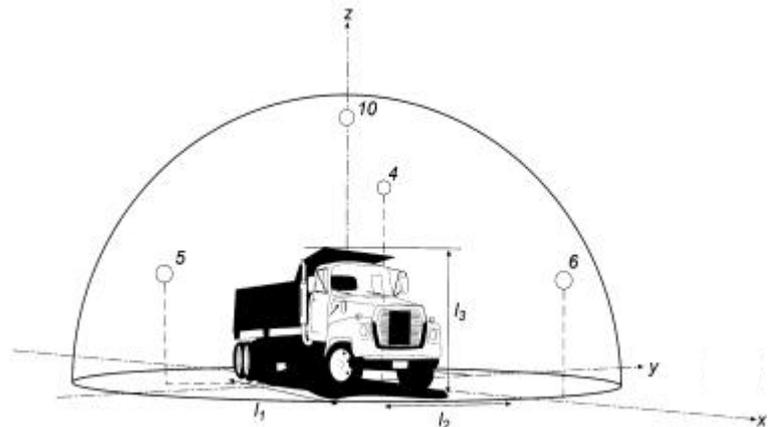


## METODI E STRUMENTI PER LA DETERMINAZIONE DELLA POTENZA SONORA

### INTRODUZIONE

Quanto rumore fa questa macchina? A questa domanda spesso in passato non si ricevevano delle risposte complete e di facile interpretazione.

Era molto frequente il caso di valutare la rumorosità di una macchina avendo un valore di livello di pressione sonora,  $L_p$ , non corredato di quelle indicazioni fondamentali per la riproducibilità di quella misura, come la distanza dalla macchina, il tipo di ambiente, campo libero, riverberante o semiriverberante, e se si era tenuto conto della direzionalità della sua emissione.



Con l'uscita e il recepimento della “**Direttiva Macchine**” 89/392/EEC, e sue successive modifiche, si è fatto un passo avanti nel dotare i costruttori di macchinari di un documento normativo a cui riferirsi per la produzione e l'immissione sul mercato di macchinari con la **marcatatura CE**. Questo marchio assicura che tutti quei fattori legati alla sicurezza della macchina sono stati valutati e, dove possibile, rimosse le eventuali condizioni di rischio, o almeno indicate dal costruttore sulla macchina e/o nel manuale d'istruzione.

Dato che il rumore è un fattore di rischio, la Direttiva Comunitaria dispone che il manuale d'istruzione contenga i dati di rumorosità della macchina. Questi dati si riferiscono a valori di  $L_{eq}(A)$ , livello medio di pressione sonora pesato A, per macchine il cui livello supera 70dB(A), **o di potenza sonora  $L_w(A)$  se la macchina supera il livello di pressione sonora equivalente di 85dB(A), in entrambi i casi misurato sul posto di lavoro.** Se in quest'ultimo caso la macchina è di grandi dimensioni si valuterà sempre il  $L_{eq}(A)$  in appositi punti attorno alla macchina. Nel caso di presenza di rumori impulsivi si deve misurare

il livello di picco massimo,  $L_{pk}(C)$ , indicando l'eventuale superamento di 130dB(C). Si useranno, ove possibile, norme armonizzate CEE per la misura dei dati acustici, in caso contrario si useranno le norme più appropriate per il tipo di macchina. (Vedere per maggiori dettagli la Direttiva stessa).

## ***LA POTENZA SONORA***

La potenza sonora è il parametro acustico che caratterizza in maniera oggettiva l'emissione sonora di una sorgente di rumore, sotto qualunque tipologia di macchina o sistema meccanico, elettromeccanico o elettroacustico, si configuri. Espressa in watt, rappresenta l'energia acustica irradiata dalla sorgente nell'unità di tempo. Come per la pressione sonora, anche la potenza sonora è preferibile esprimerla in termini di livello in dB, in bande di frequenza o pesata in curva A, con la seguente relazione:

$$L_W = 10 \text{ Log } \frac{P_x}{10^{-12}}$$

In cui il numeratore indica l'emissione e il denominatore il riferimento.

La misura dei watt di potenza emessa,  $P_x$ , non è un dato rilevabile direttamente, per cui per ottenere il livello di potenza sonora si utilizzano due metodologie indirette. La prima, sia in ordine di tempo che di diffusione d'uso, si basa sulla misura del livello medio di pressione sonora su un determinato numero di punti attorno alla sorgente; la seconda, più diretta, si basa sulla misura del livello medio di intensità acustica.

