

Analisi dei modi di vibrazione

Andrea Cerniglia
hilbert@venus.it

(Estratto da RCI, anno XXVI N. 8, agosto 1999, Tecniche Nuove)

Una descrizione di un potente mezzo di indagine del comportamento dinamico di una di una macchina o di un impianto aeraulico alle sollecitazioni interne o esterne ad essa, utile al progettista per comprendere le cause di alcuni problemi di rumore e vibrazione.

Talvolta è possibile affrontare il problema della riduzione del rumore emesso da un'installazione, analizzandone il comportamento sotto l'aspetto delle vibrazioni in essa presenti. E' infatti noto come le vibrazioni meccaniche, in determinate situazioni, generano fenomeni acustici talvolta anche di importanza considerevole. Ovviamente le vibrazioni rivestono importanza non soltanto rispetto al problema acustico indotto, ma anche dal punto di vista del corretto funzionamento dell'installazione e dall'eventuale disturbo o danno che possono provocare, direttamente o indirettamente, alle persone, alle cose, o alle altre strutture.

Di seguito viene descritto un particolare approccio allo studio del problema delle vibrazioni, noto con il nome di analisi modale, il quale mira ad identificare le frequenze che, se eccitate da una forza interna od esterna all'oggetto in esame, possono creare problemi a causa del particolare comportamento di quest'ultimo a quelle specifiche frequenze.

Per meglio comprendere l'analisi modale e le sue applicazioni, è bene richiamare il concetto di '*frequenza naturale*'; la figura A mostra un semplice modello meccanico formato da una massa m collegata a una molla k (consideriamo la massa m puntiforme, la molla k lineare e di massa nulla, ipotizziamo inoltre che il sistema sia privo di smorzamento). Il sistema rappresentato, se sollecitato, entra in oscillazione con una frequenza ben precisa legata proprio ai valori della massa e della molla secondo la formula indicata nella figura: tale frequenza prende il nome di '*frequenza naturale*'. E' inoltre possibile considerare nel calcolo anche lo smorzamento, qui omissso per semplicità.

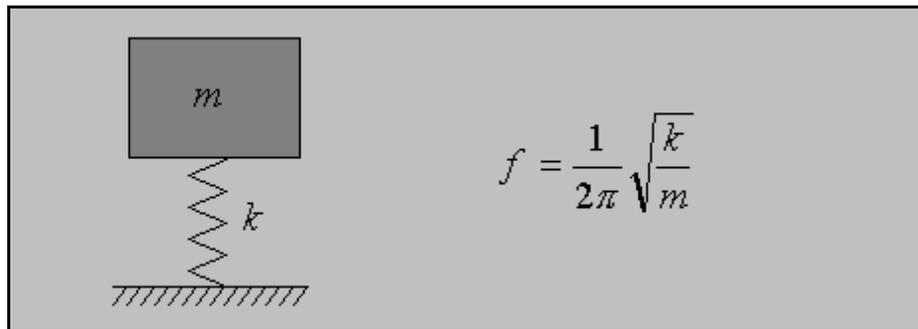


figura A: sistema massa-molla; i valori di m e di k determinano la frequenza naturale del sistema secondo la formula riportata.

Gli oggetti reali sebbene molto più complessi del semplice sistema illustrato, presentano comportamenti analoghi a quello appena descritto: più precisamente essi sono caratterizzati da una serie di frequenze proprie, ognuna delle quali dotata del relativo smorzamento e della propria forma modale. Si pensi ad esempio al comportamento di una campana che, quando percossa, vibra emettendo un insieme di frequenze ben determinato, le quali si smorzano successivamente con il trascorrere del tempo. E' quindi palese come, qualora una forza interna o esterna ad una struttura agisce su quest'ultima fornendo energia ad una di queste frequenze, si instaura nella struttura un'oscillazione (si parla in questo caso di *risonanza*), che può provocare uno o più effetti indesiderati; rientra ad esempio tra questi sgraditi fenomeni la vibrazione anomala di un carter che si verifica quando qualche cinematismo ad esso collegato ruota ad un particolare numero di giri, tale per cui la frequenza di rotazione coincide con la frequenza propria del pannello (il quale entra quindi in oscillazione generando rumore ed altri problemi).

Oltre agli strumenti di calcolo che la tecnologia informatica mette a disposizione degli ingegneri per indagare in fase di progetto il comportamento dinamico di una macchina o di una struttura, esistono anche altri strumenti che, a realizzazione ultimata, consentono di analizzarne le caratteristiche dinamiche mediante appropriate misurazioni, al fine di comprenderne meglio alcuni aspetti e consentire ai progettisti di operare quindi le opportune scelte mirate alla soluzione degli eventuali problemi riscontrati. L'analisi modale rientra tra questi ultimi strumenti di indagine. Per mezzo della analisi modale è possibile quindi individuare le frequenze proprie di una struttura o di parte di essa, corredate dai relativi smorzamenti e dalle forme modali ad esse associate. In altri termini è possibile conoscere, per ogni frequenza propria del sistema, lo smorzamento e la distribuzione spaziale dei ventri e dei nodi di vibrazione.

