

Allegato 2

LAV – Laboratorio di Acustica e Vibrazioni

Target Settoriale: Veicolo, Macchine e Sistemi meccanici

Indice

Strutture.....	3
Struttura 1: DIPING – Dipartimento di Ingegneria (UNIFE) e dipartimento di Fisica (UNIFE).....	4
Struttura 2: IMAMOTER (CNR).....	28
Struttura 3: DIENCA - Dipartimento di Ingegneria Energetica, Nucleare e del Controllo Ambientale (UNIBO).....	41
Struttura 4: DIEM - Dipartimento di Ingegneria delle costruzioni meccaniche, nucleari, aeronautiche e di metallurgia (UNIBO).....	46
Struttura 5: DIMeC - Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile (UNIMORE).....	56
Struttura 6: Dipartimento di Ingegneria Industriale (UNIPR).....	63

Strutture

Università di Ferrara

Dipartimento di Ingegneria (DIPING)

Dipartimento di Fisica

CNR- Ferrara

IMAMOTER (Istituto Macchine Agricole e Movimento Terra)

Università di Bologna

DIENCA (Dipartimento di Ingegneria Energetica, Nucleare e del Controllo Ambientale)

DIEM (Dipartimento di Ingegneria delle costruzioni meccaniche, nucleari, aeronautiche e di metallurgia)

Università di Modena

DIMeC (Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile)

Università di Parma

Dipartimento di Ingegneria Industriale

Struttura 1: DIPING – Dipartimento di Ingegneria (UNIFE) e Dipartimento di Fisica (UNIFE)

Università di Ferrara

DIPING - Dipartimento di Ingegneria

Sito web: www.ing.unife.it (<http://acustica.ing.unife.it>)

Indirizzo: Via Saragat 1, 44100 Ferrara

Direttore: Prof. Stefano Piva
Via Saragat 1, 44100 Ferrara
Telefono 0532 974909
e-mail: spiva@ing.unife.it

Dipartimento di Fisica

Sito web: www.ing.unife.it (<http://www.fe.infn.it/dipfis.html>)

Indirizzo: Via Paradiso 12, 44100 Ferrara

Direttore: Prof. Giuliano Martinelli
ViaParadiso,12 44100 Ferrara
Telefono 0532 974211
e-mail: martinelli@fe.infn.it

Laboratori e strumentazioni disponibili

Attrezzature di ricerca

- ◆ *Camera silente* (5x4x3m). Questa camera si presta a misure di potenza sonora per macchinari di dimensioni medio piccole. Essa inoltre è equipaggiata con dieci altoparlanti ed è utilizzata per indagini psicoacustiche.
- ◆ *Banco* reversibile per prove dinamiche ed in regime stazionario di macchine motrici ed operatrici, costituito da motore elettrico asincrono a carcassa oscillante della potenza di 87 kW controllato tramite inverter.
- ◆ *Camera anecoica* (in costruzione presso la struttura). L'Istituto IMAMOTER del CNR e il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara stanno promuovendo, da alcuni anni, un progetto per la realizzazione, nell'area universitaria ove ha sede il Dipartimento di Ingegneria, di una "camera anecoica", struttura indispensabile allo svolgimento delle attività di ricerca e servizio alle imprese. La realizzazione di un ambiente acusticamente controllato che non risenta dell'effetto delle onde riflesse dalle pareti, richiede progettazioni e realizzazioni di alta qualità. Una tale struttura risulta indispensabile per diversi utilizzi. Innanzitutto per scopi certificativi, ossia per la certificazione, oggi obbligatoria, del livello di

rumore emesso da una vastissima tipologia di prodotti e macchine. A tal proposito si può osservare che, attualmente, nel nord-est dell'Italia non esistono strutture simili in grado di caratterizzare i diversi prodotti industriali secondo le normative UNI CEN e ISO.

Quindi, attraverso contratti di ricerca e di consulenza, la presenza di una camera anecoica potrebbe permettere la stipula, con le ditte interessate, di contratti di ricerca finalizzati allo sviluppo di prodotti più silenziosi e in grado di soddisfare i requisiti imposti dal mercato europeo.

In secondo luogo, tale struttura potrebbe essere impiegata anche per lo svolgimento di ricerche, di alto livello, nei vari settori dell'acustica applicata che vanno dall'acustica architettonica, alle tecniche di controllo del rumore fino all'acustica musicale.

Attualmente, grazie ai fondi messi a disposizione dal Consiglio Nazionale delle Ricerche e dall'Università di Ferrara, si è realizzata solo parte di questo laboratorio e, precisamente, l'involucro esterno, di dimensioni 20x13x10 m³, costruito in modo da essere opportunamente isolato dall'ambiente esterno, entro cui dovrà essere realizzato l'ambiente completamente anecoico.

Dotazione strumentale

Hardware

- ◆ *Analizzatori:* B&k2133, Larson Davis3200, 3 analizzatori B&K2260
- ◆ *Fonometri:* Rion A29
- ◆ *Test acustici sui materiali:* Tubo B&K per misure di assorbimento sonoro, Tube per misure di resistenza al flusso
- ◆ *Sonde microfoniche:* Microfono Soundfield SUST250, Cuffie Sennheiser MKE2002, Sonda Binaurale Neumann KU100, Sonda Intensimetrica B&k4181, capsule microfoniche B&K da 1/2" e da 1/4" inch B&K, Preamplificatori B&K e Larson Davis
- ◆ *Sorgenti sonore:* Dodecaedro Norsonik, Dodecaedro equalizzato Claber
- ◆ *Accelerometri:* Accelerometri monoassiali e triassiali B&K con sistema signal-conditioner Nexus, calibratore B&K a shaker B&K
- ◆ *Misure di riverbero strutturale:* Martello strumentato PCB
- ◆ *Audio:* Scheda Audio MOTU2048, Scheda Audio RolandUA100, Registratore Digitale Tascam DA38, Preamplificatore Tascam MA/DA8, 10 Altoparlanti Lem SPL, 2 Monitor Quedsted F11

Software

- ◆ Software per B&K2260: intensimetria, acustica architettonica ed edilizia, fonometria
- ◆ Software per B&K2133: intensimetria ed assorbimento acustico dei materiali
- ◆ Software per LD3200: pacchetto completo Noise Works
- ◆ Pacchetto di analisi dati B&K Evaluator
- ◆ Pacchetto Cooledit con plug-in Aurora per misure acustiche e convoluzione real-time
- ◆ Pacchetto Acoustic Analyzing Software della Yoshimasa Electronics
- ◆ Programma Ramsete per la simulazione e lo studio dell'acustica degli ambienti

Strumenti sviluppati

- ◆ Intensimetro per la misura della polarizzazione energetica (Labview), B-format real-time player (Labview)

Attività

- ◆ **TEMA 1** - Analisi delle emissioni acustiche per la determinazione delle condizioni di funzionamento delle macchine a fluido
- ◆ **TEMA 2** – Caratterizzazione acustica di motori diesel e veicoli di trasporto
- ◆ **TEMA 3** - Caratterizzazione acustica e vibrazionale di macchine utensili portatili
- ◆ **TEMA 4** – Studio di materiali fonoassorbenti
- ◆ **TEMA 5** – Caratterizzazione e modellizzazione di un avvisatore acustico per autoveicolo
- ◆ **TEMA 6** - Caratterizzazione sperimentale e simulazione numerica (modellazione elastodinamica e fem) del comportamento vibro-acustico di sistemi meccanici, finalizzati all'identificazione delle sorgenti e delle modalità di propagazione delle vibrazioni e del rumore ed alla ricerca di soluzioni progettuali migliorative
- ◆ **TEMA 7** - Controllo attivo della trasmissione delle vibrazioni e del rumore mediante l'impiego di sensori-attuatori integrati (*smart structures*)
- ◆ **TEMA 8** - Tecniche di monitoraggio e diagnostica di trasmissioni, componenti meccanici ed utensili per lavorazioni meccaniche, basate sull'analisi sperimentale delle vibrazioni e del rumore

Tematica 1: **Analisi delle emissioni acustiche per la determinazione delle condizioni di funzionamento delle macchine a fluido**

Descrizione

La messa a punto di tecniche per la determinazione dello stato di funzionamento dei sistemi energetici passa anche attraverso la realizzazione di banchi prova per effettuare analisi sperimentali sulle macchine che li compongono. Tali analisi servono per:

- ◆ la messa a punto e la validazione di modelli di previsione delle prestazioni;
- ◆ la determinazione sperimentale delle correlazioni tra misure, parametri caratteristici e guasti;
- ◆ la valutazione del comportamento dinamico;
- ◆ l'analisi delle emissioni acustiche per la determinazione di condizioni di funzionamento anomalo quali, ad esempio, per i compressori stallo, surge e variazioni improvvise dello stato di funzionamento.

Considerando il **primo punto** la messa a punto di modelli di valutazione delle prestazioni di macchine può essere fatta utilizzando dati rilevati sperimentalmente su macchine di prova in laboratorio.

Il **secondo punto** concerne la determinazione sperimentale delle correlazioni tra misure, parametri caratteristici e guasti. Tale determinazione, di difficile attuazione su macchine in esercizio, può essere realizzata in modo efficace su macchine di prova in laboratorio, in quanto è possibile indurre guasti riproducibili di diversa entità, definendone la modalità di manifestazione e quantificandone l'effetto.

Per quanto concerne il **terzo punto**, la caratterizzazione dinamica delle macchine che compongono un sistema può essere utile per vari motivi. Dal punto di vista diagnostico, infatti, la risposta della macchina a sollecitazioni dinamiche sembra essere una strada convincente per avere informazioni sul suo stato di salute. Inoltre, attraverso le informazioni sperimentali è possibile costruire simulatori dinamici della macchina che sono strumenti utili in applicazioni quali la verifica del comportamento delle macchine in *off-design* o in presenza di guasto, il progetto e la verifica funzionale dei sistemi di controllo e l'addestramento del personale.

Per quanto riguarda il **quarto punto**, infine, l'analisi delle emissioni acustiche ha la potenzialità di fornire numerose informazioni sul comportamento della macchina in condizioni di funzionamento anomalo, quali, ad esempio per i compressori lo *stallo* e il *surge*, e quindi permettere una più profonda comprensione di questi fenomeni. Inoltre, l'indagine delle emissioni acustiche, applicata alla diagnosi, sembra essere una tecnica molto promettente per ottenere informazioni supplementari a supporto delle tecniche usualmente adottate per la determinazione dello stato di funzionamento della macchina.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ R. Bettocchi, M. Pinelli, P.R. Spina "A multi-stage compressor test facility: uncertainty analysis and preliminary test results" Proceedings of ASME Turbo Expo 2003 Power for Land, Sea and Air, June 16–19, 2003, Atlanta, Georgia, USA
- ◆ M. Pinelli, M. Venturini, M. Buzzoni "Banco prova per la caratterizzazione statica dinamica ed acustica di compressori"

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Enel Produzione Ricerca Spa (PI) - Diagnosi dello stato di funzionamento di turbogas per la produzione di energia elettrica
- ◆ Cesi (MI) - Tecniche numeriche di diagnostica di processo per turbine a gas industriali

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

- ◆ **Sviluppo di codici di calcolo per l'analisi dello stato di funzionamento di macchine e sistemi energetici**

L'applicazione di codici di calcolo per l'analisi dello stato di funzionamento a macchine e sistemi energetici permette il loro monitoraggio in continuo, così da avere una conoscenza sempre aggiornata del loro stato di funzionamento. Ciò consente di ottimizzare la gestione delle macchine e dei sistemi monitorati ed, in particolare, di:

- programmare in anticipo le fermate per manutenzione;
- minimizzare gli interventi di manutenzione programmata e le fermate di emergenza, incrementando la disponibilità delle macchine;
- modificare, in alcuni casi, la logica di controllo della macchina per adattarla al suo reale stato di funzionamento, recuperando in questo modo parte della riduzione di prestazioni.