L'intensità acustica è il flusso di energia acustica che attraversa una superficie unitaria nell'unità di tempo, la sua ampiezza si misura in **watt/mq** ed essendo un vettore ha anche una direzione e un verso. Dalle unità di misura si può intuire che l'intensità acustica è il parametro più diretto per determinare la potenza sonora. Questa metodologia è supportata da qualche anno anche da una normativa, la **I.S.O 9614/1-2** (1993), in virtù della quale la tecnica dell'intensità gode oggi di una maggior considerazione, specialmente per alcuni vantaggi che offre questo metodo; tra i quali: 1) non richiede un ambiente normalizzato come la camera anecoica o riverberante; 2) è possibile determinare la potenza sonora di macchine troppo grandi per entrare in una camera normalizzata; 3) grazie alle caratteristiche vettoriali, permette di valutare la sola potenza sonora di un componente in una serie di elementi che, in condizioni di prova, funzionano contemporaneamente (ventola - motore - riduttore); 4) non ci sono praticamente restrizioni sulle distanze minime dalla macchina, e sul tipo di superficie di misura.

La potenza sonora come già detto è un dato intrinseco della sorgente, è il parametro che indica in modo oggettivo la sua capacità di emissione. Per questo motivo da anni questo dato viene valutato e inserito con gli altri dati dai costruttori di elettrodomestici, pompe, motori, condizionatori, ecc., nelle tabelle di qualità di un prodotto. Nei programmi previsionali sia per l'esterno che per gli interni, la potenza sonora in bande

di frequenza è il dato di partenza, riferito alle sorgenti, da cui si sviluppa il calcolo della propagazione del rumore e tramite il quale si otterranno le mappe di pressione sonora. La pressione sonora è un effetto della potenza irradiata (causa); il suo valore dipenderà dalla distanza, dall'influenza dell'ambiente, aperto o chiuso, riflettente o meno, dalla direzionalità della sorgente e da altri fattori. La sua misura è, ed è sempre stata, importante in relazione alla valutazione degli effetti sull'uomo sia dal punto di vista del disturbo che del rischio di esposizione.

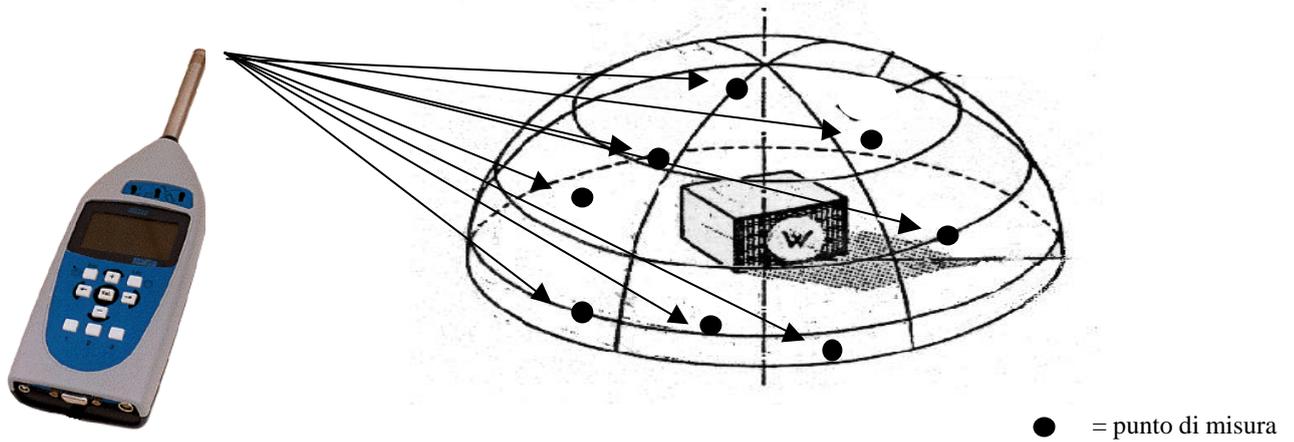
## ***DETERMINAZIONE DELLA POTENZA SONORA CON LA PRESSIONE SERIE DI NORME I.S.O-374X***

