

VENT-PC v1.0 di Pierfrancesco Fravolini

VENT-PC

AUDIOreview

Rivista italiana di elettroacustica ed alta fedeltà

Informazioni sul progetto di condotti di accordo dal N° 98

Manuale d'uso versione 1.0 sul N° 99

Copie arretrate disponibili c/o Technimedia s.r.l. via C. P.
00157 Roma Tel. 06/4188300 MC-Link: 300,8,N,1 Tel. 0

Copyright Pierfrancesco Fravolini (c) 1990

premere un tasto per iniziare

VENT-PC v1.0

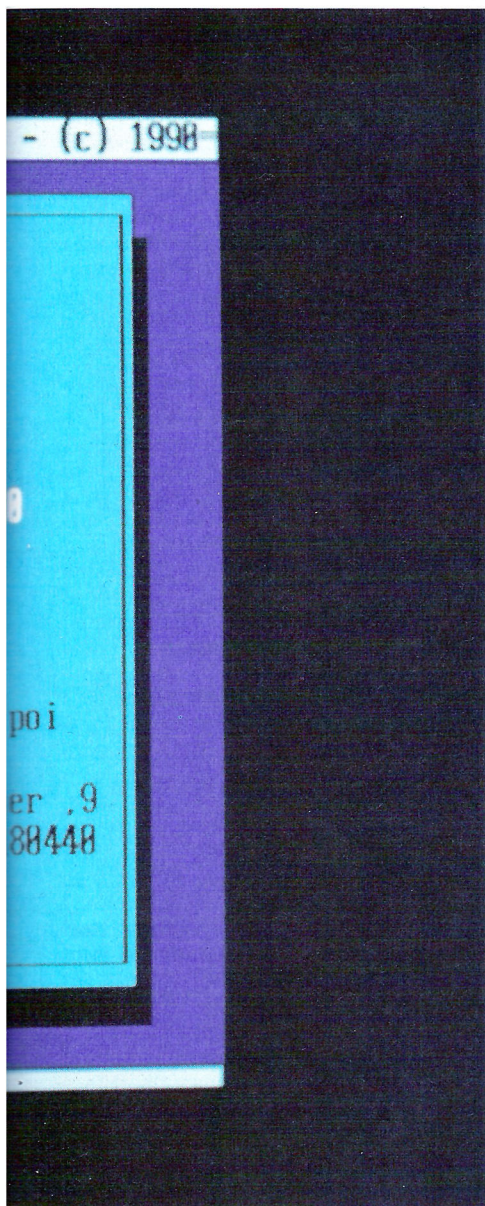
Programma per il calcolo di condotti di accordo reflex a sezione multipla o esponenziale

Presentando sui numeri 92 e 93 la versione del Bass-Pc, si era evidenziata la sua espandibilità; infatti si è prevista la possibilità di sviluppare dei programmi aggiuntivi che, collegati ad esso, permettono lo svolgimento di calcoli inizialmente non previsti.

Il primo di questi programmi accessori ci aiuta a progettare «facilmente» il condotto di accordo di un diffusore reflex, calcolandone diverse forme tra cui quella «esponenziale»

di Pierfrancesco Fravolini

(prima parte)



pannello del mobile e l'altra libera all'interno del volume. Analizzando la formula si nota che la lunghezza cresce con l'aumentare del diametro; questo può comportare notevoli problemi quando, al fine di minimizzare le perdite all'interno del condotto e scongiurare eventuali fenomeni di turbolenza, si decide di adottare una sezione di quest'ultimo di dimensioni generose. Ma vediamo in dettaglio quali possono essere queste perdite ed i fenomeni fisici che le provocano.

All'interno del condotto

Consideriamo un tubo cilindrico ideale di lunghezza infinita e di sezione S nel quale scorre un fluido (nel nostro caso aria). Le molecole di fluido all'interno

condotto stesso. Queste perdite sono di due tipi: perdite dovute all'attrito dell'aria con le pareti del condotto, e perdite dovute a fenomeni che ostacolano il flusso dell'aria.

