Perché è bello cantare sotto la doccia

Dario Paini > Flume Studio sagl

Locarno, 26.11.26

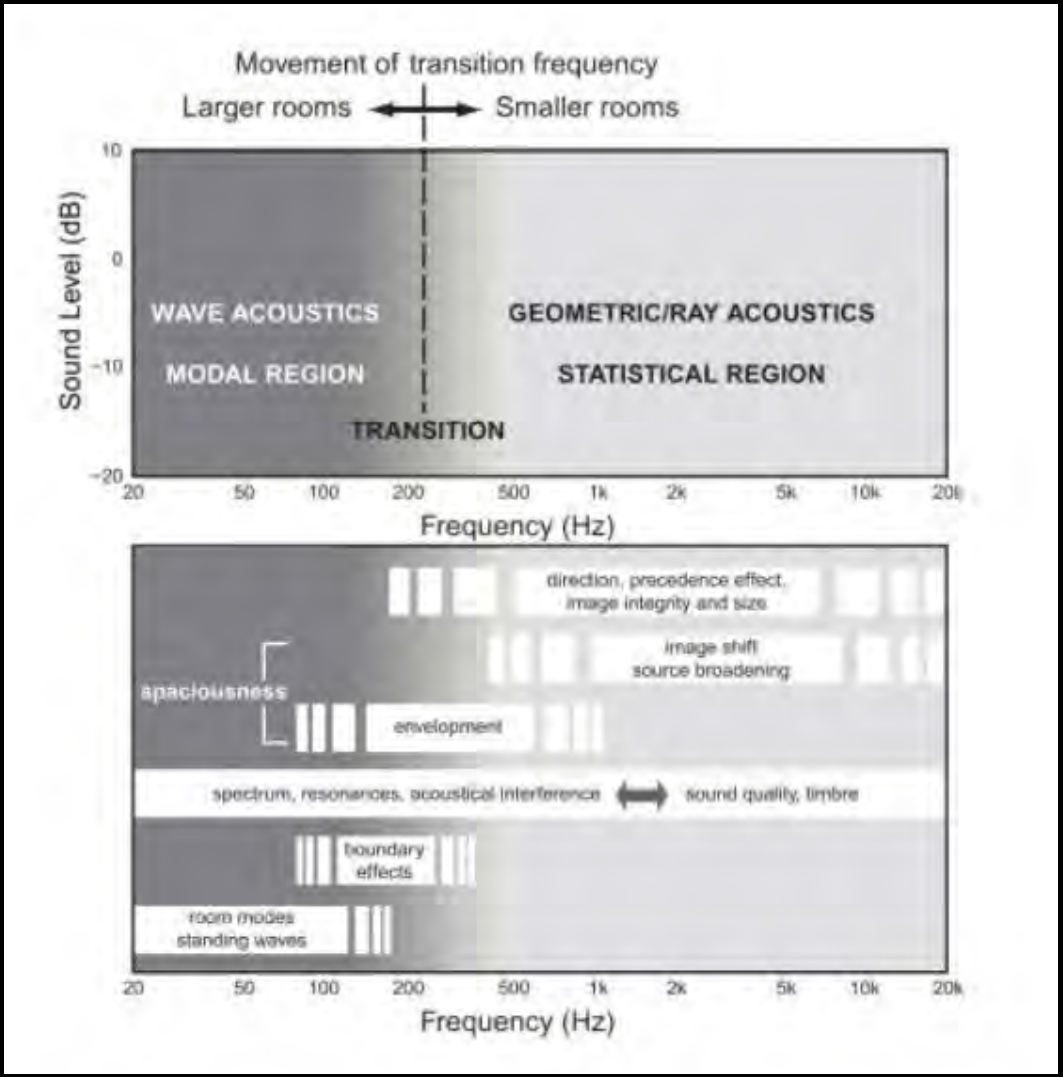


Ambienti

- **Acusticamente**
  > grandi
  > piccoli
  > …molto piccoli

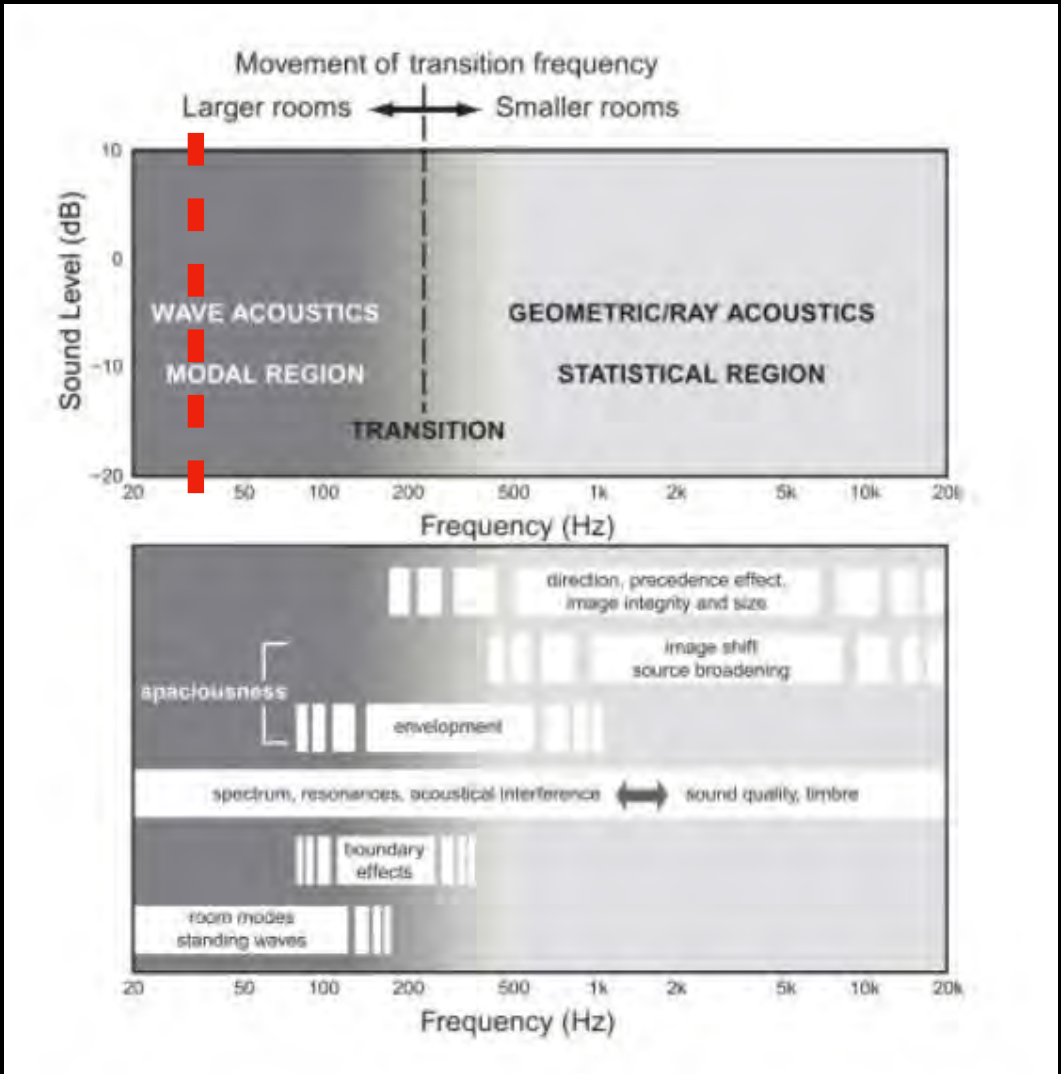
- **Schroeder or cross-over freq.**

