

---

**Convegno Nazionale sulla tutela della  
salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro**

**Quartiere Fieristico di Bologna**

**Giovedì 17 ottobre 2019**

# PROCEDURE DI QUALIFICAZIONE ACUSTICA DI SPAZI INDUSTRIALI SECONDO UNI EN ISO 14257

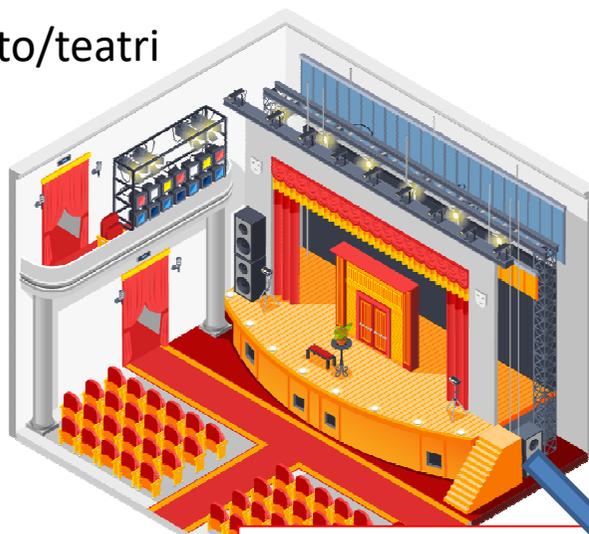
**Elena Rossi, Dario D’Orazio, Massimo Garai, Gioia Cardinali**

Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Bologna

[elena.rossi56@unibo.it](mailto:elena.rossi56@unibo.it)



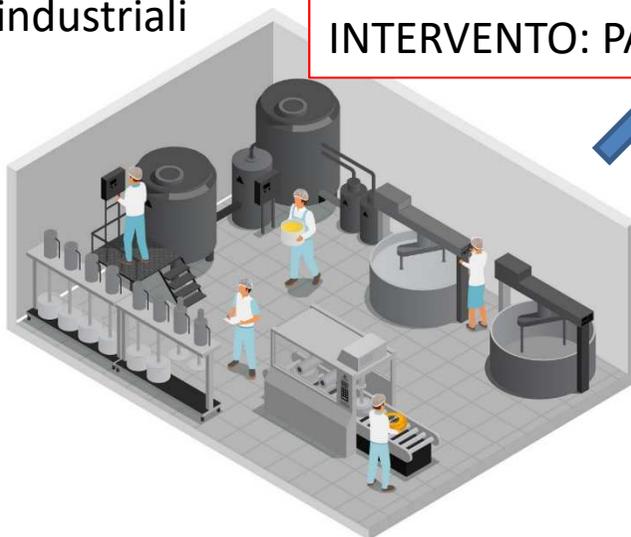
Sale da concerto/teatri



Bar/ristoranti



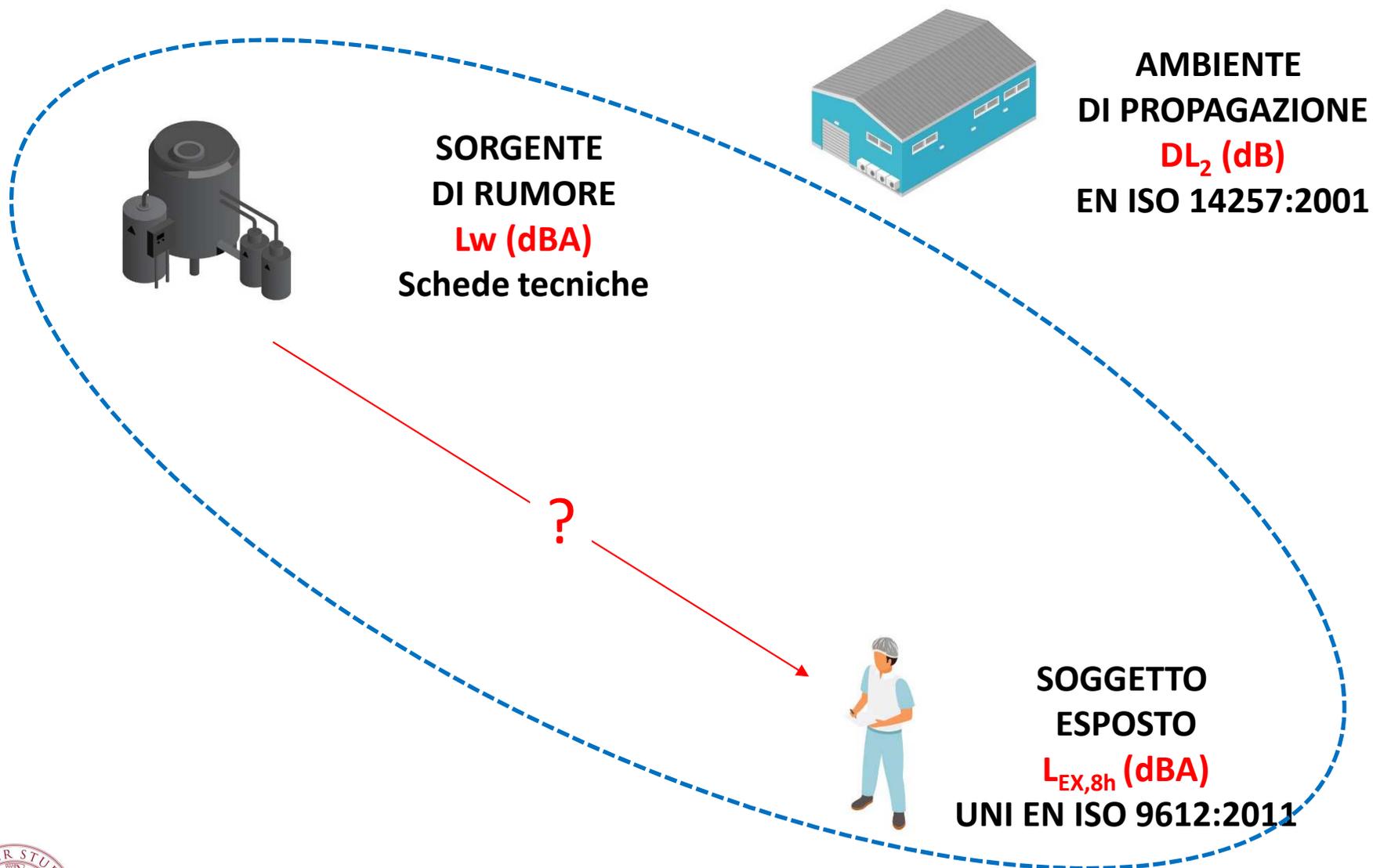
Ambienti industriali



PARAMETRO: TEMPO DI RIVERBERAZIONE  
INTERVENTO: PANNELLI FONDOASSORBENTI

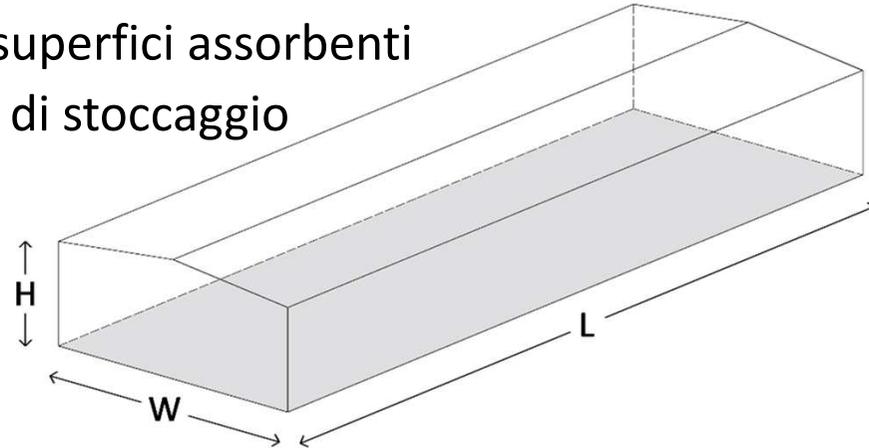
Uffici





Caratteristiche che incidono sulla propagazione del suono:

- Geometria dell'ambiente non regolare:  $L \gg H, W$
- Distribuzione non uniforme delle superfici assorbenti
- Layout dei macchinari e materiale di stoccaggio



Ambiente non Sabiniano



T non è un parametro esauriente in questo tipo di ambienti

~~$$T = 0,16 \frac{V}{A}$$~~



## EN ISO 14257:2001

*Acoustic-Measurement and parametric description of spatial sound distribution curves in workrooms for evaluation of their acoustical performance*