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Aziende di costruzione
- ◆ Aziende di gestione e di manutenzione di macchine e sistemi energetici

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione ed inerenti la tipologia/tematica

- ◆ ENI E&P Division, Marina di Ravenna (RA) - Sviluppo di un sistema software per il monitoraggio e la diagnostica dei turbogas utilizzati per il trascinamento dei compressori del

gas naturale in funzione nella centrale di compressione dell'ENI E&P Division ubicata a Casalborsetti (RA)

I possibili link per informazioni

- ◆ http://www.unife.it/dipartimento/dipartimento_index_liv3-2.htm
- ◆ <http://acustica.ing.unife.it/>

Tematica 2: Caratterizzazione acustica di motori diesel e veicoli di trasporto

Descrizione

Lo studio si concentra sui seguenti argomenti:

- ◆ caratterizzazione acustica con tecnica di pressione sonora e intensimetrica di motori diesel di tipo industriale, volta alla individuazione delle principali sorgenti di rumore ed alla riduzione della emissione sonora;
- ◆ caratterizzazione e insonorizzazione di autobus urbani con propulsori diesel e sistemi ibridi (diesel-elettrico), con misure di pressione sonora al passaggio (prove di pass-by) e intensimetriche, volta alla riduzione delle immissioni di rumore in ambiente esterno urbano.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ F. Pompoli, A. Peretti, M. Baiamonte, L. D'Agostini, "Caratterizzazione acustica di autobus urbani", ATTI 29° Convegno AIA, Ferrara 12-14 Giugno 2002
- ◆ F. Pompoli, A. Peretti, L. D'Agostini, M. Baiamonte, "Insonorizzazione di autobus urbani", ATTI 29° Convegno AIA, Ferrara 12-14 Giugno 2002
- ◆ Tesi di Laurea in Ingegneria dei materiali– Università di Ferrara - L. D'Agostini, "Caratterizzazione acustica e insonorizzazione di autobus urbani", A.A. 2000/2001
- ◆ Tesi di Laurea in Ingegneria dei materiali– Università di Ferrara - A. Baraldi, "Caratterizzazione acustica e vibrazionale di motori diesel industriali", A.A. 2001/2002

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ VM Motori Spa - Cento (FE)
- ◆ ACFT spa - Ferrara (FE)

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

Le applicazioni finora condotte hanno riguardato motori Diesel e veicoli per il trasporto pubblico urbano. Potenzialmente le tecniche e le metodologie sviluppate hanno un ampio campo di applicazione nel settore automotive – e in generale nel settore meccanico - per affrontare problematiche di tipo vibro-acustico.

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Aziende trasporti, aziende produttrici di veicoli, aziende produttrici di motori.

I possibili link per informazioni

- ◆ http://www.unife.it/dipartimento/dipartimento_index_liv3-2.htm
- ◆ <http://acustica.ing.unife.it/>

Tematica 3: Caratterizzazione acustica e vibrazionale di macchine utensili portatili

Descrizione

Lo studio ha affrontato la problematica relativa al rumore e alle vibrazioni prodotte da due tipologie di macchine utensili portatili: smerigliatrice angolare e troncatrice a sega circolare. Sono state eseguite misure di potenza sonora con tecnica di pressione e intensità sonora, misure al posto operatore a vuoto e a carico, misure di pressione per individuare i contributi relativi ai singoli componenti delle macchine. Sono state inoltre sviluppate alcune modifiche progettuali, alcune delle quali realizzate e testate su prototipi.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ F. Pompoli, A. Peretti, M. Baiamonte "Studio del rumore emesso da una smerigliatrice portatile", ATTI 29° Convegno AIA, Ferrara 12-14 Giugno 2002
- ◆ Tesi di Laurea in Ingegneria dei materiali – Università di Ferrara - C. Fontana, "Caratterizzazione acustica e vibrazionale di macchine utensili portatili", A.A. 1998/1999

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Felisatti s.r.l. – Ferrara (FE)

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Obiettivo 2 - Progetto pilota n° 3: Studio e messa a punto di prototipi di utensileria elettromeccanica protetti acusticamente (progetto MUTI).

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

Le applicazioni finora condotte hanno riguardato macchine utensili portatili. Potenzialmente le tecniche e le metodologie sviluppate hanno un ampio campo di applicazione nel settore meccanico per affrontare problematiche di tipo vibro-acustico.

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Aziende produttrici di macchine utensili portatili

I possibili link per informazioni

- ◆ http://www.unife.it/dipartimento/dipartimento_index_liv3-2.htm
- ◆ <http://acustica.ing.unife.it/>

Tematica 4: Studio di materiali fonoassorbenti

Descrizione

Sono stati svolti diversi studi sperimentali e teorici su alcune tipologie di materiali fonoassorbenti, in particolare, per:

- ◆ materiali in fibre di poliestere è stato sviluppato un modello matematico in grado di prevederne le prestazioni fisico-acustiche (resistenza al flusso d'aria, assorbimento acustico, impedenza acustica) in funzione delle caratteristiche fisiche degli stessi materiali (spessore e densità);
- ◆ materiali in schiuma melamminica sono state sviluppate pitture a base d'acqua che consentano di variare superficialmente il colore dei pannelli e conferiscano particolari proprietà acustiche ai pannelli verniciati.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ M. Garai, F. Pompoli, "Un modello matematico delle caratteristiche acustiche di materiali in fibra di poliestere", ATTI 29° Convegno AIA, Ferrara 12-14 Giugno 2002
- ◆ M. Garai, F. Pompoli, "Deefinition and first validation of a new mathematical model of polyester fibre materials", Proc. of FORUM ACUSTICUM, Sevilla 2002
- ◆ F. Pompoli, "Caratterizzazione fisico-acustica di materiali fonoassorbenti verniciati", ATTI 29° Convegno AIA, Ferrara 12-14 Giugno 2002
- ◆ F. Pompoli, "Acoustical optimisation of paints for porous materials", Euronoise 2003, Naples 2003
- ◆ F. Pompoli, Tesi di Dottorato di Ricerca in Fisica Tecnica – Università di Bologna – "Modelli Matematici per l'assorbimento acustico di materiali in fibra di poliestere"
- ◆ R. Bonetti, Tesi di Laurea in Ingegneria dei materiali – Università di Ferrara – "Sviluppo di pitture all'acqua per materiali fonoassorbenti porosi e loro caratterizzazione fisico-acustica", A.A. 2000/2001

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ GFC Chimica s.r.l – Ferrara (FE)
- ◆ O.R.V. Ovattificio Resinatura Valpadana s.p.a.- Padova (PD)

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

I risultati della ricerca hanno un ampio campo di applicazione nel settore meccanico per affrontare problematiche di tipo vibro-acustico. Inoltre, rivestono un interesse generale per progettisti e ricercatori che operano nei diversi settori dell'acustica.

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Produttori ed utilizzatori di materiali fonoassorbenti, produttori di materiali vernicianti

I possibili link per informazioni

- ◆ http://www.unife.it/dipartimento/dipartimento_index_liv3-2.htm
- ◆ <http://acustica.ing.unife.it/>

Tematica 5: Caratterizzazione e modellizzazione di un avvisatore acustico per autoveicolo

Descrizione

Questa ricerca ha lo scopo di investigare l'avvisatore acustico per autoveicolo al fine di descriverne il comportamento attraverso un opportuno modello. La ricerca si compone di due parti integrate: la prima riguarda la caratterizzazione del sistema con misurazioni di natura acustica, vibrazionale ed elettrica, mentre la seconda si interessa dello sviluppo di due modelli di calcolo per investigare il comportamento dell'avvisatore. Il primo modello consiste in un sintetizzatore di suoni buzzer basato sulle tecnologie di convoluzione, che permetta la rapida valutazione delle prestazioni dell'avvisatore in relazione a diversi segnali di avviso (toni puri, composti, melodie). Il secondo è un modello a parametri concentrati che descrive il comportamento fisico del sistema nelle sue componenti elettriche, elettromeccaniche ed acustiche. Con questo modello si potrà intervenire per migliorare l'efficienza dell'avvisatore e riprogettarne le eventuali componenti critiche.

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ FIAMM S.p.a. – Azienda leader mondiale nella produzione di avvisatori acustici con sede a Montecchio Maggiore (VI), che fornisce il materiale di test ed il supporto conoscitivo sugli avvisatori.

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

Lo studio sull'avvisatore acustico è volto al miglioramento del prodotto. Lo studio si applica in maniera analoga ad avvisatori similari impiegati in altre categorie di veicoli.

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Industrie produttrici di componentistica e di dispositivi acustici per veicoli

I possibili link per informazioni

- ◆ http://www.unife.it/dipartimento/dipartimento_index_liv3-2.htm
- ◆ <http://acustica.ing.unife.it/>

Tematica 6: Caratterizzazione sperimentale e simulazione numerica (modellazione elastodinamica e fem) del comportamento vibro-acustico di sistemi meccanici, finalizzati all'identificazione delle sorgenti e delle modalità di propagazione delle vibrazioni e del rumore ed alla ricerca di soluzioni progettuali migliorative

Descrizione

Si rileva che nel campo acustico e vibratorio è necessaria una stretta interazione tra le simulazioni numeriche e le analisi sperimentali, a causa della complessità dei sistemi in studio e dei fenomeni dinamici presenti. Simulazioni ottenute mediante modelli numerici permettono di mettere in luce le complesse interazioni tra i parametri costruttivi e funzionali del sistema ed i fenomeni acustici e vibratorii che si producono. Risulta così possibile identificare le cause ed individuare soluzioni atte ad eliminare i problemi in modo molto più efficace e rapido, rispetto alla sola analisi di dati sperimentali. L'analisi sperimentale risulta indispensabile, almeno nella fase iniziale di messa a punto e validazione di un nuovo modello per una certa tipologia di componente. I due filoni sotto indicati sono pertanto strettamente connessi.

◆ Caratterizzazione vibro-acustica sperimentale

La ricerca riguarda l'identificazione per via sperimentale delle sorgenti di vibrazioni, delle modalità di generazione del rumore, delle modalità e dei percorsi di propagazione delle vibrazioni e del rumore. Tale caratterizzazione vibro-acustica è finalizzata sia alla raccolta di dati sperimentali indispensabili nello sviluppo e nella validazione di modelli, sia all'identificazione di soluzioni progettuali atte alla riduzione delle vibrazioni e del rumore. Attività di questo tipo sono state condotte anche in collaborazione con industrie (TRW Automotive Pumps, VM Motori, Ducati Corse).

La caratterizzazione acustica prevede misure di pressione sonora, secondo la normativa SAEJ1074, e di intensità acustica (mappatura intensimetrica); da queste ultime può essere calcolata la potenza sonora, secondo la normativa ISO 9614. Mappature intensimetriche più precise possono essere allestite in prossimità di sorgenti sonore oggetto di studio.

La caratterizzazione vibratoria consiste in rilievi delle vibrazioni, mediante accelerometri e/o vibrometro laser doppler; tale caratterizzazione vibratoria può essere condotta parallelamente ad una caratterizzazione acustica in campo vicino, che permette di stabilire correlazioni tra il comportamento vibratorio e l'emissione di rumore.

In alcune applicazioni risulta di notevole interesse il rilievo dell'effettiva legge di moto di organi di macchina in moto, nella quale si ha la sovrapposizione della legge di moto teorica e degli effetti vibratorii (ad es., rilievo del moto valvola e di altre grandezze meccaniche in meccanismi della distribuzione di motori a c.i., rilievo dell'effettiva legge di meccanismi per macchine automatiche). Tale rilievo può essere condotto con vibrometro laser doppler e, talvolta, con accelerometri.

◆ Modellazione e simulazione elastodinamica di sistemi meccanici ed analisi FEM di parti e componenti critici

La ricerca riguarda lo sviluppo e la validazione di modelli per la simulazione del comportamento cinetoelastodinamico di sistemi meccanici, da impiegare nell'ottimizzazione funzionale e nella diagnostica dei malfunzionamenti. Le applicazioni finora condotte hanno riguardato pompe ad

ingranaggi, riduttori ad ingranaggi, meccanismi per macchine automatiche, distribuzioni di motori a c.i. e azionamenti di macchine utensili, anche in collaborazione con industrie (v. sotto).

In ogni caso le ricerche si sono articolate nelle seguenti fasi: sviluppo di metodologie per la modellazione cinetoelastodinamica dei sistemi meccanici, con particolare riferimento alla modellazione degli effetti non lineari e dei malfunzionamenti; validazione dei modelli mediante il confronto con risultati sperimentali; sviluppo di metodologie di diagnostica basata sul modello per l'identificazione delle cause di effetti dinamici indesiderati e di malfunzionamenti; introduzione nei modelli di possibili modifiche progettuali migliorative del comportamento dinamico; conduzione di simulazioni atte ad indicare l'efficacia di tali modifiche; verifica sperimentale delle sole soluzioni più promettenti. Tale metodologia può essere integrata, a seconda delle applicazioni, dalla conduzione di analisi modali sperimentali e FEM di specifiche parti e componenti e dall'impiego di modelli di propagazione acustica.