Le prime dipendono dalla superficie delle pareti del tubo e dalla lunghezza di quest'ultimo. In figura 1 è riportato il grafico della velocità dell'aria in una determinata sezione, in funzione della distanza dalle pareti. Le molecole a contatto con queste ultime sono ferme, mentre la velocità delle altre cresce rapidamente man mano che ci si allontana dalle pareti, fino a raggiungere un valore costante.

Se la sezione del condotto è sufficientemente estesa, si può tranquillamente assumere che la velocità delle particelle che l'attraversa è in ogni punto costante, se al contrario la sezione è troppo

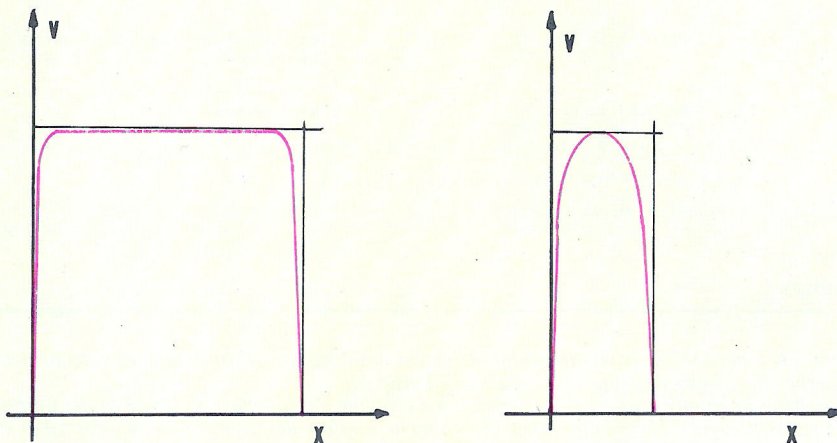


Figura 1 - Grafico della velocità dell'aria all'interno di un condotto cilindrico. In prossimità delle pareti laterali l'aria aderisce a queste ultime, rimanendo praticamente ferma. Man mano che ci si allontana da esse la velocità cresce con la distanza fino a raggiungere un valore praticamente costante nella parte centrale del tubo. Se il condotto è largo, disegno (A), si può quindi supporre che la velocità dell'aria in ogni sua sezione sia uguale mentre non si può dire la stessa cosa se il tubo è stretto. In questo caso la velocità assume infatti un andamento simile a quello riportato nel disegno (B) e quindi non può ritenersi costante per una determinata sezione.

Per progettare il condotto di accordo di un diffusore reflex abbiamo, finora, usato la formula pubblicata per la prima volta su AUDIOREVIEW n. 39:

$$L_v = \frac{(2362 D_t^2)}{(V_b F_B^2)} \left(1.7 \frac{D_t}{2}\right) \quad (1)$$

dove D_t è il diametro del condotto ed è espresso in millimetri, V_b è il volume del mobile, espresso in dm^3 ed F_B è la frequenza di accordo della cassa.

Questa formula, ricavata dagli studi di N. Thiele, ha dimostrato di fornire dati in buona corrispondenza con le misure effettuate sui nostri prototipi, utilizzando un tubo di accordo di sezione circolare, disposto con una estremità a filo di un

del tubo si muovono tutte nella stessa direzione e con la stessa velocità v , e la pressione è costante in ogni sezione del tubo. In queste condizioni si può immaginare che la colonna di aria contenuta nel tubo, sollecitata dall'energia sonora emessa dall'altoparlante, oscilli come se fosse un corpo rigido, dotato di una certa massa m . Questo comporta che l'energia sonora presente all'ingresso del tubo viene trasferita interamente alla sua uscita, senza alcuna perdita. Prendiamo ora in esame un tubo reale, di lunghezza l .

In questo caso non si riesce ad avere un trasferimento completo di energia a causa di «perdite» che inevitabilmente si hanno durante l'attraversamento del

piccola, può cadere questa assunzione e si avranno delle perdite elevate. Queste ultime sono comunque di scarsa importanza nell'impiego usuale poiché le lunghezze dei condotti impiegati sono piuttosto basse, e comunque tali perdite possono venir minimizzate aumentando la sezione.

