



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

**Appunti universitari**

**Tesi di laurea**

**Cartoleria e cancelleria**

**Stampa file e fotocopie**

**Print on demand**

**Rilegature**

NUMERO: 1682A -

ANNO: 2015

# A P P U N T I

STUDENTE: Faraci

MATERIA: Esercitazioni progettuali Fisica Tecnica '15.  
Prof. Corrado

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

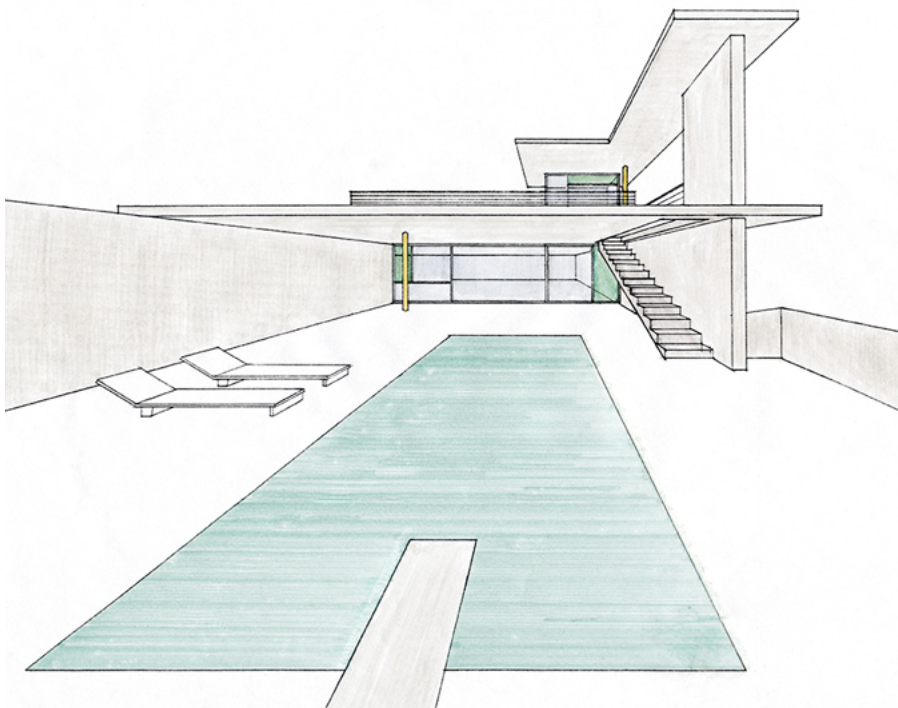
Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.  
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**



## **Corso di Fisica Tecnica**

**professore: Vincenzo Corrado**



# **ESERCITAZIONI PROGETTUALI**

**studente: FARACI ALESSIO**

**matricola: 195203**

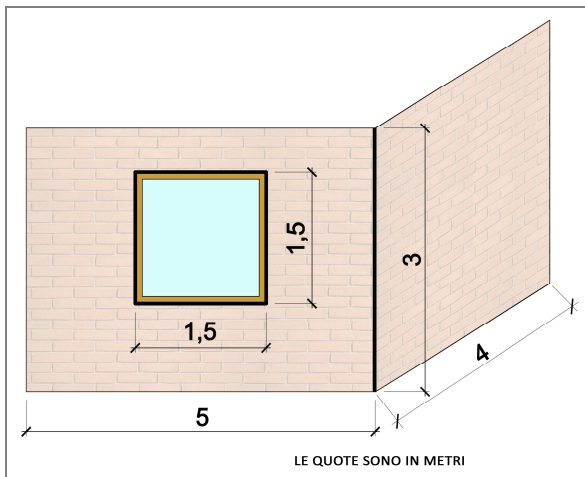
Studente: Alessio Faraci      Matricola: 195203