E' evidente come la messa a punto ed il trasferimento all'industria di metodologie di questo tipo possa permettere di affrontare le problematiche vibro-acustiche in modo efficace e conveniente dal punto di vista dei tempi e dei costi.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ A. Fernandez Del Rincon, G. Dalpiaz, 2002, "A Model for the Elastodynamic Analysis of External Gear Pumps", Proceedings of ISMA2002 - International Conference on Noise & Vibration Engineering, 16-18 September, 2002 - Leuven, Belgium, pp. 1387-1396
- ◆ A. Rivola, G. Carlini, G. Dalpiaz, 2002, "Modelling the Elastodynamics Behaviour of a Desmodromic Valve train", Proceedings of ISMA2002 - International Conference on Noise & Vibration Engineering, 16-18 September, 2002 - Leuven, Belgium, pp.1417-1426
- ◆ A. Rivola, G. Carlini, G. Dalpiaz, A. Maggiore, 2002, "Valve Motion Measurements on Motorbike Cylinder Heads using High Speed Laser Vibrometer", Proceedings of the 5th International Conference on Vibration Measurements by Laser Techniques: Advances and Applications, 18-21/6/2002, Ancona (Italy), pp. 564-574
- ◆ M. Sidahmed, G. Dalpiaz, 2001, "Signal Generation Models for Diagnostics", in 'Encyclopedia of Vibration', Braun S. Ed., Academic Press, 2001, pp. 1184-1193
- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola, 2000, "A Non-Linear Elastodynamic Model of a Desmodromic Valve Train", Mechanism and Machine Theory, Vol. 35, No. 11, November 2000, pp. 1551-1562
- ◆ G. Dalpiaz, G. Giuliani, A. Rivola, 2000, "Impiego di SIMULINK per la Simulazione del Comportamento Dinamico di Azionamenti Meccanici", Proceedings of MATLAB Conference 2000, Bologna, Italy, 8-9 February 2000
- ◆ G. Dalpiaz, G. Giuliani, A. Rivola, 1999, "Simulazione del comportamento dinamico degli assi di una macchina utensile", Atti del XIV Congr. Naz. AIMETA, Como, 6-9/10/1999
- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola, 1999, "A Model for the Elastodynamic Analysis of a Desmodromic Valve Train", Proceedings of the 10th World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms, Oulu (Finland), 20-24/6/1999, Oulu: Oulu University Press, Vol. 4, pp. 1534-1542
- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola, R. Rubini, "A Kineto-Elastodynamic Model of a Gear Testing Machine", Proceedings of International Conference on Mechanical Transmissions and Mechanisms (MTM '97), Tianjin (China), 1-4/7/1997, Beijing: China Machine Press, pp. 549-553

- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola, R. Rubini, "Dynamic Modelling of Gear Systems for Condition Monitoring and Diagnostics", Proceedings of the Congress of Technical Diagnostics, KDT '96, Gdansk (Poland), 17-20/09/1996, Vol. II, pp. 185-192
- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola, "A Kineto-Elastodynamic Model of a Mechanism for Automatic Machine", Proceedings of the Ninth World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms, Milano, Italy, 29/8-2/9/1995, Milano: Edizioni Unicopli SpA, Vol. 1, pp. 327-332

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Università di Cantabria, Santander, Spagna
- ◆ DIEM, Università di Bologna – Bologna (BO)
- ◆ IMAMOTER-CNR – Ferrara (FE)

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Cofin 2001 (Unità di Ricerca di Ferrara) - Tecniche di identificazione di malfunzionamenti di meccanismi di impiego motoristico
- ◆ Contratto di ricerca con TRW Marzocchi Automotive Pumps S.r.l., Ostellato (FE) – 2001/02 - Riduzione della rumorosità di pompe ad ingranaggi per servosterzo
- ◆ Contratto di ricerca con TRW Automotive Pumps S.r.l., Ostellato (FE) – 2003 - Pompe ad ingranaggi per servosterzo: individuazione di soluzioni migliorative del comportamento vibro-acustico e del processo produttivo
- ◆ Contratto di ricerca con Alstom Transport S.p.A. (Bologna) – 2002 - Caratterizzazione sperimentale del comportamento vibratorio a bassa frequenza del prodotto ALSTOM, denominato "Unità remota attuatore segnale alto (URS-A)
- ◆ I progetti condotti presso la VM Motori (Cento, Ferrara) hanno dato luogo alle seguenti tesi di laurea:
 - Baraldi Andrea, "Caratterizzazione acustica e vibrazionale di motori Diesel industriali", Università di Ferrara, 25.10.2002, relatore G. Dalpiaz, correlatore F. Pompili
 - Bergonzoni Marco, "Analisi numerica e sperimentale del comportamento vibratorio del dispositivo EGR di un motore Diesel VM", Università di Ferrara, 25.10.2002, relatore G. Dalpiaz
 - Ferlini Gianflavio, "Comportamento vibratorio del dispositivo EGR di un motore VM: effetti di modifiche progettuali", Università di Bologna, 27.06.2003, relatore U. Meneghetti, correlatore G. Dalpiaz
- ◆ Contratto di ricerca con Ducati Corse s.r.l. – 1999-2000 - Sviluppo delle prestazioni della distribuzione desmodromica di un motore Ducati da competizione

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

Le applicazioni finora condotte hanno riguardato pompe ad ingranaggi, riduttori ad ingranaggi, motori Diesel e loro componenti, meccanismi per macchine automatiche, distribuzioni di motori a c.i. e azionamenti di macchine utensili. Potenzialmete le tecniche e le metodologie sviluppate sono applicabili a qualsiasi sistema meccanico per affrontarne le problematiche vibro-acustiche.

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Industria meccanica e manifatturiera
- ◆ Utilizzatori delle macchine
- ◆ Organismi di certificazione e standardizzazione

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione ed inerenti la tipologia/tematica

- ◆ TRW Automotive Pumps (Ostellato, Ferrara) – Identificazione delle sorgenti di vibrazione e rumore in pompe ad ingranaggi per applicazioni motoristiche, mediante caratterizzazione vibro-acustica sperimentale e modellazione elastodinamica; identificazione di soluzioni progettuali migliorative
- ◆ VM Motori (Cento, Ferrara) – Identificazione delle sorgenti di vibrazione e rumore in motori Diesel, mediante caratterizzazione vibro-acustica sperimentale; identificazione di soluzioni progettuali migliorative. Analisi modale sperimentale e FEM e risposta forzata su componenti critici dal punto di vista strutturale e funzionale; identificazione di soluzioni progettuali migliorative
- ◆ Ducati Corse and Ducati Motor (Bologna) – Analisi sperimentale della distribuzione desmodromica (rilievo del moto valvola con vibrometro laser doppler ad alta velocità) e di altre grandezze; modellazione elastodinamica del meccanismo della distribuzione desmodromica; identificazione delle cause delle problematiche vibrazionali e di soluzioni progettuali migliorative (si tratta di una collaborazione ad un'attività condotta presso il DIEM dell'Università di Bologna)

I possibili link per informazioni

- ◆ http://www.unife.it/dipartimento/dipartimento_index_liv3-2.htm
- ◆ <http://acustica.ing.unife.it/>

Tematica 7: Controllo attivo della trasmissione delle vibrazioni e del rumore mediante l'impiego di sensori-attuatori integrati (*smart structures*)

Descrizione

Durante gli ultimi vent'anni la ricerca sul controllo del rumore e delle vibrazioni ha subito un forte impulso grazie ad una nuova metodologia nota come "controllo attivo del rumore e vibrazioni." Le vibrazioni ed il rumore trasmessi da strutture bidimensionali, quali pannelli o gusci, possono essere ridotti usando sistemi attivi di controllo aventi sensori ed attuatori integrati nelle strutture stesse.

Il programma di ricerca ha come obiettivo principale la realizzazione di un nuovo "smart panel" che permetta la soluzione di alcuni problemi evidenziati dai pannelli finora realizzati. Tale nuovo pannello sarà costituito da una matrice 4x4 di coppie di sensori-attuatori. Gli attuatori consisteranno in piastrine quadrate di materiale piezoelettrico. Al centro di ogni attuatore sarà posizionato un accelerometro inerziale; il segnale in uscita da ogni accelerometro verrà integrato elettricamente. Ogni coppia sensore-attuatore sarà collegata ad un circuito indipendente di controllo analogico in feedback, che provvederà un semplice guadagno per l'implementazione del controllo di velocità localizzato. Il primo prototipo verrà costruito con elementi piezoelettrici di dimensioni dell'ordine 25x25 mm. Una volta analizzato il comportamento di tale pannello si passerà allo studio teorico di una seconda versione con sensori-attuatori miniaturizzati.

Il programma di lavoro verrà condotto in parallelo con riferimento sia alla dinamica locale del pannello con una coppia di sensori-attuatori, sia alla dinamica globale del pannello con l'intera matrice di sensori-attuatori. Tale studio verrà portato avanti con riferimento a diversi tipi di trasduttori e di strategie di controllo.

L'obiettivo finale è quello di valutare la possibilità di realizzazione di fogli adesivi che includano il sensore, l'attuatore, il controllore e un cavetto per l'alimentazione. Tali "smart foils" (fogli intelligenti) potrebbero essere applicati sulla fusoliera di aerei, su parti della carrozzeria di autoveicoli e su pannelli esterni di veicoli ferroviari, per ottenere una riduzione della trasmissione del rumore verso l'interno dei veicoli.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ P. Gardonio, S.J. Elliott "Active Control of Waves on a one Dimensional Structure With a Scattering Termination", Articolo pubblicato sulla rivista: Journal of Sound and Vibration, Vol. 192 No. 3 pp 701-730 1996, Academic Press London
- ◆ P. Gardonio, S.J. Elliott, R.J. Pinnington "Active isolation of structural vibration on multiple degree of freedom systems. Part I: Dynamics of the system", Articolo pubblicato sulla rivista: Journal of Sound and Vibration, Vol. 207 No. 1 pp 61-93 1997, Academic Press London
- ◆ P. Gardonio, S.J. Elliott, R.J. Pinnington "Active isolation of structural vibration on multiple degree of freedom systems. Part II: Active control strategies effectiveness", Articolo pubblicato sulla rivista: Journal of Sound and Vibration, Vol. 207 No. 1 pp 95-121 1997, Academic Press London

- ◆ O. Bardou, P. Gardonio, S.J. Elliott, R.J. Pinnington "Active power minimisation and power absorption in a plate with force and moment excitation", Articolo pubblicato sulla rivista: Journal of Sound and Vibration, No. 208(1) pp 111-151 1997, Academic Press London
- ◆ P. Gardonio, S.J. Elliott "A survey of control strategies for the reduction of structural vibration transmission", Articolo pubblicato sulla rivista: Journal of Vibration and Acoustics (American Society of Mechanical Engineers Journal), Vol. 121 pp 482-487, ottobre 1999, Transactions of the ASME
- ◆ P. Gardonio, S.J. Elliott "Active control of structure-borne and air-borne sound transmission through double pannels", Articolo pubblicato sulla rivista: Journal of Aircraft (The American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal), Vol. 36 No. 6 pp 1023-1032, novembre-dicembre 1999, AIAA
- ◆ P. Gardonio, S.J. Elliott "A comparison of active control strategies for the reduction of sound transmission through double panels", The Journal of the Acoustical Society of America, No. 105 (2) p 1155, febbraio 1999, Acoustical Society of America through the American Institute of Physics. Abstract
- ◆ P. Gardonio, S.J. Elliott "Passive and active isolation of structural vibration transmission between two plates connected by a set of mounts", Journal of Sound and Vibration, No. 237 (3) pp 483-511, ottobre 2000, Academic Press London
- ◆ P. Gardonio, N.S. Ferguson, F.J. Fahy "A modal expansion analysis of noise transmission through circular cylindrical shell structures with blocking masses", Journal of Sound and Vibration, No. 244 (2) pp 259-297, luglio 2001, Academic Press London
- ◆ S.J. Elliott, M. Serrand e P. Gardonio "Feedback stability for active isolation systems with reactive and inertial actuators", Journal of Vibration and Acoustics (American Society of Mechanical Engineers Journal), No. 123 pp 250-261, April 2001, Transactions of the ASME.
- ◆ C. Maury P. Gardonio, S.J. Elliott, "Active control of the flow-induced noise transmitted through a panel" AIAA Journal (The American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal) Vol. 39 No. 10 pp 1860-1867 ottobre 2001, AIAA
- ◆ P. Gardonio, Y.S. Lee, S.J. Elliott, S. Debost "A panel with matched polyvinylidene volume velocity sensor and uniform force actuator for the active control of sound transmission", Proceedings Institution of Mechanical Engineers, Journal of Aerospace Engineering, No. 215 Part G, pp 187-206, 2001
- ◆ P. Gardonio e M.J. Brennan, "Mobility and impedance methods in structural dynamics: an historical review", Journal of Sound and Vibration No. 249(3) pp 557-573, gennaio 2002, Academic Press London
- ◆ P. Gardonio Y.S. Lee, S.J. Elliott, S. Debost, "Analysis and measure of a matched volume velocity sensor and uniform force actuator for active structural acoustic control", The Journal of the Acoustical Society of America No. 110(6) pp 3025-3031, December 2001
- ◆ P. Gardonio, "A review of active techniques for aerospace vibration and noise control", Accettato per pubblicazione sul Journal of Aircraft (The American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal).
- ◆ S.J. Elliott, P. Gardonio T.J. Sors and M.J. Brennan. "Active vibro-acoustic control with multiple local feedback loops". Accettato per pubblicazione sul The Journal of the Acoustical Society of America
- ◆ C. Maury, P. Gardonio, e S.J. Elliott. "A wavenumber approach to modelling the response of a randomly excited panel, part I: general theory". Accettato per pubblicazione sul Journal of Sound and Vibration, Academic Press London