Le perdite del secondo tipo sono causate da variazioni brusche della sezione, curvature troppo accentuate, e da ostacoli presenti all'interno del tubo. Queste irregolarità danno luogo a fenomeni di turbolenza che dissipano energia cinetica delle molecole di aria facendole muovere in direzioni diverse da quella di propagazione dell'onda sonora. Queste turbolenze sono tanto più

accentuate quanto più è elevata la velocità del fluido nel condotto.

Come si può intuire, anche ai due lati estremi del tubo, cioè all'entrata ed all'uscita, si ha una brusca variazione della sezione e quindi la possibilità che si innescino delle turbolenze. È bene allora mantenere bassa la velocità dell'aria in prossimità delle sezioni terminali aumentandone necessariamente

l'ampiezza. Può accadere però che dai calcoli derivi una lunghezza del condotto tanto grande da essere inconciliabile con le dimensioni della cassa. In questo caso si può ricorrere all'uso di condotti a sezione variabile, come è stato fatto per esempio sul The Audio Bass e sul The Audio Sat. Un condotto siffatto è facilmente costruibile, utilizzando i raccordi normalmente presenti in idraulica,

ma praticamente impossibile da progettare (finora) se non ricorrendo a procedimenti empirici.

L'algoritmo

L'idea di sviluppare un programma che permettesse di progettare condotti di accordo con sezione variabile mi è ve-

```

-----
'calcolo della frequenza di accordo dell'insieme
'mobile-tubo
'Vb = volume del mobile
'Ns = numero delle sezioni del tubo
'Dt() = array contenente i valori dei diversi diametri del tubo
'Lv() = array contenente le lunghezze delle varie parti del tubo
-----

CALCOLOFB:
LEquiv = 0                                'azzeramento lung. equivalente
K0 = 2363 / Vb                            'per accelerare i calcoli
FOR k% = 1 TO Ns
    Lv = LEquiv + Lv(k%)                  'calcolo lunghezza del tratto
                                         'k%-esimo
    Dt = Dt(k%)                          'prelievo diametri k%-esimo e
    D2 = Dt(k% + 1)                      'k%+1-esimo
    Fb(k%) = SQR(K0 * Dt * Dt / (Lv + 1.7 * Dt / 2)) ' (2)
    LEquiv = K0 * D2 * D2 / (Fb(k%) * Fb(k%)) - (1.7 * D2 / 2) ' (1)
NEXT
Facc = Fb(Ns)                            'frequenza di accordo
RETURN

```

Figura 3 - Listato della parte del programma che implementa la procedura di calcolo della frequenza di accordo descritta nelle pagine dell'articolo.

Si dovranno impostare i valori delle variabili Vb (volume del mobile), Ns (numero dei tratti in cui è stato suddiviso il condotto), Dt() che contiene i valori dei diversi diametri del tubo ed Lv() (che contiene le lunghezze delle varie parti). La frequenza di risonanza calcolata viene posta nella variabile FAcc.

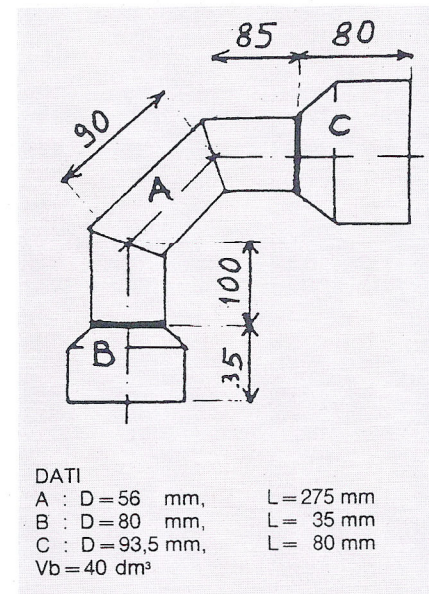


Figura 2 - Geometria del condotto del The Audio Bass utilizzata dal sig. Bonioli per descrivere il suo procedimento di calcolo. Il tratto A di 275 mm di lunghezza è in realtà formato da tre parti differenti ma tutte dello stesso diametro.

