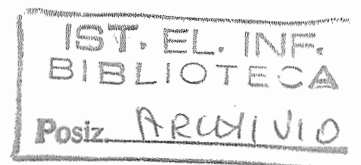


Consiglio Nazionale delle Ricerche

**ISTITUTO DI ELABORAZIONE
DELLA INFORMAZIONE**

PISA



*Valutazione delle prestazioni del sistema digitale
OAK-DSP Lab per l'impiego in stazioni
audiometriche.*

G. Bertini, L. Leodori, M. Marani, V. Mazzacca

Nota Interna B4-45

Novembre 1994

BOZZA
(VERSIONE NON DEFINITIVA)

*Valutazione delle prestazioni del sistema digitale
OAK-DSP Lab per l'impiego in stazioni
audiometriche.*

G. Bertini, L. Leodori, M. Marani, V. Mazzacca

Nota Interna B4-45

Novembre 1994

INDICE

Presentazione	2
Introduzione	3
Analisi delle funzionalità di un audiometro	4
Lo strumento OAK-DSP Lab	5
Descrizione della scheda OAK.....	5
Applicazioni	7
La OAK-DSP Lab come stazione audiometrica digitale	7
Caratteristiche di progetto della stazione.....	8
Caratteristiche dell'interfaccia utente	9
Ambiente di sviluppo	9
Conclusioni	10
Bibliografia.....	11
Appendici.....	12

Valutazione delle prestazioni del sistema digitale OAK-DSP Lab per l'impiego in stazioni audiometriche.

G.Bertini*, L. Leodori**, M. Marani**, V. Mazzacca***

*IEI-CNR, Pisa

**Studio SEED, Massa

***Collaboratore esterno post-laurea

Presentazione

In questa nota viene valutata, alla luce delle normative imposte dagli standard relativi alle caratteristiche dei segnali impiegati nelle prove audiometriche, la possibilità dell'impiego in stazioni audiometriche dello strumento OAK-DSP Lab.

Tale strumento è costituito da un sistema digitale programmabile basato su microprocessore DSP, collegabile ad un PC-IBM compatibile tramite RS 232, e da una sezione di acquisizione e restituzione di segnali con risoluzione a 16 bit e fino a frequenze di lavoro di 20 Khz consente lo sviluppo e l'implementazione di algoritmi di elaborazione e di sintesi di segnali in banda audio applicabili in diversi settori, quali ad esempio in elettroacustica, nell'audio digitale e in biomedicina.

La richiesta è quella di verificare se, sfruttando le potenzialità offerte dallo strumento OAK-DSP Lab, è possibile sviluppare una stazione di lavoro per test audiometrici in ambiente PC, come una tipica applicazione Windows; si unirebbero così ai vantaggi in termini di facilità e immediatezza d'uso offerte dai tali tools sw quelle derivate dall'uso delle tecniche digitali per i supporti hw.

Introduzione

Scopo del nostro studio è la valutazione della possibilità di realizzare una stazione di lavoro audiometrica, basata sull'integrazione PC-OAK, in grado di offrire le stesse funzioni di un audiometro clinico e, laddove possibile, delle funzioni speciali adatte a ricerche più approfondite nell'ambito dell'audiometria sperimentale.

In questi ultimi anni la tecnologia digitale si è andata sempre più affermando su quella analogica, anche se per talune problematiche quest'ultima rimane ancora l'unica strada percorribile.

I vantaggi di poter usufruire di sistemi digitali vanno visti in termini di:

- stabilità del sistema nel tempo relativamente alle prestazioni;
- consumi contenuti;
- costi;
- affidabilità del sistema;
- versatilità.

Il primo passo da fare, nella valutazione della realizzabilità della nostra idea, è un'indagine su quello che è lo stato dell'arte, attraverso un'analisi delle caratteristiche degli audiometri disponibili in commercio, che permetta di individuare un'insieme di funzionalità standard nel campo dell'audiometria.

Sono stati presi in esame audiometri clinici di vari livelli, a controllo analogico, a funzionamento analogico, ma controllati da un microprocessore, (Amplaid), o completamente digitali (Virtual Corporation su Macintosh, Hoensbroeck su IBM) e si è individuato un'insieme di funzionalità tipiche di una stazione di lavoro audiometrica.

In base a quelle che sono le funzionalità tipiche di un audiometro, tenendo in debita considerazione le normative che regolano gli standard internazionali relative alle caratteristiche dei segnali impiegati nei test audiometrici, ci si è quindi soffermati sulla possibilità che le caratteristiche operative della OAK rispondessero a quelle che sono le richieste computazionali necessarie al trattamento dei segnali da manipolare e, più in generale, alle esigenze dell'utenza finale del sistema.

Analisi delle funzionalità di un audiometro

Per individuare quelle che sono le funzionalità tipiche di un audiometro clinico, si sono presi in esame alcuni modelli più diffusi.

Tra gli altri la nostra analisi si è soffermata sugli audiometri della Amplaid (AMPLAID, '94), in particolare sui modelli 308 e 309, che si sono ritenuti abbastanza esemplificativi; questa scelta non va considerata nè riduttiva né limitativa, poiché a noi interessava individuare un insieme di funzionalità sufficientemente significativo, cosa riscontrata nell'analisi di questi particolari modelli, essendo fra i più all'avanguardia nel campo della audiometria.

I modelli presi in esame sono degli audiometri ad uso clinico e diagnostico, a due canali, a funzionamento intrinsecamente analogico e controllati nelle funzioni accessorie da un microprocessore, dotati di :

- capacità di test programmati;
- toni puri e toni modulati;
- vocale stereo;
- interfaccia computer RS 232;
- monitor incorporato;
- capacità di test vocali;
- mascheramento vocale e a banda stretta;
- conduzione aerea e conduzione ossea.

E' possibile eseguire esami audiometrici per una valutazione di base, per individuare vari tipi di disfunzione (cocleare, retrococleare, ecc.), sono inoltre disponibili funzioni per esami audiometrici diagnostici, incluso il test tonale, l'SRT, il test di discriminazione vocale per la voce viva e per la voce registrata, l'ABLB, il SISI, il TONE DECAY, lo STENGER, il LOMBARD ed altri [BEAGLEY-82].

I modelli offrono una vasta gamma di segnali per gli esami tonali e vocali. I segnali tonali vanno da 125 a 12000 Hz, i toni sono disponibili nella modalità continua, pulsata o modulata in frequenza. I segnali vocali possono essere presentati tramite il microfono dall'operatore, per gli esami a viva voce, o tramite il registratore esterno, per gli esami con la voce registrata.

E' possibile il mascheramento dell'orecchio non in esame, con rumore a banda stretta durante la prova tonale, o con rumore da cocktail party o rumore bianco durante la prova vocale della viva voce o della voce registrata.

Si possono eseguire test programmati con varie modalità di segnali. Tramite un display a cristalli liquidi vengono fornite al medico tutte le informazioni rilevanti sul test eseguito.