- ◆ C. Maury, P. Gardonio, S.J. Elliott "A wavenumber approach to modelling the response of a randomly excited panel, part II: application to aircraft panels excited by a turbulent boundary layer", Accettato per pubblicazione sul Journal of Sound and Vibration, Academic Press London
- ◆ C. Maury, P. Gardonio, S.J. Elliott "Active control of the flow-induced noise transmitted through a double panel", Inviato all'AIAA Journal (The American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal)
- ◆ B. Rafaely, J. Carrilho, P. Gardonio "Novel active noise reducing headset using earshell vibration control". Inviato al The Journal of the Acoustical Society of America
- ◆ Y.S. Lee, P. Gardonio, S.J. Elliott "Experimental study of volume velocity vibration control of a smart panel using a quadratically shaped PVDF actuator and a multiple accelerometers arrangement", Inviato al The Journal of Smart Materials and Structures

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ ISVR, University of Southampton - UK
- ◆ Dip. di Fisica, Università di Ferrara – Ferrara (FE)

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Contratto MIUR nell'ambito dei finanziamenti previsti dall'art. 1 del DM 26/01/2001 n. 1 ('rientro dei cervelli'), 2003 - Controllo attivo della trasmissione delle vibrazioni e del rumore mediante l'impiego di sensori-attuatori integrati (*smart structures*)

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

Si pensa che un primo campo di applicazione possa essere quello aerospaziale, con particolare riferimento al problema della riduzione del rumore nella cabina passeggeri di aerei. Infatti, questa tecnologia permetterebbe di ridurre l'utilizzo di materiali per l'isolamento acustico, con il vantaggio di una riduzione di peso, che potrebbe risultare conveniente anche a fronte di costi relativamente alti. Nel caso in cui si riuscisse ad avviare una produzione di serie di questa tecnologia, si potrebbe pianificare il suo utilizzo anche per applicazioni con maggiori limitazioni di costi, come per i veicoli ferroviari, mezzi di trasporto passeggeri su gomma, automobili, applicazioni domestiche (lavatrici, lavastoviglie, frigoriferi). Questa nuova tecnologia sarebbe quindi aperta all'utilizzo su molti prodotti di industrie italiane legate ai settori dei trasporti e degli elettrodomestici.

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Aerospaziale
- ◆ Trasporti

- ◆ Elettrodomestici

Laboratori/strumentazioni già disponibili presso la struttura inerenti la tematica

E' disponibile presso la struttura una strumentazione completa per la misura e l'analisi del rumore (pressione ed intensità acustica) e delle vibrazioni e per l'analisi modale sperimentale. La strumentazione è adatta anche a misure su macchinario in ambiente industriale.

I possibili link per informazioni

- ◆ http://www.unife.it/dipartimento/dipartimento_index_liv3-2.htm
- ◆ <http://acustica.ing.unife.it/>
- ◆ <http://www.isvr.soton.ac.uk/ACTIVE/INDEX.HTM>

Tematica 8: Tecniche di monitoraggio e diagnostica di trasmissioni, componenti meccanici ed utensili per lavorazioni meccaniche, basate sull'analisi sperimentale delle vibrazioni e del rumore

Descrizione

La ricerca riguarda lo sviluppo e l'applicazione in ambiente industriale di tecniche di monitoraggio e diagnostica di trasmissioni, componenti meccanici (ingranaggi, cuscinetti, meccanismi a camma, giunti, squilibri e disallineamenti nei rotor) ed utensili per lavorazioni meccaniche, basate sull'analisi sperimentale delle vibrazioni e del rumore.

Vengono studiate e sviluppate, adattandole alle specifiche applicazioni, tecniche avanzate di analisi delle vibrazioni (oltre alle tecniche più comuni, vengono considerate le analisi tempo-frequenza, l'analisi spettrale di ordine superiore, l'analisi di ciclostazionarietà). Tali tecniche vengono poi validate, sulla base di prove sperimentali, confrontandone l'efficacia e l'affidabilità.

Inoltre, sono state sviluppate e validate sperimentalmente anche tecniche di filtraggio inverso dei segnali vibratorii, atte alla stima indiretta del comportamento vibratorio (moto o/e forze) di organi di macchine in movimento, a partire dalla misura delle vibrazioni del telaio (applicazioni a meccanismi a camma ed a ingranaggi).

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola, 2001, "Use of Inverse-Filtering for Gear Diagnostics", Proceedings of the 4th International Conference on Acoustical and Vibratory Surveillance Methods and Diagnostic Techniques, Compiègne (France), 16-18/10/2001, Courbevoie: Société Française des Mécaniciens, Vol. 2, pp. 379-391
- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola, 2000, "Inverse Problems in Mechanisms for Packaging Machines", Proceedings of Seventh International Conference on Recent Advances in Structural Dynamics, University of Southampton, Southampton, UK, 24-27/7/2000, ISBN 0 85432 7215, Vol. 1, pp. 159-172
- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola, R. Rubini, 2000, "Effectiveness and Sensitivity of Vibration Processing Techniques for Local Fault Detection in Gears", Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 14, No. 3, May 2000, ISSN: 0888-3270, pp. 387-412
- ◆ M. Sidahmed, P. Morizet, P. Trigano, J.K.Hammond, S. Braun, G. Dalpiaz, U. Meneghetti, A. Maggiore, 1999, "A Multimedia Tool for Signal Processing for Acoustic and Vibration Diagnosis of Rotating Machines", Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems, Florence (Italy), 7-11/6/1999, pp. 1099-1101
- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola, R. Rubini, "Gear Fault Monitoring: Comparison of Vibration Analysis Techniques", Proceedings of the 3rd International Conference on Acoustical and Vibratory Surveillance Methods and Diagnostic Techniques, Senlis (France), 13-15/10/1998, Courbevoie: Société Française des Mécaniciens, Vol. 2, pp. 623-631

- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola, "Condition Monitoring and Diagnostics in Automatic Machines: Comparison of Vibration Analysis Techniques", Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 11, No. 1, January 1997, pp. 53-73
- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola, "Fault Detection and Diagnostics in Cam Mechanisms", Proceedings of the 2nd International Symposium on Acoustical and Vibratory Surveillance Methods and Diagnostic Techniques, Senlis (France), 10-12/10/1995, Courbevoie: Société Française des Mécaniciens, Vol. 1, pp. 327-338
- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola, U. Meneghetti, "Use of Filtering Function for Machine Health Monitoring", Proceedings of an International Conference on Condition Monitoring, Swansea, U.K., 21-25/3/1994, Ed. Jones M.H., Swansea: Pineridge Press, pp. 217-228
- ◆ G. Dalpiaz, A. Maggiore, "Monitoring Automatic Machines", Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 6, No. 6, November 1992, pp. 517-534
- ◆ G. Dalpiaz, U. Meneghetti, "Monitoring Fatigue Cracks in Gears", NDT&E International, Vol. 24, No. 6, December 1991, pp. 303-306
- ◆ G. Dalpiaz, "Monitoring Workpiece Quality Deterioration in Turning by Acoustic Emission Analysis", Proceedings of 4th World Meeting on Acoustic Emission, Boston, 16-19/9/1991, pp. 479-486
- ◆ G. Dalpiaz, A. Maggiore, U. Meneghetti, "Monitoraggio di macchine utensili", Atti X Congr. Naz. AIMETA, Pisa, 2-5/10/1990, pp. 555- 560
- ◆ G. Dalpiaz, R. Negri, "Monitoring Tool Breakage in a Gear Hobbing Machine", Proceedings of 2nd Int. Conf. on Advanced Manufacturing Systems and Technology, Trento, Italy, 19-21/6/1990, pp. 434-441
- ◆ G. Dalpiaz, M. Remondi, "Use of Acoustic Emission for Cutting Process Monitoring in Turning", J. Condition Monitoring, Vol. 1, No. 4, July 1988, pp. 1-26

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ DIEM, Università di Bologna - Bologna (BO)
- ◆ ISVR, University of Southampton - UK
- ◆ Université de Technologie de Compiègne, UTC - Francia

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Contratto di ricerca con TRW Automotive Pumps S.r.l., Ostellato (FE) – 2003 - Pompe ad ingranaggi per servosterzo: individuazione di soluzioni migliorative del comportamento vibro-acustico e del processo produttivo
- ◆ Marie Curie Host Fellowships (CE) – 2001/02 – Tecniche avanzate di analisi vibratoria per macchine diagnostiche
- ◆ Progetto Pilota nell'ambito del Programma Leonardo da Vinci (CE) – 1996-2002 - Trattamento dei segnali per la diagnostica acustica e vibratoria delle macchine rotanti

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

Potenzialmente le tecniche e le metodologie sviluppate sono applicabili a qualsiasi sistema meccanico.

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Industria meccanica e manifatturiera
- ◆ Utilizzatori delle macchine
- ◆ Organismi di certificazione e standardizzazione

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione ed inerenti la tipologia/tematica

- ◆ TRW Automotive Pumps (Ostellato, Ferrara) – Tecniche di monitoraggio in-process dell'usura degli utensili in lavorazioni mediante asportazione di truciolo

I possibili link per informazioni

- ◆ http://www.unife.it/dipartimento/dipartimento_index_liv3-2.htm
- ◆ <http://acustica.ing.unife.it/>

Struttura 2: IMAMOTER (CNR)

IMAMOTER (Istituto per le macchine agricole e movimento terra)

Organo del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)

Sito Web: www.imamoter.cnr.it

Indirizzo: Via Canalbianco 28, 44044 Cassana (Ferrara) – sede
Area della Ricerca, Strada delle Cacce 73, 10135 Torino – unità staccata

Direttore: Ing. G.Luca Zarotti
Via Canalbianco 28, 44044 Cassana (Ferrara)
Telefono 0532 735 616
e-mail gl.zarotti@imamoter.cnr.it

Attività

- ◆ **TEMA 1** – Misure di vibrazione al sistema mano-braccio mediante vibrometria laser e matrici di sensori capacitivi
- ◆ **TEMA 2** - Applicazione della *sound qualità* come strumento innovativo per la definizione di interventi di controllo del rumore
- ◆ **TEMA 3** - Applicazione di tecniche innovative per la riduzione del rumore e delle vibrazioni su macchine e componenti per l'agricoltura
- ◆ **TEMA 4** – Impiego di strumenti e metodi CAE per la simulazione del comportamento acustico-vibrazionale di macchine e componenti
- ◆ **TEMA 5** - Rumore delle valvole oleodinamiche

Tematica 1: Misure di vibrazione al sistema mano-braccio mediante vibrometria laser e matrici di sensori capacitivi

Descrizione

Questa ricerca ha lo scopo di applicare tecniche di misura innovative volte alla valutazione della vibrazione trasmessa da macchine condotte a mano e a quella assorbita dal sistema mano braccio dell'operatore. La finalità principale è l'ottimizzazione delle caratteristiche funzionali della macchina e lo sviluppo di una procedura di misura affidabile e ripetibile a livello di Direttiva Europea.

La ricerca si articola nelle seguenti attività:

- ◆ applicazione della tecnica di misura non a contatto, basata sull'impiego del vibrometro laser, al fine di rilevare le vibrazioni su macchine operatrici condotte a mano e sul sistema mano-braccio dell'operatore;
- ◆ sviluppo di un sistema di sensori capacitivi a matrice per l'analisi della forza di prensione fra mano dell'operatore e macchina.

Molti risultati sono già stati acquisiti e la procedura è stata validata mediante due Progetti Europei DOPTTEST (SMT4-CT97-2181, IV FP, 1997-2000) e VIB-TOOL (G6RD-CT-2002-00843, V FP, 2002-2005), questo secondo da considerarsi come valorizzazione/sfruttamento dei risultati ottenuti nel primo.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ R. Deboli, G. Miccoli, G.L. Rossi, 'Human Hand Transmitted Vibration Measurements on Subjects Using a Pedestrian Controlled Tractor by a Laser Scanning Vibrometer', Ergonomics, paper N_ ERG 100673, 1999, Vol. 42, N_6, pp. 880-888
- ◆ G. Miccoli, 'A review of the state of the art on hand-arm and whole-body vibrations', Key-note Lecture, Procs. of the 17th Int. Congress on Acoustics, CD Vol. I, ICA, Roma, Italia, 2-7 Settembre, 2001 e pubblicato su NUNTIUS ACUSTICUS, European Acoustic Association (EAA), N.6/2001
- ◆ R. Deboli, P. Maggiorana, G. Miccoli, G.L. Rossi, 'Pressure distribution measurement over chain saw handles by the application of a new capacitive matrix', Proc. of the 9th Int. Congress on Sound and Vibration, ICSV9, Orlando, FL, USA, 8-11 Luglio, 2002

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Università di Ancona, Facoltà di Ingegneria - Sistemi di misura basati su vibrometro laser a scansione

- ◆ Università di Perugia, Facoltà di Ingegneria (PG) - Sistemi di misura dati sperimentali per prove di laboratorio
- ◆ Lifton-Breakers A/S, Aalborg, Danimarca - Industria produttrice di martelli pneumatici
- ◆ Novel GmbH, Monaco (D) - Sviluppo/realizzazione di matrici di sensori capacitivi
- ◆ INRS, Parigi (F) - Sviluppo di sensori ed analisi di laboratorio
- ◆ ISVR, Southampton (UK) - Analisi degli effetti delle vibrazioni sull'uomo
- ◆ BIA, Sankt Augustin (D) - Sviluppo/applicazione di direttive di sicurezza

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Progetto EU DOPTTEST, SMT4-CT97-2181, 'Hand-arm Vibration Measurements by Laser Vibrometry aimed at Product Development and Optimisation', IV FP, 1997-2000
- ◆ Progetto EU VIB-TOOL, G6RD-CT-2002-00843, 'Grip Force Mapping for Characterisation of Hand-held Vibrating Tools', V FP, 2002-2005

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

La tecnica di misura è stata applicata ad operatori di motocoltivatori, martelli pneumatici, motoseghe, trattrici.