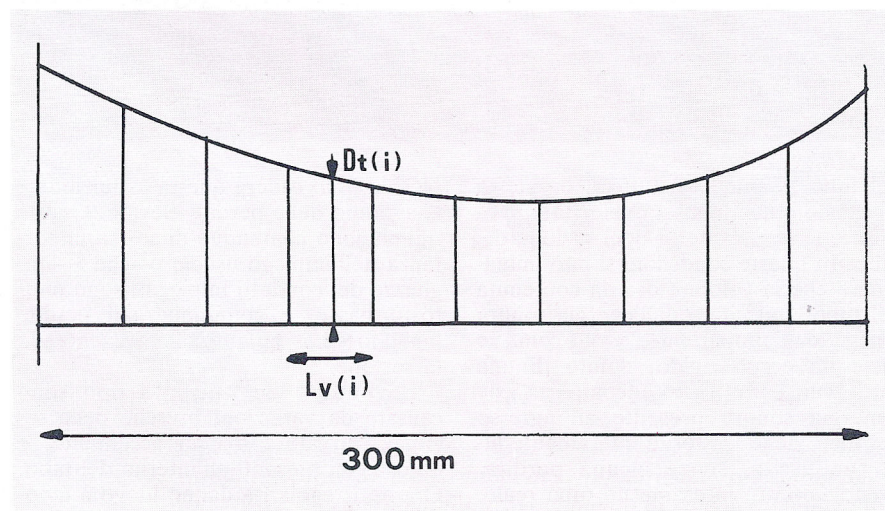


Figura 4 — Per calcolare la frequenza di accordo di condotti con forma qualsiasi, questi ultimi dovranno essere suddivisi in tratti di lunghezza costante. Quanto maggiore è il numero di parti tanto migliore è l'approssimazione ottenuta. Determinate le sezioni dei vari tratti si inseriranno questi valori nell'array Dt() mentre l'array Lv() conterrà la lunghezza degli stessi.

nuta durante lo sviluppo del Microsub. Per chi non avesse letto gli articoli in questione posso dire che, per quel progetto, era indispensabile ridurre il più possibile la lunghezza del condotto di accordo necessitando di un'ampia superficie nelle sezioni terminali dello stesso. Per motivi costruttivi avevo scelto un condotto a profilo esponenziale, già utilizzato con successo da Renato Giussani nei suoi The Audio Sat. In quel caso però il progetto della struttura era stato fatto in modo sperimentale: una volta scelto il profilo e costruito il prototipo si era provveduto alla sua «taratura», mediante misurazione della frequenza di accordo ottenuta e successivo aggiustamento della larghezza del condotto. Sul numero 65 di AUDIOREVIEW un nostro assiduo lettore, il signor Marco Bonioli, aveva descritto un interessante procedimento per calcolare, mediante la famosa formula già riportata nelle prime battute di questo articolo, la frequenza di accordo del condotto

dell'Audio Bass, costituito da tre tubi con sezioni differenti. Il procedimento descritto dal signor Bonioli, che ad una prima analisi può risultare poco comprensibile, ma che in un secondo tempo si rivela facile da analizzare, è il seguente.

Si fissa la geometria del condotto, riportata nel nostro caso in figura 2. Iniziamo col considerare dapprima il solo tratto A che ha $D_i=56$ mm e $L_v=275$ mm. Riarrangiando la (1) in funzione di F_B si ottiene:

$$F_B = \sqrt{\frac{2362 D_i^2}{V_b (L_v + 1,7 D_i/2)}} \quad (2)$$

Applicando questa formula si ottiene un valore di F_B pari a 23,9 Hz. Calcoliamo ora la lunghezza di un condotto con un diametro uguale a quello del tratto B, pari a 80 mm, per la stessa F_B applicando la (1).

Si ottiene $L_v=593,6$ mm. A questo punto abbiamo un condotto equivalente al tratto A ma con diametro 80 mm e lungo 593,6 mm.

