

La Vibroacustica 1

Vibroacoustics 1

Con questo primo articolo ha inizio una nuova rubrica che avrà spazio anche nel nostro sito per poter interagire in tempo reale con gli utenti. Cerchiamo di capire passo dopo passo, **aiutati dal Dr. Vulkan**, cos'è la vibroacustica e che ripercussioni ha a bordo

This is the first article in a column that will also feature on our website so as to enable real-time interaction with users. We will try to understand, step by step with the **help of Dr. Vulkan**, what vibroacoustics are, and the effects they may have on board a boat

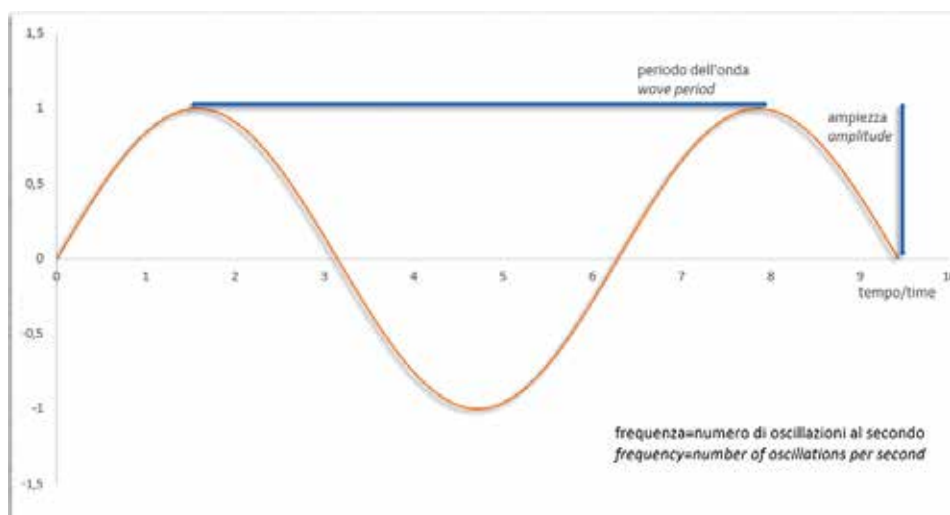
42

by Gian Piero Repetti

QUESTO PROGETTO NASCE DA UNA CERTEZZA E DA UN'IMPRESSIONE. La certezza che oggi, sempre più che in passato, il COMFORT e lo STARE BENE a bordo siano i primi e fondamentali obiettivi che l'armatore e chi ama spendere tempo in mare ricercano per la propria imbarcazione. L'impressione è invece data dal 'timore' e dallo 'smarrimento', a volte rifiuto, che si percepiscono parlando di vibrazioni e rumore con chi non fa il nostro mestiere. Questo perché è ritenuto un argomento ostico ed oscuro di solo appannaggio per gli addetti ai lavori e che invece è fondamentale per ottenere il comfort a bordo. Per rendere tutto meno complicato e coinvolgere direttamente voi armatori, ci è sembrato naturale provare a mettere in fila le cose, dire dove si parte e dove si arriva, raccontare cosa si trova nel mezzo, cosa si può fare e come, mattone dopo mattone, poter costruire il nostro ponte insieme. I prossimi mesi vogliono essere uno spunto di approfondimento e uno stimolo, il 'buco della serratura' per dare modo a chi ne abbia la curiosità di sbirciare questo nostro piccolo grande mondo. Con il desiderio che non si limiti solo ad una 'sbirciata', ma che si possano affrontare, discutere, condividere insieme problemi reali, quelli che voi, che vivete la vostra barca, vorreste risolvere o evitare, quelli a cui ci piacerebbe dare il nostro contributo. Allora si comincia: buona lettura a voi (e buon ascolto a noi)!

Una vibrazione è un movimento oscillatorio di un sistema intorno a un suo punto di equilibrio definito da caratteristiche fisiche quali l'ampiezza, la lunghezza d'onda, la frequenza, l'energia. Le vibrazioni creano disagio al ricevente, a seconda della loro natura, dando sensazioni diverse che interessano organi sensibili del corpo umano (il ricevente appunto).