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Industria Meccanica
- ◆ Industria Elettronica
- ◆ Organismi di Certificazione e Standardizzazione
- ◆ Settore Medico

Laboratori/strumentazioni già disponibili presso la struttura inerenti la tematica

- ◆ Sistemi di acquisizione dati sperimentali
- ◆ Matrici di sensori capacitivi
- ◆ Trasduttori
- ◆ Analizzatori di spettro

Tematica 2: Applicazione della *sound qualità* come strumento innovativo per la definizione di interventi di controllo del rumore

Descrizione

Questa tematica di ricerca, che è stata applicata al settore delle macchine operatrici, si pone, come obiettivo, la messa a punto di tecniche di indagine in grado di identificare parametri acustici che, in quanto correlati a ciò che gli operatori effettivamente sentono quando esposti al rumore, possano guidare nella definizione di interventi migliorativi di sicura efficacia.

E' stato messo a punto un protocollo di indagine che comprende l'acquisizione dei segnali di rumore mediante registrazioni binaurali, la conduzione di test soggettivi di ascolto volti alla valutazione di alcuni attributi dei segnali particolarmente importanti ai fini della sicurezza, la caratterizzazione oggettiva degli stessi segnali e la conduzione di indagini statistiche volte a correlare i giudizi dei soggetti, relativamente a tali attributi, con i parametri acustici oggettivi identificati. In questo modo è possibile garantire che ogni intervento abbia un effettivo riscontro positivo da parte di chi è esposto al rumore, costituendo effettivamente un beneficio per l'operatore. In tale ambito, è stata condotta una prima ricerca, volta a verificare le potenzialità della tecnica del controllo attivo del rumore per la riduzione della rumorosità al posto guida delle macchine movimento terra.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ G.Brambilla, E.Carletti, F. Pedrielli, "Perspective of the Sound Quality Approach Applied to Noise Control in Earth Moving Machines", International Journal of Acoustics and Vibration, 6, N.2, 2001, pp.90-97
- ◆ G.Brambilla, E.Carletti, F.Pedrielli, "Indagini psicoacustiche per la valutazione della qualità acustica del rumore al posto guida di macchine operatrici", Atti del 29° Convegno Nazionale Associazione Italiana di Acustica, pp.307-312, Giugno 2002
- ◆ E.Carletti, G.Brambilla, F.Pedrielli, "The Noise Climate at the Operator Station of Construction Machines: Comparison between Naive and Experienced Subjects", Proceeding of the Ninth International Congress on Sound and Vibration, pp. 322-329, Orlando (FL),USA, July 2002

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Istituto di Acustica "Corbino", CNR (RM) - Acquisizioni binaurali
- ◆ ISPESL, Dipartimento Igiene del Lavoro (RM)¹
- ◆ Università di Genova, Dipartimento di Meccanica (GE) - Tecniche psicometriche

¹ Si veda contratto citato sotto

- ◆ Oldenburg University, Physics Department (D) - Riferimenti in psicoacustica

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Contratto di ricerca ISPESL-CNR N.6/98 – Periodo di attività: 7/9/2000 - 7/9/2001 – “Criteri innovativi per pilotare sistemi di controllo attivo del rumore nell’abitacolo di macchine operatrici al fine di ridurre il rischio di esposizione e migliorare la qualità del rumore”

Sfruttamento dei risultati

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Settore delle macchine agricole ed operatrici

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione ed inerenti la tipologia/tematica

I rapporti con le aziende di seguito elencate consistono in specifici contratti di ricerca stipulati dall’Istituto, al fine di risolvere problematiche particolari e, parallelamente, nella disponibilità da parte delle aziende, di mettere a disposizione macchine e attrezzature come oggetto delle ricerche.

- ◆ FIORI S.p.A. - Finale Emilia (MO)
- ◆ ASTRA Veicoli Industriali S.p.A. – Piacenza (PC)
- ◆ New Holland Italia TLB Production Imola (BO)
- ◆ FIAT KOBELCO CONSTRUCTION MACHINERY S.p.A. - S. Mauro Torinese (TO)
- ◆ KOMATSU UTILITY EUROPE S.p.A. - Este (PADOVA)

Laboratori/strumentazioni già disponibili presso la struttura inerenti la tematica

Strumenti hardware

Analizzatori in tempo reale

- ◆ B&K 2133
- ◆ B&K 3360
- ◆ ONO SOKKI CF 360
- ◆ Scientific Atlanta SD380
- ◆ 7 Fonometri B&K 2230 con i relativi microfoni B&K tipo 4155

- ◆ Sonda intensimetrica triassiale B&K assemblabile con tre coppie di microfoni da 1/2" B&K 4181 o con tre coppie di microfoni da 1/4" B&K4178
- ◆ Multiplexer a 8 canali B&K 2811
- ◆ Set up per misure di vibrazione *all-body*
- ◆ Set up per analisi modale sperimentale

Calibratori

- ◆ calibratore accelerometrico B&K 4291
- ◆ calibratore acustico B&K 4228
- ◆ Cuffie STAX tipo SR404
- ◆ Testa artificiale Neumann KU100
- ◆ Orecchio artificiale B&K 4153

Sorgenti sonore

- ◆ dodecaedro Norsonik
- ◆ Sorgente di riferimento B&K 4204
- ◆ Registratori DAT
- ◆ TASCAM tipo DA45HR
- ◆ SONY tipo TCD-D7
- ◆ Front-End a otto canali HP E1421B

Strumenti Software

- ◆ Pacchetto "consortium" SDRC IDEAS per simulazione CAD/CAE e l'acquisizione di dati sperimentali
- ◆ Software SYSNOISE per la simulazione vibroacustica
- ◆ Software Professional II/PLUS per lo sviluppo di architetture neuronali
- ◆ Software OPTIMUS e FRONTIER per l'ottimizzazione di processo multiobiettivo

Tematica 3: Applicazione di tecniche innovative per la riduzione del rumore e delle vibrazioni su macchine e componenti per l'agricoltura

Descrizione

Messa a punto e sperimentazione di soluzioni tecnologicamente innovative per la riduzione delle emissioni sonore e delle vibrazioni generate da alcune famiglie di piccole macchine agricole (trattori compatti di bassa potenza, motozappe, motocoltivatori).

Le piccole macchine agricole risultano molto rumorose sia per l'ambiente che sia per l'operatore e, a causa del loro basso costo di vendita e dell'assenza, a tutt'oggi, di specifiche normative volte a limitarne la rumorosità, non hanno beneficiato delle attuali tecnologie per il controllo del rumore, già applicate, con successo, in altri settori. Per questa ragione sono state prese in considerazione diverse tipologie di possibili interventi rivolti sia alle principali sorgenti di emissione presenti su queste macchine sia alla messa a punto di protezioni di tipo "passivo". In particolare, le indagini hanno riguardato la progettazione e la prototipazione di alcuni interventi sul motore diesel quali:

- ◆ la realizzazione di pistoni in lega al carbonio-silicio;
- ◆ la realizzazione di sistemi di iniezione;
- ◆ la realizzazione di sistemi di raffreddamento motore efficienti e silenziosi.

Inoltre, sono state studiate particolari cofanature in materiali innovativi quali il poliuretano.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ E. Carletti, I. Vecchi, "Caratterizzazione vibroacustica di macchine del Progetto I.S.M.A.G.: metodi e problematiche", Seminario Progetto I.S.M.A.G., Reggio Emilia 10/07/97 (senza pubblicazione degli atti), Rapporto Tecnico N.511
- ◆ E. Carletti, G. Miccoli: "Towards A Better Environmental Impact by Single Cylinder Diesel Engines for Agricultural and Gardening Appliances", Proc. ICSV8 Conference, Hong Kong, Vol.5, pp.3244-3249, July 2001
- ◆ E. Carletti: "Effectiveness of some noise solutions applied to small agricultural machines", V Euronoise International Conference, paper ID:351, Naples 19-21 May 2003

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ CELAB – Reggio Emilia (RE)
- ◆ DEMOCENTER –Modena (MO)
- ◆ Dipartimento di Ingegneria Agraria, Università di Bologna – Bologna (BO)
- ◆ Istituto Metallurgia, Facoltà Chimica Industriale, Università di Bologna – Bologna (BO)

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Progetto "ISMAG" DOCUP OBIETTIVO 2 – Misura 3.1 – Sostegno all'innovazione del prodotto, alla sperimentazione di sistemi di progettazione e produzione avanzati – Periodo di attività: marzo 1997- Dicembre 1998
- ◆ Progetto "RECOM" di Iniziativa Comunitaria PMI 1994-1999, Sottoprogramma II, Interventi regione Emilia Romagna – Periodo di Attività: Gennaio 2000-Dicembre 2000

Sfruttamento dei risultati

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Settore delle macchine agricole

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione ed inerenti la tipologia/tematica

Nell'ambito dei due progetti sopra citati sono state coinvolte le seguenti ditte:

- ◆ Landini S.p.A., Fabbrico (RE) - Ottimizzazione della risposta acustico-vibrazionale della cabina di guida di un trattore agricolo
- ◆ New Holland Italia TLB Production, Imola (BO)
- ◆ Ruggeneri motori (RE) - Interventi sul motore diesel
- ◆ Lombardini F.I.M: SpA (RE) - Interventi sul sistema di raffreddamento di un motore diesel

Laboratori/strumentazioni già disponibili presso la struttura inerenti la tematica

Strumenti hardware

- ◆ Analizzatori in tempo reale: B&K 2133, B&K 3360, ONO SOKKI CF 360, Scientific Atlanta SD380
- ◆ 7 Fonometri B&K 2230 con i relativi microfoni B&K tipo 4155
- ◆ Sonda intensimetrica triassiale B&K assemblabile con tre coppie di microfoni da 1/2" B&K 4181 o con tre coppie di microfoni da 1/4" B&K4178
- ◆ Multiplexer a 8 canali B&K 2811
- ◆ Set up per misure di vibrazione *all-body*
- ◆ Set up per analisi modale sperimentale
- ◆ Calibratori: calibratore accelerometrico B&K 4291, calibratore acustico B&K 4228

- ◆ Cuffie STAX tipo SR404
- ◆ Testa artificiale Neumann KU100
- ◆ Orecchio artificiale B&K 4153
- ◆ Sorgenti sonore: dodecaedro Norsonik, sorgente di riferimento B&K 4204
- ◆ Registratori DAT: TASCAM tipo DA45HR, SONY tipo TCD-D7
- ◆ Front-End a otto canali HP E1421B

Strumenti Software

- ◆ Pacchetto "consortium" SDRC IDEAS per simulazione CAD/CAE e l'acquisizione di dati sperimentali
- ◆ Software SYSNOISE per la simulazione vibroacustica
- ◆ Software Professional II/PLUS per lo sviluppo di architetture neuronali
- ◆ Software OPTIMUS e FRONTIER per l'ottimizzazione di processo multiobiettivo

Tematica 4: Impiego di strumenti e metodi cae per la simulazione del comportamento acustico-vibrazionale di macchine e componenti

Descrizione

L'obiettivo di tale ricerca è la simulazione e ottimizzazione del comportamento dinamico strutturale di macchine e componenti, con particolare rilevanza al settore vibro-acustico, nonché la promozione dell'impiego corretto ed affidabile delle tecnologie di simulazione numerica.

In riferimento al settore della progettazione virtuale, diversi codici di calcolo, commerciali ma anche in fase di sviluppo, vengono, da tempo, impiegati in Istituto per la simulazione e l'ottimizzazione multi-obiettivo (MDO) delle caratteristiche costruttive e funzionali di sistemi/prodotti industriali. Un importante settore è quello vibro-acustico, con riferimento a componenti/parti di macchine.

L'Istituto è partner del Progetto Europeo FENet (G1RT-CT-2001-05034), a cui afferiscono più di cento aziende, una Rete Tematica che mira a promuovere la diffusione ed l'applicazione industriale delle tecnologie a elementi finiti e di prototipazione virtuale.