La figura 1 mostra uno dei modi di vibrazione di un particolare di una macchina aerea, elaborato e rappresentato per mezzo del programma ME'Scope. Purtroppo l'immagine statica qui rappresentata non rende così bene come la rappresentazione animata a computer dalla quale è stata estratta. L'animazione del modo di vibrazione mostra infatti, come una sorta di stroboscopio, la forma dell'oscillazione che si instaura nel caso in cui il particolare venga eccitato alla frequenza propria studiata.

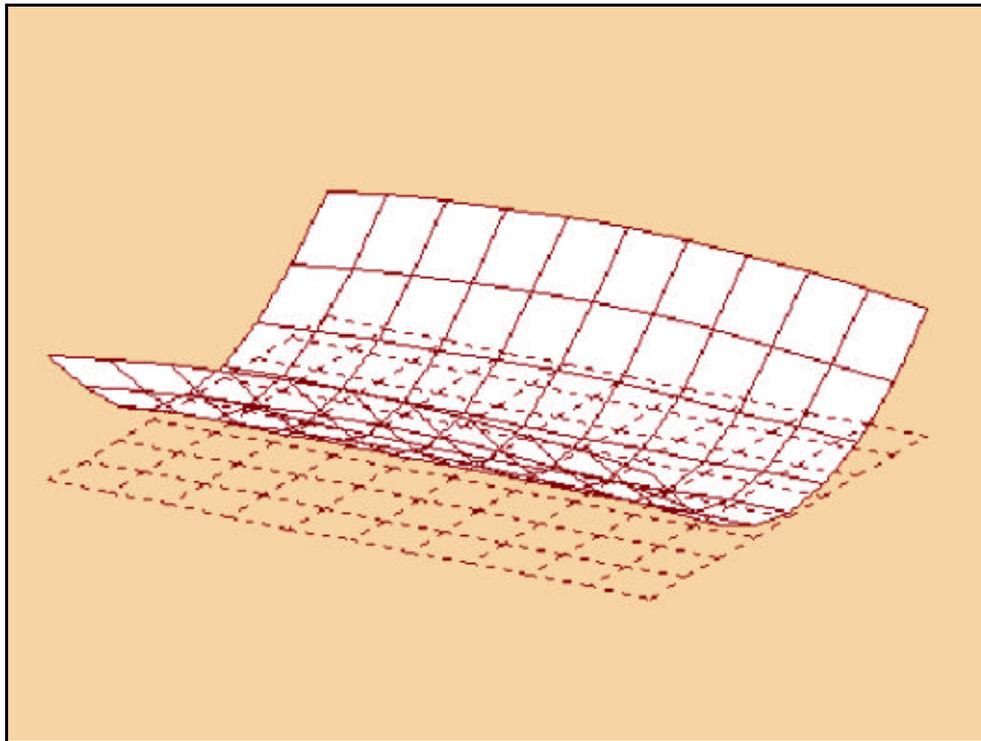


Figura 1: rappresentazione di uno dei modi di vibrazione di un particolare di una macchina aerea. L'immagine mostra, sovrapposte, la struttura indeformata ed il modo considerato.

Il processo per eseguire l'analisi modale di una struttura passa attraverso alcune tappe fondamentali: in primo luogo è necessario discretizzare la struttura in esame con una serie di punti, opportunamente scelti, al fine di creare un disegno a computer relativo all'oggetto studiato. Nei punti così definiti devono quindi essere eseguiti altrettanti rilievi di vibrazione per mezzo di uno strumento capace di acquisire simultaneamente almeno due canali di misura: il primo relativo ad un trasduttore di forza, il secondo relativo ad un trasduttore di accelerazione o di velocità. La figura 2 mostra un analizzatore di spettro portatile a due canali utilizzabile allo scopo.



Figura 2: Analizzatore di spettro portatile a due canali, per analisi acustiche e di vibrazione, collegato a martello strumentato con trasduttore di forza e ad accelerometro. La funzione raffigurata sul display è la Frequency Resonse Function. (Larson & Davis Inc.).