A vibration is the oscillating movement of a system around its equilibrium point. It is defined by physical characteristics such as amplitude, wavelength, frequency and energy. The vibrations are unpleasant to the recipient, according to their type, giving different feelings that affect sensitive organs in the human body (so the recipient).



I fondamentali: le sorgenti e la trasmissione.

Partiamo dunque dal salone, le cabine, gli ambienti dove viviamo durante la crociera: la voglia è di stare a proprio agio, sentirsi come a casa. Ma qualcosa ci disturba: un rumore fastidioso e vibrazioni sgradevoli. Nascono da qualche parte e per qualche motivo, e possono raggiungere qualunque punto della nostra barca. Come debellarli? La prima reazione, più intuitiva, ci porterebbe a creare una barriera fisica, un 'muro' che le assorba. Diciamolo subito: non basta, perché sappiamo bene che il rimedio giusto si trova solo se si conosce a fondo l'origine del problema. Cercheremo di spiegarlo a grandi linee, partendo dai locali dove viviamo e passiamo il nostro tempo e dove il problema si rende evidente, ma raramente si origina. Passeremo poi ad esaminare le sorgenti principali di questi fenomeni, per definirne le caratteristiche. Questa prima analisi ci permetterà in seguito di identificarlo, con una semplice misura di rumore e vibrazione, trovando la fonte ed adottando le giuste misure per risolverlo.

Facciamo un passo indietro, dunque: che cosa genera vibrazioni e rumore a bordo?

Distinguiamo innanzitutto *due tipi di sorgenti*:

- le sorgenti che si caratterizzano come macchine rotanti, che generano forze e quindi vibrazioni con frequenze ben definite, identificabili in base alle caratteristiche del macchinario (motori endotermici ed elettrici, riduttori, assi, eliche, alternatori, pompe, compressori, ventilatori, etc.)
- le sorgenti che generano forze impulsive, vortici, casuali, difficilmente definibili matematicamente, che interessano un range di frequenza più o meno esteso (vento e onde, aerodinamica, idrodinamica...).

E due modalità di trasmissione:

- per via aerea (attraverso l'aria presente negli ambienti)
- per via strutturale influenzate entrambe dalle caratteristiche dei mezzi attraverso cui si propagano.

I parametri fisici che influenzano la trasmissione sono:

- la posizione: distanza tra sorgente e ricevente
- il livello energetico della sorgente: potenza acustica e vibratoria della sorgente
- la via di trasmissione: area e strutturale

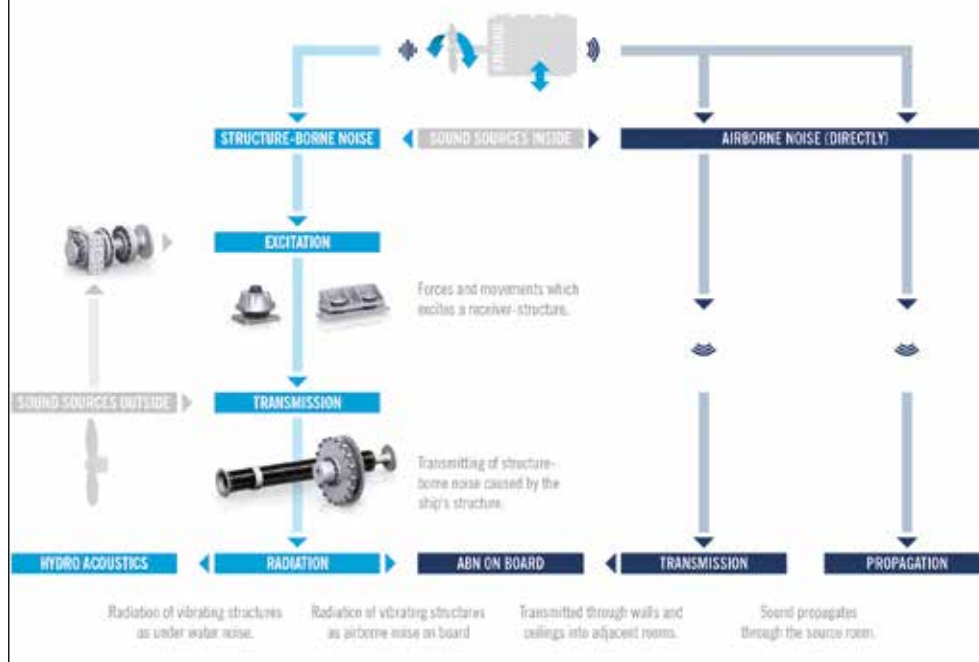
Qual è la sorgente più importante e più complessa?