L'Amplaid 309 ad es. è corredato di una RS 232 opzionale, che permette all'audiometro di essere collegato a un personal computer, sul quale possono essere presentati graficamente tutti i test audiometrici standard.

Gli strumenti in esame sono stati progettati nel pieno rispetto degli standard ANSI S3.6-1969, ANSI S3.13-1972, ISO 389-1975 e IEC 645, per le apparecchiature audiometriche; alcuni stralci di queste normative sono riportati in Appendice.

Per le misure di sicurezza l'unità è conforme agli standard UL 544 e IEC 601-1 per le apparecchiature elettromedicali.

Inoltre si tiene conto degli standard per la determinazione delle frequenze normali per misure acustiche, degli incrementi di tali frequenze, per la determinazione del RETSPL (Reference Equivalent Threshold Sound Pressure Level) , del livello di ascolto, della soglia di ascolto, delle caratteristiche tipiche di una cuffia, ecc..

Lo strumento OAK-DSP Lab

Il sistema OAK-DSPLab è costituito da un apparato elettronico basato su tecniche digitali, controllabile da qualsiasi elaboratore tramite interfaccia standard RS232. Sviluppando appositi tools sw sull'elaboratore ospite per la gestione di questo apparato, è possibile realizzare delle stazioni di lavoro che soddisfano applicazioni in diversi settori (biomedico, elettroacustico, audio musicale, etc). La gestione si esplica ovviamente a vari livelli e comprende driver, protocolli di comunicazione, sw di sistema operativo, interfacce utente, sw applicativo ecc. .

Per la parte di calcolo dei prototipi realizzati è stato utilizzato un processore programmabile fixed point versatile ed economico (TMS320C26 della Texas Instruments), corredato da adeguate risorse di memoria ram, eeprom etc. E' presente un gruppo di conversione AD/DA stereo comprendente dispositivi ad alte prestazioni, in termini di rapporto segnale-rumore, frequenza di campionamento, precisione etc..

Nell'ambito di un contratto di collaborazione tra IEI/CNR e Studio SEED (Massa) è stato sviluppato il progetto logico-elettronico, progettato e realizzato il circuito stampato e sono stati assemblati alcuni prototipi configurati come strumenti completi; lo Studio SEED ha sviluppato i tools sw di base, per la comunicazione col PC e per lo sviluppo di programmi assembler del TMS320C2x in modo da mettere in grado i progettisti di sviluppare le applicazioni desiderate.

Ciascun strumento è costituito dalle seguenti parti :

- una scheda comprendente una parte digitale e una parte analogica, denominata scheda OAK
- un alimentatore stabilizzato
- un contenitore con i pannelli esterni muniti di comandi necessari al controllo dei segnali sulle varie vie di ingresso e uscita, utilizzabili in fase sperimentale.

Per maggiori dettagli tecnici si rimanda a [BERTINI-94].

Descrizione della scheda OAK

In figura 1 è visibile lo schema a blocchi della scheda: il cuore è il microprocessore DSP TMS320C26 della Texas Instruments.

La scheda è composta da quattro blocchi concettualmente differenziati:

- *Blocco di acquisizione/restituzione del segnale*: costituito da una sezione di ingresso che vede un doppio gruppo di condizionamento del segnale, in grado di amplificare segnali che provengano da linea (CD, DAT o registratori) o da microfono. La conversione A/D viene effettuata da una coppia di convertitori a sovracampionamento del tipo sigma-delta, capaci di una dinamica di 16 dB, garantendo un'elevata qualità del segnale convertito. Il segnale, dagli A/D, viene inviato per la memorizzazione su hard disk al DSP che lo passa a sua volta al PC ospite, controllato dal software di gestione. La sezione di restituzione è anch'essa costituita da un doppio convertitore D/A a sovracampionamento del tipo sigma-delta programmabile via software, capace di fornire segnale ad una frequenza di campionamento variabile da 32 a 48 kHz. La programmabilità del D/A, consente di utilizzare campioni di segnale sia a 16 che a 18 bit con una dinamica del convertitore fino a 108 dB.

- *Blocco di generazione delle temporizzazioni e circuito di programmazione del D/A*: costituito da una sezione che si occupa della generazione delle temporizzazioni necessarie alla comunicazione separata tra A/D e DSP e tra DSP e D/A.