## ESERCITAZIONE 1 PSICOMETRIA

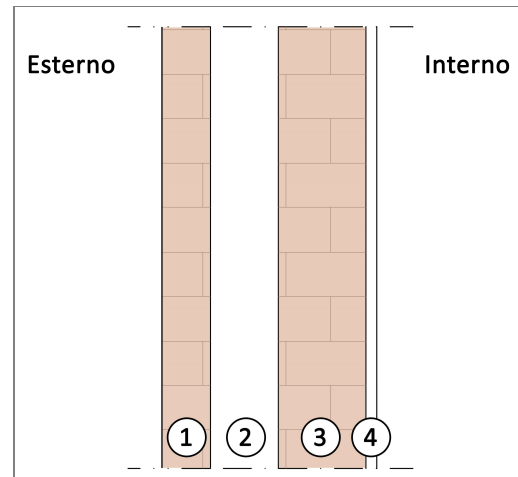
Un ambiente è riscaldato ad una temperatura interna,  $t_i$ , pari a 20 °C e presenta due pareti disperdenti che confinano con l'esterno.

Le pareti sono rappresentate in *Figura 1*, dove sono indicate le dimensioni complessive, le dimensioni del serramento (che corrispondono al "foro" nel componente opaco) e i ponti termici, costituiti rispettivamente dal nodo componente opaco-serramento e dallo spigolo formato dalle due pareti (lo sviluppo dei ponti termici è indicato con una linea nera spessa). Il serramento è a unico battente, avente spessore del telaio pari a 8 cm su tutti e quattro i lati.

La stratigrafia del componente opaco delle pareti è rappresentata in *Figura 2*. In *Tabella 1* sono indicate le proprietà termofisiche dei materiali costituenti il componente opaco. Il coefficiente di assorbimento solare ( $\alpha_s$ ) della superficie esterna opaca vale 0,6.



*Figura 1*



*Figura 2*

**Tabella 1**

Numero dello strato (dall'esterno all'interno)	Materiale	Spessore $s$ [cm]	Conduttività termica $\lambda$ [W/(m°C)]	Resistenza termica $R$ [m <sup>2</sup> °C/W]	Permeabilità al vapore $\delta$ [kg/(m s Pa)]	Resistenza al vapore $R_v$ [m <sup>2</sup> sPa/kg]
1	Laterizio	6	0,90	-	$20 \cdot 10^{-12}$	-
2	Intercapedine d'aria	8	-	0,18	-	$5 \cdot 10^7$
3	Laterizio	12	0,90	-	$20 \cdot 10^{-12}$	-
4	Intonaco	2	1,40	-	$8 \cdot 10^{-12}$	-

Il serramento è costituito da:

- vetro-camera, composto da due lastre vetrate ( $\lambda_g = 1$  W/(m°C)) di 4 mm di spessore ciascuna con interposta intercapedine d'aria ( $R_s = 0,25$  m<sup>2</sup>°C/W), e caratterizzato da una trasmittanza di energia solare totale,  $g$  o  $TSET$ , pari a 0,67;
- telaio, avente trasmittanza termica,  $U_t$ , pari a 2,2 W/(m<sup>2</sup>°C);
- distanziatore di vetrate, avente trasmittanza termica lineare,  $\psi_g$ , pari a 0,08 W/(m°C).

La trasmittanza termica lineare dei ponti termici vale:

- $\psi_{PT,1} = 0,4$  W/(m°C) per il ponte termico costituito dal nodo componente opaco-serramento;
- $\psi_{PT,2} = -0,1$  W/(m°C) per il ponte termico costituito dallo spigolo formato dalle due pareti.

**SVOLGIMENTO:**

a) TRASMITTANZA TERMICA COMPONENTE OPACO

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{s_j}{\lambda_j} + \sum R_j + \frac{1}{h_e}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{7.7} + \frac{0.006}{0.9} + \frac{0.12}{0.9} + \frac{0.02}{1.40} + 0.18 + \frac{1}{25}}$$

$$U = \frac{1}{0.564} = 1.77 \quad \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

b) CONDUTTANZA TERMICA COMPONENTE OPACO

$$\Lambda = \frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{\sum \frac{s_j}{\lambda_j} + \sum R_{int}}$$

$$\Lambda = \frac{1}{\frac{0,06}{0,9} + \frac{0,12}{0,9} + \frac{0,02}{1,40} + 0,18} = \frac{1}{0,394} = 2,54 \quad \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

c) TRASMITTANZA TERMICA SERRAMENTO

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_g + I_g \psi_g}{A_g + A_f}$$