$$f_c = 2000\sqrt{\frac{RT_{60}}{V}}$$



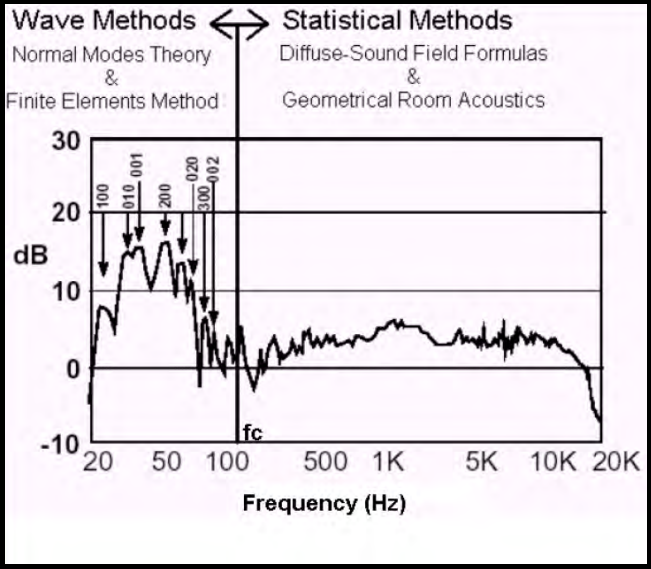
Ambienti

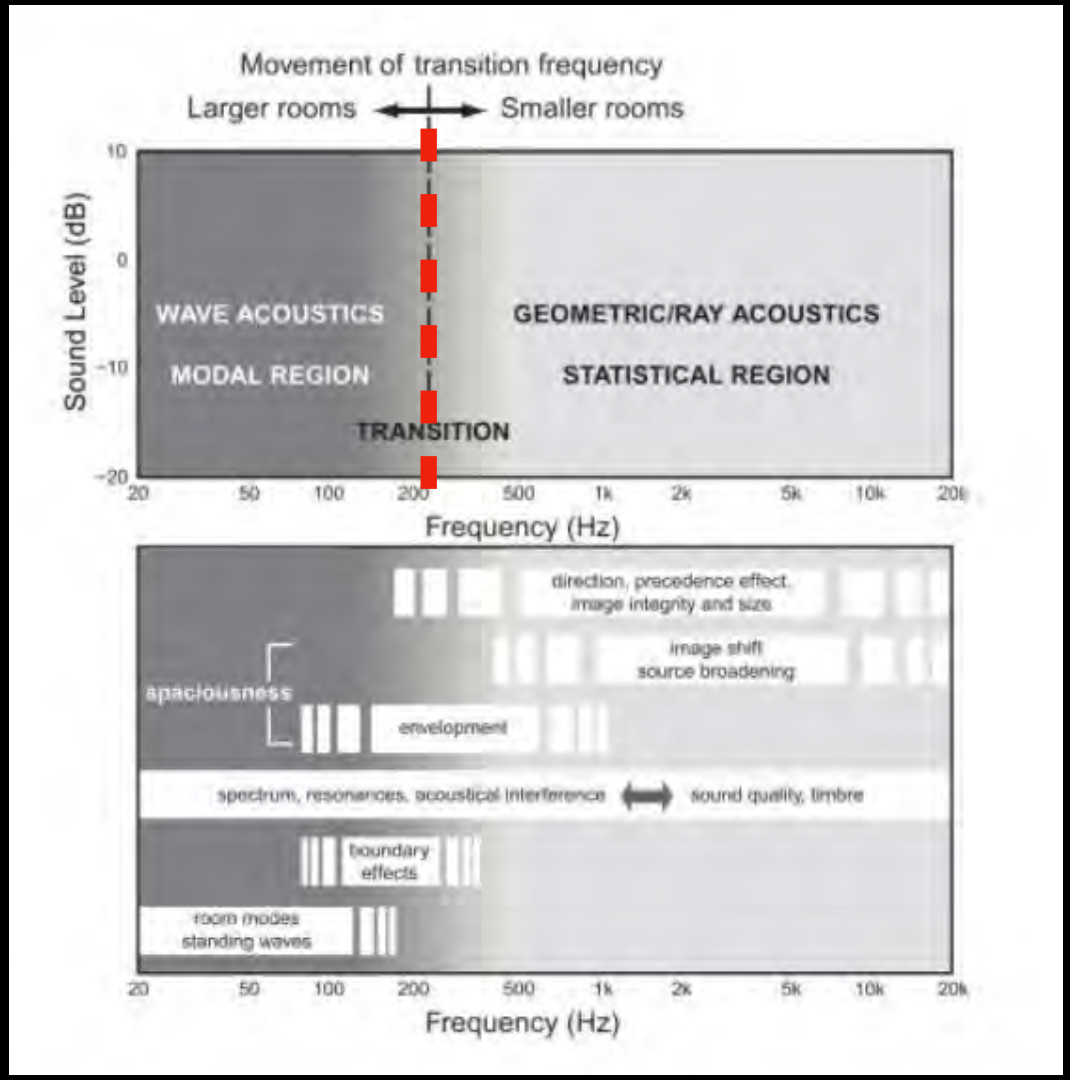
- **Acusticamente > grandi**



Ambienti

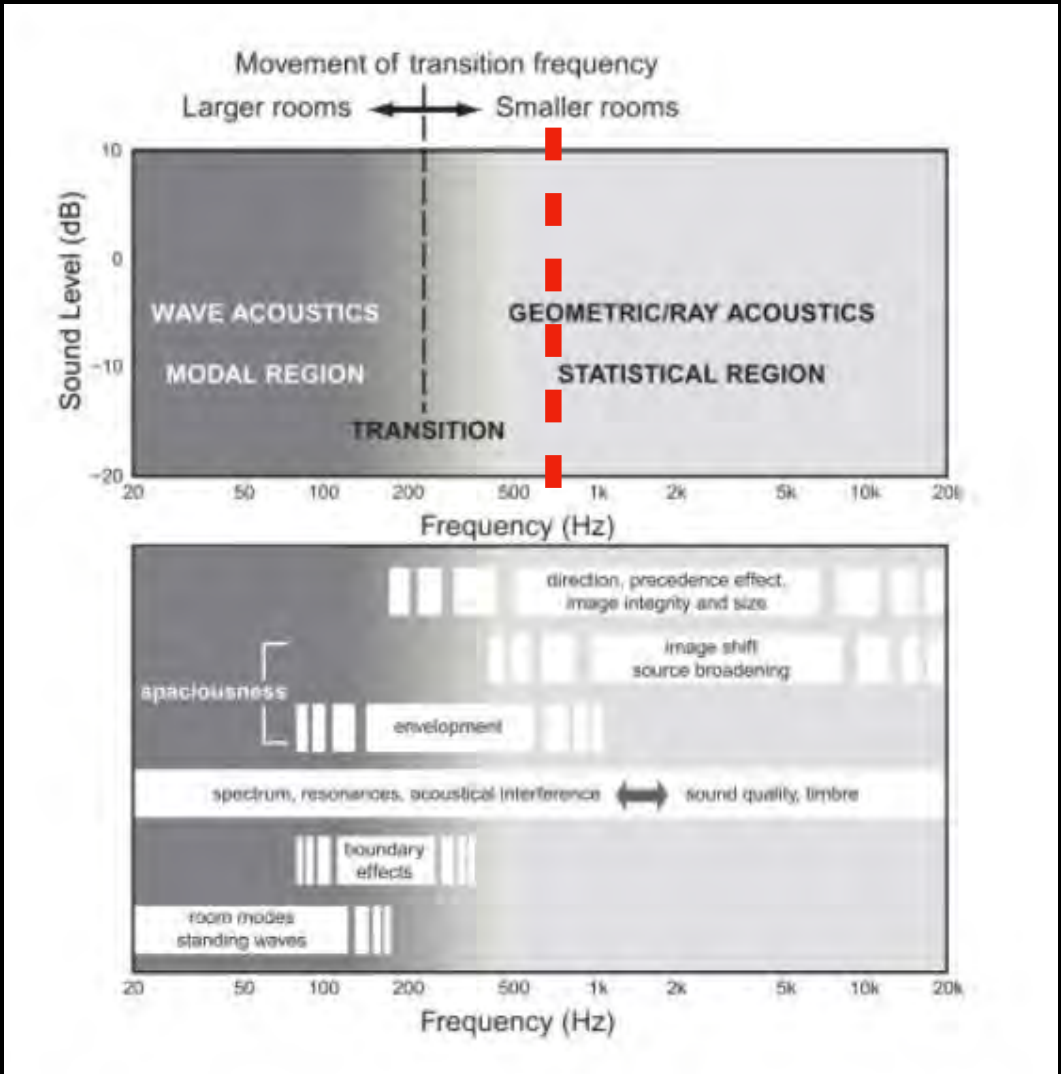
- **Acusticamente > piccoli**





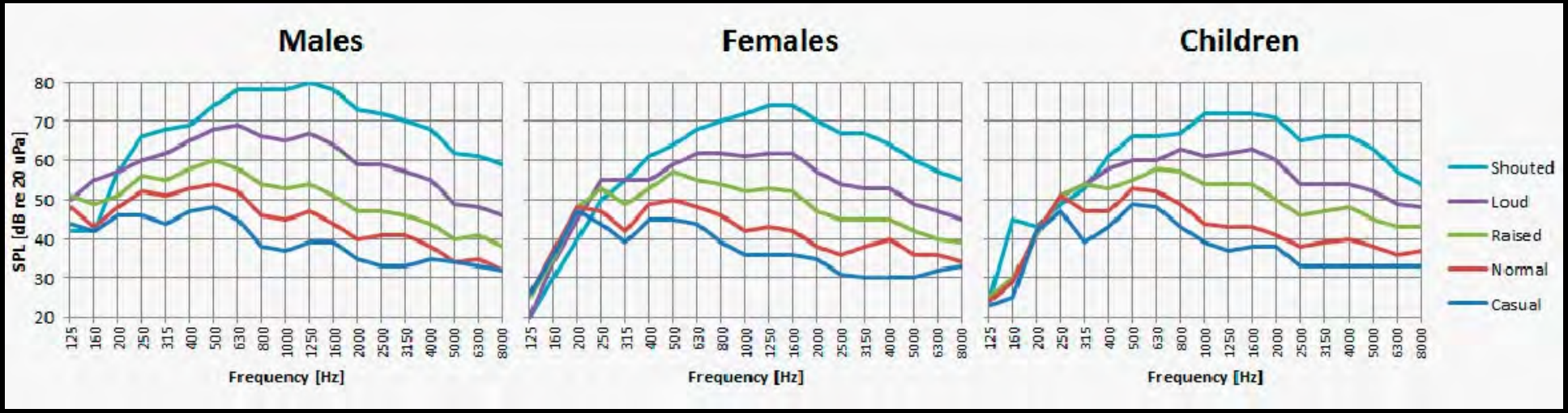
Ambienti

- **Acusticamente**