### Curva di decadimento dell'energia sonora dello spazio

$$D_j(r) = L_{pj}(r) - L_{Wj} \quad [\text{dB}]$$

(j = 125 ÷ 4000 Hz)



**$DL_2$**

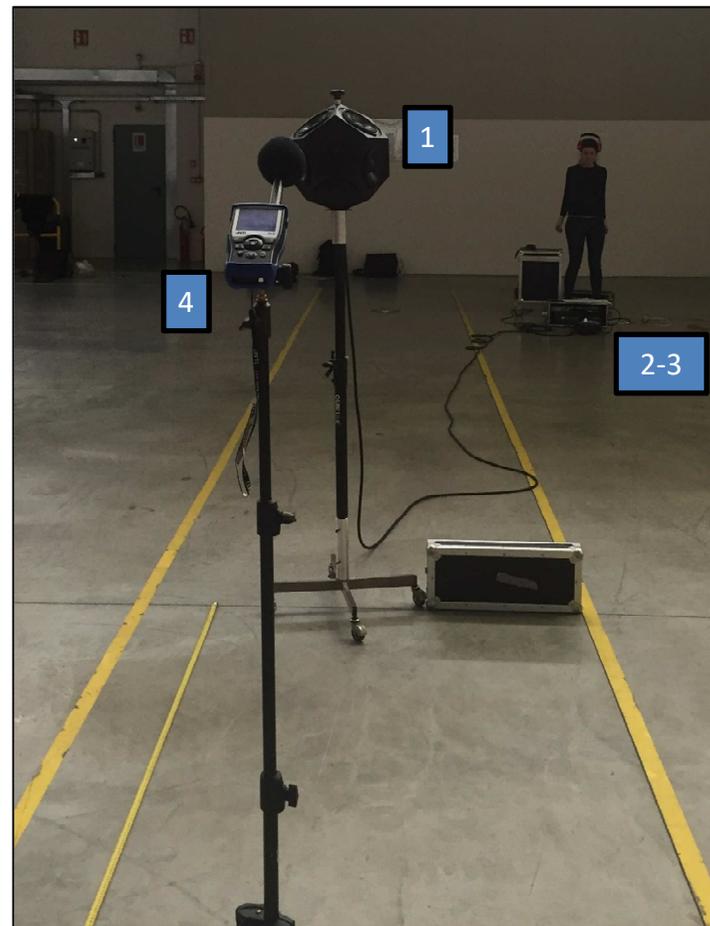
decadimento del livello di pressione  
sonora al raddoppio della distanza,  
in dB



## CATENA DI MISURA

1. Sorgente dodecaedrica omnidirezionale  
(High SPL)\*
2. Amplificatore CROWN 2500 W
3. Generatore di segnale: PINK NOISE
4. Fonometro integratore classe 1
5. Acquisizione in bande d'ottava

\* D'Orazio D, De Cesaris S, Guidorzi P, et al. Room acoustic measurements using a high SPL dodecahedron. In: AES Audio Engineering Society convention, Paris, 4–7 June 2016, paper no. 9507



## LINEA DI MISURA (EN ISO 14257)

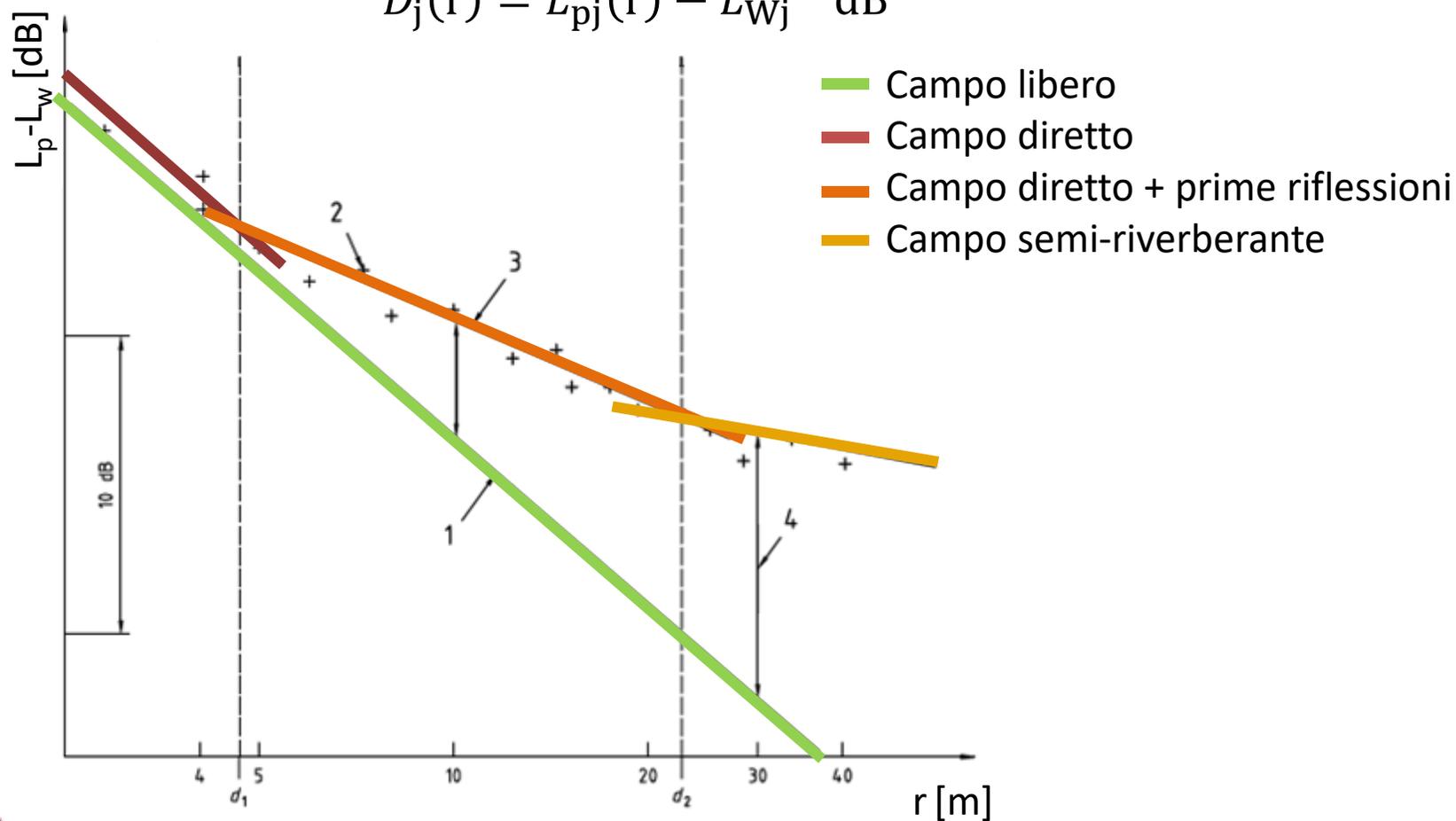
- Altezza della sorgente e del ricevitore: **1,55 m**
- Sorgente e ricevitori sono posizionati lungo una linea priva di ostacoli
- Distanza di almeno 1,50 m da superfici riflettenti
- Punti di misura scelti al raddoppio della distanza dalla sorgente, la ISO suggerisce:
  1. 1 m, 2 m, 3 m, ... , 10 m, 12 m, 14 m, ... , 20 m, 24 m, 28 m, ... , 40 m, 48 m, ...
  2. 2m, 3m, 4m, 6m, 8m, 12m, 16 m, 24m, 32 m, 48m, 64m, ...



