



TIP 10 – Come verificare il condotto reflex

Il numero di Reynolds ed il diagramma di Moody

Il numero di Reynolds **indica** il valore di **turbolenza** che assume il **flusso** dell'aria che transita all'interno del **condotto reflex** ad una determinata **velocità**.

Per mantenere un **basso tasso di distorsione armonica nel condotto reflex**, occorre mantenere **basse le turbolenze** e quindi **bassa la velocità dell'aria**.

Prima di applicare la formula per calcolare il numero di Reynolds, occorre conoscere la velocità massima dell'aria nel condotto, ovvero **la massima portata di aria transitante**.

La massima portata di aria transitante nel condotto, è **quella** che il woofer produce alla frequenza **di accordo** reflex che hai calcolato in precedenza (**vedi TIP 09 – Risonanza di Helmholtz**). Per massima portata **Q_b** alla frequenza di accordo **F_b** , si intende la portata d'aria generata dal woofer (nella sua escursione in un solo senso), ed è il prodotto de:

- **S_d** l'area di radiazione attiva della membrana (in mq);
- **X_{max}** la massima escursione della membrana (in m);
- **F_b** la frequenza di accordo (in Hz, o in cicli al secondo c/s);

$$Q_b = \frac{S_d \cdot X_{max} \cdot F_b}{2}$$

Calcolata la portata alla frequenza di accordo **Q_b** , [in m³/s] puoi ricavare facilmente la velocità media **V** [in m/s] dell'aria nel condotto:

$$V = \frac{Q_b}{A}$$

Dove **A** [in mq] è l'area della sezione trasversale del condotto precedentemente verificato (o calcolato) con il **TIP 09**. Questa è la formula per calcolare il numero di Reynolds:

$$Re = \frac{\rho(v)d}{\mu} = \frac{(v)d}{Dv}$$

Dove: **Re** è il numero di Reynolds, un'unità adimensionale

ρ è la densità dell'aria (1,225 a 15°C) [kg/m³]

v è la velocità dell'aria nel condotto [m/s]

d è il diametro del condotto, supposto circolare [m]

μ è la viscosità dinamica dell'aria (1,81 x 10⁻⁵) [kg/ms]

Dv è la diffusività cinematica dell'aria (1,50 x 10⁻⁵) [mq/s]

Questa formula ti consente di verificare **se il fattore di forma del condotto** (cioè le proporzioni tra il diametro e la lunghezza del condotto che hai calcolato precedentemente con il tuo software) **introduce** alti tassi di distorsione oppure no.

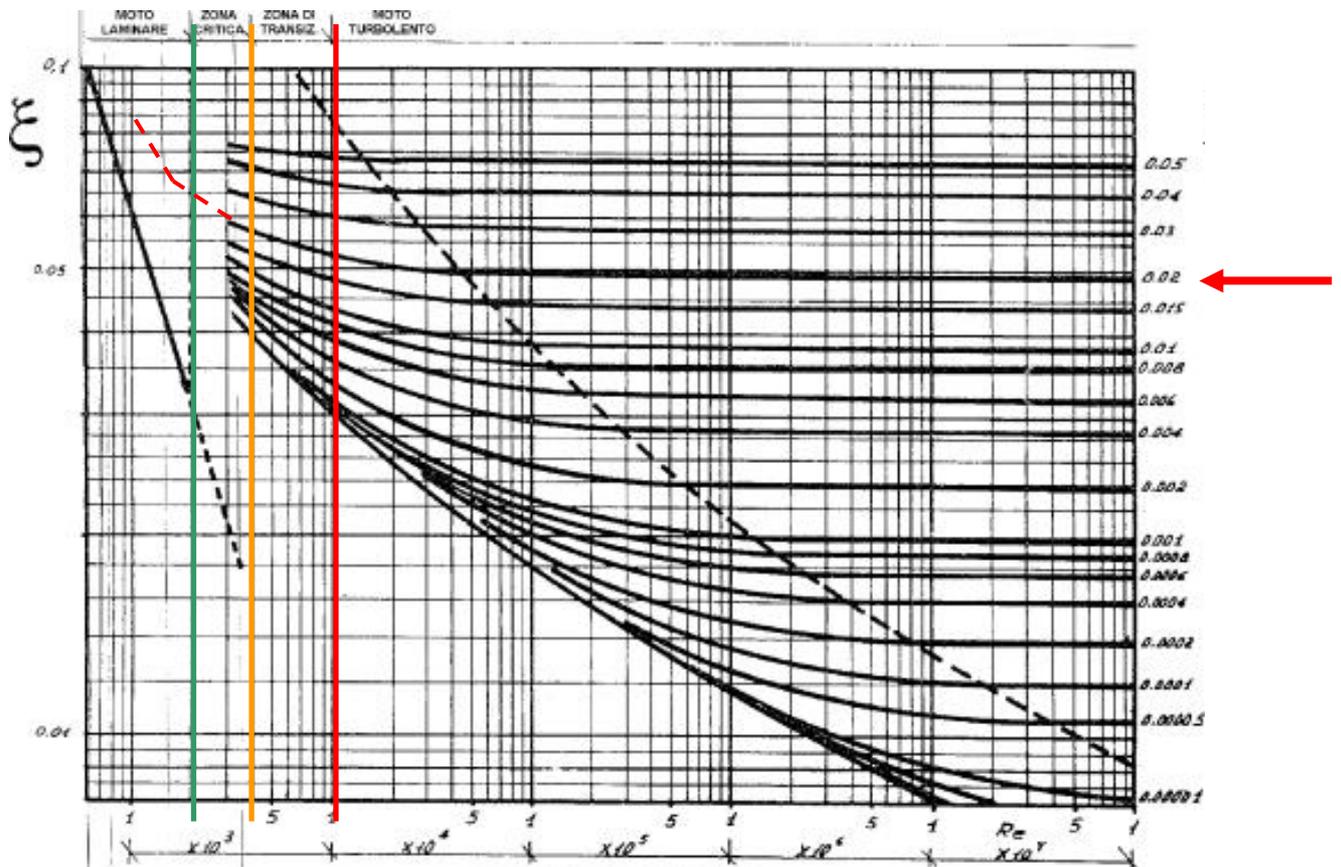
Se il numero di Reynolds che hai calcolato rimane sotto al valore soglia di **2000 (limite del regime laminare)**, significa che il condotto che hai progettato è **ben dimensionato** e introduce nel sistema **basse distorsioni**.