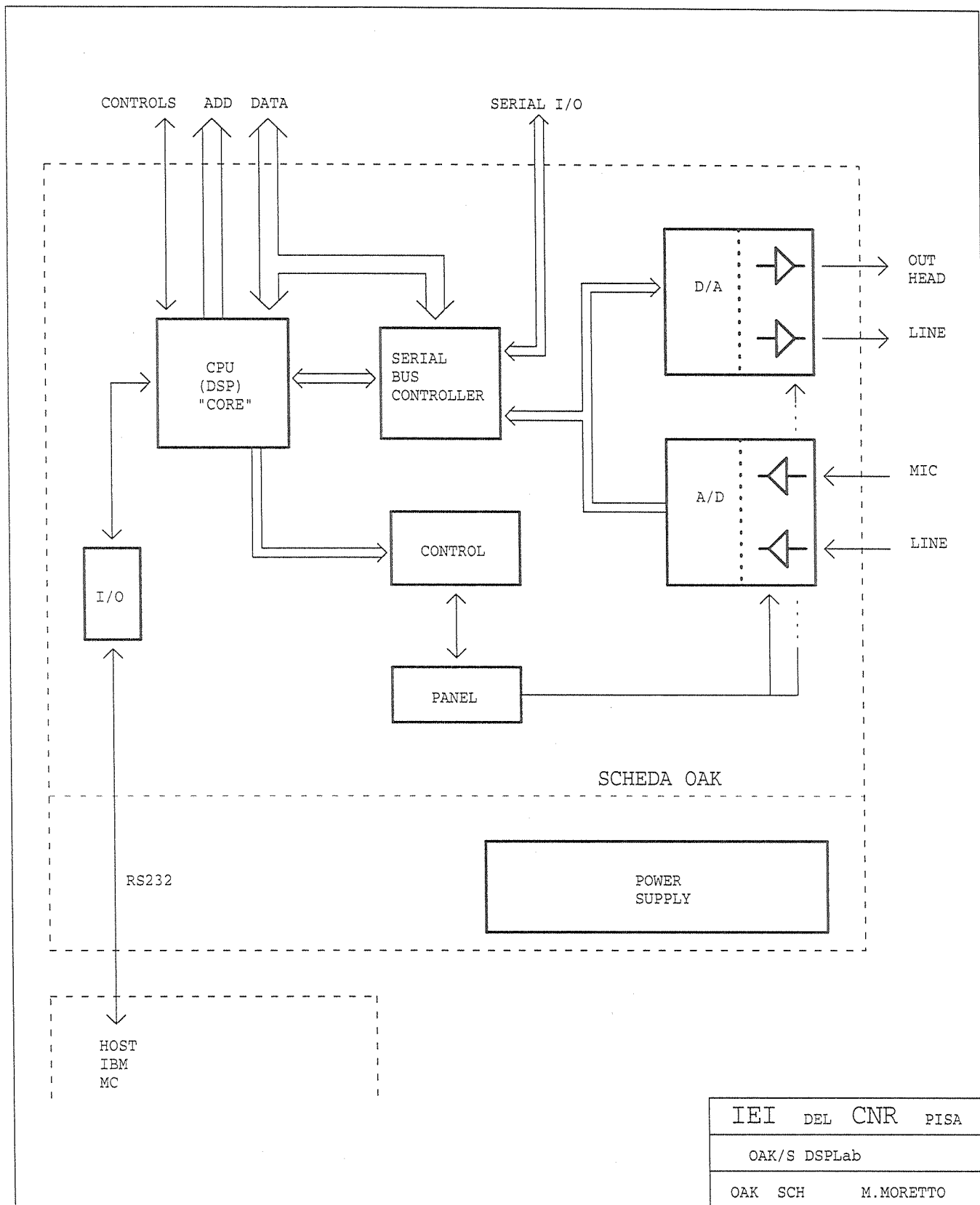


Figura n.1

- *Blocco di comunicazione tra scheda e PC ospite e controllo*: caratterizzato da una sezione che si occupa del trasferimento dei dati in forma seriale da e verso PC ospite.

- *Blocco "core" del sistema*: in tale blocco trovano posto il DSP, 32 kbyte di memoria programma, 32 kbyte di memoria dati e 4 kbyte di memoria EPROM, all'interno della quale risiede il firmware che gestisce a basso livello le operazioni base del sistema, riguardanti l'interazione fra i vari blocchi fin qui menzionati e la comunicazione fra scheda e PC.

Applicazioni

Lo strumento OAK-DSP Lab può essere utilizzato per:

- *l'acquisizione e l'elaborazione (analisi) dei segnali in banda audio (0-20KHz)*: la presenza del DSP consente di effettuare una serie notevole di operazioni sul segnale che vanno dalla sua generazione da lettura tabellare, alla valutazione in tempo reale di grandezze associate al segnale generato (valore medio, valore efficace, valore di picco) all'analisi spettrale dello stesso; oltre a ciò, si possono operare filtri di vario tipo sul segnale sintetizzato o semplicemente prelevato da hard disk, per modificarne l'involuppo temporale od il contenuto spettrale;

- *la simulazione o correzione acustica di ambienti*: la presenza del DSP consente l'implementazione di algoritmi piuttosto complessi per la generazione di effetti quali eco, riverbero, chorus, ecc., la complessità degli algoritmi, permessa dalla elevata velocità di calcolo, li rende di elevata qualità e "pasta"; il loro utilizzo può essere fondamentale in più settori: musicale, acustica architettonica, filtri digitali, etc.;

- *la sintesi di suoni*: per quanto riguarda la sintesi di suoni e la produzione di segnali audio in genere, la OAK utilizza i tipici algoritmi di generazione per lettura da tabella (oscillatori virtuali), di implementazione di tecniche di sintesi tradizionali (additiva, sottrattiva, FM) [TARABELLA-92].

- *test multi sensoriali*: con l'aggiunta di semplici interfacce hw, facilmente inseribili tramite il connettore di espansione previsto sulla scheda OAK, è pensabile l'estensione ad applicazioni che prevedano lo svolgimento di test attitudinali con risposte a stimolazioni multisensoriali [BEDINI-88]. Tali prove prevedono l'attivazione di stimoli di vario tipo, ad esempio generazione di toni e di comandi di accensione di lampadine; lo strumento può realizzare agevolmente la gestione degli stimoli e la rilevazione delle risposte sensitive dei soggetti sotto test, con conseguente calcolo dei tempi e analisi statistiche dei risultati.

La OAK-DSP Lab come stazione audiometrica digitale

Su specifica richiesta di un potenziale utente, viene esaminata la possibilità di impiego dell'OAK-DSP Lab come componente principale di una stazione di lavoro audiometrica.

In virtù dei vantaggi offerti dall'utilizzo della tecnologia digitale, la stazione dovrebbe consentire all'utente di operare in modo estremamente semplice ed immediato, dando inoltre la possibilità di visualizzare istante per istante il procedere delle operazioni di misurazione e test sul paziente.

L'utilizzo di un personal computer consente di sfruttare tutte le risorse offerte da quest'ultimo al fine di arricchire di informazioni prelevate da banche dati che risiedono su hard-disk o prelevate via modem da banche dati remote.

Parimenti, parallelamente alle operazioni di test, possono essere operati confronti statistici o raffronti a casistiche che consentano una più facile e precisa diagnosi da parte dell'operatore. I dati stessi ricavati dall'operazione di test possono essere direttamente archiviati a nome del paziente all'interno di una cartella che lo riguardi e che consenta di costruire, grazie ad archiviazioni in tempi successivi, un andamento temporale dell'evolvere o del regredire della patologia.

La possibilità, inoltre, di disporre di un vero e proprio sistema di calcolo con relativa memoria di massa, consente di creare una banca di suoni da utilizzarsi nei test audiometrici, suoni che possono essere ottenuti per sintesi, per campionamento o prelevati tramite protocollo AES/EBU (digitale) da banche dati residenti su DAT (registratori digitali).

A tal proposito, possono essere campionati o registrati digitalmente e quindi immagazzinati, su hard disk o su DAT, porzioni di segnale vocale (porzioni di parlato), da utilizzarsi nei test riguardanti la capacità del paziente di interpretare il parlato. Ciò è molto importante se si pensa che in campo analogico possono essere generate con semplicità sinusoidi di elevata qualità ma è pressoché impossibile sintetizzare il parlato. In tali circostanze, infatti, si fa normalmente uso di registrazioni effettuate da parlatori privi di inflessioni dialettali su nastro, con l'ovvio deterioramento dello stesso con l'andare del tempo (diminuzione evidente del rapporto segnale/rumore); tale deterioramento è inesistente quando si fa uso di un segnale vocale campionato o immagazzinato su DAT.

La possibilità di avere il segnale di test, qualunque esso sia, in forma digitale, consente inoltre una modifica fine dello stesso: con ciò si intende che se ne può modificare l'involuppo temporale, lo spettro armonico e l'ampiezza. In particolare si può incrementare la frequenza con passo di 1 Hz e l'ampiezza con passo di 1 dB, via software.

Il sistema fornisce separatamente su due canali in uscita i toni monofrequenziali; per test con segnale mascherato, si ha tono monofrequenziale su un canale e rumore bianco sull'altro; è possibile a fini di ricerca, generare segnali "cluster" di frequenze.

