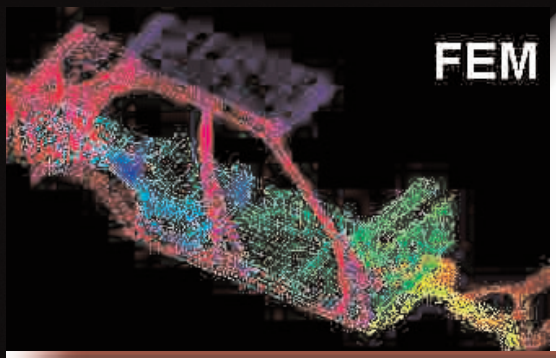


Simulazione vibroacustica con i metodi di analisi del bilancio energetico statistico, esempio per una nave passeggeri

G.Amadasi

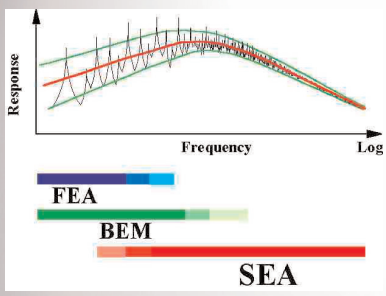
Simulazione vibroacustica

I calcoli e la metodologia vibroacustica si basano sul concetto di esistenza di un campo di energia acustica o vibrazionale per al quale è associata una determinata lunghezza d'onda che può esistere o instaurarsi in un sistema sia esso rigido o fluido. A bassa frequenza il comportamento vibro-acustico di una struttura finita è dominato da onde stazionarie con lunghezze d'onda lunghe che prendono il nome di modi di vibrazione.

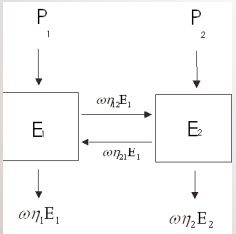
Un approccio deterministico, come quello degli elementi finiti (FEM), tende a descrivere ogni modo esplicitamente e permette di risolvere le variazioni in tempo e spazio della risposta del sistema.

Nonostante l'esiguo numero di modi alle basse frequenze il tempo di calcolo per larghi intervalli in frequenza aumenta rapidamente, mentre alle alte frequenze, per lunghezze d'onda molto piccole, il numero di modi cresce in modo così elevato che il calcolo diviene estremamente difficile e complicato, facendo aumentare anche l'incertezza della simulazione.

Il repentino aumento del numero dei modi con la frequenza ha portato a ipotizzare di poter trattare questi calcoli in modo statistico, non trattando i singoli modi ma assumendo che l'energia non sia associata ad un o più modi ma ad una loro famiglia che, per caratteristiche di propagazione e velocità di spostamento, può essere rappresentativa del comportamento di un grande numero di modi.
La metodologia è stata quindi applicata negli anni con sempre maggiore raffinatezza abbinando comportamenti di famiglie di modi a differenti tipologie di materiali e forme.



La costruzione di un modello funzionante con l'analisi energetica statistica (SEA: statistical energy analysis) si basa sulla definizione di una geometria e di sottosistemi macroscopici, ai quali viene assegnato una database di materiali; la combinazione tra forme e materiali consente al software di applicare differenti algoritmi matematici per definire i comportamenti statistici di ogni singolo sottosistema.
Una volta definiti i sottosistemi del modello comprendenti le informazioni geometriche e le caratteristiche dei materiali, il calcolo necessita di forzanti d'ingresso al sistema per calcolare come le energie si ridistribuiscono all'interno del modello stesso; questa fase, discussa in seguito, consente di tarare il modello prendendo in considerazione misure eseguite in campo come target del modello.