Determinare la potenza sonora di una sorgente in campo libero, da misure di livello di pressione sonora, è concettualmente abbastanza semplice. Ipotizzando di portare all'aperto la sorgente (macchina o equivalente) in condizioni di campo libero, per esempio collocandola lontano da muri riflettenti su un piazzale asfaltato o in cemento, si effettua una serie di misure su N punti (9 – 10) equamente distribuiti su un'ipotetica superficie (tipicamente emisferica o parallelepipedo) che racchiude la sorgente. Il numero di punti serve a non trascurare eventuali direzionalità della sorgente. Il livello di potenza sonora in dB di quest'ultima sarà uguale alla somma tra il valore medio di livello di pressione sonora  $L_{pm}$ , negli N punti misurati (banda per banda o in curva A), ed il valore in dB proporzionale alla superficie di involuppo, secondo la seguente formula.

$$L_w = L_{pm} + 10 \log \frac{S_m}{S_o}$$

$S_m$  = superficie di misura

$S_o = 1 \text{ mq}$



*La figura mostra schematicamente una situazione di prova in campo libero. Si può ottenere un dato di potenza sonora  $L_w(A)$  con un semplice fonometro come il **SIP 95** che misuri il livello di pressione in curva A e abbia un cavo microfonico di prolunga per spostarsi di volta in volta sui vari punti. **Dotando il fonometro di filtri di banda 1/1, 1/3 di ottava è possibile valutare i valori di  $L_w$  di ogni banda.***

Non sempre è possibile avere condizioni ideali di misura che permettono l'identificazione e la caratterizzazione di sorgenti sonore di basso livello quali frigoriferi, condizionatori, ecc, pertanto nasce l'esigenza di avere un ambiente sofisticato al fine di realizzare studi acustici su componenti. Spesso ciò comporta spese e necessità di spazi che incidono notevolmente sulla quotazione finale. Se a ciò si aggiunge l'utilità di seguire delle procedure di misura che consentano di ottenere dei risultati confrontabili e ripetibili, diviene necessario avere uno standard che ci dia tutte le indicazioni di una metodologia di misura per il tipo di ambiente scelto.

La determinazione del livello di potenza sonora tramite misure di livelli di pressione è il metodo più vecchio e per questo motivo è quello che ha il maggior numero di standard ai quali ci si può riferire. La serie delle norme I.S.O, dalla 3741 alla 3747, consente un'ampia panoramica nella scelta del metodo da usare per la valutazione della potenza sonora di una macchina o altra sorgente di rumore. Alcune di queste (I.S.O 3741, 3742, 3743, 3744 e 3746 ) sono diventate norme armonizzate della Comunità Europea (EN 23741, EN 23742, EN ISO 3743/44/46 ).

Nella seguente tabella è riportata la serie di norme in relazione al tipo di ambiente, al grado di accuratezza, alle caratteristiche della sorgente e dei risultati ottenibili.

I.S.O. N°	Classe del metodo usato	Ambiente di prova	Volume della sorgente	Caratteristiche del rumore	Livello di potenza sonora determinabile	Ulteriori informazioni
<b>3741</b>	Precisione (grado 1)	Camera riverberante con specifici requisiti da rispettare	Preferibilmente inferiore all'1% del volume della camera di prova	Stazionario, banda larga	In banda di 1/1, 1/3 d'ottava	Livello di potenza pesato A
<b>3742</b>				Stazionario, frequenze discrete o banda stretta		
<b>3743</b>	Ingegneristico (grado 2)	Camera riverberante speciale	Dimensione maggiore inferiore a 15m	Stazionario, banda larga o stretta, frequenze discrete	Pesato A e in banda di 1/1 ottava	Livello di potenza con altre pesature
<b>3744</b>		Esterno o ambienti grandi		Qualunque		
<b>3745</b>	Precisione (grado 1)	Camera anecoica o semianecoica	Preferibilmente inferiore a 0,5% del volume della camera		Qualunque	Pesato A
<b>3746</b>	Controllo (grado 3)	Nessun ambiente particolare	Nessuna restrizione: limite consono alle dimensioni ambiente	Stazionario, banda larga o stretta, frequenze discrete		
<b>3747</b>		Nessun ambiente particolare: sorgente non mobile	Nessuna restrizione			

## ***ESEMPI DI METODI E CATENE DI MISURA***

Sono di seguito riportati alcuni esempi, descritti sinteticamente, di metodi che si riferiscono ad alcune delle norme I.S.O più diffuse, con schemi di catene strumentali adatte alle varie situazioni. Per una completa e dettagliata descrizione della metodologia si consiglia gli interessati di riferirsi alla norma originale prescelta.