Per valori intermedi (numero di Re compreso tra **2000** e **4000**), il regime a cui è sottoposto **il moto dell'aria** nel condotto si definisce **critico**.

La transizione del flusso d'aria dallo **stato critico** a quello **turbolento** avviene nella specifica regione (detta appunto di **transizione**), la quale presenta caratteristiche di singolarità del campo di non stazionarietà del moto.

Per numeri di Reynolds **superiori a 10.000**, **il moto dell'aria** all'interno del condotto non è più transitorio ma **inizia a diventare turbolento**. Può anche succedere che per limitate escursioni il tuo condotto sia verificato, mentre per escursioni di membrana più elevate il tuo condotto lavori in regime di non stazionarietà o di turbolenza. Il numero di Reynolds è visualizzato in ascissa. Dato che i valori unitari sono espressi su scala logaritmica (1,2,4) devono essere moltiplicati per i relativi esponenti $2 \times 10^3=2000$; $4 \times 10^3=4.000$; $1 \times 10^4 =10.000$; etc..

Il **diagramma di Moody** evidenzia e sintetizza quanto detto finora, **per una scabrezza relativa pari a 0,02** (estensione della curva di valore 0,02 con tratteggio rosso, valore in ordinata a destra), valore di scabrezza da utilizzare per tutti i materiali plastici di cui sono composti normalmente i condotti reflex:





Le **turbolenze** sono innescate dagli **attriti viscosi** dell'aria che attraversa troppo velocemente il condotto.

Gli attriti viscosi elevati **provocano** un **innalzamento delle perdite di carico** nel condotto reflex, ovvero **determinano** una **diminuzione della portata d'aria** che può effettivamente transitare (oscillare) nel condotto.

La minore portata effettiva di aria che può transitare nel condotto, **provoca** fondamentalmente un **disallineamento dinamico dell'accordo calcolato a progetto** (secondo i parametri di Thiele e Small l'allineamento di progetto vale per piccoli segnali e quindi per piccole escursioni di membrana).

A volumi elevati, l'altoparlante vedrà quindi diminuire virtualmente il diametro del condotto.

Si determina così un aumento della distorsione di 2a e 3a armonica per relativamente alte pressioni sonore (alias relativamente elevate escursioni di membrana). Svasare esponenzialmente il condotto alle sue estremità aiuta grandemente a rientrare in buona parte nel campo di regime laminare/transitorio.

I grandi costruttori di monitor sanno che il caricamento bass-reflex soffre questo problema a volumi sostenuti e quindi lo aggirano intelligentemente, **disallineando** a priori i loro sistemi, dimensionandoli per accordarli a frequenze più basse.

Alcuni costruttori invece fanno l'esatto contrario, **sottodimensionando volutamente** il condotto, sfruttando in parte l'effetto "tappo dinamico" che si crea quando aumentano gli attriti fluidodinamici (turbolenze) nel condotto per elevate potenze. In questo caso, la scelta del costruttore è quella di ottimizzare la tenuta meccanica e l'escursione del woofer in bassa frequenza alle potenze più elevate e non invece quella di estendere l'emissione del diffusore. **I parametri di cedevolezza del woofer**, in questo specifico caso, devono assecondare dinamicamente anche questa seconda configurazione "pseudo-pneumatica".

Altri invece, per consentire di gestire dinamicamente queste distorsioni, adottano una configurazione "a geometria variabile" del condotto reflex, inserendo alla sua sommità un terminale in gomma flessibile con funzione di **smorzatore dinamico** della massa d'aria oscillante.

Altri ancora invece, preferiscono bypassare la problematica, lasciando scegliere al cliente l'allineamento acustico che preferisce, fornendogli in dotazione una serie **di tappi e riduzioni in schiuma poliuretanic**a calibrati e variamente conformati e configurati per agevolarli la messa a punto nello specifico ambiente domestico e per il volume sonoro che ritiene più consono.