Caratteristiche di progetto della stazione

La stazione dovrà essere composta da:

- 1) Personal Computer corredato da:
 - Mother Board basata su microprocessori 80x86;
 - Scheda video e relativo monitor, preferibilmente a colori;
 - Mouse, che, insieme alla tastiera, costituisce il sistema di interazione con il sistema;
 - Disco rigido (HD);
 - Disco ottico (CD);
 - Stampante;
- 2) Scheda di rete per la connessione in Rete Locale (LAN) di tipo ETHERNET o analoghe, con un sistema ad architettura distribuita, che consenta la messa in comune dei dati raccolti e/o elaborati dalle varie postazioni di lavoro;

- 3) Scheda di sintesi e acquisizione di segnali acustici (OAK) in grado di generare e acquisire suoni in forma digitale e riprodurli dopo elaborazioni operate dal Personal Computer e/o dalla scheda stessa;
- 4) Cuffia (banda passante 0-20 KHz) e trasduttore osseo, che rispettino gli standard per le apparecchiature audiometriche;
- 5) Amplificatore e casse acustiche (banda passante 0-20 KHz).

La stazione di lavoro dovrà essere in grado di generare, in forma digitale, suoni sinusoidali su tutta la banda di sequenza udibile con incremento di 1 Hz e di 1 dB di intensità, in un range da 0-120 dB.

La stazione sarà programmata per effettuare esami audiometrici tonali standard per via aerea, per via ossea e sovraliminari (Weber, Rin, ricerca del Recruitment, test di Fowler, test di adattamento, tone decay test, etc.) a norma ISO.

Dovrà inoltre essere possibile la generazione di segnali di diverso tipo: onde triangolari, quadrate, a dente di sega, rumore bianco, rumore a banda stretta, toni modulati in ampiezza, etc.; si dovrà poter intervenire sui parametri tipici del suono: inviluppo temporale, fase, durata, spettro armonico ed ampiezza.

Il campo d'azione della stazione sarà ampliato ulteriormente dalla possibilità di acquisire, elaborare e restituire in modo digitale suoni e voce, sia direttamente, attraverso un microfono, sia indirettamente, usando nastri o Compact Disk.

Il grafico risultante dalle indagini audiometriche verrà tracciato sul video in maniera automatica e successivamente riportato dalla stampante su un apposito modulo, operazioni queste eseguite manualmente nei sistemi non digitali, con enorme spreco di tempo e con minor accuratezza.

La possibilità di memorizzare su hard disk i dati anagrafici, diagnostici e anamnestici del paziente consentirà di creare una base dati, dalla quale potranno essere estratte analisi statistiche ponendo in correlazione i più svariati elementi, oltre a consentire una rapida consultazione delle cartelle cliniche.

Caratteristiche dell'interfaccia utente

L'interfaccia utente sarà costituita da una serie di finestre, che permetteranno all'utente, in maniera "amichevole", di interagire con il sistema.

Si prevede l'uso di una finestra per la visualizzazione dell'esame audiometrico standard. In tale finestra potranno essere inseriti:

- una sezione per la visualizzazione del grafico dell'audiogramma, automaticamente aggiornato dal programma nel corso della prova;
- i cursori per il controllo dei vari parametri dell'esame (frequenza, intensità, intervallo di silenzio tra un'emissione sonora e la successiva, durata, etc.);
- una sezione per la scelta di varie opzioni dell'audiometro (emissione continua o pulsata, canale destro o sinistro, mascheramento, tipo di trasduttore, etc.).

Ci sarà inoltre una finestra per la visualizzazione della scheda del paziente e una finestra per la generazione di suoni mediante sintesi addittiva con la possibilità di controllarne i parametri in tempo reale.

Ambiente di sviluppo

Per quanto riguarda l'ambiente di sviluppo su PC, riteniamo che la scelta migliore sia quella di sviluppare il sistema come una tipica applicazione Windows,

che come noto sta diventando uno standard nel mondo dei Personal Computer, soprattutto grazie all'aspetto "amichevole" offerto dall'interfaccia utente e al funzionamento regolare e prevedibile delle applicazioni.

Per quanto riguarda gli strumenti software di sviluppo su PC, grazie all'esperienza maturata in un precedente lavoro di tesi, la scelta ricade sul Visual Basic per la creazione e la gestione dell'interfaccia utente e il Turbo Pascal o il C per particolari esigenze algoritmiche. I vantaggi offerti dall'uso del Visual Basic; che può essere considerato lo strumento "ufficiale" per lo sviluppo di applicazioni in ambiente Windows, sono innumerevoli, in particolare va evidenziata la possibilità di utilizzo di *Dinamic Link Libraries* che consentono appunto l'uso di parti di codice scritto in altri linguaggi (Pascal, C) e soprattutto la possibilità, tramite gli strumenti DDE (Dinamic Data Exchange) e OLE(Object Linking and Editing) di collegarsi con altre applicazioni, con fogli elettronici, data base, ecc..

Come linguaggio a basso livello per il controllo della scheda si utilizza l'Assembler del TMS 320C2X.

Conclusioni

Da tutte le considerazioni e le valutazioni fin qui esposte si può concludere in modo affermativo sull'opportunità di sviluppo di una stazione di lavoro audiometrica sperimentale basata su Personal Computer e strumento OAK-DSP Lab.

Ovviamente, in sede di avanzamento di progetto della stazione, vanno ulteriormente approfondite le varie problematiche, anche con confronti con i vari operatori del settore audiometrico (medici, tecnici, etc.).

Bibliografia

- [AMPLAID-94] "*Manuale Utente*".
- [BEAGLEY-82] H. A. Beagley, S. Barnard, "*Manual of audiometric techniques*", Oxford University Press.
- [BEDINI-88] L. Bedini, E. Bozzi, L. Dall'Antonia, A. Ribolini, "*Stimolatore Multisensoriale per prove attitudinali. Specifiche funzionali*." Int. Rep. IEI B4-48 1988.
- [BERTINI-94] G. Bertini, L. Leodori, M. Marani, "*OAK/S DSPLAB un sistema multiuso per il trattamento e la sintesi digitale di segnali audio*", Nota Tecnica B4-19, giugno 1994.
- [FRANTZ-93] G. Frantz, "*Programmare con Visual Basic 2*", APOGEO, 1993.
- [MICROSOFT-90] "*Microsoft Windows. Software Development Kit: Guide To Programming*", Microsoft Corporation, 1990.
- [MICROSOFT-92a] "*Microsoft Windows. Manuale dell'utente*", Microsoft Corporation, 1992.
- [MICROSOFT-92b] "*Microsoft Visual Basic-Programmer's Guide*", Microsoft Corporation, 1992.
- [MICROSOFT-92c] Microsoft Corporation, "*Microsoft Visual Basic-Language Reference*", 1992.
- [TARABELLA-92] L. Tarabella, G. Bertini, A. Caioli, A. Guerra, "*Informatica e Musica*", Jackson Libri, 1992.
- [VERRAZZANI-82] L. Verrazzani, "*Teoria dei segnali, parte 1, segnali deterministici*", ETS, 1982.