## EN ISO 14257:2001

Curva di decadimento dell'energia sonora dello spazio

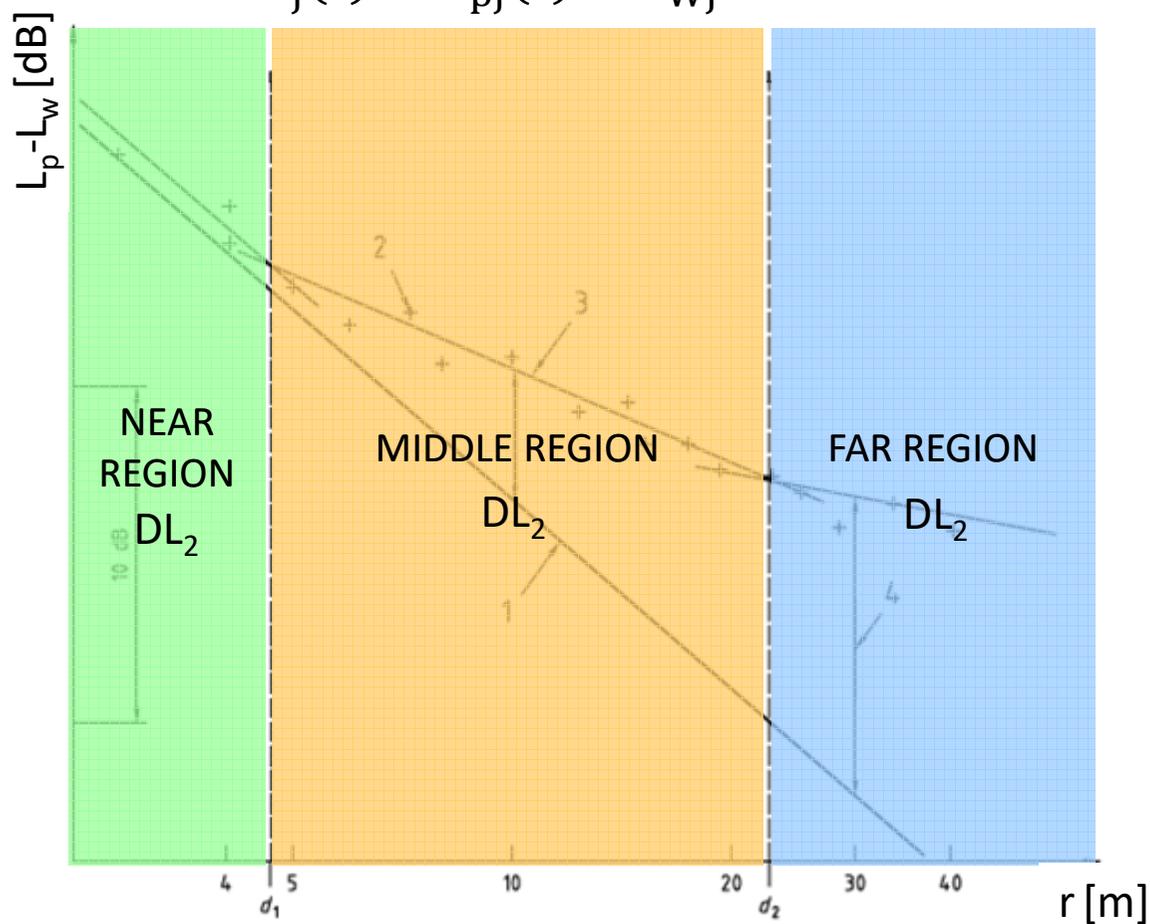
$$D_j(r) = L_{pj}(r) - L_{Wj} \quad \text{dB}$$



## UNI EN ISO 14257:2001

Curva di decadimento dell'energia sonora dello spazio

$$D_j(r) = L_{pj}(r) - L_{Wj} \quad \text{dB}$$



## NEAR REGION

Da 1 m a  $d_1$  (tipicamente  $d_1 = 5$  m)

- Suono diretto della sorgente
- Influenzata dalla posizione della sorgente
- Vicinanza di superfici riflettenti

Secondo EN ISO 11690-3, valori raccomandati:  $DL_2 = 5 \div 6$  dB

Intervento di mitigazione: schermature



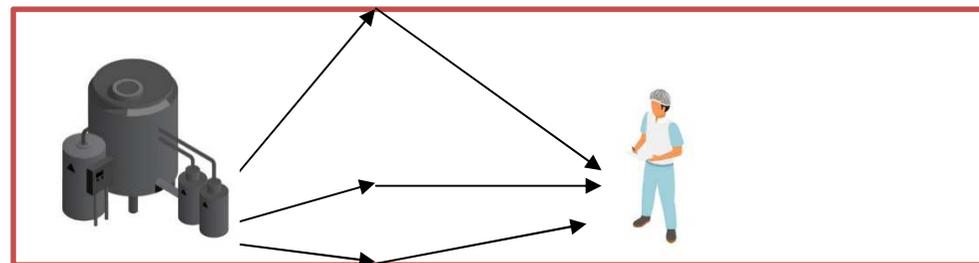
## MIDDLE REGION

Da  $d_1$  a  $d_2$  (tipicamente  $d_2 = 16 \text{ m} \div 24 \text{ m}$ )

- Prime riflessioni dell'ambiente
- Influenzata dal layout
- Regione, in generale, più ampia e importante

Secondo EN ISO 11690-3, valori minimi raccomandati:  $DL_2 = 2 \div 5 \text{ dB}$

Intervento di mitigazione: baffles



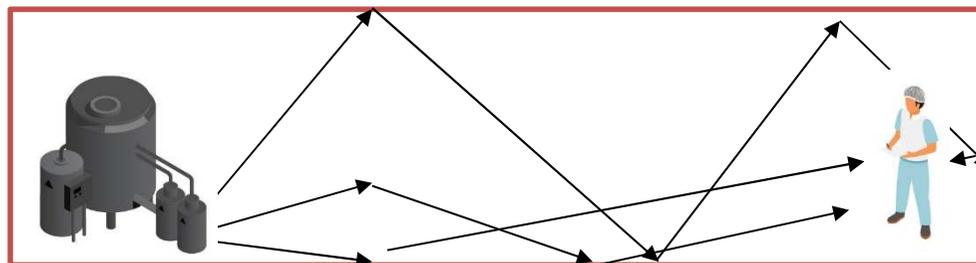
## FAR REGION

Da  $d_2$  (tipicamente  $d_2 = 16 \text{ m} \div 24 \text{ m}$ )

- Seconde riflessioni dell'ambiente
- Influenzata dalla presenza o meno di materiali fonoassorbenti o macchinari che diffondono

Secondo EN ISO 11690-3, valori raccomandati:  $DL_2 \geq 6 \text{ dB}$

Intervento di mitigazione: pannelli fonoassorbenti



## CASI STUDIO

### Descrizione generale

	L	W	H	Volume	Destinazione d'uso
A	36 m	105 m	9 m	34 000 m <sup>3</sup>	Catena di imbottigliamento prodotti alimentari
B	25 m	40 m	8 m	8 000 m <sup>3</sup>	Linea di imbottigliamento vini
C	19 m	57 m	7 m	7 600 m <sup>3</sup>	Macchinari per la tessitura
D	140 m	137 m	20 m	383 600 m <sup>3</sup>	Cantiere navale



## Diapositiva 14

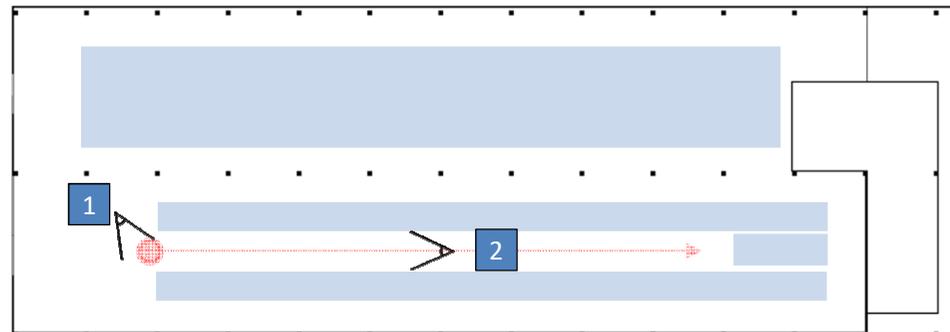
---

**GC1**

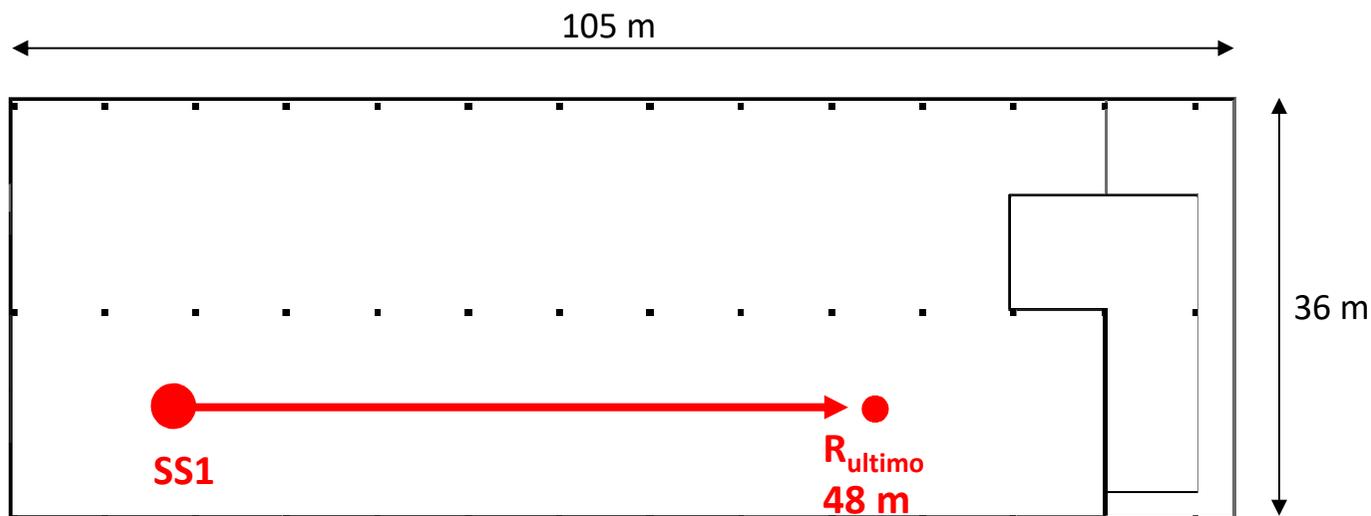
A: Ravarino B: Campogalliano C: Etichettificio D: Fincantieri