Senza dubbio, il motore endotermico propulsivo. Nel motore diesel il moto dell'albero viene generato da uno scoppio che crea un movimento alternato dei pistoni. Questo moto alternato viene trasformato in rotazione da un sistema biella-manovella.

Il movimento alterno dei pistoni, che spinti dalla espansione dei gas di combustione accelerano per

Trasmissione della vibrazione e del rumore per via aerea e strutturale dalle sorgenti.

Transmission of vibration and noise from the source by air and through the structure.



poi rallentare bruscamente ed invertire il proprio senso di marcia, crea una spinta sull'albero motore che tende a scuotere il blocco motore. In altre parole, durante la fase di espansione i gas combusti aumentano repentinamente la propria pressione e spingono il pistone, che viene letteralmente "spartito" in basso come un proiettile. La forza che si genera viene trasmessa al sistema biella-manovella, che la supporta e la trasmette a sua volta come coppia motrice sull'albero a gomiti.

I pistoni adiacenti, invece, possono trovarsi in fase di compressione (fase precedente e di lavoro opposto a quella di espansione) dove la biella anziché ricevere forze, si ritrova a dover esercitare una forza opposta, spingendo il pistone dentro il cilindro per comprimere i gas freschi aspirati. Ognuno di questi repentini cambi di direzione e accelerazione dei complessi biella-pistone provoca vibrazioni al complesso del motore. Per definire le forze dinamiche, fonte delle vibrazioni, dobbiamo considerare la complessità della geometria del macchinario e i fenomeni fisici che si verificano durante il funzionamento. Il numero dei cilindri e la geometria definiscono l'ordine di vibrazione e inquadrano dal punto di vista vibrazionale il fenomeno sopra descritto.

Nel moto alterno di un motore monocilindrico, rileviamo una forzante dovuta allo squilibrio delle masse ad ogni giro e una forzante dovuta alla

combustione ogni 2 giri (720 gradi). Definiremo la vibrazione di primo ordine la prima e di ordine $\frac{1}{2}$ la seconda, per il numero di volte che il fenomeno si ripete in un giro.

Nel caso di motore a più cilindri dunque il numero di cilindri N definirà gli ordini di vibrare: in questo caso il fenomeno della combustione durante una rotazione completa si riprodurrà $N/2$ volte.

E le altre sorgenti?

Il motore è causa importante ma non unica di rumore e vibrazione a bordo.

Analizziamo gli altri componenti del sistema propulsivo limitandoci solo alle sorgenti fondamentali.

Il riduttore di giri, l'invertitore, che, con l'ingranaggio di ruote dentate, crea sollecitazioni ogni volta che i denti delle ruote dentate si incontrano.

La frequenza degli avvenimenti è dunque determinata dal numero di denti: in altri termini, l'ordine di vibrare sarà pari al regime di rotazione del motore moltiplicato per il numero di denti. Lo stesso fa l'asse di trasmissione con ordine proprio pari al suo numero di giri. Ed infine l'elica, che produce forzanti con ordini superiori pari al numero di pale moltiplicato per il regime di rotazione dell'albero.