Appendici

ACUSTICA

Acustica
Frequenze normali di misuraUNI
ISO 266

Acoustic — Preferred frequencies for measurements
Acoustique — Fréquences normales pour les mesurages

La norma ISO 266 (edizione luglio 1975) è stata adottata senza varianti nella presente norma italiana.

Premessa nazionale alla norma UNI ISO 266

La norma internazionale ISO 266 è stata elaborata dal Comitato Tecnico ISO/TC 43 "Acustica". Come risulta dalla seguente premessa la norma internazionale ha raggiunto la maggioranza per essere accettata dal Consiglio dell'ISO come norma internazionale. In base a quanto sopra la Commissione Tecnica "Acustica" dell'UNI ha giudicato, da un punto di vista tecnico, la norma ISO 266 rispondente alle esigenze nazionali ed ha deciso la pubblicazione della presente norma UNI ISO 266.

Versione in lingua italiana della norma ISO 266

PREMESSA

L'ISO (Organizzazione Internazionale di Normalizzazione) è un'associazione mondiale di Organismi nazionali di normalizzazione. L'elaborazione delle norme internazionali compete ai comitati tecnici dell'ISO. Ogni Organismo nazionale di normalizzazione che è interessato all'argomento, per il quale è stato insediato un comitato tecnico, è autorizzato a collaborare in tale comitato. Partecipano ai lavori anche le Organizzazioni internazionali di estrazione governativa o no che intrattengono rapporti con l'ISO.

I progetti licenziati da un comitato tecnico per essere pubblicati come norme internazionali vengono sottoposti per l'approvazione agli Organismi nazionali di normalizzazione prima di essere accettati dal Consiglio dell'ISO come norme internazionali. La presente norma è stata approvata dai seguenti Paesi membri:

Australia	Francia	Regno Unito
Austria	Giappone	Svezia
Belgio	India	Svizzera
Cile	Iran	Ungheria
Danimarca	Nuova Zelanda	URSS
Finlandia	Paesi Bassi	USA

La presente norma è stata disapprovata dal seguente Paese membro:

Germania, R.F.

T
59
EN 822
ISO 266

(segue)

- 0.1. La varietà delle frequenze attualmente utilizzate per le misure acustiche rende difficile il confronto dei risultati. Alcune difficoltà derivano dalla utilizzazione di frequenze spaziate secondo diversi intervalli o di serie che partono da diverse frequenze di riferimento. Di conseguenza lo scopo della presente norma è di riportare tutte le serie di frequenze ad un'unica frequenza di riferimento e di scegliere le altre frequenze in modo da fornire a serie diverse il massimo numero di frequenze comuni. La semplificazione che ne risulta riduce così ad un minimo il numero di frequenze per le quali i risultati acustici devono essere espressi; l'apparecchiatura può essere costruita particolarmente per queste frequenze e la carta per i grafici può essere stampata a priori.
- 0.2. Tenuto conto che numerosi tipi di apparecchi di misura sono già in uso, è inevitabile che alcuni di essi non siano conformi alla presente norma. D'altra parte non si può pretendere che strumenti esistenti siano immediatamente eliminati dall'uso. La presente norma costituisce tuttavia una guida per il progetto e la costruzione di apparecchi per il futuro e per la scelta ordinata di diverse frequenze.
- 0.3. La frequenza di 1 000 Hz è di grande importanza in acustica. Per esempio, è la frequenza di riferimento per la definizione del phon¹⁾. Per questa ragione la frequenza di 1 000 Hz è stata scelta come base per tutte le serie di frequenze normali per misure acustiche.
- 0.4. Per alcune categorie di misure acustiche è utile spaziare le frequenze per frazioni di ottava; ma per estensione ai campi infrasonori ed ultrasonori è opportuno utilizzare potenze di 10. Queste due esigenze sono, a rigore, incompatibili fra di loro. Tuttavia, si è constatato che la serie di ragione $10^{1/10}$ può essere adottata senza inconvenienti per il calcolo dei valori del prospetto per il fatto che $2^{1/3}$ (= 1,259 9) è molto vicino a $10^{1/10}$ (= 1,258 9): 10 intervalli di 1/3 di ottava possono essere accettati con sufficiente approssimazione a frequenze normali di rapporto 10. Considerazioni pratiche possono anche rendere auspicabili altri arrotondamenti: così si adotta 500 Hz invece di 501,187 Hz che è la frequenza esatta determinata dalla scala di ragione $10^{1/10}$. Lo scarto massimo introdotto è di 1,22%. Tutti i numeri scelti sono conformi alla ISO 3 (= UNI 2016) "Numeri normali — Serie di numeri normali". Quando si ricerca una precisione maggiore, si calcola la frequenza mediante la formula

$$10^{n/10}$$

dove n è un numero intero, positivo o negativo.

1. Scopo e campo di applicazione

La presente norma specifica le frequenze normali per misure acustiche.

Per alcune misure acustiche la spaziatura più conveniente è un incremento costante di frequenza. Più frequentemente si adotta un incremento a percentuale costante e le frequenze di prova formano una serie geometrica. La presente norma si applica alle serie geometriche e non quando convengono incrementi costanti di frequenze o altri particolari incrementi, né quando vi sono ragioni di adottare o di conservare altre frequenze.

La presente norma non si applica alle frequenze utilizzate in campo musicale.

2. Frequenze normali

- 2.1. Le frequenze normali per misure acustiche sono riportate nel prospetto. La grandezza e la grossezza del carattere tipografico indicano il grado di preferenza.
- 2.2. Il prospetto può essere esteso in modo indefinito nei due sensi per moltiplicazioni o divisioni successive per mille. In altre parole le frequenze del prospetto possono rappresentare, se lo si desidera, millihertz (mHz), kilohertz (kHz), megahertz (MHz), ecc.
- 2.3. Nel caso si desiderino intervalli di ottava, le frequenze normali sono 500; 1 000; 2 000 Hz; ecc., come è indicato con il segno x nella colonna delle ottave. Se si scelgono intervalli di 1/2 o 1/3 di ottava, le frequenze normali sono quelle indicate con il segno x nelle colonne corrispondenti.

3. Campo di applicazione delle frequenze

- 3.1. Quando si devono costruire apparecchi elettroacustici o quando si devono riportare risultati per frequenze discrete, nel prospetto si devono scegliere le frequenze secondo il particolare intervallo scelto.
- 3.2. Nel caso di filtri passabanda o di bande sonore, le frequenze indicate nel prospetto devono essere la media geometrica delle frequenze limite delle bande stesse.

(segue)

¹⁾ Vedere ISO 131: Acustica — Espressione delle grandezze fisiche e soggettive di suono o di rumore.