Sommiamo a questo i 35 mm del tratto B ed otteniamo un tubo lungo 628,6 mm per il quale possiamo ricalcolare una nuova F_B di 23,2 Hz. Dunque il tratto A ed il tratto B equivalgono ad un unico condotto con diametro 80 mm, lungo 628,6 mm e caratterizzato da una frequenza di accordo di 23,2 Hz. Per tenere conto anche del tratto C basterà quindi trovare la lunghezza del tubo, accordato a 23,2 Hz ma di diametro interno pari a quello del tratto in questione (93,5 mm), sommare a questa la lunghezza del tratto C e calcolare la nuova frequenza di risonanza che sarà finalmente quella cercata.

Come si può facilmente immaginare un procedimento del genere è piuttosto lungo e tedioso se si effettuano i calcoli a mano.

Inoltre non permette di trovare la lunghezza dei diversi tratti del condotto partendo da una determinata frequenza di accordo. L'utilizzo del computer consente di superare questi inconvenienti, rendendo al contempo più rapido e flessibile il procedimento di calcolo e permettendo inoltre di estenderlo, tramite il metodo degli elementi finiti, al trattamento della totalità dei casi prevedibili.

Il programma

In figura 3 è riportato il listato della parte che sviluppa l'algoritmo appena descritto. Nella variabile V_b è riportato il volume del mobile del diffusore reflex, in N_s il numero dei diversi tratti in cui è diviso il tubo, $Dt()$ e $L_v()$ sono due

```

'-----
'progetto condotto a profile esponenziale di sezione rettangolare
'vengono trasformate le sezioni rettangolari nei corrispondenti diametri
'equivalenti, poi si effettua il calcolo e si riconvertono i diametri
'nelle sezioni rettangolari
'-----

Amin = 1                                'imposta larghezza minima = 1
DMin = SQR(4 * Alt * Amin / Pigreco)    'traforma da sezione
DMax = SQR(4 * Alt * AMax / Pigreco)    'rettangolare a circolare

'-----
'inizio ciclo di calcolo
'-----

Scarto = EMax                            'scarto=errore massimo
                                        'ammissibile

Passo% = 0                              'azzerà numero passo

Lg=(LTot - Lc) / 2                       'costante Lg

Dv = (DMax - DMin)                      'incremento iniziale per DMin

Ns = Lg + 1                             'calcolo numero sezioni

DO
    PRINT USING "Passo .....:####", Passo% + 1 'stampa risultati
    PRINT USING "Frequenza.....:####", FAcc    'parziali
    PRINT USING "Incremento.....:####", Dv
    PRINT USING "Larg. min.....:####", Amin
    PRINT USING "Larg. max.....:####", AMax
    PRINT USING "Errore [%]:####", Errore

'-----
'attribuzione del profilo esponenziale
'-----

A = LOG(DMax - DMin - 1) / Lg            'calcolo coefficiente "A"
B = DMin - 1                            'calcolo coefficiente "B"

Dt(1) = DMin: Lv(1) = Lc                'attribuzione della sezione
                                        'centrale del condotto

FOR x% = 2 TO Ns                        'attribuzione delle restanti
    Dt(x%) = EXP(A * x%) + B            'sezioni
    Lv(x%) = 2

NEXT

'-----
'calcolo frequenza di accordo per il profilo dato
'-----

GOSUB CALCOLOFB                          'calcolo frequenza di accordo

Errore = (FAcc - FFix) / FFix * 100      'calcolo dello scostamento

Amin = Pigreco * (DMin / 2) ^ 2 / Alt    'trasforma da sezione circolare
                                        'a sezione rettangolare

Passo% = Passo% + 1                    'incrementa numero passo

LastKey$ = INKEY$                       'controlla se premuto "ESC"
IF LastKey$ = Esc$ THEN                  'se si esce
    CALL CLOSEWINDOW
    GOTO MENUPRIN

END IF

Dv = Dv / 2                             'nuovo incremento per DMin
DMin = DMin + Dv * SGN(FFix - FAcc)      'calcolo nuovo diametro minimo

LOOP UNTIL ABS(Erore) <= Scarto          'ripete se l'errore e' maggiore
                                        'dello scarto richiesto

'fine ciclo

Errore = (FAcc - FFix) / FFix * 100      'calcolo errore percentuale

Amin = Pigreco * (DMin / 2) ^ 2 / Alt    'trasforma da sezione circolare
AMax = Pigreco * (DMax / 2) ^ 2 / Alt    'a sezione rettangolare

'-----
'stampa condotto esponenziale
'-----

VIEWEXP:

PRINT USING "Volume mobile reflex      [dmc] Vb :####", Vb
PRINT USING "Frequenza di risonanza cassa [Hz] Fb :####", Fb
PRINT USING "Frequenza di risonanza calcolata [Hz] Fcal:####", FAcc
PRINT USING "Lunghezza totale condotto [mm] Lt :####", LTot
PRINT USING "Lunghezza sezione centrale [mm] Lc :####", Lc
PRINT USING "Altezza del condotto [mm] Alt :####", Alt
PRINT USING "Larghezza minima del condotto [mm] Amin:####", Amin
PRINT USING "Larghezza massima del condotto [mm] AMax:####", AMax
PRINT USING "Errore massimo [%] EMax:####", Errore