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_g + I_g \psi_g}{A_g + A_f}$$

$$A_g = (1,5 - 0,08)^2 = 2,02 \quad m^2$$

$$A_f = (1,5)^2 - A_g = (2,25 - 2,02) = 0,23 \quad m^2$$

$$I_g = 4 \cdot (1,5 - 0,08) = 5,68 \quad m$$

e) TRASMITTANZA TERMICA COMPONENTE OPACO ISOLATO

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{s_j}{\lambda_j} + \sum R_j + \frac{1}{h_e}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{7.7} + \frac{0.006}{0.9} + \frac{0.12}{0.9} + \frac{0.02}{1.40} + \frac{0.08}{0.047} + \frac{1}{25}}$$

$$U = \frac{1}{2.084} = 0,48 \quad \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

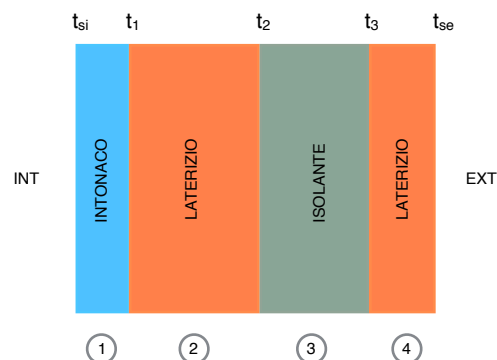
f) PERMEANZA AL VAPORE COMPONENTE OPACO ISOLATO

$$M = \frac{1}{R_v} = \frac{1}{\sum \frac{s_j}{\partial_j}}$$

$$M = \frac{1}{\frac{0,06}{20 \cdot 10^{-12}} + \frac{0,08}{6 \cdot 10^{-12}} + \frac{0,12}{20 \cdot 10^{-12}} + \frac{0,02}{8 \cdot 10^{-12}}} = 0,41 \cdot 10^{-10} \quad \frac{kg}{m^2 s Pa}$$

g) FORMAZIONE CONDENSA INTERSTIZIALE COMPONENTE OPACO ISOLATO

condizione in tutti i punti: se  $p_v < p_{vs}$  => assenza di condensa interstiziale



$$p_{v,j} = p_{v,i} - M_{tot}(p_{v,i} - p_{v,e}) \cdot \sum R_{v,j}$$

$$p_{v,i} - p_{v,e} = 1302,84 \text{ Pa}$$

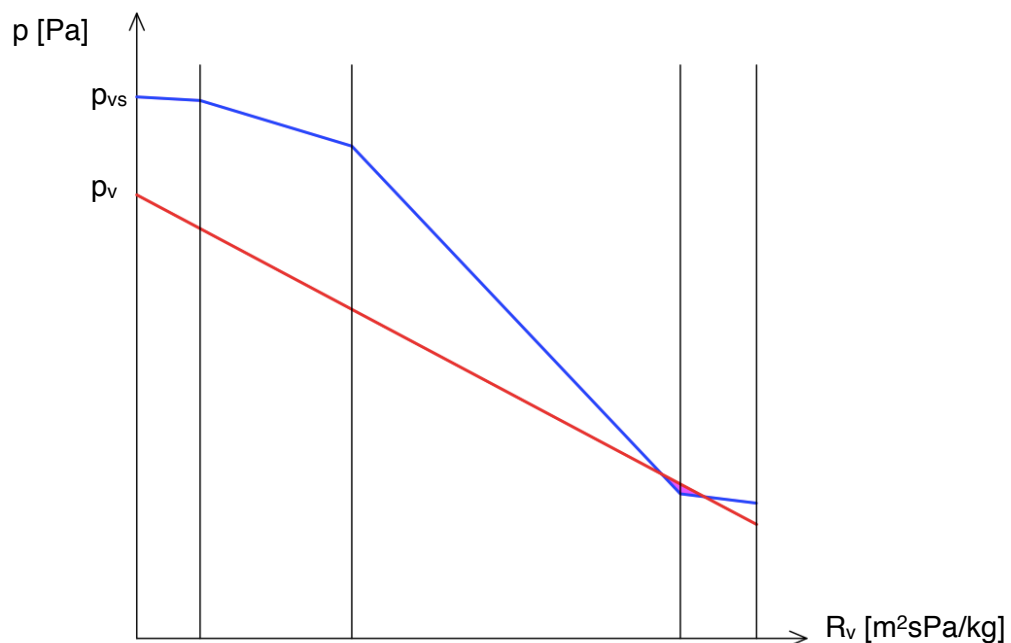
$$p_{v,1} = 1753,5 - \left( 0,41 \cdot 10^{-10} \cdot 1302,84 \cdot \frac{0,02}{8 \cdot 10^{-12}} \right) = 1620,6 \text{ Pa}$$