Prospetto — Frequenze normali, in hertz, per misure acustiche e
per le medie geometriche delle frequenze limite dei filtri passabanda

Frequenza normale	1/1 ottava	1/2 ottava	1/3 ottava	Frequenza normale	1/1 ottava	1/2 ottava	1/3 ottava	Frequenza normale	1/1 ottava	1/2 ottava	1/3 ottava
16	x	x	x	160			x	1 600			x
18				180		x		1 800			
20			x	200			x	2 000	x	x	x
22,4		x		224				2 240			
25			x	250	x	x	x	2 500			x
28				280				2 800		x	
31,5	x	x	x	315			x	3 150			x
35,5				355		x		3 550			
40			x	400			x	4 000	x	x	x
45		x		450				4 500			
50			x	500	x	x	x	5 000			x
56				560				5 600		x	
63	x	x	x	630			x	6 300			x
71				710		x		7 100			
80			x	800			x	8 000	x	x	x
90		x		900				9 000			
100			x	1 000	x	x	x	10 000			x
112				1 120				11 200		x	
125	x	x	x	1 250			x	12 500			x
140				1 400		x		14 000			
160			x	1 600			x	16 000	x	x	x

Acustica
Zero di riferimento normale per la taratura degli
audiometri a tono puro per via aerea
(UNI ISO 389)

Approvazione dell'adozione nella versione in lingua inglese — Commissione "Acustica" dell'UNI, riunione del 18 mag. 1992.

Approvazione dell'adozione nazionale — Commissione Centrale Tecnica dell'UNI, riunione del 15 dic. 1992.

Ratifica — Presidente dell'UNI, delibera del 12 gen. 1993.

Acoustics — Standard reference zero for the calibration of pure-tone air conduction audiometers

1 Scope

This International Standard specifies a standard reference zero for the scale of hearing threshold level applicable to pure-tone air conduction audiometers in order to promote agreement and uniformity in the expression of hearing threshold level measurements throughout the world.

It states the information in a form suitable for direct application to the calibration of audiometers, that is, in terms of the response of two different standard models of earphone measured on a coupler complying with IEC 303 and in terms of other supra-aural earphones of models specified in 4.2 measured on an artificial ear complying with IEC 318.

It is based on an assessment of the information available from the various standardizing laboratories responsible for audiometric standards and from scientific publications. Some notes on the derivation and application of the recommended reference levels are given in annex A.

2 Normative references

The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the standards indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 303:1970, *IEC provisional reference coupler for the calibration of earphones used in audiometry.*

IEC 318:1970, *An IEC artificial ear, of the wideband type, for the calibration of earphones used in audiometry.*

3 Definitions

For the purposes of this International Standard, the following definitions apply.

3.1 air conduction: Transmission of sound through the external and middle ear to the inner ear.

3.2 acoustic coupler: A cavity of specified shape and volume which is used for the calibration of a supra-aural earphone in conjunction with a calibrated microphone to measure the sound pressure developed within the cavity.

NOTE 1 An acoustic coupler is specified in IEC 303.

3.3 artificial ear: A device for the calibration of an earphone which presents to the earphone an acoustic impedance equivalent to the impedance presented by the average human ear. It is equipped with a calibrated microphone for the measurement of the sound pressure developed by the earphone.

NOTE 2 An artificial ear is specified in IEC 318.

3.4 threshold of hearing: The level of a sound at which, under specified conditions, a person gives 50 % of correct detection responses on repeated trials.

3.5 otologically normal person: A person in a normal state of health who is free from all signs or symptoms of ear disease and from obstructing wax in the ear canal, who has no history of undue exposure to noise.

3.6 equivalent threshold sound pressure level (monaural earphone listening): For a given ear, at a specified frequency, for a specified model of earphone and for a stated force of application of the earphone to the human ear, the sound pressure level set up by the earphone in a specified acoustic coupler or artificial ear when the earphone is actuated by that voltage which, with the earphone ap-

plied to the ear concerned, would correspond to the threshold of hearing.

3.7 reference equivalent threshold sound pressure level (RETSPL): At a specified frequency, the modal value of the equivalent threshold sound pressure levels of a sufficiently large number of ears of otologically normal persons, of both sexes, aged between 18 and 30 years inclusive, expressing the threshold of hearing in a specified acoustic coupler or artificial ear for a specified type of earphone.

NOTE 3 The relation between hearing threshold levels for air conduction and age is specified in ISO 7029.

3.8 hearing level (of a pure tone): At a specified frequency, for a specified model of earphone and for a specified manner of application, the sound pressure level of this pure tone produced by the earphone in a specified acoustic coupler or artificial ear minus the appropriate reference equivalent threshold sound pressure level.

3.9 hearing threshold level (of a given ear): At a specified frequency and for a specified model of transducer, the threshold of hearing expressed as hearing level.

NOTE 4 For appropriate test conditions see, for example, ISO 6189 and ISO 8253-1.

4 Specifications

The reference equivalent threshold sound pressure levels (RETSPLs) depend on the model of earphone and on the model of acoustic coupler used to calibrate it.

4.1 Beyer DT 48 and Telephonics TDH 39 earphones

The recommended standard values for two different earphones in a coupler complying with IEC 303 are given in table 1.

The Beyer DT 48 earphone shall be used with a flat cushion when placed on a human ear but the cushion shall be replaced by an adapter (as specified in Mrass, H. and Diestel, H.G., *Acoustica*, 9, 1959, pp. 61-64) when placed on the coupler. The TDH 39 earphone shall be used with an MX 41/AR (or model 51) cushion both on the human ear and on the coupler.

The earphone shall be applied to the coupler without acoustic leakage with a nominal static force of $4,5 \text{ N} \pm 0,5 \text{ N}$, not including the weight of the earphone itself.

Table 1 — Recommended reference equivalent threshold sound pressure levels in a coupler complying with IEC 303

(levels rounded to the nearest half decibel)

Frequency Hz	RETSPL (Reference: 20 μPa) dB	
	125	47,5
160	40,5	37,5
200	34	31,5
250	28,5	25,5
315	23	20
400	18,5	15
500	14,5	11,5
630	11,5	8,5
750	9,5	7,5
800	9	7
1 000	8	7
1 250	7,5	6,5
1 500	7,5	6,5
1 600	7,5	7
2 000	8	9
2 500	7	9,5
3 000	6	10
3 150	6	10
4 000	5,5	9,5
5 000	7	13
6 000	8	15,5
6 300	9	15
8 000	14,5	13
Model of earphone	Beyer DT 48 with flat cushion	Telephonics TDH 39 ¹⁾ with MX41/AR (or model 51) cushion
1) In 1963 the filter cloth in the Telephonics TDH 39 earphone was changed, but matched to produce the same earphone response on the 9A coupler. During the change, about 1 000 units were produced with an unmatched cloth. The data given in this International Standard are averages of data from several earphones manufactured both before and after 1963.		

4.2 Other supra-aural earphones

The recommended RETSPL values for supra-aural earphones in an artificial ear complying with IEC 318 are given in table 2.