$$P_{iniziale} = \eta_1 \omega_c \langle E_1 \rangle_{\Omega} + N_1 \eta_{12} \left(\frac{\langle E_1 \rangle_{\Omega}}{N_1} - \frac{\langle E_2 \rangle_{\Omega}}{N_2} \right)$$

$$P_{iniziale} = \eta_2 \omega_c \langle E_2 \rangle_{\Omega} + N_2 \eta_{21} \left(\frac{\langle E_2 \rangle_{\Omega}}{N_2} - \frac{\langle E_1 \rangle_{\Omega}}{N_1} \right)$$

Un esempio molto semplice permette di comprendere la metodologia SEA, con il quale si vuole studiare un sistema composto da due sottosistemi connessi tra loro, come da schema riportato a lato. Tale sistema viene rappresentato nella metodologia SEA con due equazioni matriciali 1 e 2 che consentono di risolvere il bilancio energetico del modello stesso.

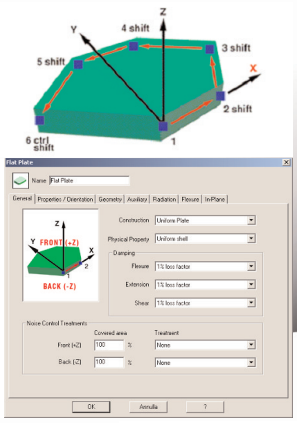
Le due equazioni rappresentano il bilancio energetico del sistema. Queste due equazioni sono necessarie per costruire un sistema a due equazioni con due variabili in forma matriciale, la sua soluzione avviene nel momento in cui si diagonalizza la matrice dei componenti, costituita proprio dalle caratteristiche geometriche e dalle caratteristiche dei materiali, rappresentate dal fattore dismorzamento (damping loss factor) e dal fattore di perdita di accoppiamento (coupling loss factor).

Descrizione tecnica della costruzione del modello vibroacustico SEA

La costruzione di un modello SEA si basa sulla geometria, normalmente disponibile come CAD o FEM, proveniente ad esempio come un file Iges o Nastran dell'oggetto da simulare, in questo caso una nave passeggeri.
La geometria può anche essere disegnata e il software consente di costruire elementi piani, curvilinei, cilindrici, ai quali associare una geometria dalla quale ricava, per mezzo di elementi triangolari, l'area ed il perimetro e, nel caso di volumi, anche la terza dimensione.
All'insieme geometrico viene associato un database di materiali e di proprietà intrinseche dovute allo smorzamento o alla presenza di materiali ad esso abbinati, ad esempio la presenza di materiali come doppie pareti o pavimenti associati a parti del modello stesso. Gli elementi comuni della tecnica SEA sono suddivisi in 8 elementi base:

- Barre
- Barre curvilinee
- Elementi piani
- Elementi curvilinei
- Elementi cilindrici
- Elementi curvilinei a doppia curvatura
- Elementi di volume

Esempio:
costruzione di un elemento piano.



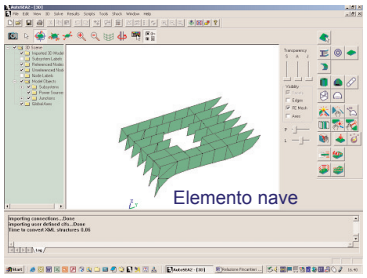
Questo elemento, una volta generato, viene associato ad un database di materiali secondo la seguente tavola nella quale si introducono tutte le caratteristiche tecniche e dei materiali associati.

Il processo viene ripetuto per ogni elemento fino alla

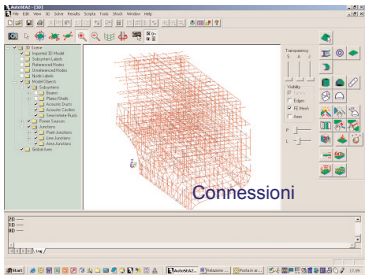
S.C.S.
Noise and Vibration
Measurement and Analysis Systems
Consult and Services for Environment
Consult and Services for Industry
WEB & Information technologies

www.scs-controlsys.com

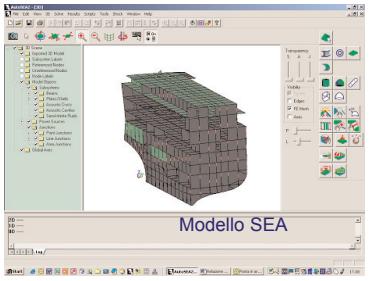
costruzione totale del modello.
Di seguito è riportata una serie di immagini relative alla costruzione del modello per il caso del fasciame di una nave passeggeri.