$$p_{v,2} = 1753,5 - \left( 0,41 \cdot 10^{-10} \cdot 1302,84 \cdot \left[ \frac{0,02}{8 \cdot 10^{-12}} + \frac{0,12}{20 \cdot 10^{-12}} \right] \right) = 1301,7 \text{ Pa}$$

$$p_{v,3} = 1753,5 - \left( 0,41 \cdot 10^{-10} \cdot 1302,84 \cdot \left[ \frac{0,02}{8 \cdot 10^{-12}} + \frac{0,12}{20 \cdot 10^{-12}} + \frac{0,08}{6 \cdot 10^{-12}} \right] \right) = 610,6 \text{ Pa}$$

$p_{v,i}$	<	$p_{vs,i}$	Non avviene condensa
$p_{v,1}$	<	$p_{vs,1}$	Non avviene condensa
$p_{v,2}$	<	$p_{vs,2}$	Non avviene condensa
$p_{v,3}$	>	$p_{vs,3}$	<b>CONDENSAZIONE</b>
$p_{v,e}$	<	$p_{vs,e}$	Non avviene condensa

#### i) PROFILI DI PRESSIONE DI VAPORE E DI SATURAZIONE - METODO DI GLASER



I) ENERGIA SCAMBIATA ATTRAVERSO L'INVOLUCRO CON L'AMBIENTE ESTERNO A DICEMBRE (componente opaco isolato + serramento + ponti termici) IN PRESENZA DI RADIAZIONE SOLARE, IPOTIZZANDO CHE IL VALORE MEDIO DELL'IRRADIANZA SOLARE SULL'INVOLUCRO SIA DI  $I_s=110 \text{ W/m}^2$

$$\phi_{tot} = \phi_{op} + \phi_w + \phi_s$$

$$t_{sa} = t_e - \frac{\alpha_s \cdot I_s}{h_e} = -2 - \frac{0,6 \cdot 110}{25} = 0,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\phi_{tot} = (U_{op} \cdot A_{op} + \psi_{PT2} \cdot l_2)(t_{sa} - t_i) + (U_w \cdot A_w + \psi_{PT1} \cdot l_1)(t_{sa} - t_i) + (I_s \cdot A \cdot TSET)$$

$$\phi_{tot} = (0,48 \cdot 24,75 - 0,1 \cdot 3)(-19,4) + (2,55 \cdot 2,25 + 0,4 \cdot 6)(-19,4) + (110 \cdot 2,25 \cdot 0,67) = -216,7 \text{ W}$$