E' membro, anche, della TechNet (Technology Network) Alliance, una Rete Europea di recente formazione di distribuzione e servizi per i prodotti ad alta tecnologia.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ E. Carletti, G. Miccoli, I. Vecchi, "Validation of the modal expansion methodology applied to noise radiation prediction", Proc. de The 1997 International Conference on Noise Control Engineering (INTER-NOISE 97), Budapest, Hungary, 25-27 Agosto 1997, pp. 1629-1632
- ◆ G. Miccoli, "Vibro-acoustic optimization of earth-moving machine cab structural components", Proc. de The 1999 International Conference on Noise Control Engineering, INTER-NOISE 99, Fort Lauderdale, Florida, USA, 6-8 Dicembre 1999, pp. 1761-1766
- ◆ G. Miccoli, S. Odorizzi, "Promoting Simulation and Virtual Prototyping", Proc. della Conf. Euronoise 2003, paper ID: 153 su CD, Napoli, Italia, 19-21 Maggio, 2003

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Università di Trieste, Facoltà di Ingegneria (TS) - Analisi numeriche ed applicazioni di codici di ottimizzazione multi-obiettivo
- ◆ Università di Padova, Facoltà di Ingegneria (PD) - Applicazioni di codici di calcolo e promozione delle tecnologie di simulazione
- ◆ Engin Soft Trading s.r.l. (BG) - Vendita/applicazioni di codici per la simulazione numerica

- ◆ NAFEMS Int. (The Int. Association for the Engineering Analysis Community), Glasgow (UK) - Promozione della diffusione ed applicazione delle tecnologie di simulazione e prototipazione virtuale -
- ◆ CAD-FEM GmbH (D) - Applicazioni di codici per la simulazione numerica e la prototipazione virtuale

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Progetto EU FENet, G1RT-CT-2001-05034, *Thematic Network 'for promoting best practice industrial application of finite element technology'* - V FP, 2001-2004
- ◆ TechNet (Technology Network) Alliance - Rete Europea di distribuzione e servizi per i prodotti ad alta tecnologia

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

I codici di simulazione e di prototipazione virtuale vengono applicati alle macchine da lavoro e loro parti (cabina, componenti strutturali), con particolare riferimento al settore vibro-acustico.

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Industria Meccanica
- ◆ Aziende di commercializzazione/applicazione codici di calcolo

Laboratori/strumentazioni già disponibili presso la struttura inerenti la tematica

Strumenti Hardware

- ◆ Piattaforme Silicon Graphics OCTANE ed ORIGIN
- ◆ Piattaforme Sun ULTRA 60

Strumenti Software

- ◆ ANSYS e SDRC-IDEAS per la simulazione CAD/CAE e l'acquisizione di dati sperimentali
- ◆ SYSNOISE per la simulazione vibro-acustica
- ◆ OPTIMUS e modeFRONTIER per l'ottimizzazione mono e multi-obiettivo

Tematica 5: Rumore delle valvole oleodinamiche

Descrizione

Il controllo e la regolazione dei parametri della potenza nei circuiti oleodinamici (presenti in svariate applicazioni sia fisse che mobili) sono ottenuti per mezzo di valvole di vario tipo che sono funzionalmente equivalenti a strozzamenti fissi o variabili che producono le opportune cadute di pressione de fluido di lavoro. In alcuni casi il funzionamento delle valvole è automatico, mentre in molti altri casi ciò che interessa conoscere ed influenzare è la caratteristica complessa che lega la caduta di pressione con la portata e la geometria dello strozzatore equivalente. All'attraversamento delle valvole è associato un rumore ad ampio spettro che dipende dai gradienti di pressione, dalle turbolenze e dalle eventuali cavitazioni locali. Il fenomeno inoltre si accentua in presenza di fluidi non convenzionali come l'acqua.

Il progetto si propone lo studio combinato dell'efflusso per mezzo della convergenza di più tecniche sia sperimentali (rilievi ottici, misura e caratterizzazione del rumore) che numerici (ricostruzione dei flussi con gli strumenti della Computational Fluid Dynamics) allo scopo di identificare e verificare profili e geometrie che realizzino i requisiti di controllo e regolazione minimizzando il rumore emesso, nonché accumulare esperienze utili all'uso del rumore come strumento diagnostico.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ M. Milani, R. Paoluzzi, "L'adimensionalizzazione per un migliore uso della CFD in oleodinamica", Oleodinamica e Pneumatica, Tecniche Nuove, Anno 41, N.5, 20001, pp.102-1057
- ◆ M. Borghi, C. Bussi, M. Milani, R. Paoluzzi, "Reliability of fluid cavitation analysis by means of an equivalent fluid characteristics modelling", Proceedings of the 6th SICFP, Linkoeping, 2001
- ◆ R. Paoluzzi, M. Milani, "Estimation of erosion effects due to solid contaminant in hydraulic valves", First M.I.T. Conference on CFD, Boston, June 2001

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ DIMeC – Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile, Università di Modena e Reggio E. – (MO)
- ◆ Gruppo selezionato di costruttori di valvole oleodinamiche dell'Emilia Romagna

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

Le applicazioni primarie dei risultati del progetto riguardano le valvole direzionali (distributori) proporzionali, che hanno una importanza crescente nello sviluppo delle applicazioni mobili della oleodinamica e stanno attraversando un significativo periodo di evoluzione.

Tipologia di imprese destinatarie

Il settore destinatario principale è il settore delle imprese costruttrici di componentistica oleodinamica, che hanno in Emilia Romagna il punto di forza nazionale. Bisogna considerare inoltre che gli effetti positivi si trasferiscono anche sugli utenti finali (OEM) della componentistica, in particolare sulle aziende afferenti direttamente o indirettamente ai settori delle macchine agricole e movimento terra.

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione ed inerenti la tipologia/tematica

Il progetto può contare su rapporti già esistenti con aziende regionali costruttori di valvole, tra cui sono da ricordare Walvoil e Oil Control, leader nazionali nei settori delle valvole a cartuccia e dei distributori per applicazioni mobili.

Laboratori/strumentazioni già disponibili presso la struttura inerenti la tematica

Strumenti hardware

- ◆ Banchi prova per componenti oleodinamici
- ◆ Sistemi evoluti di acquisizione dei dati

Strumenti Software

- ◆ Software di simulazione dei circuiti oleodinamici (Easy5, AmeSim)
- ◆ Software di simulazione CFD (Fidap)

Struttura 3: DIENCA - Dipartimento di Ingegneria Energetica, Nucleare e del Controllo Ambientale (UNIBO)

Università di Bologna

DIENCA - Dipartimento di Ingegneria Energetica, Nucleare e del Controllo Ambientale

Siti Web: <http://www.ciarm.ing.unibo.it/>
<http://acustica.ing.unibo.it/>
www.dienca1.ing.unibo.it

Indirizzo: Facoltà di Ingegneria, Viale Risorgimento 2 – 40136 Bologna

Direttore: Prof. Vincenzo Molinari
Tel: 0512093281

Indirizzo Laboratorio: Via Terracini 34 – 40100 Bologna

Responsabile: Prof. Ing. Alessandro Cocchi
Tel: 0512093285
e-mail: alessandro.cocchi@unibo.it

Attività

- ◆ **TEMA 1** – Misure di rumore e vibrazioni
- ◆ **TEMA 2** – Controllo attivo del rumore e delle vibrazioni
- ◆ **TEMA 3** – Materiali per la realizzazione di elementi antivibranti

Tematica 1: Misure di rumore e vibrazioni

Descrizione

Il dipartimento è impegnato da tempo nello sviluppo di campagne di misura del rumore in ambiente sia confinato che esterno, attività che sono state sempre, e sono tuttora, condotte con la strumentazione più moderna disponibile sul mercato. La finalizzazione di tali misure e' sempre stata la più disparata, andando dalla valutazione dell'inquinamento acustico a norma di legge alla più raffinata ricerca di collegamento tra caratteristiche di emissione sonora della sorgente ed il suo stato vibrazionale, allo scopo di evidenziarne eventuali difetti costruttivi o di funzionamento. Le attività sono state svolte su elementi o componenti elettrici ed elettronici, per i quali uno stato di esposizione a vibrazioni può influire sulla vita media se non addirittura sulla loro funzionalità elettrica, e su elementi o componenti di impianti termoidraulici, produttori o trasmettitori di vibrazioni, che vengono poi irradiate in ambiente sotto forma di rumore. Nei tempi più recenti, il Laboratorio della sezione ambientale del Dipartimento si e' dotata di due camere di misura a finalità plurima, caratterizzate da elevati valori del tempo di riverbero (non si può propriamente parlare di camere riverberanti, ma se ne può ipotizzare l'uso anche in tal senso, qualora si tratti di testare elementi di piccole dimensioni, quali in genere sono i componenti meccanici), buona diffusione del suono, elevato isolamento da rumori e vibrazioni provenienti dall'esterno.

Tematica 2: Controllo attivo del rumore e delle vibrazioni

Descrizione

Il laboratorio è dotato delle apparecchiature necessarie al rilevamento dei parametri di interesse per poter progettare sistemi di controllo attivo, avendo in particolare già operato nel settore dell'impiantistica per il condizionamento dell'aria.

Tematica 3: Materiali per la realizzazione di elementi antivibranti

Descrizione

Il laboratorio si interessa dello studio di materiali da utilizzare come supporti antivibranti, con test eseguiti sollecitando la struttura mediante vibrodina o martello dinamometrico, a seconda delle necessità. In particolare, questa attività è indirizzata allo smorzamento di vibrazioni indotte dal

passaggio di veicoli pesanti correnti su rotaia e di vibrazioni indotte da macchine per il condizionamento dell'aria.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ A. Cocchi, M. Garai - Normativa ISO in tema di acustica edilizia: schede sintetiche - "La Termotecnica", XLII, 4, 51 (1988), anche in Rivista Italiana di Acustica, 11, 3,43 (1987)
- ◆ A. Cocchi, M. Garai - Norme UNI in materia di acustica nell'edilizia - "La Termotecnica", 43, 2, 59, 1989
- ◆ A. Cocchi, L. Morelli - Procedure di rilevamento del rumore in ambiente di lavoro in relazione alla valutazione del rischio di esposizione a danno uditivo - Atti 17° Congr. Naz. A.I.A., Parma, Aprile 1989
- ◆ A. Cocchi, M. Assirelli "Controllo attivo del rumore: alcune realizzazioni" - Atti Convegno Naz. "Rumore e Vibrazioni", Modena, Novembre 1990
- ◆ A. Cocchi, G. Semprini "Metodi previsionali per la valutazione del rumore generato da unita' navali subacquee", Atti XIX Convegno Nazionale AIA, Napoli, Aprile 1991
- ◆ A. Cocchi, R. Pompoli "Difesa dal rumore e dalle vibrazioni in ambiente di lavoro: diagnostica e prevenzione", Acqua Aria, 3, 269-279, 1991
- ◆ A. Cocchi "La determinazione della potenza sonora", Acqua Aria, 3, 291-297, 1991
- ◆ A. Cocchi, P. Fausti, S. Piva "Experimental Research on Low Frequency Noise Annoyance: a Case Study", Proc. 6th Int. Conf. "Low Frequency Noise and Vibration", Leiden, settembre 1991
- ◆ A. Cocchi "Inquinamento Acustico da Impianti di Climatizzazione", Rivista del Consulente Tecnico, 7, 1, 11-29, 1992
- ◆ A. Cocchi, P. FaustI, S. Piva "Low Frequency Noise Annoyance from Industrial Plants: Some Experimental Data", Journal of Low Frequency Noise and Vibration, 11, 4, 124-132 (1992)
- ◆ A. Cocchi "Panoramica normativa CEN ed UNI", Atti Convegno "Ottobre 92: l'acustica in Italia", Bologna, 1992
- ◆ A. Cocchi "L'impatto ambientale dell'alta velocità: rumore e vibrazioni" - Atti Convegno "L'alta velocità ferroviaria nel territorio bolognese", Bologna, febbraio 1993
- ◆ A. Cocchi, P. Fausti, A. Peretti, G. Semprini "Norme relative al rumore", Atti seminario "Rumore e vibrazioni: certificazione delle macchine", Modena, dicembre 1993
- ◆ A. Cocchi, P. Fausti, A. Peretti, G. Semprini "Norme relative alle vibrazioni" - Atti seminario "Rumore e vibrazioni: certificazione delle macchine", Modena, dicembre 1993
- ◆ A. Cocchi, G. Semprini "Application of SEA for Evaluation of Sound Insulation in Buildings and of Loss Factors of Building Elements" in "Energy Methods in Vibroacoustics: III school" - Zakopane-Kiry, Aprile 1994
- ◆ A. Cocchi, N. Cocchi, A. Cocchi "Il rumore delle apparecchiature ed i limiti di accettabilità alla luce di leggi e norme vigenti", INGegneri ARChitetti COStruttori, Gennaio-Febbraio (1997). Cocchi, N. Cocchi, A. Cocchi - Normativa per la sicurezza sul posto di lavoro: la direttiva europea 89/392 ed i Decreti legislativi 277/91 e 626/94 - "INGegneri ARChitetti COStruttori" Settembre (1996)