Gioia Cardinali; 10/10/2019

## CASO STUDIO A: Imbottigliamento



## CASO STUDIO A: Imbottigliamento



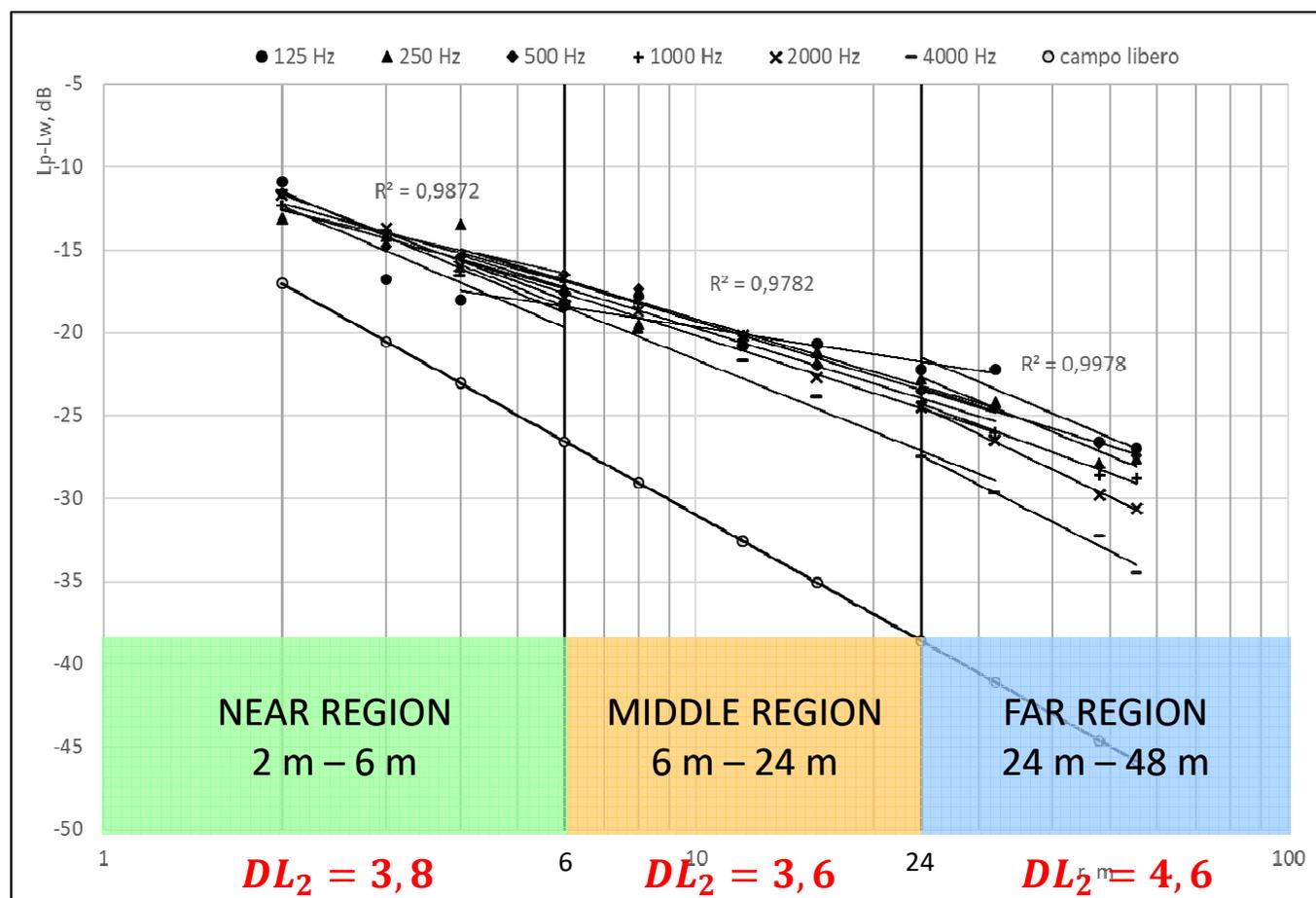
 macchinari

L	W	H	V
36 m	105 m	9 m	34 000 m <sup>3</sup>

Destinazione d'uso
Catena di imbottigliamento prodotti alimentari



## CASO STUDIO A: Imbottigliamento



\* Valori in dB



## CASO STUDIO A: Imbottigliamento

$$DL_2 = -0,3 \frac{z \sum_{i=n}^m [D_i \log(\frac{r_i}{r_0})] - \sum_{i=n}^m D_i \sum_{i=n}^m \log(\frac{r_i}{r_0})}{z \sum_{i=n}^m [\log(\frac{r_i}{r_0})]^2 - [\sum_{i=n}^m \log(\frac{r_i}{r_0})]^2} \text{ dB}$$

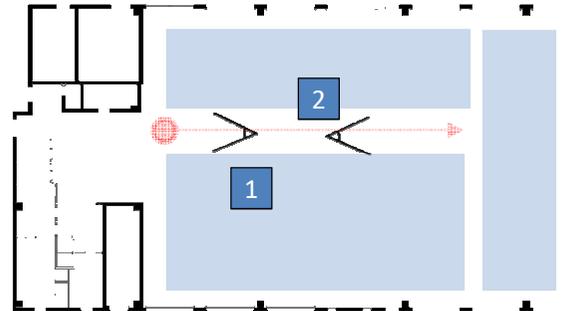
Tipologia di campo acustico	DL <sub>2</sub> , dB						DL <sub>2</sub> , dB
	Banda di ottava, Hz						
	125	250	500	1000	2000	4000	
Near: 2 m ÷ 6 m	4,6	2,4	2,9	3,0	4,0	4,6	3,8
Middle: 6 m ÷ 24 m	2,1	2,5	3,7	3,5	3,4	4,3	3,6
Far: 24 m ÷ 48 m	4,5	5,2	3,3	4,4	5,3	4,7	4,6

$$DL_f(r_n, r_m) = \frac{\sum_{i=n+1}^m [(DL_{fi} + DL_{fi-1}) \lg(\frac{r_i}{r_{i-1}})]}{2 \lg(\frac{r_m}{r_n})} \text{ dB}$$