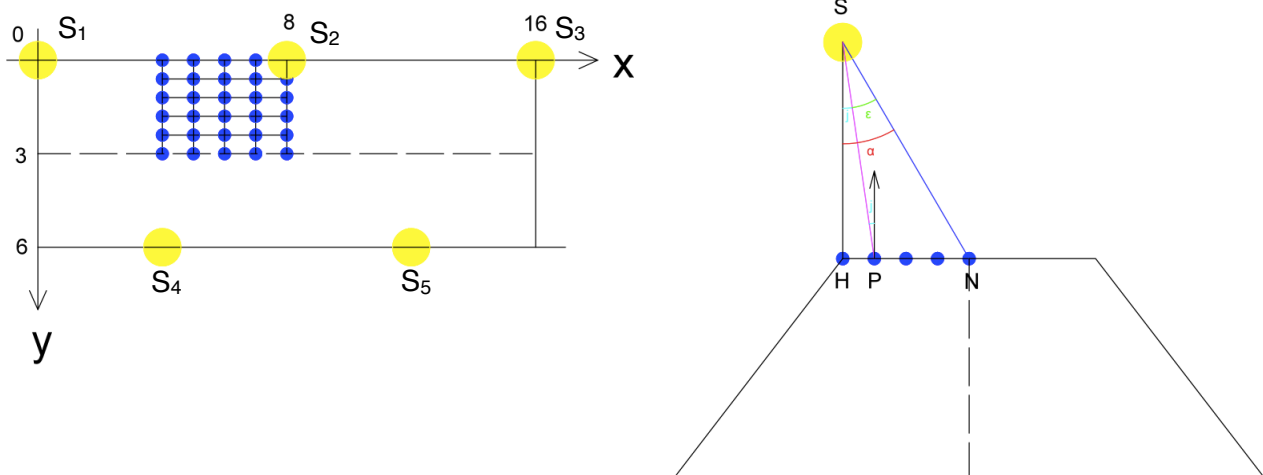
*valore del flusso negativo => flusso uscente*

**ENERGIA SCAMBIATA = 216,7 W**



## SVOLGIMENTO:

a) ILLUMINAMENTO SULLA SUPERFICIE DELLA STRADA ALL'INTERNO DEL RETTANGOLO



$$N = 1 \quad C = 6$$

$$N+C = 7$$

$$I_0 = 1300 + (7) \cdot 4 = 1328 \text{ [cd]}$$

**calcolo per la sorgente  $S_2(8,0)$  per il punto  $P(8,3)$**

$$\overline{SH} = 6,5 \text{ m}$$

$$\overline{SH} = \overline{SP} \cdot \cos j$$

$$\overline{SP} = \sqrt{(x_p - x_s)^2 + (y_p - y_s)^2 + (z_p - z_s)^2} = \sqrt{(8-8)^2 + (3-0)^2 + (0-6,5)^2} = 7.15\text{m}$$

$$\cos j = \frac{\overline{SH}}{\overline{SP}} = 0.9$$

$$j = \arccos\left(\frac{\overline{SH}}{\overline{SP}}\right) = 25.8$$

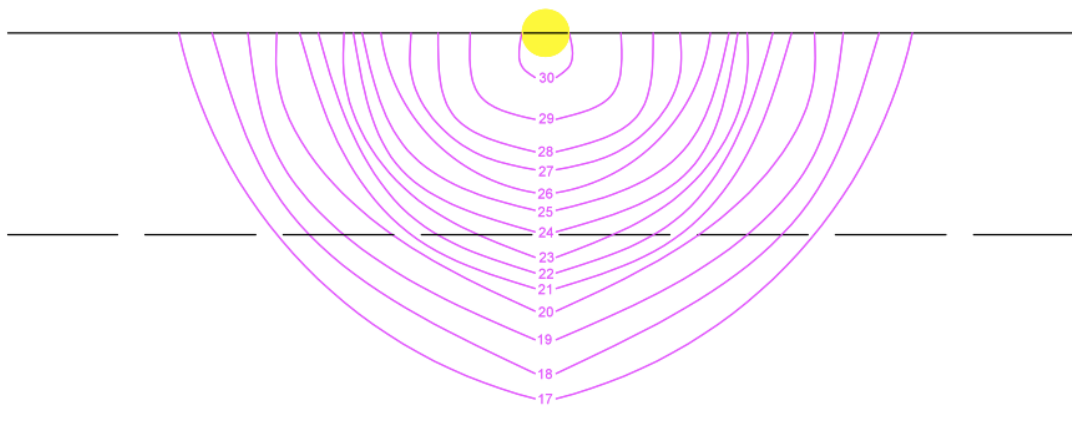
<b>SORGENTE 3</b>	<b>x = 4</b>	<b>x = 5</b>	<b>x = 6</b>	<b>x = 7</b>	<b>x = 8</b>
y = 0	3,39	4,13	5,08	6,3	7,87
y = 0,6	3,38	4,12	5,06	6,28	7,83
y = 1,2	3,35	4,08	5,01	6,19	7,72
y = 1,8	3,3	4,01	4,91	6,06	7,53
y = 2,4	3,24	3,92	4,79	5,89	7,28
y = 3	3,16	3,81	4,64	5,67	6,97