  > *molto* piccoli



Spettri sonori tipici
Parlato/cantato

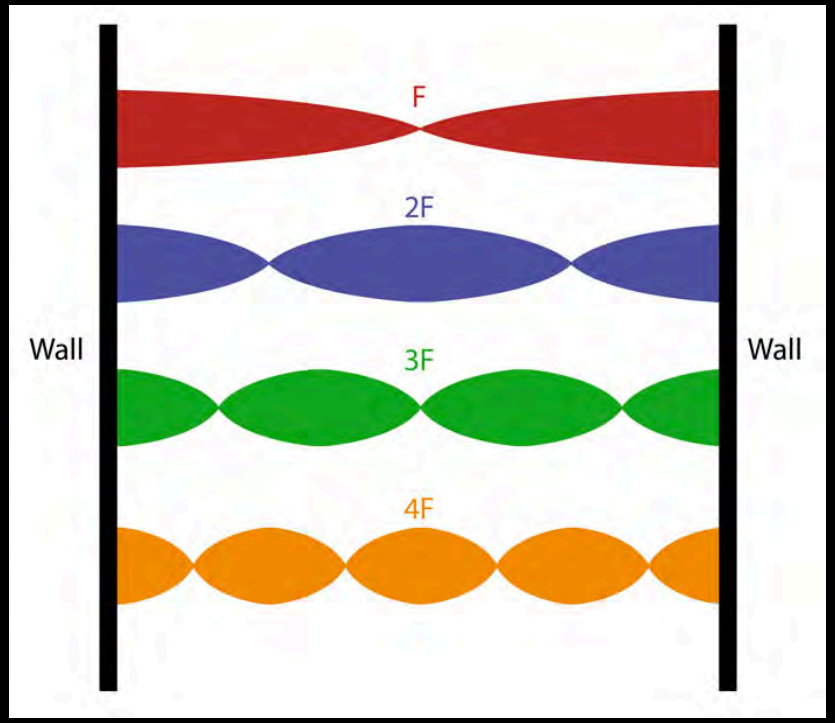
- Spettri vocali in base allo sforzo

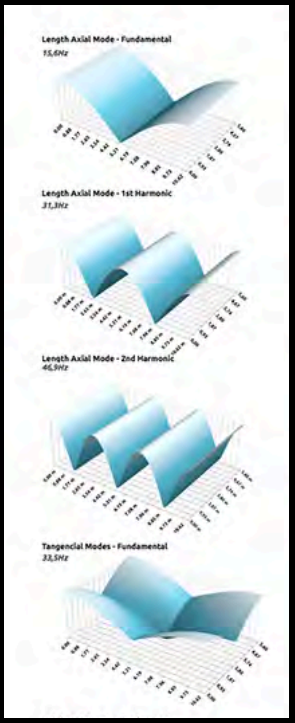


Modi

$$F_{nx,ny,nz} = \frac{c}{2}\sqrt{\left(\frac{n_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{L_z}\right)^2}$$