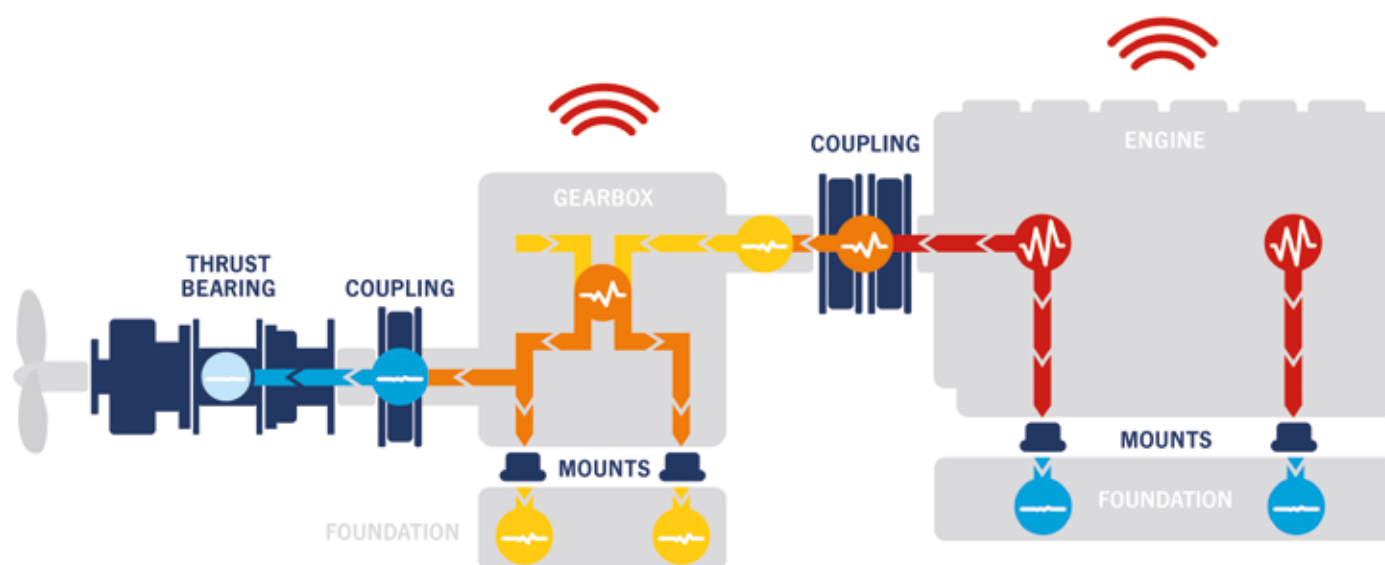
Come si propagano vibrazioni e rumore?

Considerata quindi la sorgente motore, questa trasmette rumore e vibrazioni al ricevente per via aerea e per via strutturale, quest'ultima più difficile da



Il rumore è un suono dalle caratteristiche irregolari, generato come conseguenza delle vibrazioni. Esse creano perturbazioni di carattere oscillatorio che si propagano in un mezzo elastico (gas, liquido o solido), generandone una locale variazione di pressione in grado di eccitare il sistema uditivo dell'uomo, che le percepisce come suono fastidioso e sgradevole.

Noise is a sound with irregular characteristics, generated as a consequence of vibrations. The vibrations create disturbances with an oscillatory character that propagate in an elastic medium (gas, liquid or solid), generating a localised variation in pressure that can excite the human hearing system, which experiences it as an annoying and unpleasant sound.



Le sorgenti principali di rumore e vibrazioni a bordo e percorso di trasmissione delle vibrazioni.
The main sources of noise and vibrations aboard and vibrations transmission path.

gestire da un punto di vista vibroacustico, perché meno influenzata dalla posizione reciproca sorgente-ricevente.

Il motore trasmette quindi le vibrazioni a tutto quanto ad esso collegato:

- alla fondazione tramite i supporti motore
- al riduttore a cui è collegato tramite il giunto elastico
- alla struttura di supporto delle condotte gas di scarico.