<b>SORGENTE 4</b>	<b>x = 4</b>	<b>x = 5</b>	<b>x = 6</b>	<b>x = 7</b>	<b>x = 8</b>
y = 0	12,16	11,96	11,36	10,46	9,35
y = 0,6	14,06	13,79	13,02	11,87	10,5
y = 1,2	16,19	15,84	14,22	13,41	11,74
y = 1,8	18,53	18,08	16,84	15,06	13,03
y = 2,4	21,01	20,45	17,53	15,62	13,47
y = 3	23,52	22,85	21,01	18,45	15,65

<b>SORGENTE 5</b>	<b>x = 4</b>	<b>x = 5</b>	<b>x = 6</b>	<b>x = 7</b>	<b>x = 8</b>
y = 0	5,08	6	7,04	8,18	9,35
y = 0,6	5,47	6,52	7,73	9,08	10,5
y = 1,2	5,86	7,05	8,45	10,04	11,74
y = 1,8	6,25	7,59	9,18	11,02	13,03
y = 2,4	6,63	8,11	9,43	11,35	13,47
y = 3	6,97	8,59	10,59	12,96	15,65

<b>SORGENTI TOT</b>	<b>x = 4</b>	<b>x = 5</b>	<b>x = 6</b>	<b>x = 7</b>	<b>x = 8</b>
y = 0	59,35	61,11	63,08	64,49	64,42
y = 0,6	61,29	63,1	65,04	66,47	66,8
y = 1,2	62,76	64,6	65,83	67,86	68,34
y = 1,8	63,84	65,67	67,37	68,61	69,06
y = 2,4	64,58	66,35	65,94	67,01	67,4
y = 3	64,95	66,66	67,84	68,52	68,76

• Grafico isolux :



$$\phi_{tot} = \frac{E_m \cdot A}{U \cdot M} = \frac{23,82 \cdot 12}{0,52 \cdot 0,8} = 687,12 \text{ lm}$$

e) COEFFICIENTE DI UTILIZZAZIONE DEL FLUSSO

$$CFU = \frac{\phi_u}{\phi_e} = \frac{E_m \cdot A}{\phi_i \cdot M} = \frac{23,82 \cdot 12}{687,12 \cdot 0,8} = 0,5$$

**VALORI DEL FATTORE DI ASSORBIMENTO PER ALCUNE FINITURE DI USO CORRENTE a [-]**  
(da I. Sharland "L'attenuazione del rumore", Woods Italiana, Milano, 1994)

TIPO DI MATERIALE	Spessore * (mm)	Fattore di assorbimento secondo la frequenza (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
<b>Superfici interne normali</b>							
Muratura in mattoni	----	0.05	0.04	0.02	0.04	0.05	0.05
Calcestruzzo	----	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Lastra di vetro di spessore fino a 4 mm	4	0.35	0.25	0.20	0.10	0.05	0.05
Lastra di vetro spessore 6 mm	6	0.15	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
Marmo o piastrelle vetrificate	----	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Intonaco su muro pieno	12	0.04	0.05	0.06	0.08	0.04	0.06
<b>Rivestimenti di pareti e soffitti</b>							
Intonaco acustico	12	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35
	25	0.10	0.35	0.60	0.70	0.75	0.80
Materassini di lana di vetro o di roccia (valori tipici per materiali di media densità)	50	0.20	0.45	0.65	0.75	0.80	0.80
	100	0.45	0.75	0.80	0.85	0.85	0.90
	150	0.55	0.90	0.90	0.85	0.90	0.95
Schiuma di poliuretano espanso (a cellule aperte)	25	0.15	0.30	0.60	0.75	0.85	0.90
	50	0.25	0.50	0.85	0.95	0.90	0.90
	100	0.50	0.70	0.95	1.00	1.00	1.00
Lastra di gesso di 9 mm di spessore, fissata su listelli di legno con interasse di 0.5 m; intercapedine d'aria di 18 mm riempita con lana di vetro	27	0.30	0.20	0.15	0.05	0.05	0.05
Legno compensato di 5 mm di spessore, fissato su listelli di legno con interasse di 1 m; intercapedine d'aria di 50 mm riempita con lana di vetro	55	0.40	0.35	0.20	0.15	0.05	0.05
Legno compensato di 12 mm di spessore fissato su listelli con interasse di 1 m; intercapedine d'aria di 59 mm riempita con lana di vetro	71	0.30	0.20	0.15	0.10	0.15	0.10
Pannelli di gesso per rivestimenti murali e contro soffittature con grandi intercapedini d'aria	----	0.20	0.15	0.10	0.05	0.05	0.05
Cartone di fibra su supporto rigido	12	0.05	0.10	0.15	0.25	0.30	0.30
<b>Pavimentazioni</b>							
Battuto di cemento	----	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Moquette a pelo raso, su substrato di feltro	6	0.05	0.05	0.10	0.20	0.45	0.65
Moquette a pelo medio, su substrato di gommapiuma	10	0.05	0.10	0.30	0.50	0.65	0.70
Piastrelle di gomma	6	0.05	0.05	0.10	0.10	0.05	0.05
<b>Pannelli per rivestimenti acustici</b>							
Fissati direttamente a parete o a soffitto, con piccola intercapedine d'aria	12 - 75	0.10	0.25	0.50	0.60	0.60	0.45
Montati come soffitti sospesi	----	0.30	0.40	0.50	0.65	0.75	0.70