- Modi risonanti
  - n_x n_y n_z = 0, 1, 2, 3, 4, 5, etc.
  - L_x L_y L_z dimensioni dell'ambiente





Calcoli

Ambienti piccoli

- Dim. 500 x 400 x H 300 cm
- Schroeder Frequency: 118 Hz

1	34.30 Hz	C#1	1-0-0	ax
2	42.88 Hz	F1	0-1-0	ax
3	54.91 Hz	A1	1-1-0	tan
4	57.17 Hz	A#1	0-0-1	ax
5	66.67 Hz	C2	1-0-1	tan
6	68.60 Hz	C#2	2-0-0	ax
7	71.46 Hz	D2	0-1-1	tan
8	79.26 Hz	D#2	1-1-1	obl
9	80.90 Hz	E2	2-1-0	tan
10	85.75 Hz	F2	0-2-0	ax
11	89.30 Hz	F2	2-0-1	tan
12	92.36 Hz	F#2	1-2-0	tan
13	99.06 Hz	G2	2-1-1	obl
14	102.90 Hz	G#2	3-0-0	ax
15	103.06 Hz	G#2	0-2-1	tan
16	108.62 Hz	A2	1-2-1	obl
17	109.81 Hz	A2	2-2-0	tan
18	111.48 Hz	A2	3-1-0	tan
19	114.33 Hz	A#2	0-0-2	ax
20	117.71 Hz	A#2	3-0-1	tan
21	119.37 Hz	A#2	1-0-2	tan
22	122.11 Hz	B2	0-1-2	tan
23	123.80 Hz	B2	2-2-1	obl
24	125.28 Hz	B2	3-1-1	obl
25	126.83 Hz	B2	1-1-2	obl
26	128.63 Hz	C3	0-3-0	ax
27	133.12 Hz	C3	1-3-0	tan
28	133.33 Hz	C3	2-0-2	tan
29	133.95 Hz	C3	3-2-0	tan
30	137.20 Hz	C#3	4-0-0	ax
31	140.06 Hz	C#3	2-1-2	obl
32	140.76 Hz	C#3	0-3-1	tan
33	142.92 Hz	D3	0-2-2	tan

Calcoli

Ambienti molto piccoli

- Dim. doccia: 60 x 100 x H 250 cm
- Schroeder Frequency: 759 Hz
- Critical Distance: 15 cm

1	68.60 Hz	C#2	0-0-1	ax
2	137.20 Hz	C#3	0-0-2	ax
3	171.50 Hz	F3	0-1-0	ax
4	184.71 Hz	F#3	0-1-1	tan
5	205.80 Hz	G#3	0-0-3	ax
6	219.63 Hz	A3	0-1-2	tan
7	267.89 Hz	C4	0-1-3	tan
8	274.40 Hz	C#4	0-0-4	ax
9	285.83 Hz	D4	1-0-0	ax
10	293.95 Hz	D4	1-0-1	tan
11	317.06 Hz	D#4	1-0-2	tan
12	323.59 Hz	E4	0-1-4	tan
13	333.34 Hz	E4	1-1-0	tan
14	340.32 Hz	F4	1-1-1	obl
15	343.00 Hz	F4	0-0-5	ax
16	343.00 Hz	F4	0-2-0	ax
17	349.79 Hz	F4	0-2-1	tan
18	352.21 Hz	F4	1-0-3	tan
19	360.47 Hz	F#4	1-1-2	obl
20	369.42 Hz	F#4	0-2-2	tan
21	383.49 Hz	G4	0-1-5	tan
22	391.75 Hz	G4	1-1-3	obl
23	396.23 Hz	G4	1-0-4	tan
24	400.00 Hz	G4	0-2-3	tan
25	411.60 Hz	G#4	0-0-6	ax
26	431.75 Hz	A4	1-1-4	obl
27	439.25 Hz	A4	0-2-4	tan
28	445.90 Hz	A4	0-1-6	tan
29	446.49 Hz	A4	1-0-5	tan
30	446.49 Hz	A4	1-2-0	tan
31	451.73 Hz	A4	1-2-1	obl
32	467.09 Hz	A#4	1-2-2	obl
33	478.29 Hz	A#4	1-1-5	obl
34	480.20 Hz	B4	0-0-7	ax
35	485.08 Hz	B4	0-2-5	tan
36	491.63 Hz	B4	1-2-3	obl
37	501.11 Hz	B4	1-0-6	tan
38	509.91 Hz	C5	0-1-7	tan
39	514.50 Hz	C5	0-3-0	ax
40	519.05 Hz	C5	0-3-1	tan
41	524.07 Hz	C5	1-2-4	obl
42	529.65 Hz	C5	1-1-6	obl
43	532.48 Hz	C5	0-3-2	tan
44	535.78 Hz	C5	0-2-6	tan
45	548.80 Hz	C#5	0-0-8	ax
46	554.13 Hz	C#5	0-3-3	tan
47	558.83 Hz	C#5	1-0-7	tan
48	563.03 Hz	C#5	1-2-5	obl
49	571.67 Hz	D5	2-0-0	ax
50	574.97 Hz	D5	0-1-8	tan
51	575.77 Hz	D5	2-0-1	tan
52	583.10 Hz	D5	0-3-4	tan
53	584.56 Hz	D5	1-1-7	obl
54	587.90 Hz	D5	2-0-2	tan
55	588.57 Hz	D5	1-3-0	tan
56	590.12 Hz	D5	0-2-7	tan
57	592.55 Hz	D5	1-3-1	obl
58	596.84 Hz	D5	2-1-0	tan
59	600.77 Hz	D5	2-1-1	obl
60	604.35 Hz	D5	1-3-2	obl
61	607.26 Hz	D#5	1-2-6	obl
62	607.58 Hz	D#5	2-0-3	tan
63	612.40 Hz	D#5	2-1-2	obl
64	617.40 Hz	D#5	0-0-9	ax
65	618.35 Hz	D#5	0-3-5	tan
66	618.77 Hz	D#5	1-0-8	tan
66	618.77 Hz	D#5	1-0-8	tan
67	623.51 Hz	D#5	1-3-3	obl
68	631.32 Hz	D#5	2-1-3	obl
69	634.11 Hz	D#5	2-0-4	tan
70	640.78 Hz	E5	0-1-9	tan
71	642.10 Hz	E5	1-1-8	obl
72	647.17 Hz	E5	0-2-8	tan
73	649.39 Hz	E5	1-3-4	obl
74	655.70 Hz	E5	1-2-7	obl
75	656.89 Hz	E5	2-1-4	obl
76	658.88 Hz	E5	0-3-6	tan
77	666.67 Hz	E5	2-0-5	tan
78	666.67 Hz	E5	2-2-0	tan
79	670.19 Hz	E5	2-2-1	obl
80	680.36 Hz	F5	1-0-9	tan
81	680.64 Hz	F5	2-2-2	obl
82	681.22 Hz	F5	1-3-5	obl
83	686.00 Hz	F5	0-0-10	ax
84	686.00 Hz	F5	0-4-0	ax
85	688.38 Hz	F5	2-1-5	obl
86	689.42 Hz	F5	0-4-1	tan
87	697.71 Hz	F5	2-2-3	obl
88	699.59 Hz	F5	0-4-2	tan
89	701.64 Hz	F5	1-1-9	obl
90	703.78 Hz	F5	0-3-7	tan
91	704.43 Hz	F5	2-0-6	tan
92	706.28 Hz	F5	0-2-9	tan
93	707.11 Hz	F5	0-1-10	tan
94	707.48 Hz	F5	1-2-8	obl
95	716.21 Hz	F5	0-4-3	tan
96	718.21 Hz	F5	1-3-6	obl
97	720.93 Hz	F#5	2-2-4	obl
98	725.00 Hz	F#5	2-1-6	obl