E anche il riduttore è collegato alla fondazione; aggiunge quindi al sistema il proprio contributo.

La sorgente/sorgenti eccitano dunque la struttura circostante facendola vibrare, la struttura trasmette vibrazioni alle strutture circostanti smorzandone o incrementandone le ampiezze. In altri termini l'energia acustica viene trasmessa per via strutturale che viene infine percepita come rumore e vibrazione, spesso con grande disagio del ricevente.

L'individuazione delle sorgenti e la definizione delle loro caratteristiche sono il primo passo per comprendere le cause del nostro disagio vibroacustico. Questa disamina preliminare ci permetterà di affrontare l'argomento successivo delle vie di trasmissione e quindi dei sistemi per isolare vibrazioni e rumore.

Per qualunque domanda, approfondimento, problematica vibroacustica specifica che avete riscontrato in prima persona e che avete piacere di condividere, oltre all'interesse per argomenti specifici che vi piacerebbe affrontassimo, potete scrivere al seguente indirizzo: info@vulkan-italia.it

THIS PROJECT BEGINS WITH AWARENESS AND FROM A FEELING. Awareness that nowadays, even more so than in the past, COMFORT, and FEELING GOOD on board are the most important targets, owners and people, who enjoy the sea, look for on their vessels. The feeling, experienced when talking about vibrations and noise to people who don't work in our field: 'Fear' and Bewilderment, sometimes a real rejection. Considered as an obscure and difficult issue, that is the exclusive domain of people who work in the sector only, whereas it is essential in ensuring the good level of comfort aboard. The goal has been to simplify everything, and to get all you, owners, directly involved. We thought the most obvious thing to do would be to try to line everything up: from the start to the end, passing through what is in between, what we can do and how, so that brick after brick, we could build our bridge together. We are trying to make the coming months a chance to have a look more closely and to boost, the keyhole for anybody curious to peek inside our small, great world. We only have the dream that it won't be just a quick glimpse, but rather the opportunity to come together and share, discuss and tackle real problems – the problems that you, who enjoy your time on board, would like to resolve or avoid, the ones that we would like to give our contribution to. So, let's start: happy reading to you all (and happy listening to us as well)!

The basics: sources and transmission.

Let us start from the lounge and cabins, places where we live during a cruise: the aim is to feel comfortable, as if we were at home. But something is bothering us: an annoying noise and unwelcomed vibrations. They have their origin somewhere, and for some reason, and they can reach any part of the boat.

How can we overcome them?

The first reaction, and the most intuitive one, would be to create a physical barrier, a kind of wall to absorb noise and vibration. We should go straight on to say: that's not enough, the problem can only be solved if the underlying cause is properly understood. We will try to get deeper into the subject starting from the places where we live and spend time, and where the problem is most clearly felt, although that is not where it starts. Then we will move on taking a closer look at the main noise and vibration sources, so we can define their characteristics. This first analysis will then allow us to clearly identify the issue, thanks to a simple sound and vibration measurement, discovering the source before taking the correct cure to resolve it.

So, let's take a step back: what generates vibrations and noise aboard?

First of all, we should define two different kinds of sources:

- rotating machines, creating forces and so vibrations with clearly defined frequencies, according to the inherent features of the generating machines (endothermic and electric engines, gearboxes, propeller shafts, propellers, alternators, pumps, compressors, ventilators, etc.)
- the sources that generate impulsive, swirling, random forces that are difficult to be defined mathematically and which involve a range of frequencies of variable range (wind and waves, aerodynamics, hydrodynamics...).

And two transmission media:

- by air (through the air present in rooms)
- through structures

both are influenced by the characteristics of the media through which they are propagated.

Forzante: forza esterna ad un sistema, variabile nel tempo con caratteristiche di frequenza ed ampiezza definite, che eccita il sistema stesso.

Ordine della vibrazione: identifica il periodo della vibrazione in relazione al numero di giri del motore.

Una vibrazione del primo ordine, ad esempio, ha una frequenza pari al numero di giri.