These values are applicable to earphones meeting the following requirements (but models of earphone specified in 4.1 are excluded in order to avoid uncertainties which might otherwise arise):

- the earphone and its cushion, if any, shall be axially symmetrical;
- the construction and material shall be suitable for providing a good acoustical seal between the earphone (or its cushion) and the human ear;
- when placed in contact with a plane surface, the circle of contact of the earphone (or its cushion)

shall be of a diameter comparable with the sagittal dimensions of the human pinna;

- d) no part of the earphone (or its cushion) shall protrude beyond the plane of contact given in c), and the recess shall be approximately in the form of a truncated cone;
- e) the contour of the earphone, or its cushion if provided, shall be such that contact with an artificial ear of the type specified in IEC 318 is effective only at a diameter of 25 mm;

NOTE 5 This requirement means that the angle at the vertex of any cone which is tangential to the earphone contour on a diameter exceeding 25 mm will be greater than 116°.

- f) the material of the cushion, if provided, shall not be so soft as to cause significant deformation when the earphone is applied to an artificial ear as determined by the following test: when a static force of 5 N is changed to 10 N, the apparent sensitivity level at 1 kHz shall not change by more than 0,2 dB;
- g) the contour of the earphone, or its cushion if provided, shall be such that, when placed on the human ear, contact is made with the pinna and not with the cranial tissue posterior to the pinna;

NOTE 6 This requirement excludes earphones of the circumaural type.

- h) a headband shall be provided to hold the earphone on the human pinna with a static force of $4,5 \text{ N} \pm 0,5 \text{ N}$.

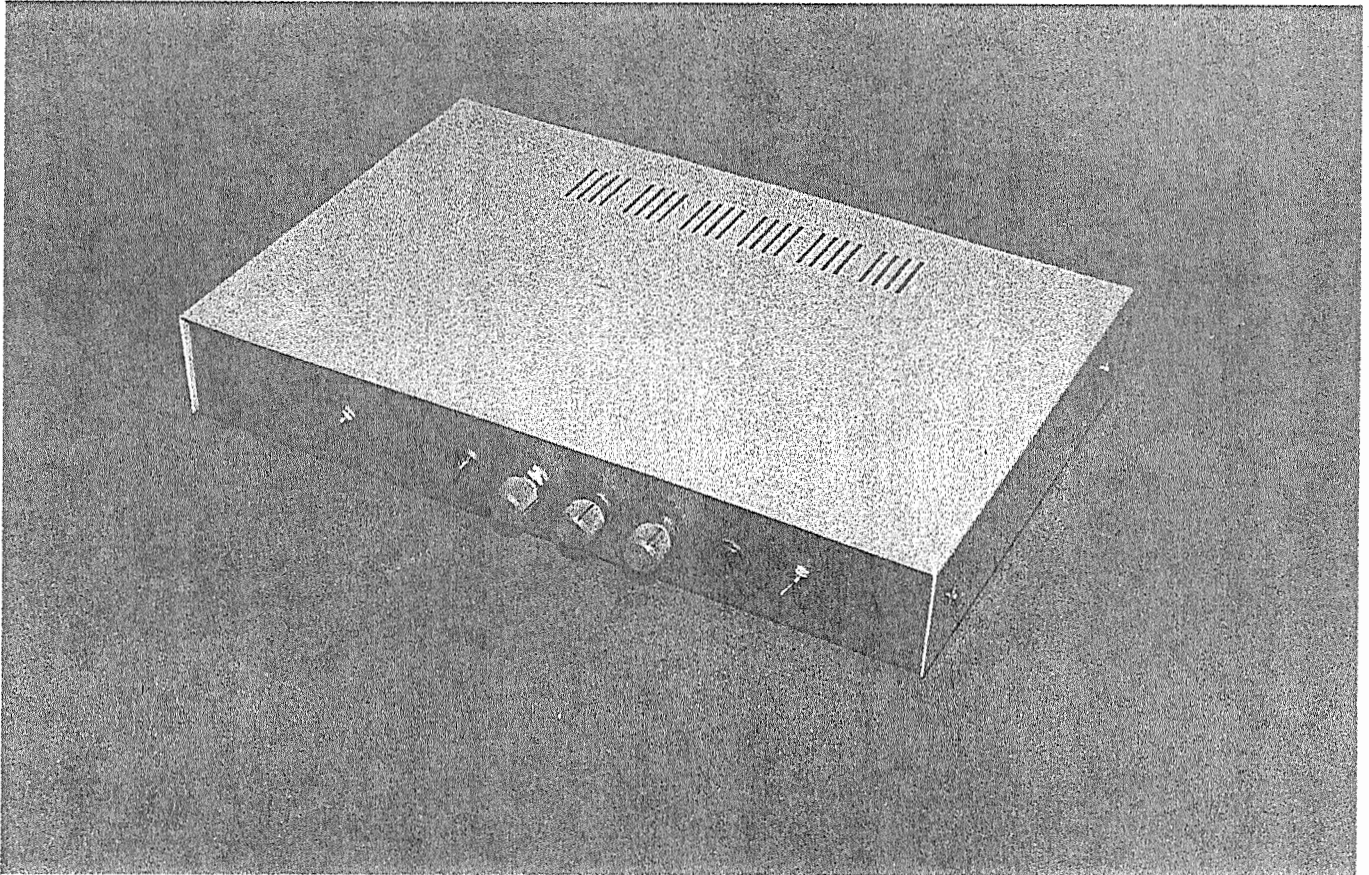
The RETSPL values apply when the earphone is coupled to the artificial ear under the following conditions:

- a) the earphone and artificial ear are coaxial and the axis is vertical;
- b) without acoustic leakage;
- c) with a nominal static force of $4,5 \text{ N} \pm 0,5 \text{ N}$, not including the weight of the earphone itself.