### ***CAMPO DIFFUSO***

#### **I.S.O 3741/42 METODO DIRETTO**

Il metodo diretto della determinazione della potenza sonora in camera riverberante (campo diffuso) indicato nelle I.S.O 3741/42 è un metodo di precisione (grado 1) adatto per sorgenti a banda larga (I.S.O 3741) e per sorgenti con componenti tonali o bande strette di rumore (I.S.O 3742). Con il livello di pressione sonora misurato tramite una media sia nel tempo (Leq) che nello spazio, con i dati dei tempi di riverbero misurati in 1/1 o 1/3 di ottava e i valori di volume della camera e superficie interna delle pareti si è in grado di calcolare il livello di potenza sonora nelle varie bande e da queste ricavare il valore di

$L_w(A)$ . Questo metodo non consente di avere informazioni sulla direzionalità della sorgente dato che il campo acustico nella camera è reso uniforme dalle molteplici riflessioni. Proprio per questo motivo sarebbe teoricamente possibile fare la misura con un solo microfono in un solo punto. In realtà la norma dispone di eseguire una media sia nel tempo, per eliminare le fluttuazioni di livello proprie della sorgente, che nello spazio. Per la media spaziale è possibile usare un'asta rotante con un braccio regolabile su cui fissare un microfono. La rotazione di quest'ultimo consente alla strumentazione di eseguire una media su punti diversi della camera allo scopo di ridurre gli effetti di eventuali difformità del campo sonoro.

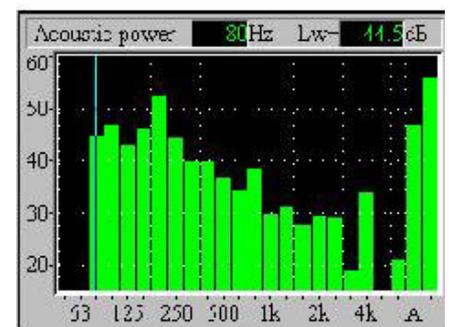
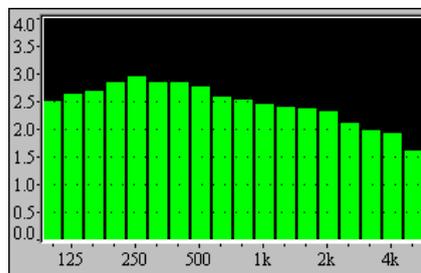
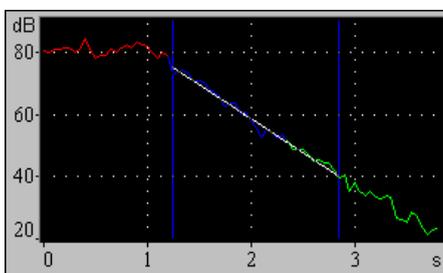


$$L_w = L_{pm} - 10 \log \frac{T}{T_0} + 10 \log \frac{V}{V_0} + 10 \log \left( 1 + \frac{SI}{8V} \right) - 10 \log \frac{B}{B_0} - 14$$

Camera riverberante

Sistema a un canale o due canali Symphonie completo di software dBATI e dBFA per la misura dei tempi di riverbero e la valutazione della potenza sonora

Esempio di catena di misura per camera riverberante basata su un analizzatore di frequenza in classe 1 IEC 651/804 con filtri 1/1 1/3 conformi alla IEC 1260 classe 0



Misure di tempi di riverbero rilevati con Symphonie e dBATI

Spettro di potenza Sonora rilevato con Symphonie e dBFA

## **METODO INGEGNERISTICO I.S.O 3743**

Derivato dalle I.S.O 3741/42 è un metodo per la valutazione della potenza sonora con grado 2 di accuratezza (ingegneristico). La camera riverberante può avere volumetrie più piccole rispetto alla I.S.O 3741/42 ed è realizzata per poter usare un solo valore di tempo di riverbero normalizzato.

## ***CAMPO LIBERO***

### **I.S.O 3744/45 METODO DIRETTO**

Come accennato in precedenza, la valutazione del livello di potenza sonora in campo libero è concettualmente semplice. Se si vuole però ricreare questa condizione in un ambiente chiuso la cosa è senz'altro fattibile ma con una spesa non indifferente. I costi di realizzazione di una camera anecoica (senza eco) possono anche raggiungere cifre a nove zeri.

