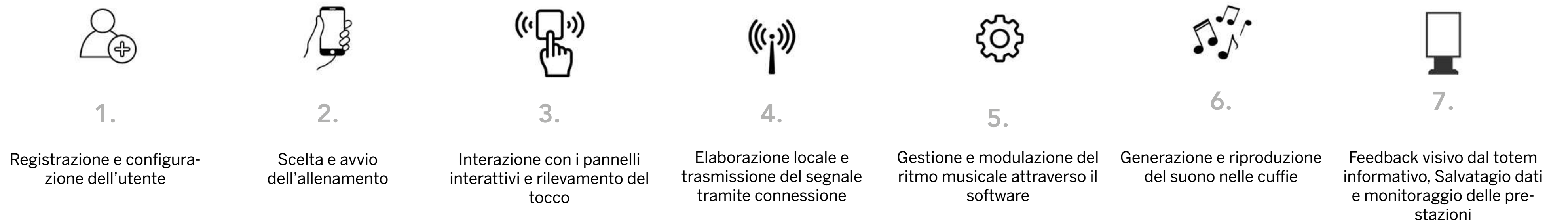


223



Sonificazione

Dall'accesso al suono

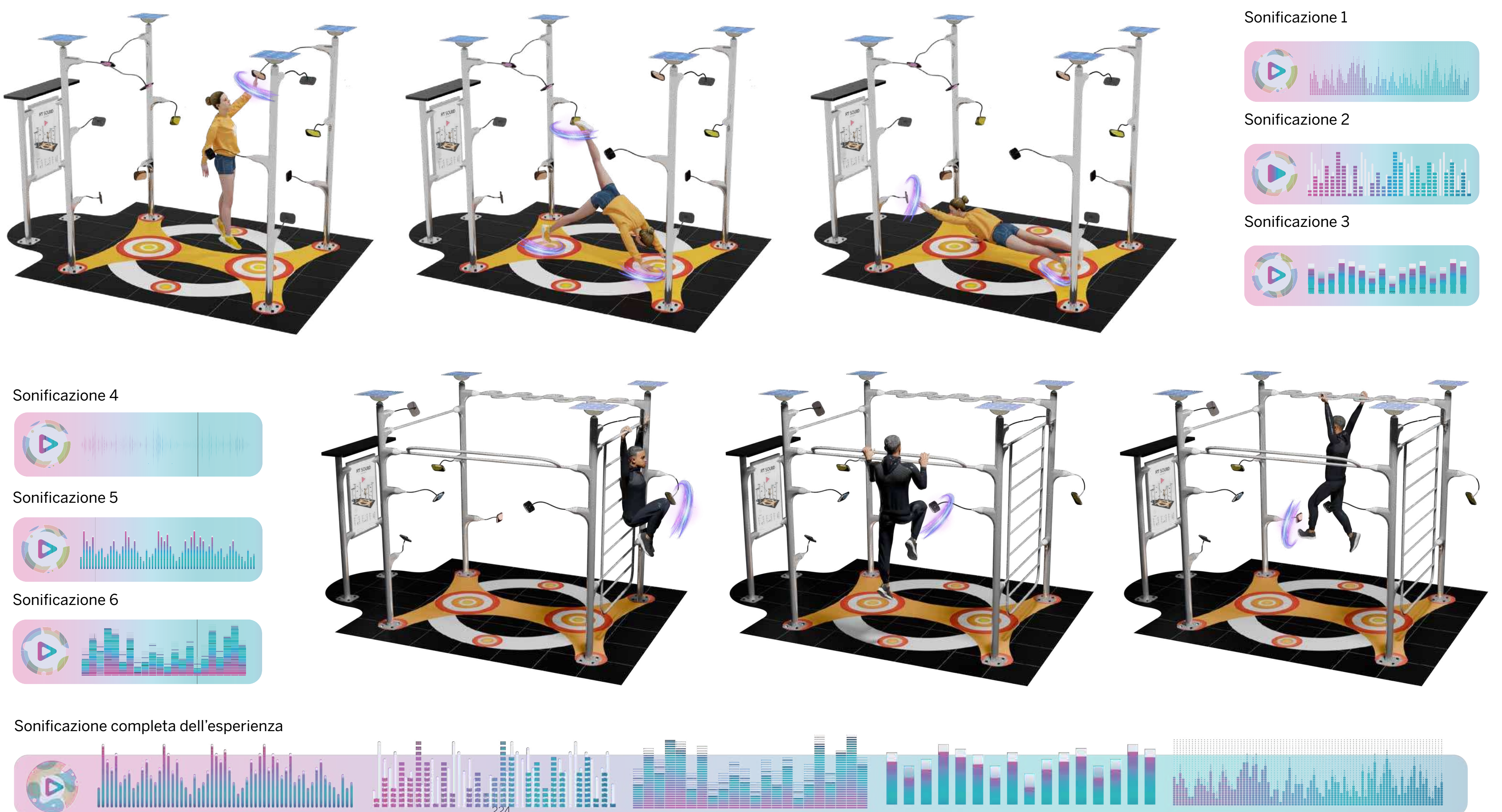


Sonificazione di una sequenza di esercizi

L'utente, terminata la prova di familiarizzazione, ritorna alla posizione di partenza pronto a ripetere il movimento, con la consapevolezza che ogni tentativo non solo migliora le sue performance fisiche, ma contribuisce a creare una traccia sonora unica e personale.

Attraverso la sonificazione, l'esperienza diventa un processo creativo, in cui l'utente percepisce il proprio corpo come uno strumento che risponde al ritmo del movimento, creando una connessione tra il gesto fisico e la musica generata dal suo stesso corpo.

È quindi l'utente che la costruisce arivamente unendo movimento, suono e tecnologia in un'unica, coinvolgente performance. Al termine della sequenza di salti, l'utente riceve un feedback finale sui risultati dell'esercizio.



Mappatura dei parametri

Il software sincronizza la musica in tempo reale con il ritmo dell'allenamento, regolando aspetti come frequenza, intensità, durata e timbro. La scelta dei parametri sonori varia in base all'obiettivo della sonificazione e di conseguenza, il suono risultante può essere molto diverso a seconda dei casi d'uso (questo parametro varia a seconda

dei requisiti scelti dall'utente stesso e dalle sue preferenze in fase di registrazione). L'approccio adottato è comunicativo e narrativo. La sonificazione non si limita a rappresentare dati concreti, ma racconta una storia durante l'allenamento, guidando l'utente in un percorso fatto di ritmo, progressione e risultati.

Feedback

Al termine dell'allenamento l'utente riceve diversi feedback visivi, inerenti ai progressi e i risultati ottenuti, attraverso il totem informativo e l'applicazione mobile dedicata. Riceve inoltre un feedback sonoro che conferma il successo del termine dell'allenamento comunicando i risultati principali e la sonificazione elaborata.