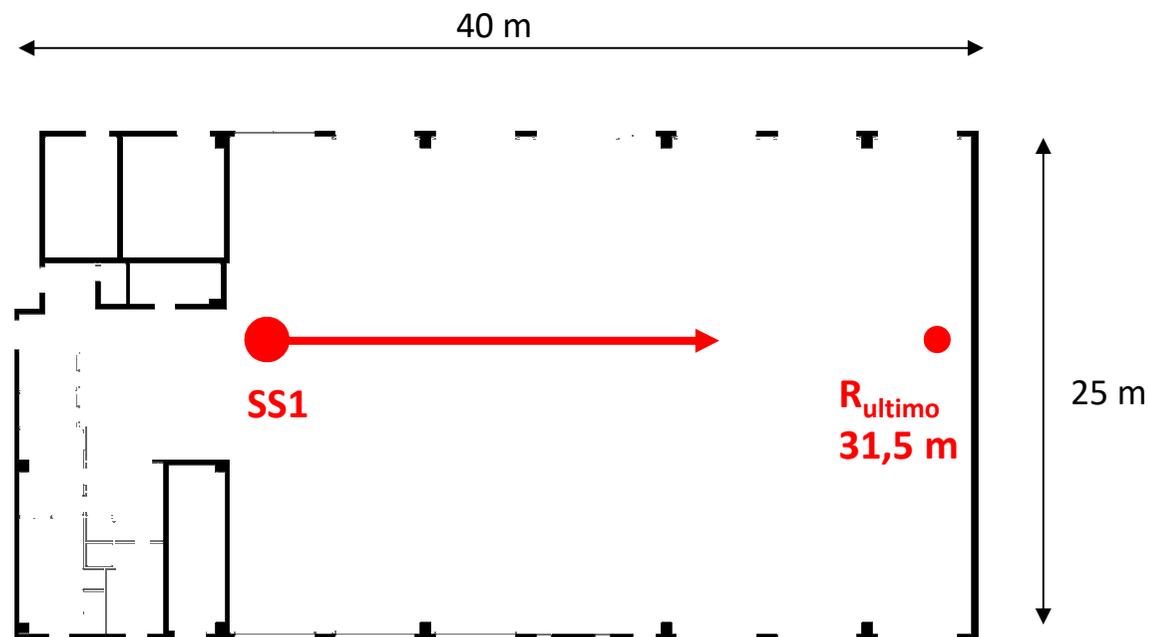
Tipologia di campo acustico	DL <sub>f</sub> , dB						DL <sub>f</sub> , dB
	Banda di ottava, Hz						
	125	250	500	1000	2000	4000	
Near: 2 m ÷ 6 m	5,4	7,4	7,1	6,8	7,0	6,6	6,9
Middle: 6 m ÷ 24 m	12,6	12,2	12,4	12,3	11,7	10,2	11,7
Far: 24 m ÷ 48 m	18,1	16,6	16,7	15,2	14,6	11,6	14,6