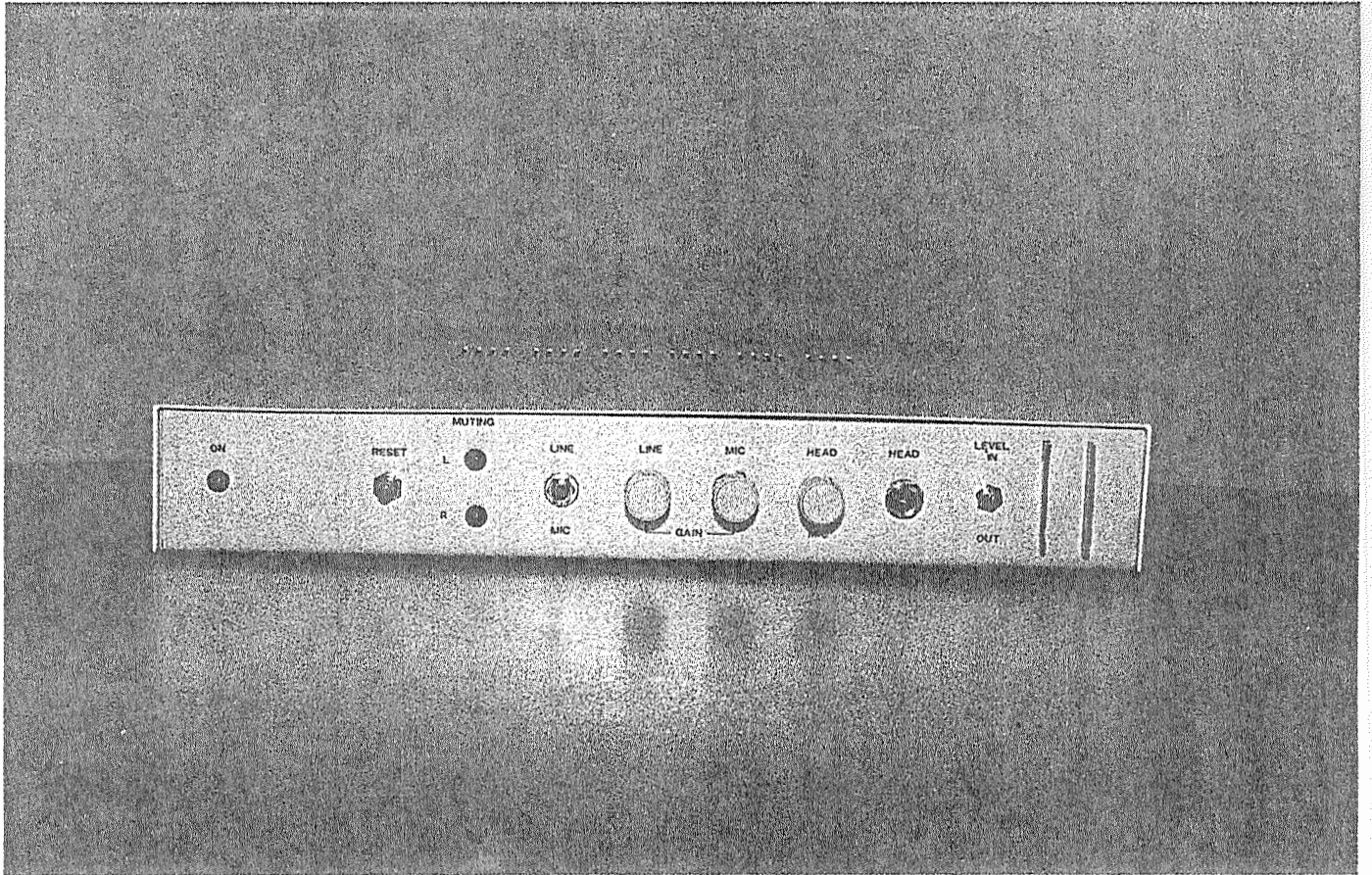
Table 2 — Reference equivalent threshold sound pressure levels in an artificial ear complying with IEC 318

(values rounded to the nearest half decibel)

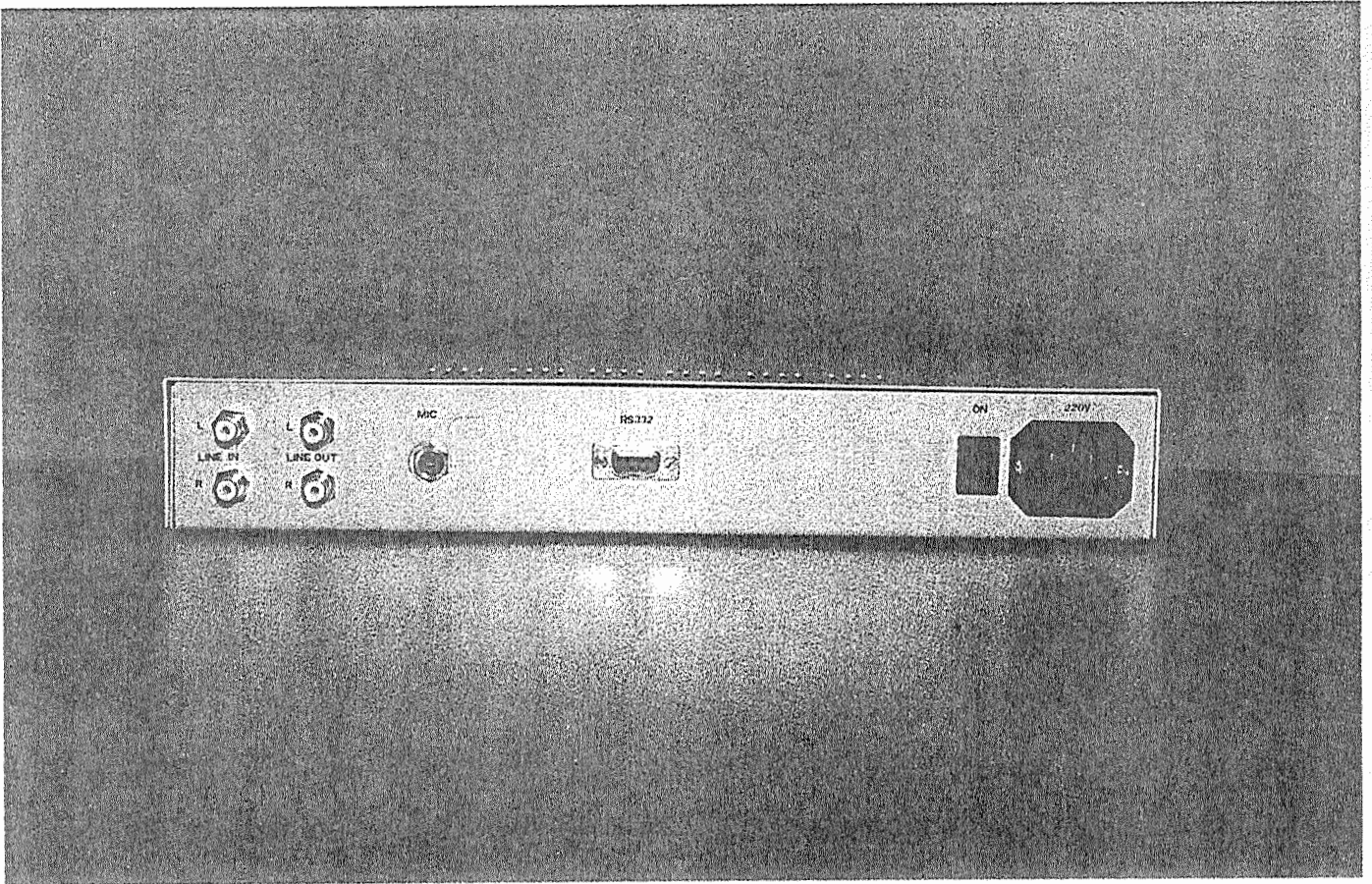
Frequency	RETSPL (Reference: 20 μPa)
Hz	dB
125	45
160	38,5
200	32,5
250	27
315	22
400	17
500	13,5
630	10,5
750	9
800	8,5
1000	7,5
1250	7,5
1500	7,5
1600	8
2000	9
2500	10,5
3000	11,5
3150	11,5
4000	12
5000	11
6000	16
6300	21
8000	15,5



Prototipo OAK DSPLa1b



Vista frontal do prototipo OAK DSP Lab.



Vista retro WAK DSP Lab