```

Figura 6 - Listato in Basic della parte del programma che effettua il progetto dei condotti esponenziali.

Il programma può essere richiamato direttamente dal Bass-PC v3.0, se correttamente installato, richiamando la voce «calcolo condotti» nel sottomenu «Accessori». In questo caso il programma carica direttamente dal bass i dati relativi al progetto reflex.

array che contengono rispettivamente i valori dei diametri e delle lunghezze di questi tratti. La routine ritorna il valore della frequenza di accordo nella variabile FAcc. Analizzando il listato si vede che per prima cosa viene calcolata la costante K_0 , al fine di velocizzare il ciclo, poi, per ogni tratto (k%-esimo) del tubo, di lunghezza data, viene calcolata la frequenza di risonanza F_b (k%) e la lunghezza equivalente di un tubo caratterizzato dalla stessa frequenza di risonanza ma da un diametro pari a quello del tratto successivo (D2). Questa lunghezza equivalente viene poi sommata alla lunghezza del tratto (k%+1)-esimo e si ripete il ciclo per ogni sezione del tubo. Sono riconoscibili le formule (1) e (2), riscritte in formato «computeresco», mentre le scritture $Dt \cdot Dt$, $D2 \cdot D2$ e $Fb(k\%) \cdot Fb(k\%)$ elevano al quadrato le espressioni corrispondenti più rapidamente di Dt^2 , $D2^2$ e $Fb(k\%)^2$. C'è da dire però che questa procedura si presta anche al calcolo (approssimato) di condotti di accordo di forma qualsiasi. A questo scopo basterà supporre che il condotto stesso sia in realtà formato dall'unione di un numero elevato di «condottini», tutti di sezione differente, ai quali applicare il procedimento sopra descritto. In figura 4 vediamo un esempio grafico. Il condotto dato, lungo 300 mm viene suddiviso in 10 parti, lunghe ognuna 30 mm, caratterizzate ognuna da una sezione differente. Basterà determinare il valore di