Una volta completata la geometria ed il database dei materiali è necessario eseguire le connessioni tra i vari elementi; questa viene definita con la funzione di autoconnect che provvede a definire tutte le connessioni presenti nel modello.

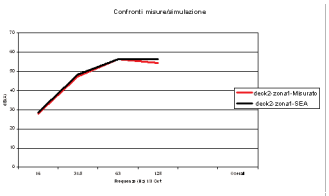


Ottenendo infine il modello finito sul quale operare le validazioni e le simulazioni.

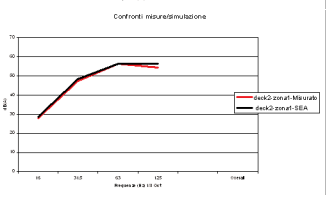


La validazione del modello è iniziata considerando i livelli di pressione sonora presenti nell'area ricreativa di uno dei ponti, misurati su di una unità simile.
Per poter ottenere i livelli di pressione sonora nell'area considerata sono state inserite come forzanti gli spettri delle misure di accelerazione rilevati sulla chiglia della nave, ottenendo i seguenti risultati:

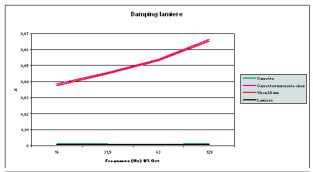
E' però risultato che il bilancio energetico non veniva soddisfatto e che i valori di accelerazione scafo non erano sufficienti da soli a generare i livelli di pressione sonora misurati.

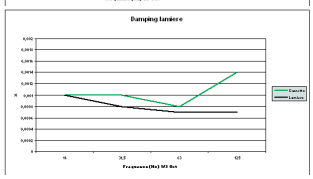


Si è allora cercato di valutare quali fossero le forze sottostimate, e sono state aggiunte nell'ordine: una forzante sulla supporto dell'elica con componente verticale ed una forzante longitudinale ottenendo un notevole aumento dei livelli di pressione sonora calcolati all'interno dell'area, simili a quelli misurati.



E' quindi iniziata la taratura del modello SEA procedendo in modo da ottenere un livello accettabile per ogni punto del ristorante preso in considerazione.





Questa prima valutazione del modello ha dovuto però essere corretta con tutti gli effetti smorzanti dovuti ai trattamenti sulle pareti e sui pavimenti, ed inserendo anche gli effetti di fonoassorbimento dei materiali di arredo e rivestimento.

Sono state inserite le frequenze di smorzamento per le lamiere nude e quelle realtive alle stesse con trattamenti smorzanti a cassetta, sia per le componenti visco elastiche dei trattamenti dei pavimenti, sia di smorzamento delle paratie. I coefficienti di smorzamento sono stati misurati con la metodolgia normata SAE presso i nostri laboratori.

Mediante successivi aggiustamenti si giunge ad una soluzione accettabile nella quale gli scarti tra la sperimentazione e la simulazione possano essere considerati compatibili con gli scopi della ricerca.