## CASO STUDIO B: Imbottigliamento vini



## CASO STUDIO B: Imbottigliamento vini

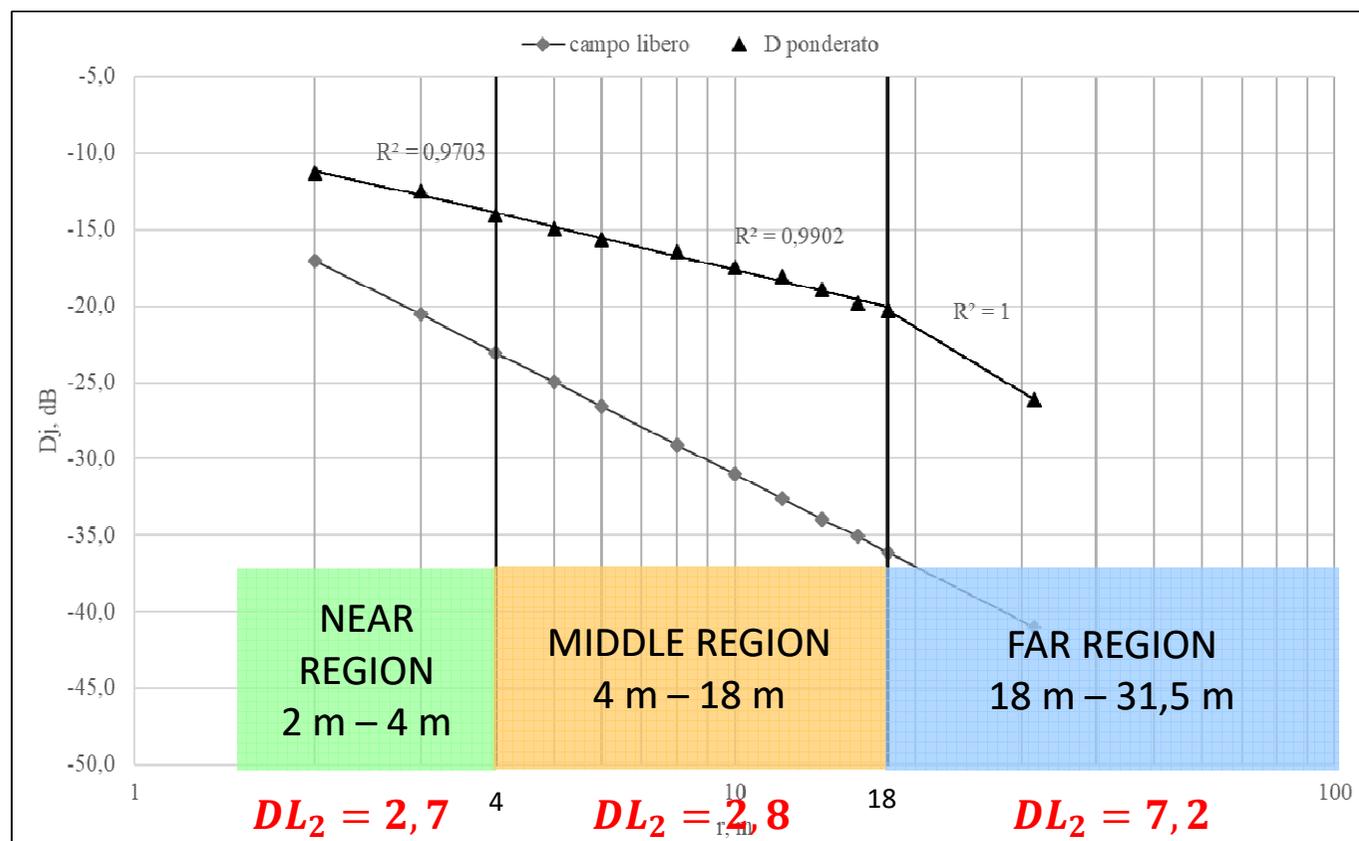


L	W	H	V
25 m	40 m	8 m	8 000 m <sup>3</sup>

Destinazione d'uso
Linea di imbottigliamento vini



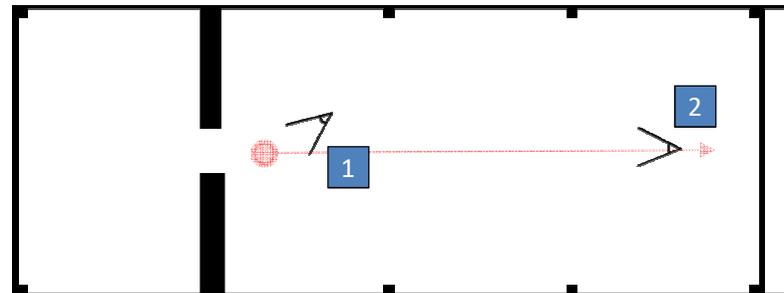
## CASO STUDIO B: Imbottigliamento vini



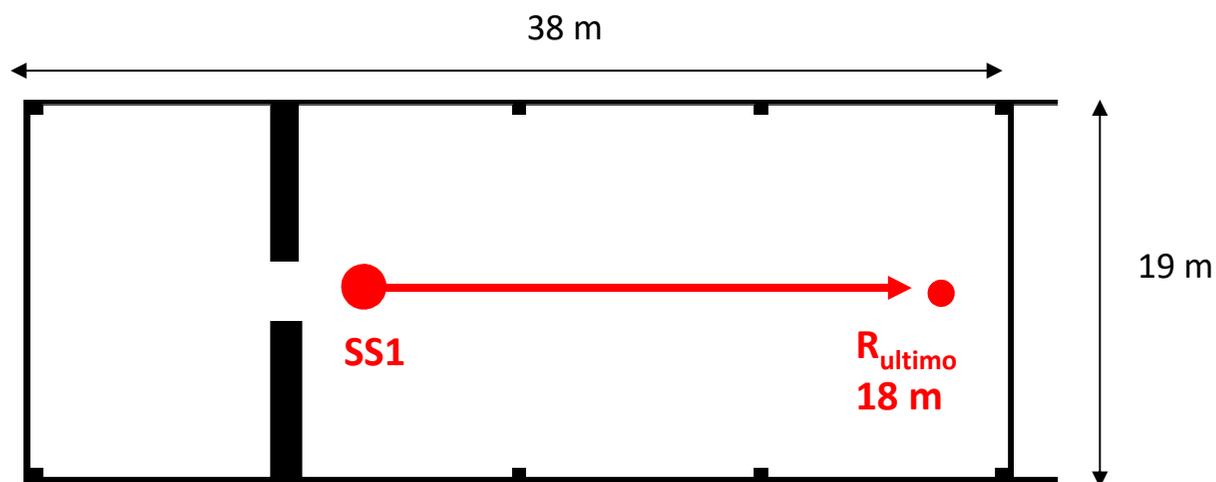
\* Valori in dB



## CASO STUDIO C: tessitura



## CASO STUDIO C: tessitura



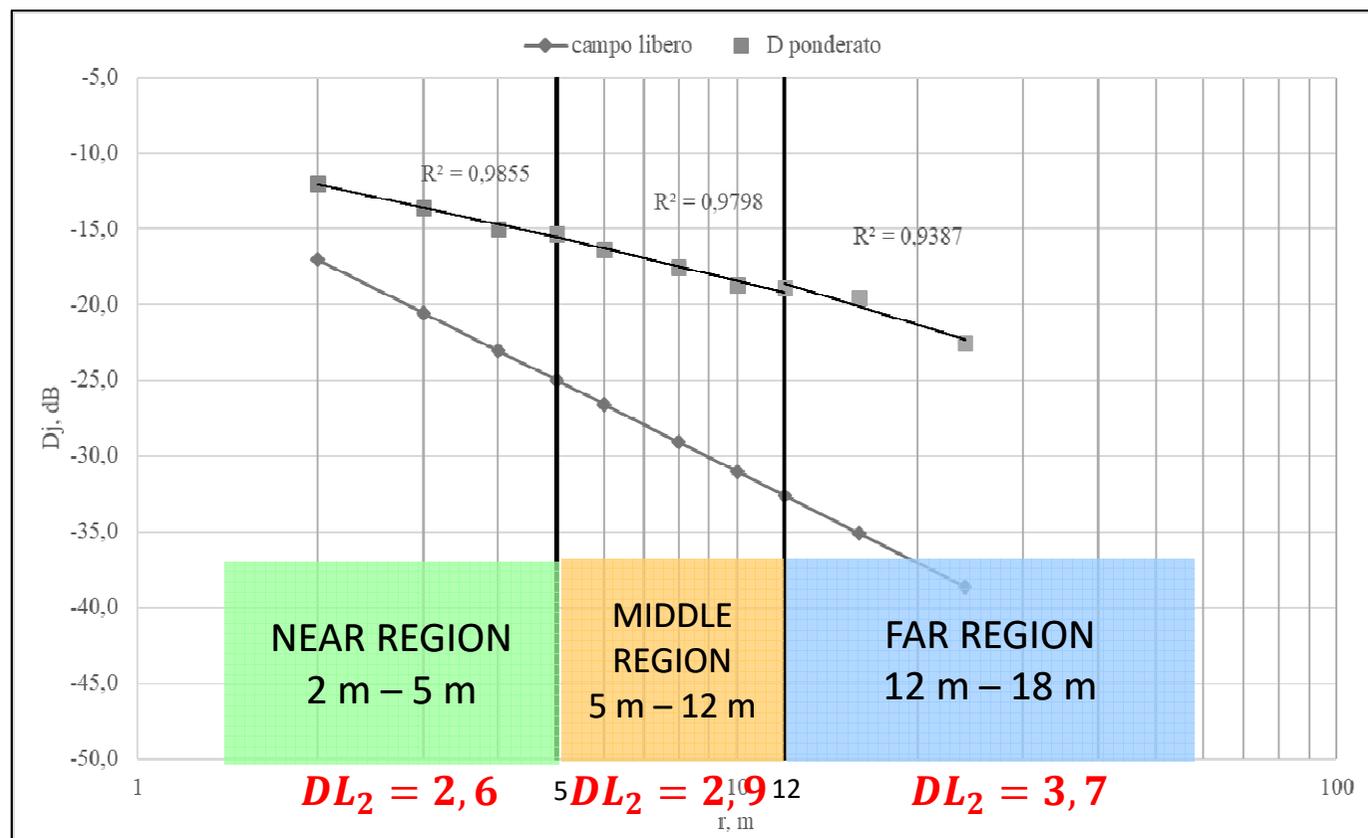
□ macchinari

L	W	H	V
19 m	57 m	7 m	7 600 m <sup>3</sup>

Destinazione d'uso
Macchinari per la tessitura



## CASO STUDIO C: tessitura



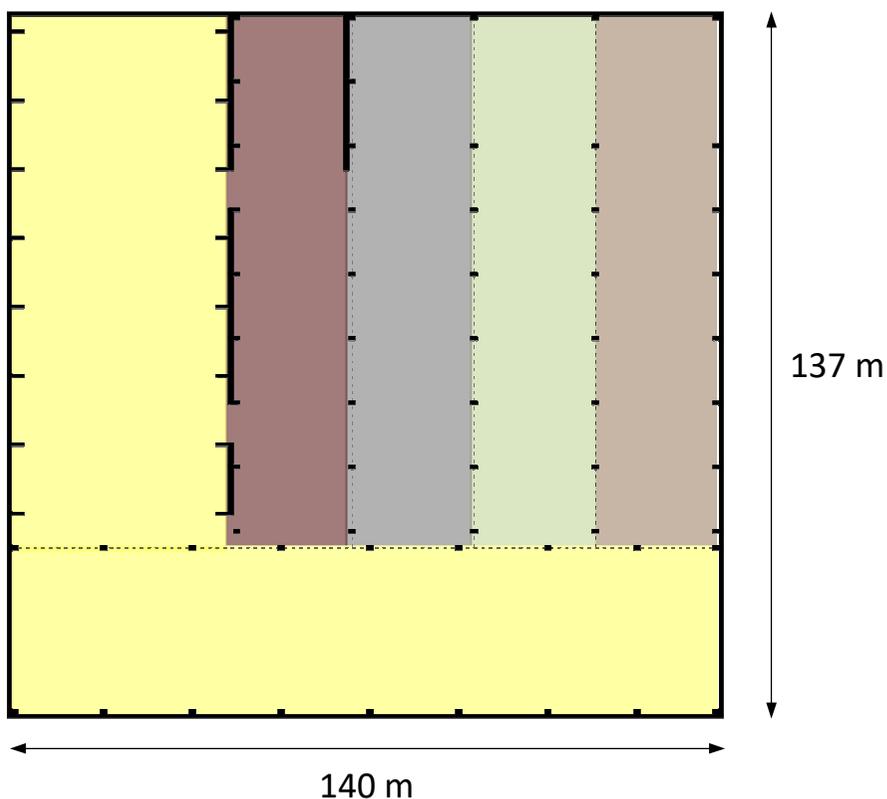
\* Valori in dB



### CASO STUDIO D: cantiere navale



L	W	H	V
140 m	137 m	20 m	383 600 m <sup>3</sup>

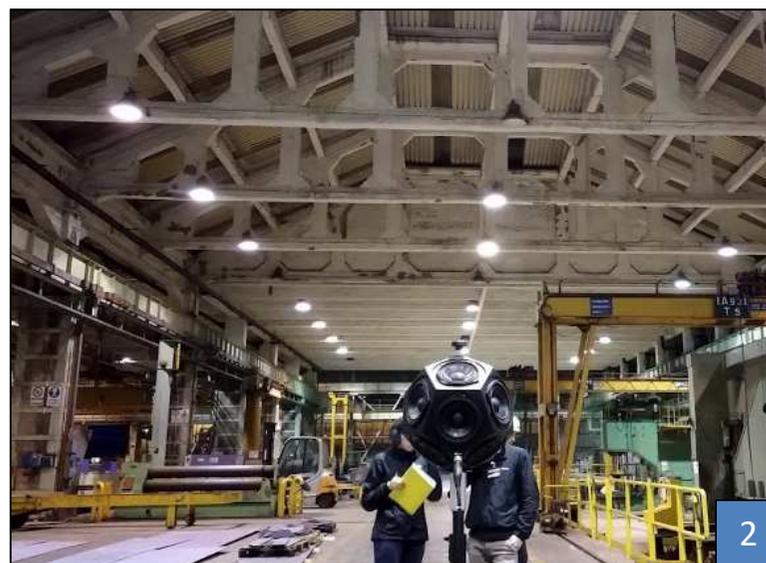
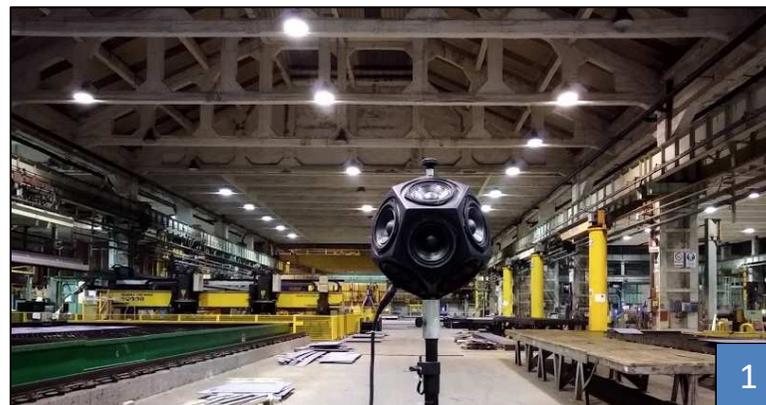
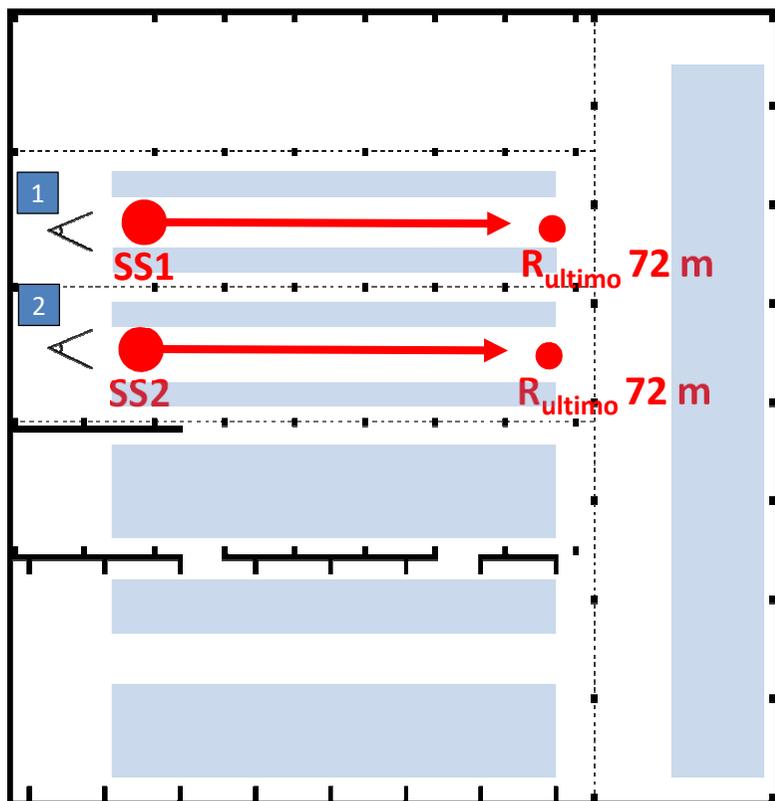