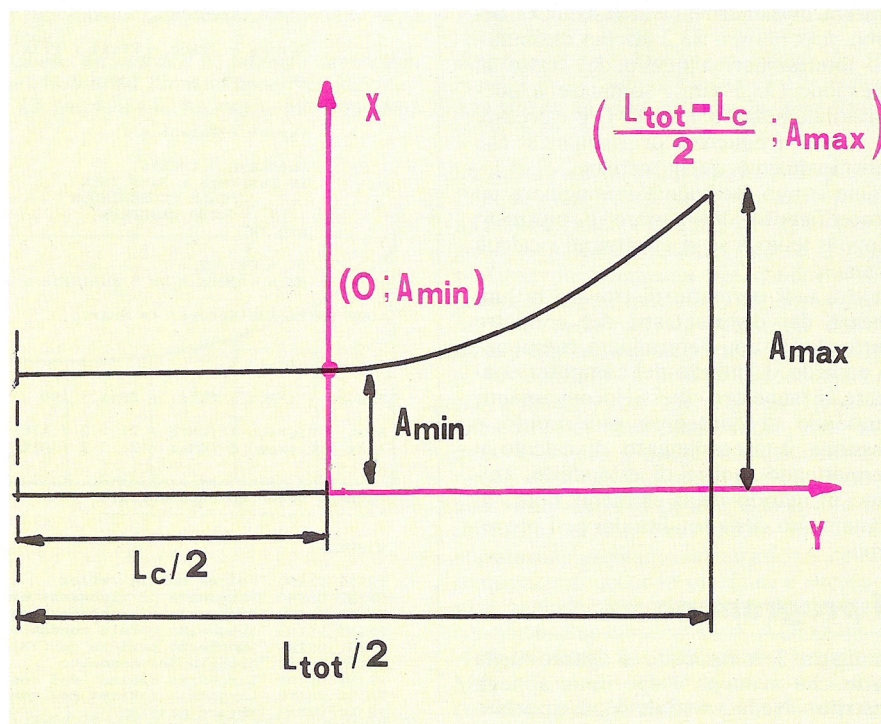
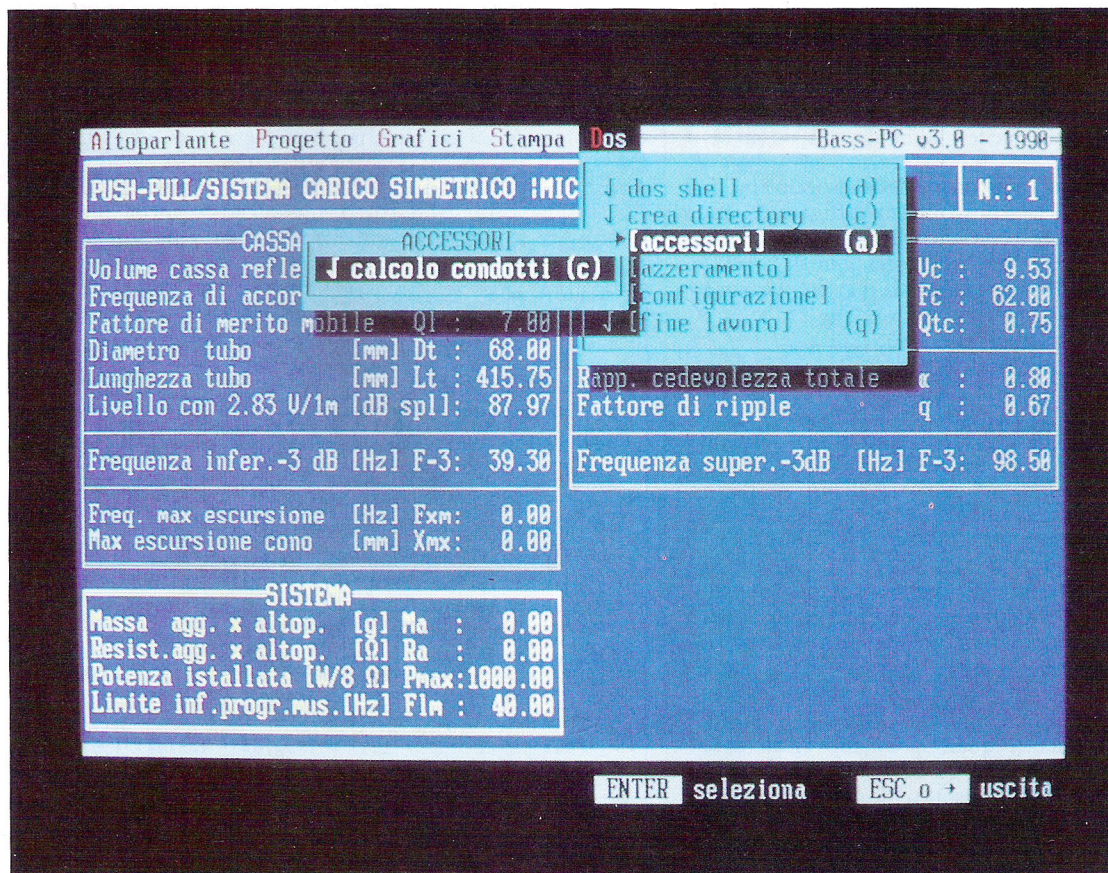


Figura 5 - Sezione longitudinale di un condotto di forma rettangolare a profilo esponenziale. Ne è riportata solo metà in quanto si ipotizza che l'altra parte sia simmetrica.