Calcoli

Ambienti molto piccoli

- Dim. bagno: 200 x 150 x H 250 cm
- Schroeder Frequency: 335 Hz
- Critical Distance: 34 cm

1	68.60 Hz	C#2	0-0-1	ax
2	85.75 Hz	F2	1-0-0	ax
3	109.81 Hz	A2	1-0-1	tan
4	114.33 Hz	A#2	0-1-0	ax
5	133.33 Hz	C3	0-1-1	tan
6	137.20 Hz	C#3	0-0-2	ax
7	142.92 Hz	D3	1-1-0	tan
8	158.53 Hz	D#3	1-1-1	obl
9	161.79 Hz	E3	1-0-2	tan
10	171.50 Hz	F3	2-0-0	ax
11	178.59 Hz	F3	0-1-2	tan
12	184.71 Hz	F#3	2-0-1	tan
13	198.11 Hz	G3	1-1-2	obl
14	205.80 Hz	G#3	0-0-3	ax
15	206.12 Hz	G#3	2-1-0	tan
16	217.23 Hz	A3	2-1-1	obl
17	219.63 Hz	A3	2-0-2	tan
18	222.95 Hz	A3	1-0-3	tan
19	228.67 Hz	A#3	0-2-0	ax
20	235.43 Hz	A#3	0-1-3	tan
21	238.74 Hz	A#3	0-2-1	tan
22	244.22 Hz	B3	1-2-0	tan
23	247.60 Hz	B3	2-1-2	obl
24	250.56 Hz	B3	1-1-3	obl
25	253.67 Hz	B3	1-2-1	obl
26	257.25 Hz	C4	3-0-0	ax
27	266.24 Hz	C4	3-0-1	tan
28	266.67 Hz	C4	0-2-2	tan
29	267.89 Hz	C4	2-0-3	tan
30	274.40 Hz	C#4	0-0-4	ax
31	280.12 Hz	C#4	1-2-2	obl
32	281.51 Hz	C#4	3-1-0	tan
33	285.83 Hz	D4	2-2-0	tan
34	287.49 Hz	D4	1-0-4	tan
35	289.75 Hz	D4	3-1-1	obl
36	291.27 Hz	D4	2-1-3	obl
37	291.55 Hz	D4	3-0-2	tan
38	293.95 Hz	D4	2-2-1	obl
39	297.27 Hz	D4	0-1-4	tan
40	307.64 Hz	D#4	0-2-3	tan
41	309.39 Hz	D#4	1-1-4	obl
42	313.17 Hz	D#4	3-1-2	obl
43	317.06 Hz	D#4	2-2-2	obl
44	319.37 Hz	D#4	1-2-3	obl
45	323.59 Hz	E4	2-0-4	tan
46	329.44 Hz	E4	3-0-3	tan
47	343.00 Hz	F4	0-0-5	ax
48	343.00 Hz	F4	0-3-0	ax
49	343.00 Hz	F4	4-0-0	ax
50	343.19 Hz	F4	2-1-4	obl
51	344.19 Hz	F4	3-2-0	tan
52	348.72 Hz	F4	3-1-3	obl
53	349.79 Hz	F4	0-3-1	tan
54	349.79 Hz	F4	4-0-1	tan
55	350.96 Hz	F4	3-2-1	obl
56	352.21 Hz	F4	2-2-3	obl
57	353.56 Hz	F4	1-0-5	tan
58	353.56 Hz	F4	1-3-0	tan
59	357.19 Hz	F4	0-2-4	tan
60	360.15 Hz	F#4	1-3-1	obl
61	361.55 Hz	F#4	0-1-5	tan
62	361.55 Hz	F#4	4-1-0	tan
63	367.34 Hz	F#4	1-2-4	obl
64	368.00 Hz	F#4	4-1-1	obl
65	369.42 Hz	F#4	0-3-2	tan
66	369.42 Hz	F#4	4-0-2	tan

Caratteristiche tipiche di un bagno

- Superfici con α molto basso ovunque [marmo, ceramica, cartongesso, vetro, metallo]
- Superfici molto regolari/piatte (no diffusion)





Conclusioni

- Modi fino a 7-800 Hz
- Prime riflessioni (numero elevato e SPL elevata)
- α molto basso (r molto alto)
- Poca diffusione

- Sono tutti potenzialmente difetti dal punto di vista acustico, ma in questo caso è bellissimo… ovvero: non esiste l'acustica perfetta

Altri ambienti:
La tromba delle scale





Altri ambienti:
ristorante + bar + mensa

Anche e soprattutto un luogo di ritrovo:
si mangia, si chiacchiera, si ascolta

Evoluzione:
bar come luogo di lavoro:
si parla, si discute, si lavora
(concentrazione, silenzio o comunque un “rumore” di qualità…)

Annotazione:
che cos’è un quiet place?