\*compresa l'eventuale intercapedine

**VALORI DI ASSORBIMENTO ACUSTICO DI PERSONE E OGGETTI  $A_1$  [m<sup>2</sup>]**  
(da E. Cirillo, "Acustica applicata", 1997)

	Frequenze centrali delle bande di ottava [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Persona adulta	0,23	0,33	0,39	0,43	0,46	0,46
Ragazzo	0,20	0,30	0,35	0,38	0,42	0,42
Bambino	0,17	0,24	0,26	0,29	0,33	0,33
Persona in piedi con abbigliamento pesante	0,17	0,41	0,91	1,30	1,43	1,47
Persona in piedi con abbigliamento leggero	0,12	0,24	0,59	0,98	1,13	1,12
Persona seduta su poltrona imbottita	0,25	0,35	0,40	0,40	0,40	0,40
Musicista seduto con strumento musicale	0,60	0,95	1,06	1,08	1,08	1,08
Sedia in legno	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03
Poltrona da teatro tappezzata in similpelle	0,04	0,13	0,22	0,17	0,16	0,11
Poltrona da teatro imbottita tappezzata in velluto	0,14	0,25	0,30	0,30	0,30	0,30

b) TEMPO DI RIVERBERAZIONE ( $T_{60}$ )

$$T_{60} = 0,16 \cdot ( V / A_{tot} )$$

$$V = (13,3 \cdot 6 \cdot 3,1) \text{ m}^3 = 247,4 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} T_{60,125\text{Hz}} &= 0,16 \cdot ( V / A_{tot,125\text{Hz}} ) \\ &= 0,16 \cdot (247,4 / 33,14) \\ &= 1,19 \text{ sec} \end{aligned}$$