- ◆ A. Cocchi, P. Guidorzi, M. Garai "Un prototipo di controllo attivo del rumore i condotti a sezione rettangolare", Atti XXVII Convegno Nazionale A.I.A., 613-616, Genova, 26-28 Maggio 1999
- ◆ A. Cocchi, G. Pollone "Il quadro normativo e metrologico del rumore ferroviario nel contesto europeo", Atti Convegno Nazionale "Traffico e Ambiente", 319-347, Trento, febbraio 2000
- ◆ A. Cocchi, P. Guidorzi, M. Garai "Active Noise Control in Heating, Ventilation and Air Conditioning Systems" (in coll. Con M.Garai e P.Guidorzi), Proc. 7th Int. Congress on Sound and Vibration, 289-296, Garmisch-Partenkirchen, 4-7-July 2000
- ◆ A. Cocchi, G. Semprini "Possible Injuries from Vibrations to Ancient Buildings", Proceedings 17th Int. Conference on Acoustics, Roma, 2-7 Settembre 2001, CD
- ◆ A. Cocchi, G. Semprini "La normativa acustica nel campo industriale", Ingegneri, Architetti, COStruttori, 57, 627, 107-112, 2002

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

Ambito Internazionale

- ◆ Partecipazione ad un progetto europeo per la valutazione delle proprietà acustiche delle barriere stradali
- ◆ Partecipazione a studi condotti con l'INCE relativamente alle barriere stradali e al rumore connesso con attività di svago
- ◆ Presenza nel WG6 della Divisione trasporti dell'UE, nel quale ci si è occupati di vibrazioni prodotte da veicoli correnti su rotaia e delle loro modalità di trasformazione in rumore ambientale

Ambito Nazionale

- ◆ Partecipazione ad un progetto di ricerca ministeriale, nel quale il contributo dello staff di ricerca bolognese è stato incentrato sul controllo della rumorosità di impianti termoidraulici e aeraulici

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

Oltre ai progetti già descritti nel paragrafo precedente, si ricordano le ricerche condotte per individuare la connessione tra vibrazione e suoni emessi nei settori dell'edilizia e degli strumenti musicali, ricerche solo apparentemente molto lontane tra loro, ma in effetti simili nelle procedure e nei metodi di indagine, e comunque testimonianti la versatilità delle metodiche, facilmente adattabili ai più disparati sistemi meccanici.

Sfruttamento dei risultati

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Imprese che producono macchine, secondo la definizione che ne dà la direttiva 89/392/CEE, che si occupa della sicurezza delle macchine in genere, ma che individua nel rumore e nelle vibrazioni emesse dalle stesse due fattori di grande rilevanza.

Laboratori/strumentazioni già disponibili presso la struttura inerenti la tematica

La sezione ambientale del laboratorio del DIENCA dispone di:

- ◆ camere isolate da rumore e vibrazioni provenienti dall'esterno e tra loro disconnesse, utilizzabili nello specifico per valutare la rumorosità emessa da elementi o componenti meccanici di modeste dimensioni, secondo le modalità previste dalla norma ISO 3743;
- ◆ trasduttori sia di rumore che di vibrazioni delle più disparate dimensioni;
- ◆ analizzatori di segnale sia in tempo reale che FFT;
- ◆ acquisitori di dati.

Struttura 4: DIEM - Dipartimento di Ingegneria delle costruzioni meccaniche, nucleari, aeronautiche e di metallurgia (UNIBO)

Università di Bologna

DIEM - Dipartimento di Ingegneria delle costruzioni meccaniche, nucleari, aeronautiche e di metallurgia

Sito web: <http://diem1.ing.unibo.it/diem/welcome.html>

Indirizzo: Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna

Direttore: Prof. Piero Pelloni

Tel. 051-209 34 53

e-mail: piero.pelloni@mail.ing.unibo.it

Attività

TEMA 1 - Analisi dinamica e modifica strutturale di macchinario orientata alla riduzione di vibrazioni e rumore

TEMA 2 - Analisi dinamica di meccanismi spaziali per macchine automatiche al variare della loro configurazione geometrica

TEMA 3 - Monitoraggio di componenti meccanici con tecniche avanzate di analisi del segnale

TEMA 4 - Analisi sperimentale e simulazione elastodinamica della distribuzione desmodromica di un motore motociclistico da competizione

Tematica 1: Analisi dinamica e modifica strutturale di macchinario orientata alla riduzione di vibrazioni e rumore

Descrizione

Le vibrazioni strutturali ed il rumore generato da un macchinario rotante, operante in condizioni di funzionamento variabili, costituiscono una componente della risposta del sistema alla eccitazione da parte di azioni esterne ed interne. Obiettivo dell'attività descritta è la modifica strutturale del sistema meccanico ai fini della riduzione delle vibrazioni e del rumore entro i limiti fissati da specifiche aziendali.

I fenomeni vibrazionali possono essere rilevati nelle condizioni operative mediante trasduttori di vibrazione, quali accelerometri strutturali, microfoni e sonde intensimetriche, e delle stesse è generalmente possibile definire, nelle diverse condizioni, i valori di soglia critica, caratteristici di condizioni di funzionamento indesiderate della macchina. Esempi di risposte critiche, ai fini del funzionamento del sistema, possono essere il valore RMS pesato della pressione acustica, misurato in corrispondenza della posizione dell'operatore e filtrato in bande a terzi di ottava, la potenza acustica emessa dalla macchina, ottenuta per integrazione di misure di intensità acustica su un dominio superficiale che contenga il sistema, come pure il rilievo della accelerazione rilevata in corrispondenza di un organo meccanico la cui accuratezza di posizione sia critica dal punto di vista funzionale, quale ad esempio il mandrino di una macchina utensile. La modifica strutturale orientata alla riduzione delle vibrazioni può essere realizzata a partire da un modello del sistema meccanico costituito dalla macchina rotante e dagli altri componenti ad essa accoppiati. I parametri del modello possono essere ottenuti mediante procedure numeriche, quali il metodo degli elementi finiti, oppure a partire da tecniche di identificazione sperimentali.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ A. Zanarini, G. Catania, A. Maggiore, U. Meneghetti (2002). "Dynamic behaviour analysis and optimisation of a rotary table transfer machine" Isma 2002 - Int. Conf. on Noise And Vibration Engineering. September 16-18. Pp. 1659-1668 Isbn: 90-73802-79-2.
- ◆ G. Catania, A. Maggiore, U. Meneghetti (2001). "Simulation of the dynamical behaviour of an automatic bar feeder under variable operating conditions" Imac-Xix: A Conference On Structural Dynamics. February 5-8. Vol. I Pp. 760-767 Isbn: 0-912053-72-0 Issn: 1046-6770.
- ◆ G. Catania, G. Naldi (2000) "Optimal blade modeling of an axial flow fan under vibration" Constraintsproc. Of The Icanov2k Int. Conf. On Acoustics, Noise And Vibration (Montreal, Canada, August 8-12, 2000) A cura di Ardeshir Guran, pp. 122-129, Inst.of Structronics and Mechatronics, Ottawa, Canada
- ◆ G. Catania, G. Naldi (2002), "Blade modeling of an axial flow fan under vibration constraints: an experimental and analytical investigation", Proc. Of The 2002 Technology Conference On Energy (Houston, Feb. 4-6, 2002) A cura di -pp. 973-979, ASME ETCE2002/STRUC-29043, BOOK NO.I0560B-2002, N.Y.

- ◆ G. Catania (2000), "Combined influence of cutouts and initial stresses on the free vibration response of general, double curvature shell structures", Proc. of the 7th Int. Conf. on Structural Dynamics Recent Advances, Vol.Ii (Southampton, Uk, July 24-27, 2000) A cura di Ferguson, N.S., Wolfe, H.F., Ferman, M.A., Rizzi, S.A., pp. 875-886, The Institute of Sound and Research, Univ. of Southampton, Southampton, Uk, 2000
- ◆ G. Catania, U. Meneghetti (2000), "Stiffening effect of local damage on initially loaded plates", Proc. of the 5th Asme Esda Engineering Systems Design and Analysis Conference (Montreux, Swi, 10-13 July 2000) a cura Di G.K.Wolfe, Southwest Res. Inst., Pp. 419-425, Asme, New York, Usa
- ◆ G. Catania, G. Naldi (2003), "Numerical modeling of a mechanical structure coupled to a fluid line subsystem", Proc. of the 2003 Int. Mech. Eng. Congress Imece, (Washington, 16-21 Nov. 2003) Asme 2003/Imece

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Giuliani, Bologna (BO) - Modifica strutturale di un transfer rotativo"

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

Lo stesso modello può essere utilizzato ai fini della simulazione del comportamento in condizioni operative e della ricerca delle condizioni critiche di funzionamento, dal punto di vista delle vibrazioni e del rumore generato. Inoltre può essere utilizzato come prototipo virtuale per simulare l'effetto di modifiche strutturali sul comportamento dinamico del sistema.

Tematica 2: **Analisi dinamica di meccanismi spaziali per macchine automatiche al variare della loro configurazione geometrica**

Descrizione

L'obiettivo del progetto di ricerca è la definizione di una metodologia numerica che permetta lo studio del comportamento dinamico locale di meccanismi piani e spaziali, costituiti da corpi rigidi e flessibili accoppiati mediante coppie cinematiche, che consentano uno o più gradi di libertà relativi, ed elementi elasto-viscosi.

Nella prima parte della ricerca si esegue un'indagine su metodologie di modellazione numerica dell'analisi di posizione nello spazio tridimensionale, basate su alcune tecniche derivate dalle equazioni della meccanica analitica (modellazione multibody). Il fine di questa prima fase è la determinazione del modello modale del sistema (frequenze naturali, smorzamento e modi propri di vibrazione) linearizzato in un intorno di una configurazione cinematicamente ammissibile dello stesso.

Alla studio teorico segue la scrittura di un codice numerico in linguaggio C, versatile ed indipendente dal sistema operativo utilizzato, che implementa quanto elaborato. Compiti di questo strumento sono la scrittura automatica delle equazioni di vincolo dell'intero meccanismo, la soluzione dell'analisi di posizione preliminare, la compilazione delle matrici associate al modello linearizzato ed il calcolo della soluzione dell'autoproblema associato al variare delle configurazioni cinematicamente ammissibili del meccanismo stesso. Si prevede lo sviluppo di un'interfaccia grafica tridimensionale in ambiente OpenGL che comprenda un modulo per la introduzione dati, l'analisi di posizione preliminare e il controllo di congruenza cinematica, e la visualizzazione dei risultati (visualizzazione dei modi propri di vibrare al variare della posizione del meccanismo nello spazio di lavoro).

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ G. Catania, A. Zanarini (2003) "Dynamic contribution of tires in vehicle suspension modeling: an experimental approach", Proc. Of The 2003 Int. Mech. Eng. Congress Imece, (Washington, 16-21 Nov. 2003) Asme 2003/Imece
- ◆ A. Zanarini, P. Mas, K. Cuppens, F. De Coninck, P. Sas "Using FBS for road noise NVH predictions: first outlines", Proc. Of Euronoise 2003, 5th European Conf. On Noise Control, (ISBN 88-88942-00-9), 19-21 May 2003, Naples, Italy. Paper ID: 371
- ◆ A. Zanarini, F. De Coninck, P. Sas "A connecting stiffness optimisation procedure to update finite element models of assembled structures", Proc. Of ISMA 2002, Int. Conf. On Noise & Vibration Engineering, 16-18 September 2002, Leuven, Belgium. Paper ID: XV05, pp. 1019-1030, vol.III

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ LMS, Lovanio (B) – Modellazione ibrida per la previsione del rumore stradale

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

Le possibili applicazioni riguardano macchine utensili, macchine automatiche, robot industriali e veicoli civili e industriali.

Tematica 3: Monitoraggio di componenti meccanici con tecniche avanzate di analisi del segnale

Descrizione

Il monitoraggio delle condizioni di salute di una macchina costituisce oggetto di interesse nel campo della manutenzione dei macchinari. Diversi malfunzionamenti quali squilibrio, difetti in ingranaggi, usura in cuscinetti a rotolamento, e danni strutturali quali cricche di fatica in organi meccanici, producono vibrazioni aventi definite proprietà che possono essere messe in evidenza applicando appropriate tecniche di elaborazione del segnale, così da permettere una precoce individuazione del danno. Molto spesso difetti meccanici come quelli sopra citati introducono non-linearità nel sistema meccanico. Alcuni malfunzionamenti generano vibrazioni contraddistinte da interazioni e accoppiamenti tra le componenti spettrali. Altri difetti causano fenomeni di tipo transitorio nella risposta del sistema meccanico come, ad esempio, succede per gli urti nelle coppie cinematiche causati ed amplificati dall'incremento dell'usura nelle stesse.

La ricerca si propone di applicare metodologie avanzate di analisi del segnale che siano particolarmente sensibili alle caratteristiche appena evidenziate.