Problematiche

Problematiche

- **RT alto**
- **SPL alto**
- **STI basso**
- **prime riflessioni: molte e con livello tendenzialmente alto**

Motivazioni

- **approccio architettonico (minimal, materiali riflettenti, poche irregolarità delle superfici, etc.)**
- **chi progetta spazi pensa alla luce (light design) ma quasi mai al comfort acustico (acoustic design)**

Parametri

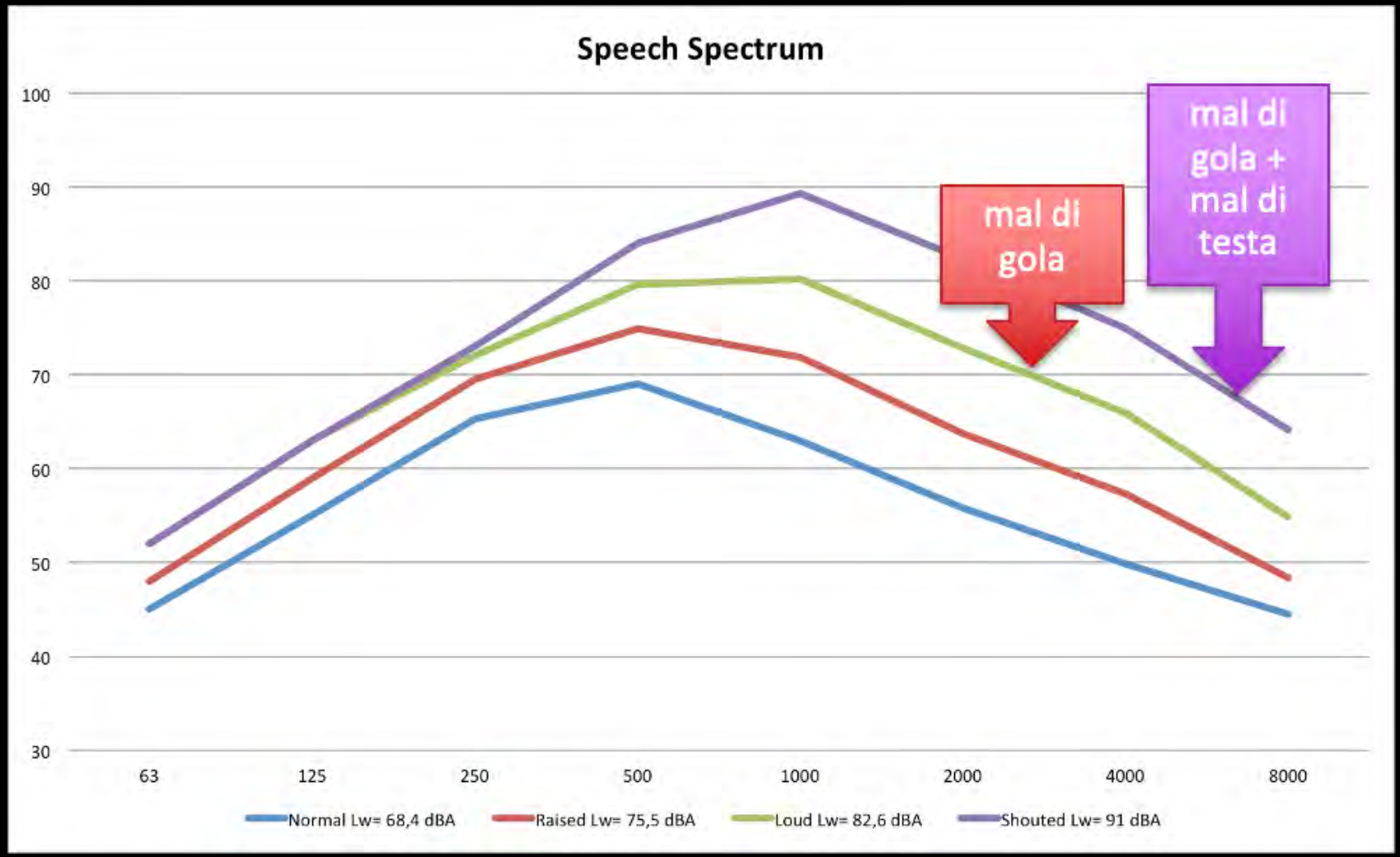
> Livello ambientale LN,A
Livello equivalente di pressione sonora, misurato su tutta la superficie utile

> Vocal effort
caratterizzazione del livello sonoro emesso da una persona;
3 livelli: normal, raised, loud, shouted.

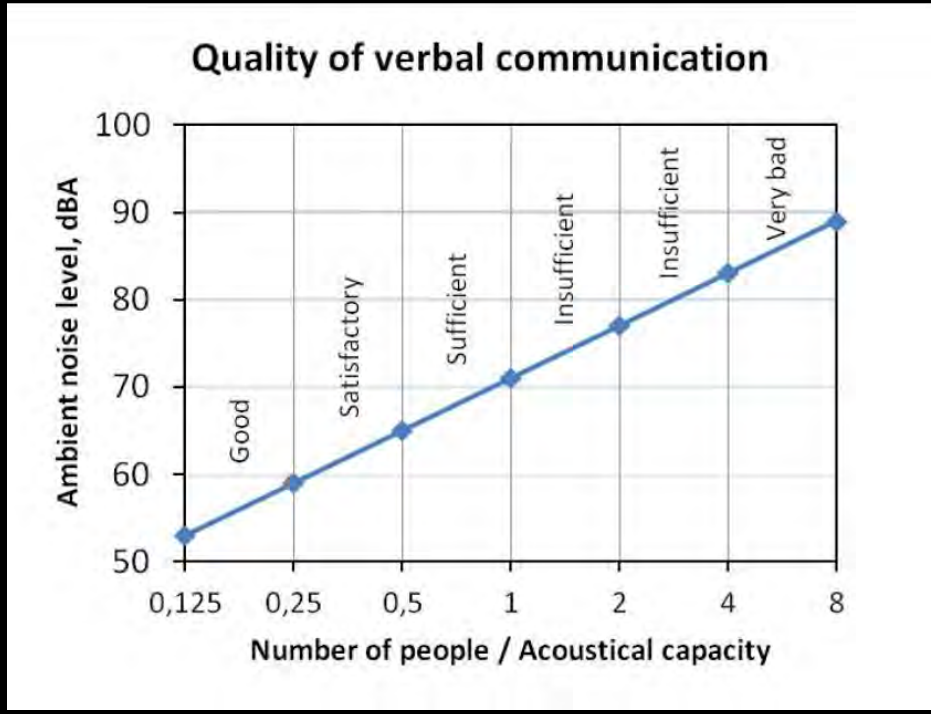
> Speech spectrum
spettro della potenza sonora (in bande d'ottava) di una persona;
varia a seconda del "vocal effort"

> Effetto Lombard
tendenza involontaria di chi parla ad aumentare l'intensità della loro voce in presenza di un rumore di fondo che interferisce con la comprensione della voce umana.
L'incremento dipende dal livello di rumore di fondo. Si assume che la potenza sonora del parlato aumenti di 0,5 dB per un aumento del livello di rumore di fondo di 1 dB (per **LN,A** > 45 dB).