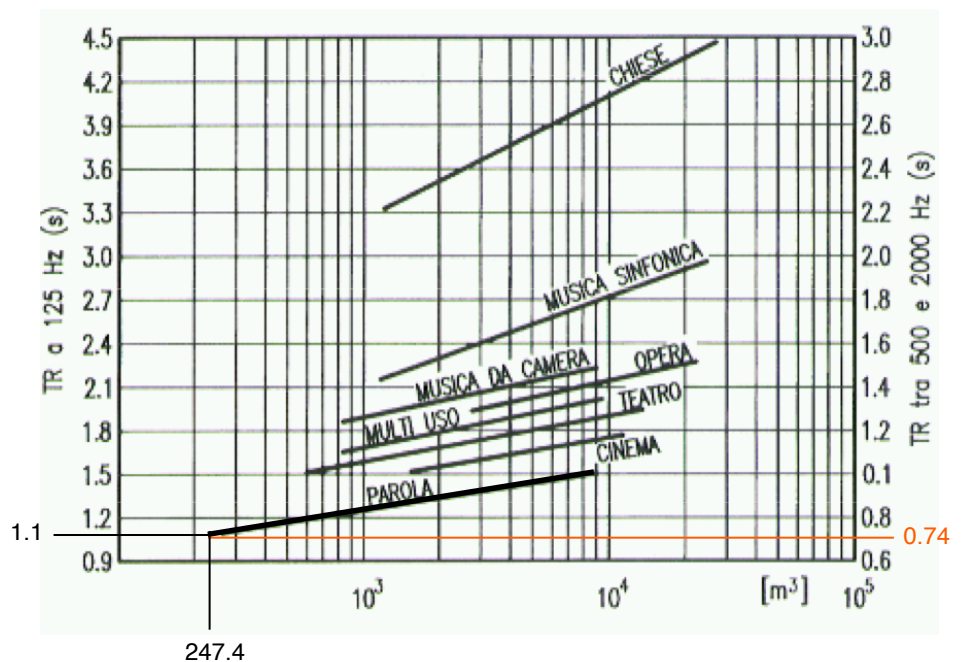
TEMPO DI RIVERBERAZIONE [sec]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
$T_{60}$	1,19	1,29	1,36	1,34	1,41	1,43

c) TEMPO DI RIVERBERAZIONE OTTIMALE ( $T_{60,ottimale}$ ) E CONFRONTO CON  $T_{60}$

$$T_{60,ott(1000\text{Hz})} = k \sqrt[9]{V}$$

destinazione d'uso: linguaggio parlato =>  $k = 0,4$

$$\begin{aligned} T_{60,ott(1000\text{Hz})} &= k \sqrt[9]{V} \\ &= 0,4 \cdot 1,85 \\ &= 0,74 \text{ sec} \end{aligned}$$



graficamente si trovano i valori dei  $T_{60,ott}$  alle altre frequenze

$$A_{tot}^* = 0,04 \cdot 119,66 + 0,10 \cdot 79,80 + 0,05 \cdot 79,80 - 0,05 \cdot S_{pan} + \\ + 0,65 \cdot S_{pan} + 0,29 \cdot 35 + 0,43 \cdot 2 + 0,04 \cdot 40$$

$$A_{tot}^* = 0,16 \cdot \frac{V}{T_{60}} = 0,16 \cdot \frac{247,4}{0,74} = 53,5 \text{ m}^2$$

$$53,5 = 0,04 \cdot 119,66 + 0,10 \cdot 79,80 + 0,05 \cdot 79,80 - 0,05 \cdot S_{pan} + \\ + 0,65 \cdot S_{pan} + 0,29 \cdot 35 + 0,43 \cdot 2 + 0,04 \cdot 40 =$$

$$0,6 \cdot S_{pan} = 53,5 - 0,04 \cdot 119,66 - 0,10 \cdot 79,8 - 0,05 \cdot 79,8 - 0,29 \cdot 35 - 0,43 \cdot 2 - 0,04 \cdot 40$$

$$S_{pan} = \frac{25,57}{0,6} = 42,61 \text{ m}^2$$

e) LIVELLO DI PRESSIONE SONORA ALL'INTERNO DELL'AULA PRIMA E DOPO LA SOSTITUZIONE DEL CONTROSOFFITTO, IPOTIZZANDO CHE VENGA ATTIVATA UNA SORGENTE SONORA DI POTENZA PARI A  $10^{-5}$  W E CHE IL CAMPO SONORO SIA PERFETTAMENTE RIVERBERATO

• prima della sostituzione:

$$L_p \approx L_w - 10 \log A_{tot} + 6$$

$$L_w = 10 \log (W/W_0) \quad \text{con } W_0 = 10^{-12} \text{ W}$$

$$L_w = 10 \log (10^{-5}/10^{-12}) = 70 \text{ dB}$$

$$L_{p,125\text{Hz}} = L_w - 10 \log A_{tot,125\text{Hz}} + 6 \\ = 70 - 10 \log (33,14) + 6 \\ = 60,8 \text{ dB}$$

LIVELLO DI PRESSIONE [db]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
$L_p$	60,8	61,1	61,4	61,3	61,5	61,6