Hz (1/1)	Misurato deck 2 (dBA)	Simulato deck 2 (dBA)	scarto (dB)
16	22	28.76	+6.76
31.5	47.3	48.57	+1.27
63	56.4	56.39	-0.01
125	54.3	56.36	+2.06
Globale	58.8	59.7	-0.9

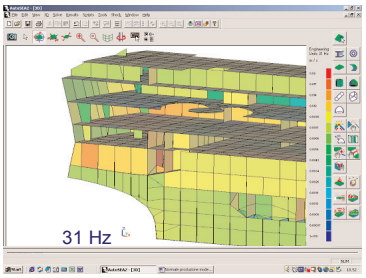
Studio delle vie di propagazione

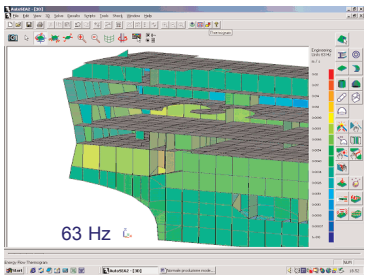
Effettuata la validazione, il modello SEA consente di valutare le vie di propagazione dell'energia, operazione in grado di dare la possibilità di osservare quali sono le vie di propagazione della vibrazione e gli elementi che contribuiscono maggiormente alla generazione del rumore nell'area di studio considerata.

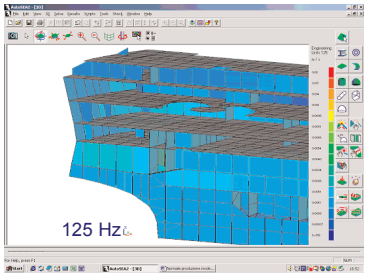
Con le analisi effettate si sono riscontrate più vie di propagazione che si dipartono dalle sollecitazioni di chiglia e si propagano fino all'area in esame lungo le paratie e le murate laterali e posteriori, come è possibile osservare dalle immagini riportate di seguito.
Le vie di propagazione non sono le stesse per tutte le frequenze ma variano con le stesse e se ne privilegiano alcune rispetto ad altre.

Nelle rappresentazioni a scala di colori qui di seguito riportate, per le frequenze di 31, 63 e 125 Hz, si potranno notare le variazioni energetiche dei vari sottosistemi, questi dovranno essere oggetto di trattamenti acustici, fonoisolamento e smorzamento, per la riduzione del livello di pressione sonora nell'area oggetto della ricerca.

I risultati di simulazione a frequenze molto basse (16 Hz) sono stati eliminati in quanto non risultava possibile ottenere un migliore grado di errore tra misure sperimentali e simulazioni







Sedi operative in: EU, USA, ASIA

Sedi principali:

10051 Avigliana (TO)
Via Gandhi, 13
Tel.:+39.011.9348705
Fax:+39.011.9348703

35011 Campodarsego (PD)
Via Antoniana, 278
Tel.: +39.049.9200975
Fax: +39.049.9201239

SCS Controlli e Sistemi
SCS euroAcoustic
SCS DETES
SCS AvinTech

Rappresentante - Sede locale:

www.scs-controlsys.com info@scs-controlsys.com

Simulazione per il controllo di rumore e vibrazioni

L'utilizzo di tecniche di simulazione è l'approccio più corretto per la ricerca di soluzioni per il controllo del rumore e delle vibrazioni, rispetto ad esempio all'approccio empirico, derivato dall'esperienza, ma che comporta una serie di prove/errori che possono alla fine risultare abbastanza costosi, in termini di tempo e denaro, e che non necessariamente garantiscono di trovare le soluzioni più funzionali ed economiche.
La simulazione è oggi alla portata di un vasto pubblico grazie alle tecniche numeriche e ai software che guidano passo-passo l'utilizzatore, è però sempre necessario "conoscere" quello che si sta facendo, avere una discreta sensibilità sulla dinamica delle strutture, sul concetto di campo acustico e sulle proprietà specifiche dei materiali.
La tecnica SEA è sicuramente una metodologia piuttosto intuitiva e con indiscussi vantaggi in termini di velocità di esecuzione, rispetto ad esempio a metodi FEM-BEM, ed è sufficiente comprendere il concetto statistico del metodo per farne un utilizzo corretto, in altre parole: non si devono ricercare risultati "impossibili", più che il valore assoluto del risultato è importante capire la "sensibilità" del modello alle modifiche che man mano vengono introdotte.