Destinazione d'uso
Cantiere navale

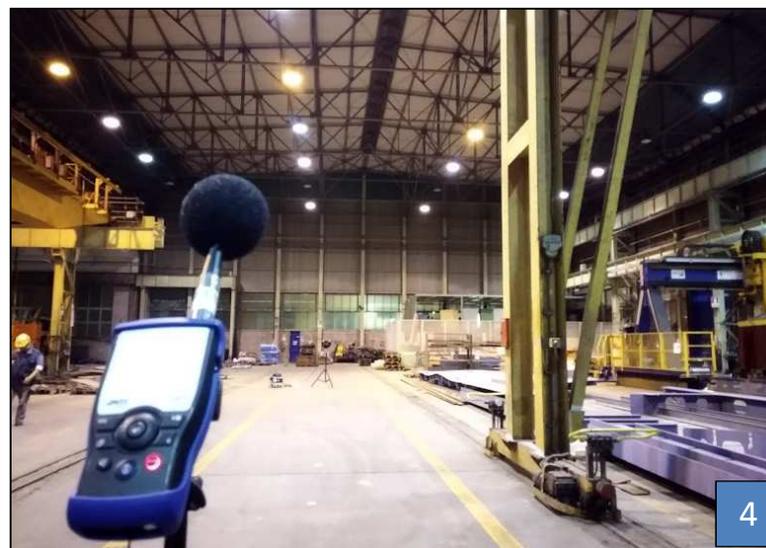
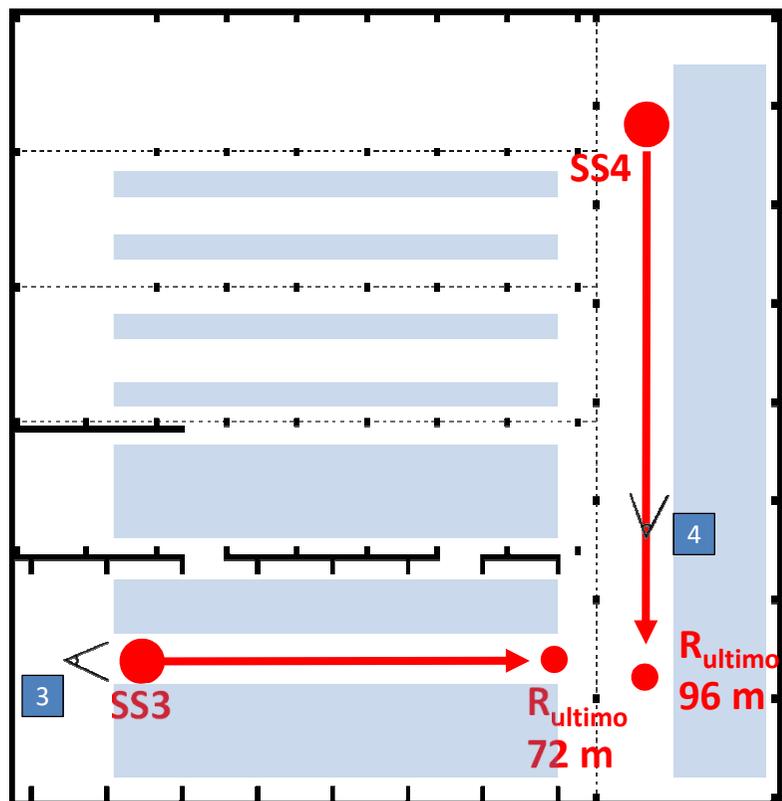
	Deposito
	Taglio al plasma
	Pressa calandra
	Saldature
	Carpenteria