> Group size [g]
rapporto tra il numero totale di persone e il numero di persone che parlano simultaneamente.
g tipico = 3.5 (nel caso di ristoranti)

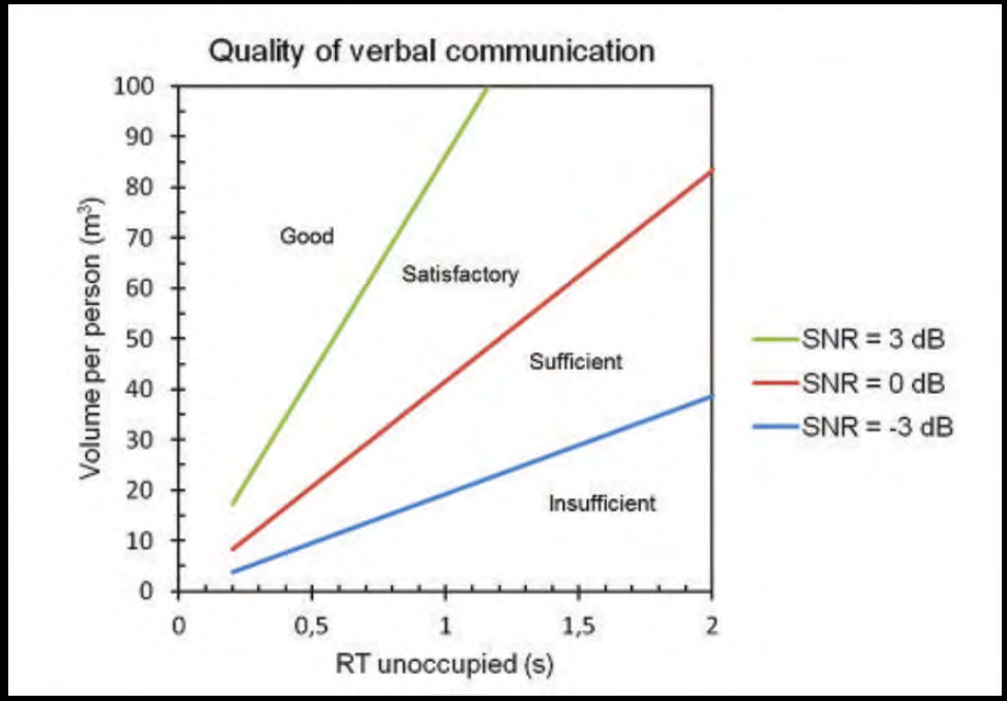

Speech Spectrum
100
90
80
70
60
50
40
30
63
125
250
500
1000
2000
4000
8000
mal di gola
mal di gola + mal di testa
Normal Lw= 68,4 dBA
Raised Lw= 75,5 dBA
Loud Lw= 82,6 dBA
Shouted Lw= 91 dBA

Ambient Noise Level



acoustical capacity
numero di persone all'interno del locale che creano un livello di 71 dB o una qualità di comunicazione verbale a metà tra "sufficiente" e "insufficiente"

RT vs SNR vs Vol.



SNR = [direct sound of one person speaking at 1 m] – [ambient noise]

Soluzioni possibili

ante-operam:
• progetto integrato
• utilizzo di superfici fonoassorbenti (e igienicamente adeguate) in posizioni strategiche
• layout funzionale anche agli aspetti acustici (identificazione delle sorgenti di rumore e controllo relativo)

post-operam:
• aggiunta/sostituzione di materiali
• isolamento di sorgenti di rumore con SPL alto (zona lavaggio piatti, …)

• parlare a bassa voce
• musica di sottofondo

Conseguenze
di una corretta progettazione

- minore RT
- minore SPL
- maggiore STI

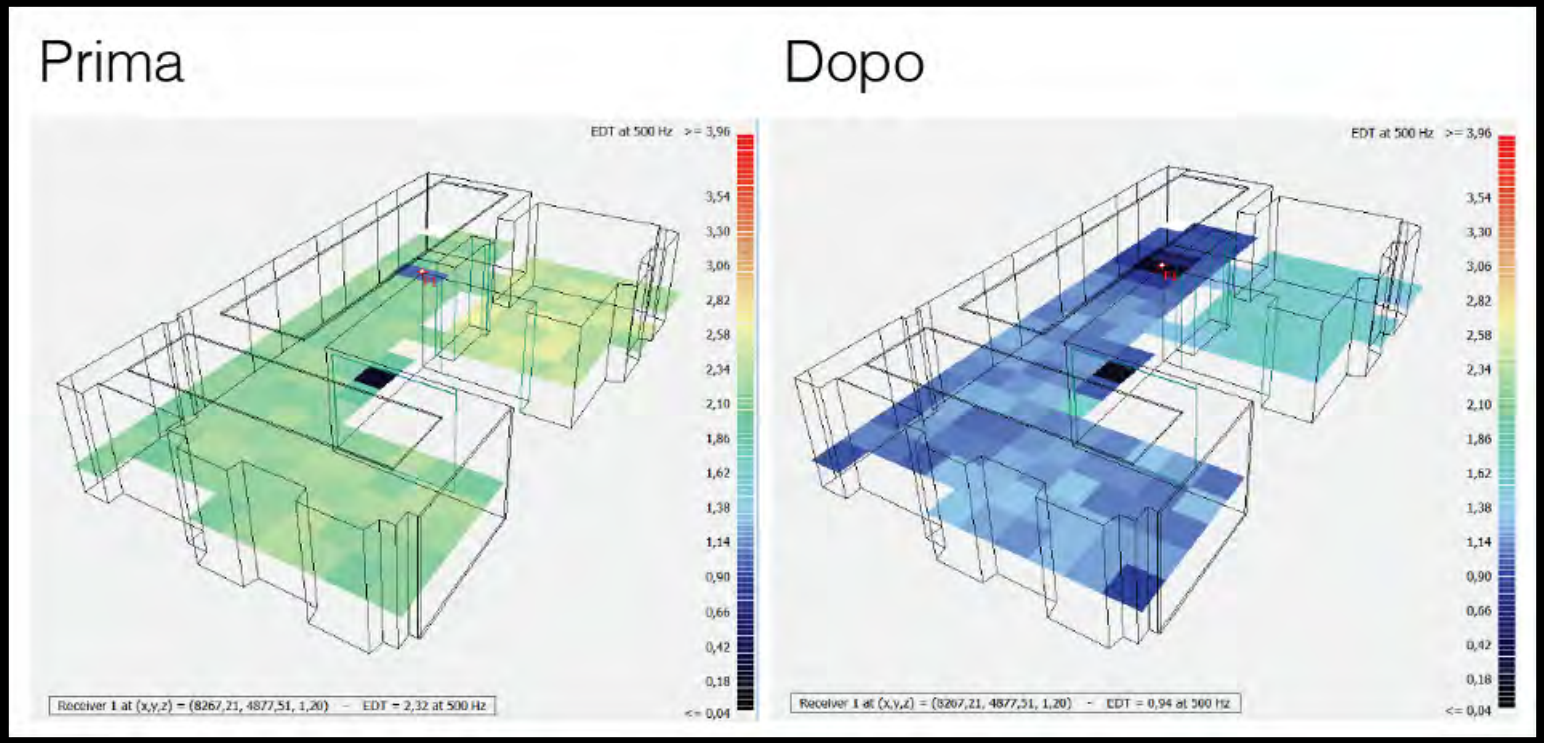
BUT
- minore privacy: sento che cosa dice il vicino