Externally applied forces: an external strength applied to a system, variable over time with defined frequency and amplitude characteristics, which excites the system itself.

The vibration order: this identifies the vibration period in relation to the number of revolutions from the engine.

The frequency of a first order vibration, for example, has a frequency equal to the rpm.

Livello di pressione sonora nei vari locali a bordo causata dalla trasmissione per via strutturale e aerea.
Sound pressure level in the various rooms on board caused by the transmission through the structure and by air.



The physical parameters that influence transmission are:

- position: the distance between source and recipient
- the energy level of the source: acoustic and vibratory power of the source
- the transmission path: aerial and structural

What is the most important and complex source?

Unquestionably it is the endothermic propulsion engine. In the diesel engine, the explosion that makes the pistons move alternately generates the shaft revolution. This alternating movement is therefore turned into rotation by a crankshaft-rod system. The alternating movement of the pistons, driven by the combustion gases expansion, accelerates and then suddenly slows down and reverses direction, creating a push on the drive shaft, shaking the engine block. In other words, during the expansion phase, the combustion gases suddenly increase in pressure and push the piston, which is fired down like a bullet. The generated force is transmitted to the crankshaft rod system, which supports and transmits it, as a torque on the crankshaft. The other pistons, however, can be in a compression phase (the phase before, when the piston is in the opposite position compared to the expansion phase) where the rod rather than receiving forces, is pushing the piston into the cylinder to compress the fresh, aspirated gases.

Every one of these sudden changes of the rod-piston groups direction and acceleration generates vibrations in the whole engine.

To properly identify the dynamic forces, which have to be considered the vibrations source, we should take into account the complexity of the machine geometry of and the physical phenomena that may occur while it is working. The number of cylinders and the engine geometry determine the order of the vibration and classify the phenomenon described above from a vibrational point of view.

In the single-cylinder engine alternating movement, a variable force originated from the unbalanced masses at each revolution and another one owing to the combustion cycle having a period of two rotation (720 degrees) are generated. We will call the former a first-order vibration, and the latter a half-order vibration, according to the number of times the complete vibration cycle repeats during one shaft revolution. In the case of engines with more than one cylinder, N , the number of cylinders, will define the vibration orders: in this case, combustion will occur $N/2$ times during a complete rotation.

What about the other sources?

The engine is a very important, but not the only, cause of sound and vibrations on board.

Let's take a look at the other components of the propulsion system, focusing just on the main sources. The gear box, the reversing gear, that,

creates a strain every time that the teeth meet each other. The frequency of the occurrences is thus determined by the number of teeth: in other words, the vibrations order will be equal to the engine's rotational speed, multiplied by the number of teeth. The driveshaft does the same with an order that is equal to its number of revolutions. And finally, there is the propeller that produces forces with vibration order equal to the number of blades multiplied by the shaft's rotational speed.

How do vibrations and noise spread?

So, if we look at the engine as a source, it transmits sound and vibrations to the recipient through the air and the structure. This latter path is more difficult to control from a vibro-acoustic point of view because it is less influenced by the reciprocal position of the source and recipient.

The engine thus transmits vibrations to everything that it is connected to:

- the foundation, through the engine mounts
- the gear box through the elastic coupling
- to the structure that supports the flue gas pipes.

And the gear box itself is also connected to the foundation, it thus also adds its input to the system. The source/sources excite the surrounding structure, making it vibrate, the structure transmits vibrations to the other surrounding structures, either reducing or increasing their amplitude. In other words, acoustic energy is transmitted through the structure and this is perceived as a sound and a vibration, often creating significant unpleasantness for the person experiencing it. Identifying the sources and establishing their characteristics are the first step in understanding our vibroacoustic discomfort cause. This preliminary review will enable us to tackle the next topics: transmission paths, then the systems to isolate vibrations and noise.

For any questions, more information or specific vibroacoustic issues that you have first-hand experienced and that you would like to share, as well as any interest in other specific topics that you would like us to address, you can write to the following address: info@vulkan-italia.it ▴