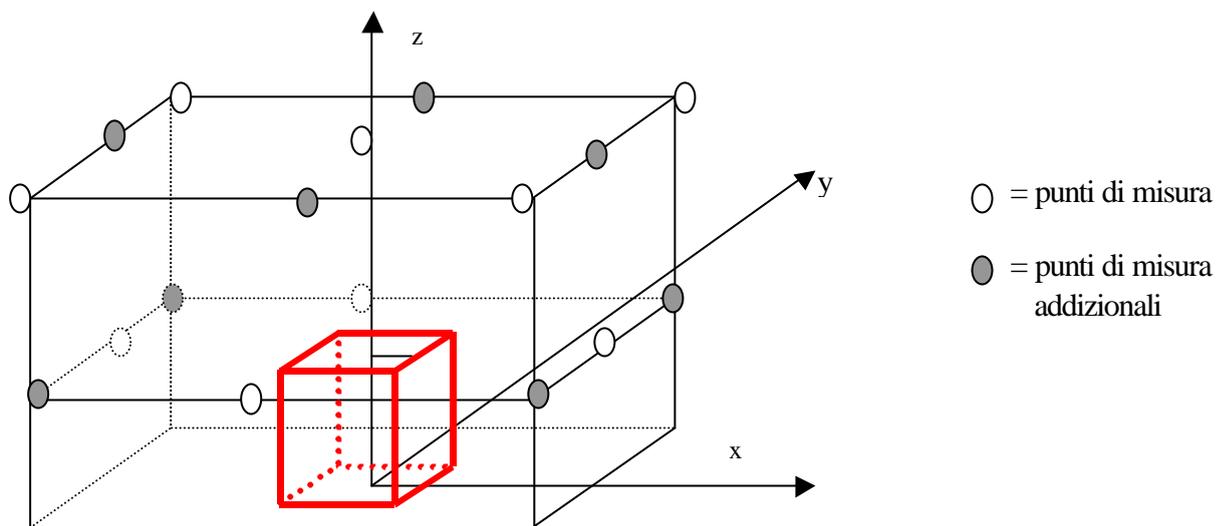
Questa camera per prove e studi in acustica può essere completamente assorbente all'interno (il camminamento è realizzato con una rete metallica e la superficie sottostante è trattata con materiale assorbente), o con il pavimento riflettente (semianecoica), ha pareti isolate acusticamente per evitare che i rumori esterni possano influenzare la misura di sorgenti a basso livello o, viceversa, che sorgenti in prova con livelli notevolmente elevati (trombe, sirene, ecc.) possano disturbare le normali attività nelle zone circostanti. Può essere costruita su supporti antivibranti per un migliore isolamento rispetto al resto delle strutture collegate.

La norma I.S.O 3745 regola la metodologia per la determinazione della potenza sonora in camera anecoica o semianecoica.

Il metodo consente di ottenere risultati con grado 1 di accuratezza. In camera seminecoica i punti di misura sono tipicamente dieci distribuiti su una superficie emisferica, in alcuni casi possono arrivare fino a venti.

Volendo comunque ottenere dei risultati con una buona accuratezza, senza l'impegno e l'onere di realizzare una camera di prova, la norma I.S.O 3744 descrive un metodo ingegneristico per la determinazione della potenza sonora che consente di ottenere un'accuratezza di grado 2 in ambienti normali con basso riverbero, o eventualmente in un locale con un minimo di trattamento acustico assorbente. Il fattore correttivo che tiene conto dell'effetto del riverbero dovuto alle riflessioni deve essere contenuto entro  $\pm 2$  dB.

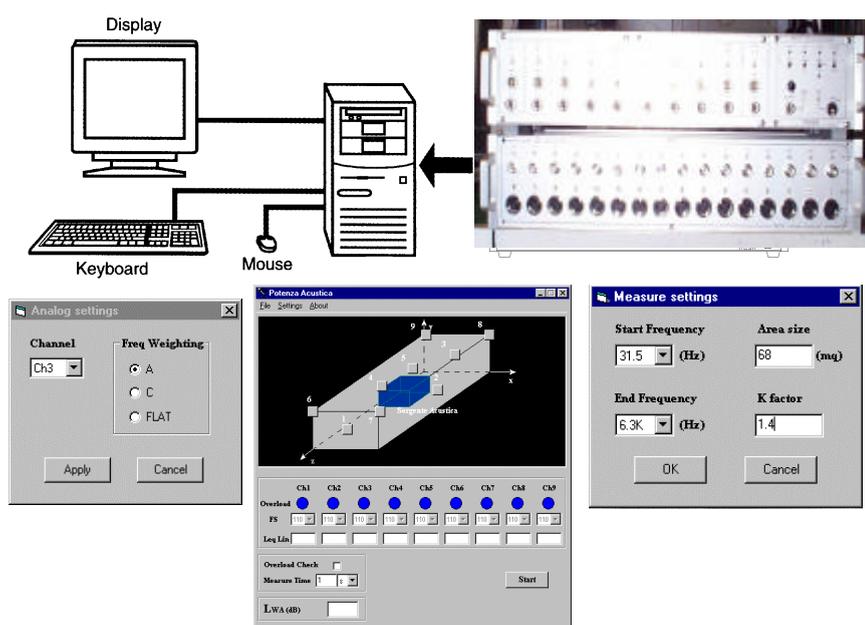
La normativa fornisce tutte le indicazioni per trovare i punti di misura sulla superficie emisferica o sul parallelepipedo e le distanze corrette dalla sorgente in prova.