Casi Studio

Bar Otto - Milano

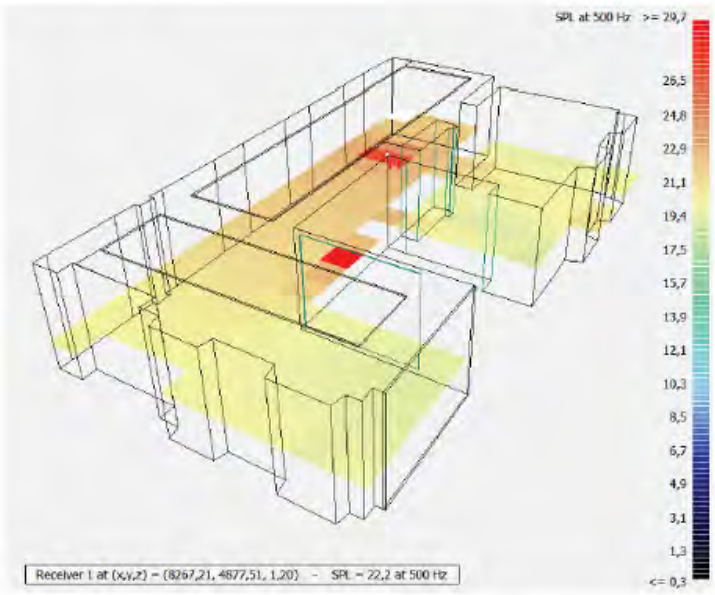


RT

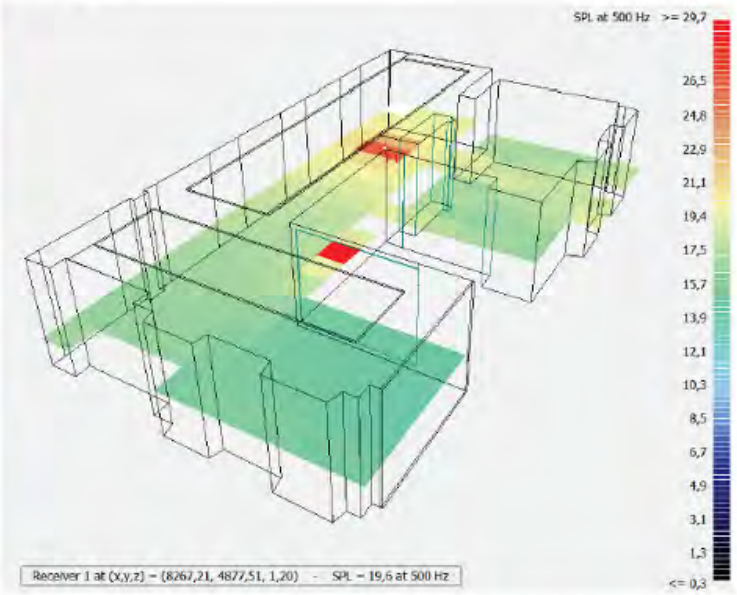

Prima
EDT at 500 Hz >= 3,96
3,54
3,30
3,06
2,82
2,58
2,34
2,10
1,86
1,62
1,38
1,14
0,90
0,66
0,42
0,18
<= 0,04
Receiver 1 at (x,y,z) = (8267,21, 4877,51, 1,20) - EDT = 2,32 at 500 Hz
Dopo
EDT at 500 Hz >= 3,96
3,54
3,30
3,06
2,82
2,58
2,34
2,10
1,86
1,62
1,38
1,14
0,90
0,66
0,42
0,18
<= 0,04
Receiver 1 at (x,y,z) = (8267,21, 4877,51, 1,20) - EDT = 0,94 at 500 Hz

SPL

Prima

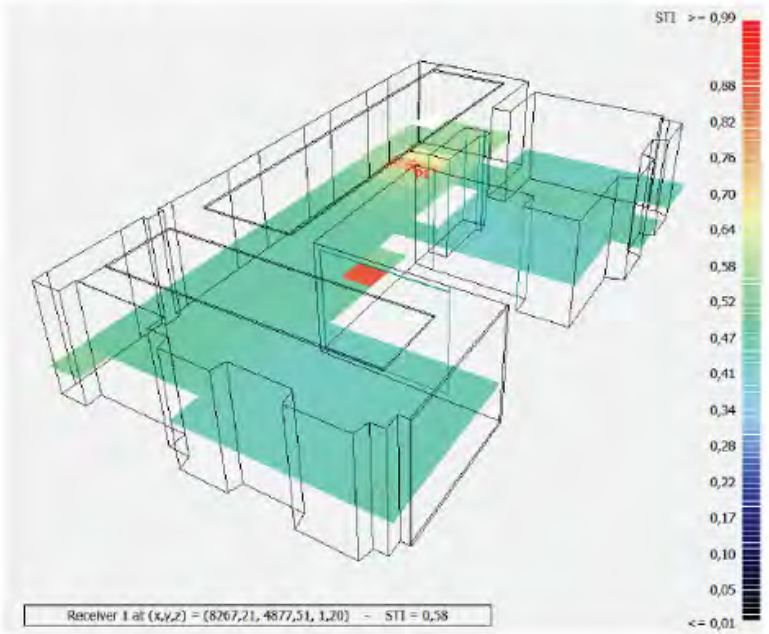


Dopo

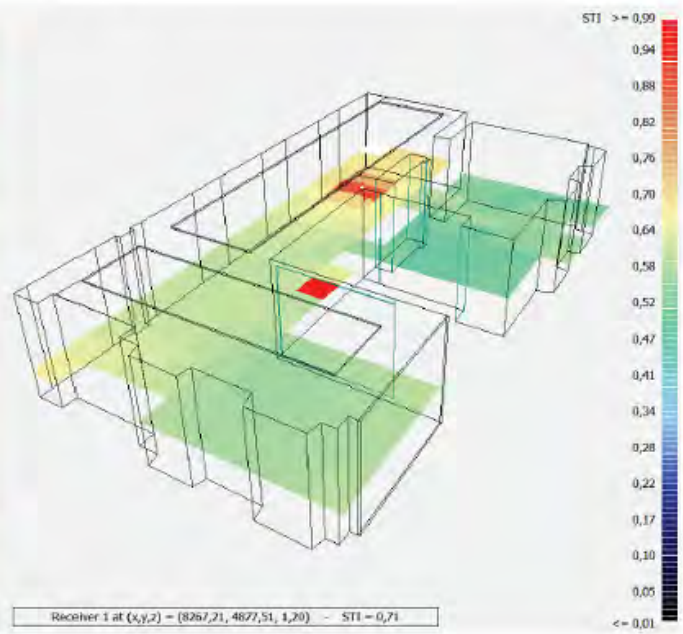


STI

Prima



Dopo



grazie/danke/merci

For your next acoustic bathroom:

dario.paini@flume.studio
www.flume.studio