Se richiamato dall'interno del Bass, il programma si comporta come se ne fosse parte integrante, interagendo con esso.

queste, comunicarlo alla routine e si avrà il dato di frequenza di risonanza cercato.

Ma come faccio a far «progettare» al computer le dimensioni di un condotto di accordo di forma data?

La risposta sembra complessa ma in effetti non lo è. Vediamo come è stata implementata la parte del programma che dimensiona un condotto esponenziale: nella figura 5 è disegnato il profilo del condotto supposto di sezione rettangolare. I parametri principali sono la larghezza minima A_{MIN} , quella massima A_{MAX} , la lunghezza della parte centrale L_C , la lunghezza totale del condotto L_{TOT} . Nel disegno è riportata solo una metà del condotto in quanto si assume che l'altra parte abbia un andamento simile. Vogliamo utilizzare un profilo che ha una espressione analitica del tipo

$$y = e^{Ax} + B \quad (3)$$

e, sempre con riferimento alla figura 5, per trovare i valori dei parametri A e B si dovrà imporre il passaggio della curva per i punti di coordinate $(0; A_{MIN})$ e $[(L_{TOT} - L_C)/2; A_{MAX}]$. Posto $L_g = (L_{TOT} - L_C)/2$ ed effettuando le due

sostituzioni si ottiene il seguente sistema:

$$\begin{cases} A_{MIN} = 1 + B \\ A_{MAX} = e^{(L_g A)} + B \end{cases}$$

Con semplici passaggi si ricavano così i valori delle due costanti cercate:

$$A = \frac{\ln(A_{MAX} - A_{MIN} + 1)}{L_g}$$

$$B = A_{MIN} - 1$$

Se scegliamo di mantenere fissi i valori di A_{MAX} , L_C , L_{TOT} , e variare A_{MIN} si dovrà scrivere una routine che svolga le seguenti azioni:

- 1 - suddividere il condotto in sezioni molto piccole (lunghe ad es. 1 mm);
- 2 - imporre ad A_{MIN} un valore di partenza (ad es. 1 mm);
- 3 - calcolare i valori dei coefficienti A e B , inserire nell'array $Dt()$ i valori calcolati con la (3) e nell'array $Fb()$ il valore «1»;
- 4 - calcolare la frequenza di risonanza;
- 5 - confrontarla con quella cercata: se i due valori sono diversi si dovrà incrementare A_{MIN} e ritornare al punto 3,

ordinato dopo la pubblicazione della seconda parte di questo articolo, verrà inserito anche l'intero sorgente del programma, scritto in Turbo Basic, che potrà quindi essere variato a vostro piacimento.

Il programma, se installato come «accessorio», permette inoltre un facile collegamento con il Bass-PC dal quale legge automaticamente i dati del progetto come V_B , F_B e D_t . Cogliero l'occasione per descrivere, già sul prossimo numero di AUDIOREVIEW, le modalità di interscambio dei dati. Sempre sul dischetto ci sarà, anche perché utilizzato dal programma, il sorgente della parte che gestisce le finestre ed i menu a tendina, già utilizzata dal Bass-PC. Da un programma dimostrativo, commentato, sull'uso di questa interfaccia grafica si potrà risalire alle sue modalità di utilizzazione.

Chi di voi mastica il linguaggio del computer (oltretutto il semplice Basic) sarà così in grado di scrivere da solo programmi che scambiano dati con il Bass-PC, per di più dotati della stessa presentazione grafica.

Appuntamento quindi sul prossimo numero, dove affronteremo in dettaglio il funzionamento del programma.