Trattandosi di una misura su molti punti e dovendo fare misure continuative il sistema di misura più idoneo si può pensare configurato come uno dei due mostrati di seguito. Una soluzione prevede il collegamento della serie di microfoni al sistema di acquisizione **S.C.S 9004** versione base, composto dall'unità **multiplexer MUX- 10A**, che alimenta fino a dieci canali commutabili da interfaccia su una unica uscita, collegata all'unità di analisi in tempo reale in 1/1 o 1/3 d'ottava **modello SIP95**. Una alternativa al SIP 95 è l'unità di analisi **Symphonie completo di softwares dBENV o dBFA**.

**Il sistema S.C.S 9004 DSPlus**, in alternativa alla versione base, è invece una unità di **analisi multicanale in Tempo Reale** (fino a 12 canali in parallelo) collegato al **Front End di condizionamento microfoni e trasduttori ICP, tipo DFE-12**.

Il DSPlus è interfacciato con un PC e la configurazione di acquisizione, trattamento e presentazione dati per la valutazione di  $L_w$  sono interamente gestiti da un software dedicato. L'acquisizione in ogni canale risulta in una serie di spettri multipli con una finestra temporale di campionamento inferiore al secondo. Questa serie di spettri è disponibile come file ASCII.



# ***DETERMINAZIONE DELLA POTENZA SONORA CON L'INTENSITA' SONORA I.S.O 9614 1-2***

La I.S.O 9614 è la norma che regolamenta la valutazione della potenza sonora tramite le misure di intensità. La norma prevede due metodi. Il primo metodo, descritto nella I.S.O 9614-1, permette di ottenere risultati con grado 1 (precisione), grado 2 (ingegneristico) e grado 3 (controllo) di accuratezza; il secondo metodo (I.S.O 9614-2) consente i gradi 2 e 3 di accuratezza. Il primo metodo si basa su misure puntuali effettuate su matrici di punti ricavate sulla superficie di involucro che circonda la macchina, senza restrizioni in merito alla forma. Il secondo metodo utilizza la tecnica di scansione per la media spaziale, usando la sonda di intensità come un pennello. La sonda per intensità deve essere conforme alla IEC 1043 classe 1, se si richiedono risultati con accuratezza di grado 1 e 2.

I due metodi consentono di ottenere i dati di potenza sonora sia in 1/1 ottave che in 1/3 di ottava (50Hz – 6,3KHz) il livello di  $L_w(A)$  è ricavato in questa gamma di frequenza.

Condizioni di prova: ambiente normale, quindi reattività del campo acustico (rapporto pressione/intensità) da considerare – possibile presenza di rumore stazionario dovuto ad altre sorgenti in funzione – numero di punti scelto e direzionalità di emissione della macchina possono influenzare la misura. La norma impone all'operatore il controllo di due o tre criteri e di alcuni indicatori legati alle condizioni di prova. Solo se questi sono verificati idonei la misura può essere validata nel grado di accuratezza scelto.

Utilizzando l'analizzatore in Tempo Reale bicanale **Symphonie**, completo del programma **dBFA** più modulo per la I.S.O 9614 1-2 e una sonda di intensità della **G.R.A.S** conforme alla IEC 1043 tipo 1, l'operatore ha a disposizione un sistema col quale è in grado di eseguire una misura completamente guidata.



Il programma permette di schematizzare la superficie di misura con la griglia di punti da misurare o le porzioni di area da “pennellare” indicando in sequenza il punto da misurare.

Viene eseguita automaticamente la verifica degli indicatori e dei criteri stabiliti dalla norma, in funzione del grado di accuratezza scelto. Disponibilità a misura completata dei dati di  $L_w(A)$ , degli spettri di potenza in 1/1 e 1/3 d’ottava e degli indicatori in forma tabellare o grafica. Mappe isolivello di pressione e intensità a colori.