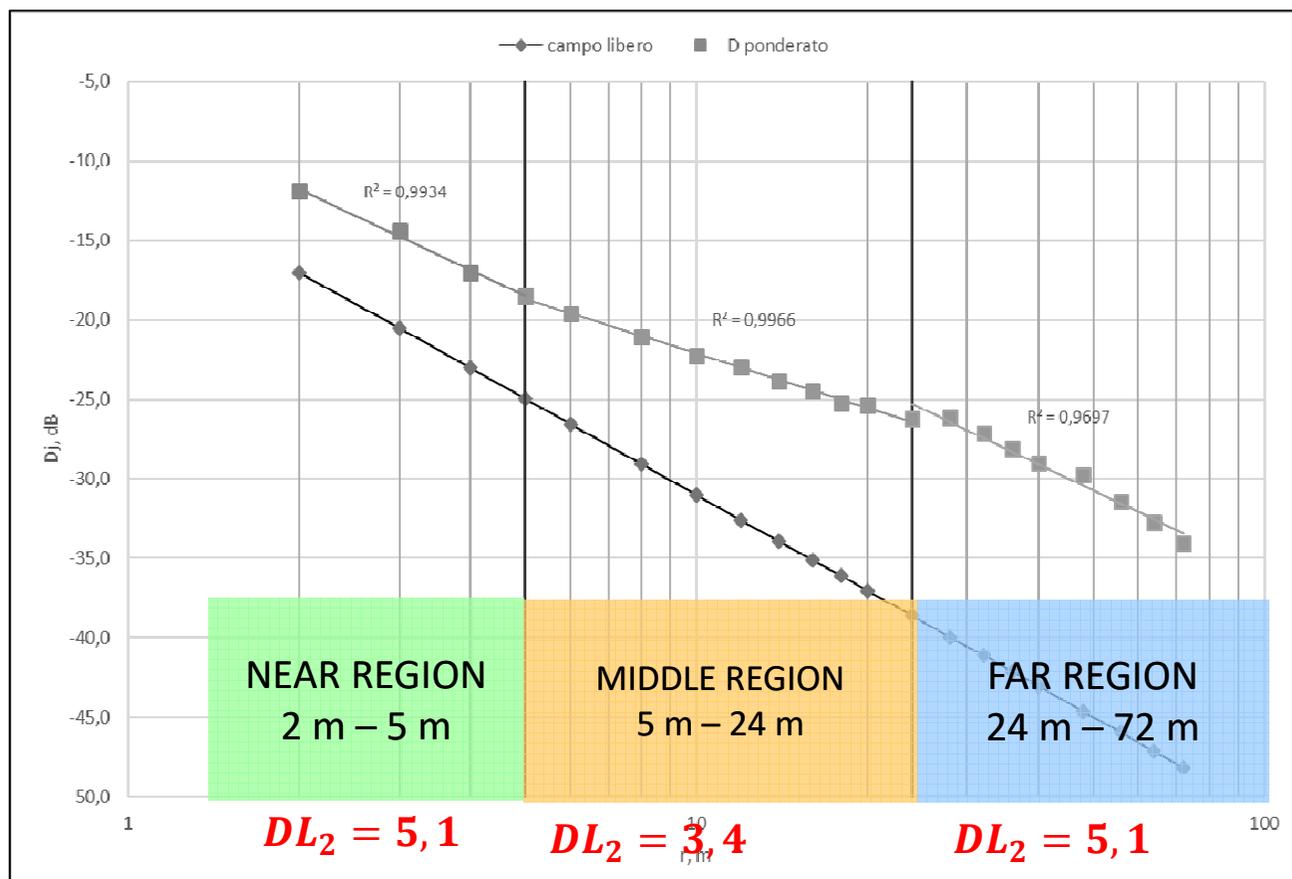
## CASO STUDIO D: cantiere navale



## CASO STUDIO D: cantiere navale



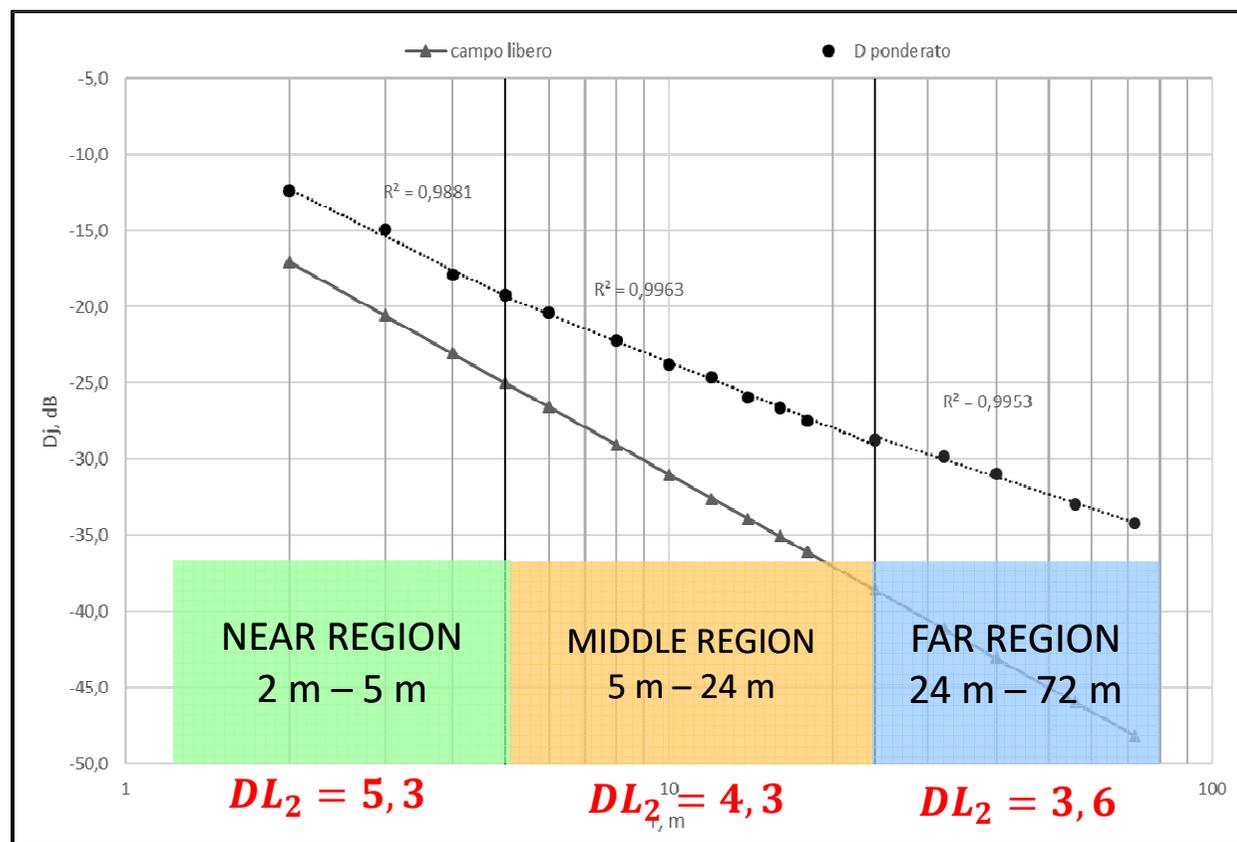
SS1-SS2



\* Valori in dB



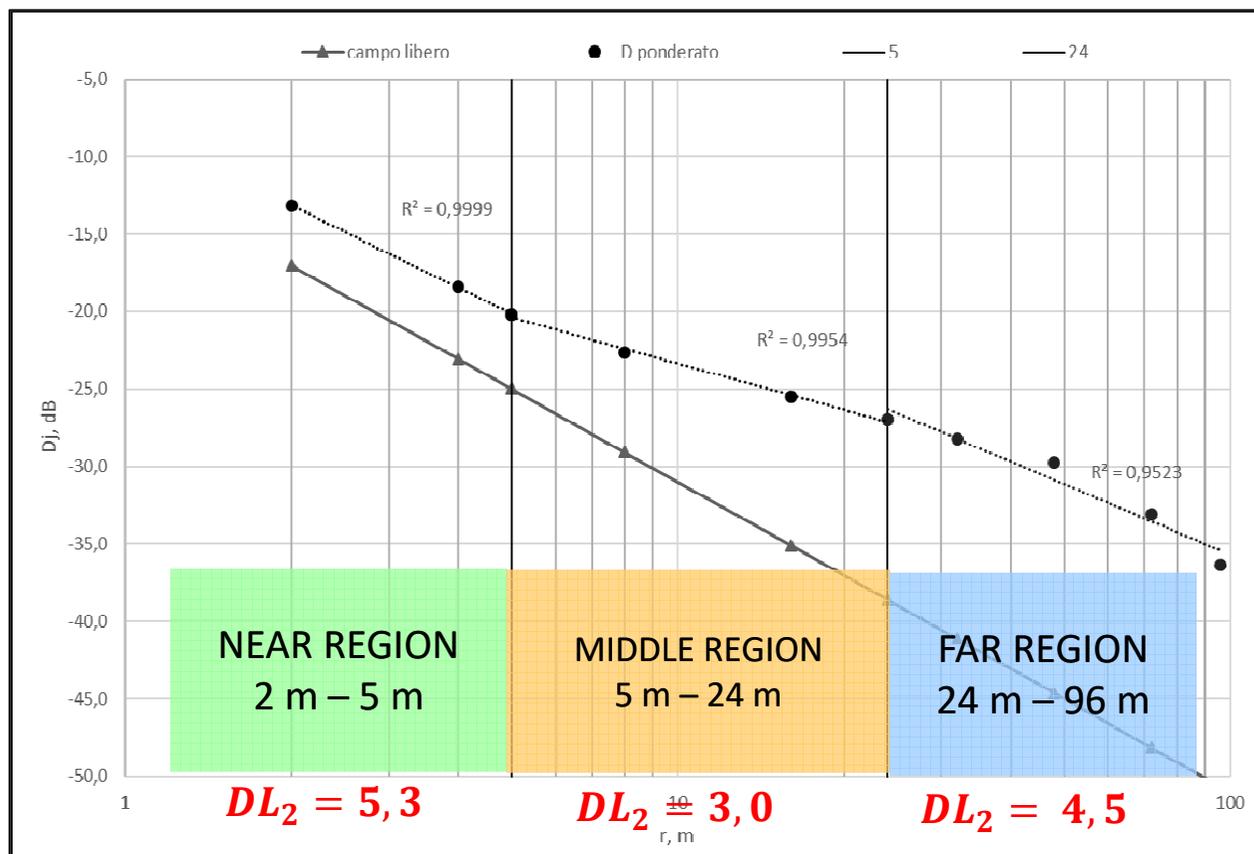
SS3



\* Valori in dB



SS4



\* Valori in dB



## CONCLUSIONI

- Il metodo di misura fornito dalla ISO 14257:2001 permette una rigorosa caratterizzazione acustica degli ambienti industriali
- Il  $DL_2$  risulta essere un parametro fondamentale per la comprensione del comportamento acustico dell'ambiente
- L'individuazione delle regioni permette una valutazione efficace degli interventi di miglioramento
  - Near → Intervento: schermature
  - Mid → Intervento: baffles
  - Far → Intervento: pannelli fonoassorbenti



---

**Grazie per l'attenzione**

Lavoro svolto in collaborazione con  
Ausl Modena  
Asl4 Liguria