Più precisamente la prova avviene eccitando la struttura con una forza esterna applicata sequenzialmente nei diversi punti definiti (che viene quindi misurata ogni volta dal trasduttore di forza), ed acquisendo contemporaneamente la risposta in un particolare punto, dovuta alla sollecitazione fornita. E' possibile in alternativa eccitare il sistema agendo sempre in un medesimo punto accuratamente scelto, e rilevando quindi sequenzialmente la risposta in tutti i punti precedentemente definiti. In alcuni casi particolari è inoltre possibile utilizzare simultaneamente più eccitazioni (in questo caso ovviamente non è più sufficiente acquisire solo due canali simultanei ma è necessario disporre di un numero maggiore di ingressi), al fine di eccitare particolari modi di vibrazione. La funzione che viene calcolata a partire dai due segnali acquisiti, per ogni misurazione effettuata, è la 'risposta in frequenza' (spesso indicata con l'acronimo FRF, *Frequency Response Function*). Tale funzione la si può immaginare come una sorta di rapporto tra la risposta ottenuta dal sistema e la eccitazione che la ha originata (naturalmente per la coppia di punti misurati); questa 'normalizzazione' dell'effetto rispetto alla causa consente quindi di ottenere, per ogni frequenza, una informazione in termini di ampiezza e fase, relativa ad una caratteristica propria del sistema (infatti, nei casi in cui è possibile considerare lineare quest'ultimo, al variare dell'eccitazione varia proporzionalmente anche la risposta, e conseguentemente resta costante il rapporto tra le due funzioni). La prova descritta viene eseguita a installazione ferma, non sollecitata da altre forze diverse da quella fornita per la prova. Una volta acquisite tutte le misure necessarie, si passa quindi alla elaborazione a computer dei dati rilevati ed alla successiva rappresentazione di

frequenze, smorzamenti e forme modali. La figura 3 riassume le diverse fasi dell'analisi modale.

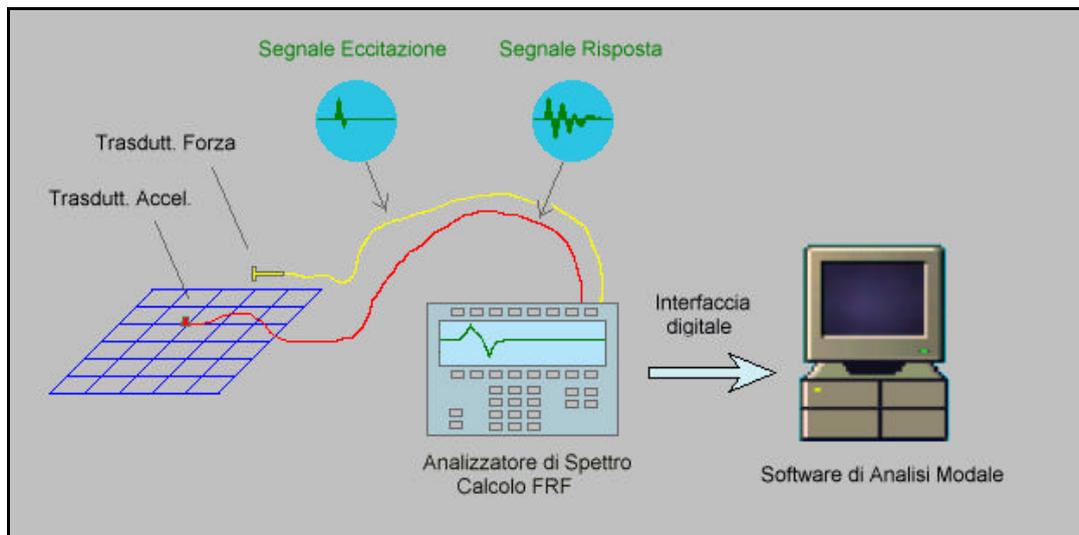


Figura 3: Un setup per analisi modale con eccitazione impulsiva (martello con cella di carico) e risposta accelerometrica. I due segnali acquisiti vengono inviati all'analizzatore di spettro per il calcolo della FRF, il quale è a sua volta collegato al computer per la elaborazione dei dati.

Tra le applicazioni dell'analisi modale, oltre a quelle di ottimizzazione progettuale, vale la pena ricordare la possibilità della considerazione di una installazione nella sua globalità, in opera; in questo caso infatti il progettista dell'impianto potrebbe essere interessato a studiare ad esempio l'interazione tra una macchina aeraulica di trattamento d'aria e le strutture che ha progettato a corredo di questa, quali canali, paratie eccetera. Tale aspetto assume chiaramente una importante connotazione, specialmente nei grossi impianti dove talvolta risulta difficile individuare le cause dei problemi.

Bibliografia

- D.J. Ewins, Modal Testing: Theory and Practice, Research Studies Press Ltd 1986
- Mark H. Richardson, Measurement and analysis of the dynamics of mechanical structures, Hewlett-Packard Conference, Detroit 1978
- W.Seto, Sistemi vibranti, Collana Shaum, Etas libri
- ME'Scope Application Notes & Instruction Manual, Vibrant Technologies
- Larson & Davis 2900 Training Manual
- www.spectra.it/docum.htm