L'attività della ricerca consiste nello sviluppo e nell'applicazione di tecniche di elaborazione del segnale vibratorio basate sull'analisi statistica e spettrale di ordine superiore, sull'analisi ciclostazionaria e sull'analisi di vibrazione nel dominio tempo-frequenza.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ G. Dalpiaz, U. Meneghetti "Monitoring Fatigue Cracks in Gears", NDT&E International, Vol. 24, No. 6, December 1991, pp. 303-306
- ◆ G. Dalpiaz, A. Maggiore "Monitoring Automatic Machines", Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 6, No. 6, November 1992, pp. 517-534
- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola, U. Meneghetti "Proceedings of an International Conference on Condition Monitoring", Swansea, 21-25 March 1994, U.K., Ed. M. H. Jones, Pineridge Press, Swansea, 217-228. Use of Filtering Function for Machine Health Monitoring
- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola "Proceedings of the 2nd International Conference on Acoustical and Vibratory Surveillance Methods and Diagnostic Techniques", 10-12 October 1995, Senlis, France, Ed. Société Française des Mécaniciens, Courbevoie, 1, 327-338. Fault Detection and Diagnostics in Cam Mechanisms
- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola "Mechanical Systems and Signal Processing", 11 (1), 53-73. Condition Monitoring and Diagnostics in Automatic Machines: Comparison of Vibration Analysis Techniques, 1997
- ◆ A. Rivola "Atti XIII Congresso Nazionale Associazione Italiana di Meccanica Teorica ed Applicata" - AIMETA'97, 29 Settembre-3 Ottobre 1997, Siena, Italia, Ed. ETS, Pisa, Italia, 2, 73-80. Crack Detection by Bispectral Analysis

- ◆ A. Rivola, P.R. White "Proceedings of the 3rd International Conference on Acoustical and Vibratory Surveillance Methods and Diagnostic Techniques", 13-15 October 1998, Senlis, France, Ed. Société Française des Mécaniciens, Courbevoie, 1, 263-272. Detecting system non-linearities by means of higher order statistics
- ◆ A. Rivola, P. R. White "Journal of Sound and Vibration", 216 (5), 889-910. Bispectral Analysis of the Bilinear Oscillator with Application to the Detection of Fatigue Cracks, 1998
- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola, R. Rubini "Proceedings of the 3rd International Conference on Acoustical and Vibratory Surveillance Methods and Diagnostic Techniques", 13-15 October 1998, Senlis, France, Ed. Société Française des Mécaniciens, Courbevoie, 2, 623-637. Gear fault monitoring: comparison of vibration analysis techniques
- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola, R. Rubini "Mechanical Systems and Signal Processing", 14 (3), 387-412. "Effectiveness and Sensitivity of Vibration Processing Techniques for Local Fault Detection in Gears", 2000
- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola "Proceedings of Seventh International Conference on Recent Advances in Structural Dynamics", 24-27 July 2000, University of Southampton, Southampton, UK, (ISBN 0 85432 7215), 1, 159-172. Inverse Problems in Mechanisms for Packaging Machines
- ◆ A. Rivola, Pub. DIEM, University of Bologna, No. 107, July 2000. "Applications of Higher Order Spectra to the Machine Condition Monitoring"
- ◆ A. Rivola "Proceedings of Seventh International Conference on Recent Advances in Structural Dynamics", 24-27 July 2000, University of Southampton, Southampton, UK, (ISBN 0 85432 7215), 2, 937-950. "Comparison Between Second and Higher Order Spectra Analysis in Detecting Structural Damages"
- ◆ R. Rubini, U. Meneghetti "Mechanical Systems and Signal Processing", 15, 2, 287-302. "Application of the Envelope and Wavelet Analyses for the Diagnosis of Incipient Faults in Ball Bearings", 2001
- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola "Proceedings of the 4th International Conference on Acoustical and Vibratory Surveillance Methods and Diagnostic Techniques", 16-18 October 2001, Compiègne, France, Ed. Société Française des Mécaniciens, Courbevoie, 2, 379-391. "Use of inverse-filtering for gear diagnostics"

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ GD, Bologna (BO) - Monitoraggio e diagnostica di macchine automatiche
- ◆ IMA, Bologna (BO) - Identificazione parametrica del modello di una macchina automatica
- ◆ Progetto Pilota nell'ambito del Programma Leonardo da Vinci (CE) – 1996-2002 - Trattamento dei segnali per la diagnostica acustica e vibratoria delle macchine rotanti
- ◆ ISVR, University of Southampton (UK) - Collaborazioni varie, principalmente nell'ambito del Progetto Pilota sopra menzionato
- ◆ UTC, Université de Technologie de Compiègne (F) - Collaborazioni varie, principalmente nell'ambito del Progetto Pilota sopra menzionato

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

L'applicazione di tali tecniche riveste tuttora motivo di interesse nella letteratura scientifica e richiede ulteriori indagini ed approfondimenti date le difficoltà di interpretazione dei risultati che esse offrono. In generale, il campo di applicazione riguarda tutte le macchine che presentano un elevato grado di criticità in relazione alla sicurezza degli operatori, alla produttività dell'impianto, alla qualità del prodotto.

Tematica 4: Analisi sperimentale e simulazione elastodinamica della distribuzione desmodromica di un motore motociclistico da competizione

Descrizione

L'attività di ricerca è inerente lo studio del comportamento del sistema di distribuzione desmodromico, impiegato in motori motociclistici da competizione, al fine di migliorarne le prestazioni. La distribuzione desmodromica, si distingue dai meccanismi a camma classicamente impiegati, per l'assenza della molla di chiusura e presenta, in alternativa, un secondo meccanismo a camma. In altre parole, il moto della singola valvola è guidato dall'azione di due camme coniugate. Trattandosi di un dispositivo operante ad elevate velocità, l'inerzia, la cedevolezza elastica dei membri che lo compongono e i giochi nelle coppie cinematiche hanno una notevole influenza sulla sua risposta dinamica. I suddetti effetti dinamici possono modificare il moto effettivo delle valvole della distribuzione, arrivando ad alterare pesantemente la fluidodinamica del motore. Inoltre, gli elevati livelli di sollecitazione che ne derivano possono causare seri problemi funzionali quali, ad esempio, usura, fenomeni di fatica ed, al limite, rotture.

Lo studio si baserà sullo sviluppo e la messa a punto di un modello cinetoelastodinamico del meccanismo di distribuzione, che permetterà un'adeguata simulazione del comportamento vibratorio del sistema, in modo da individuare le cause degli effetti dinamici indesiderati. La validazione del modello verrà condotta sulla scorta di risultati sperimentali ottenuti mediante un idoneo banco prova strumentato. La sperimentazione risulta una fase essenziale della ricerca, sia per la validazione del modello matematico, sia per indagare il funzionamento del macchinario in corrispondenza di diverse condizioni operative.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola "Proceedings of the Tenth World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms", 20-24 June 1999, Oulu, Finland, Oulu University Press, 4, 1534-1542. "A Model for the Elastodynamic Analysis of a Desmodromic Valve Train"
- ◆ G. Dalpiaz, A. Rivola "Mechanism and Machine Theory", 35(11), 1551-1562. "A Non-Linear Elastodynamic Model of a Desmodromic Valve Train", 2000
- ◆ A. Carlini, A. Rivola, G. Dalpiaz, A. Maggiore "Proceedings of Fifth International Conference on Vibration Measurements by Laser Techniques: Advances and Applications", Ancona, Italy, 18-21 June 2002, E. P. Tomasini Ed., Proceedings of SPIE Vol. 4827, ISBN 0-8194-4594-0, 564-574. "Valve motion measurements on motorbike cylinder heads using high speed laser vibrometer"
- ◆ A. Rivola, A. Carlini, G. Dalpiaz "Proceedings of ISMA 2002 International Conference on Noise & Vibration Engineering", Leuven, Belgium, 16-18 September 2002, ISBN 90-73802-79-2, 1417-1426. Modelling the elastodynamic behaviour of a desmodromic valve train
- ◆ A. Rivola, A. Carlini "Proceedings of Automotive Day 2003", 12 June, 2003, CRF - Orbassano (TO), Italy, 55-58. "Sistema per l'acquisizione di segnali analogici e digitali su un banco

prova di testate motociclistiche Ducati". Recipient of the "Best NI Automotive Application 2003"

- ◆ A. Carlini, A. Rivola 'Proceedings of AIMETA'03", 16th AIMETA Congress of Theoretical and Applied Mechanics, 9-12 September 2003, Ferrara, Italy. "A non linear elastodynamic model of a camshaft supported by journal bearings"

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ DUCATI Corse - Analisi sperimentale e simulazione elastodinamica della distribuzione desmodromica di motori Ducati da competizione

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

L'applicazione specifica riguarda il settore motoristico dei motocicli ad elevate prestazioni.

Struttura 5: DIMeC - Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile (UNIMORE)

Università di Modena e Reggio Emilia

DIMeC - Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile

Indirizzo: Via Vignolese, 905/B – 41100 Modena

Direttore: Prof. Angelo O. Andrisano

Tel. 059-2056300 – Centralino

Tel. 059-2056188 - Direzione

e-mail: andrisano@unimore.it

Attività

L'attività di ricerca del dipartimento, in coerenza con il focus del net-lab LAV, è riconducibile alla seguente tematica:

- ◆ **TEMA 1** - Dinamica, stabilità vibrazioni e rumore di strutture, sistemi e trasmissioni meccaniche. Metodologie teoriche, numeriche e sperimentali.

Tematica 1: Dinamica, stabilità vibrazioni e rumore di strutture, sistemi e trasmissioni meccaniche. Metodologie teoriche, numeriche e sperimentali

Descrizione

La tematica di ricerca si articola in diverse linee di ricerca, descritte qui di seguito.

◆ Dinamica e stabilità di strutture e sistemi meccanici

L'attività di ricerca scientifica concerne argomenti di carattere teorico, numerico e sperimentale nel campo della dinamica e stabilità di strutture e sistemi meccanici.

Per ciò che concerne la ricerca scientifica si evidenziano alcuni settori su cui l'attività si è concentrata maggiormente:

◆ Dinamica e stabilità di strutture a parete sottile con interazione fluido-struttura.

Tale tematica riveste un ruolo di rilievo nei settori dell'Ingegneria Aerospaziale, Civile e Nucleare. Sul problema della stabilità di strutture a parete sottile si assiste ad una notevole attività di ricerca fin dalla metà del secolo scorso, con i lavori fondamentali di Von Karman, Love, Flugge, Donnel, Sanders ed altri. Nonostante tale diffuso impegno internazionale, molte problematiche restano tuttora aperte, specialmente per ciò che concerne la stabilità dinamica. L'attività di ricerca svolta presso il DIMEc ha fornito contributi scientifici su:

- vibrazioni a grande ampiezza di gusci circolari cilindrici contenenti liquido
- instabilità statica e dinamica di strutture a parete sottile causata da flussi interni od esterni di tipo sub e supersonico
- stabilità dinamica di strutture soggette a compressione dinamica contenenti fluidi pesanti. Tali ricerche sono state finanziate da: MIUR, ASI, CNR, NATO

◆ Problemi di stabilità nelle trasmissioni meccaniche

Tale tematica riveste un ruolo di rilievo nel campo dell'Ingegneria Meccanica e dell'Ingegneria del Veicolo. I problemi di vibrazione a grande ampiezza indotte da fenomeni di instabilità in particolari meccanici necessita sempre lo sviluppo di metodologie dedicate, per le quali è spesso necessario un grande impegno sia teorico, sia di verifica numerica e sperimentale.

L'attività di ricerca svolta presso il DIMEc ha fornito contributi scientifici su: i) vibrazioni a grandi ampiezza in cinghie di trasmissione; ii) deterioramento e rottura di frizioni a dischi multipli in bagno d'olio dovute ad instabilità di tipo giroscopico. Tali ricerche si svolgono in collaborazione con la Case New Holland (Modena) ed hanno avuto finanziamenti MIUR e Fondazione Cassa di Risparmio di Vignola.

◆ Sottostrutturazione dinamica

Tale tematica riveste un ruolo di rilievo nei settori dell'Ingegneria Meccanica, Aerospaziale e Civile. Si tratta dello sviluppo di tecniche predittive per l'analisi di vibrazione di strutture complesse, conoscendo le caratteristiche vibrazionali di sottostrutture. Una delle principali motivazioni è data dal fatto che, in grandi progetti internazionali, spesso singoli prototipi sono realizzati in zone

geografiche molto lontane, perciò prove sperimentali sui sistemi complessivi sono virtualmente impossibili, se non a fine progetto.

L'attività di ricerca svolta presso il DIMeC ha fornito contributi scientifici sulla determinazione dei parametri modali (frequenze, modi e smorzamenti) di sistemi complessi, attraverso la conoscenza delle matrici di trasferimento (sperimentali o numeriche) delle sottostrutture. La ricerca è stata finanziata da MIUR.

◆ **Analisi sperimentale delle vibrazioni, analisi modale, monitoraggio**

Si tratta di uno studio sperimentale riguardante la determinazione delle caratteristiche dinamiche di alberi motore. I test sono stati eseguiti mediante eccitazione con shaker o martello strumentato e misura della risposta accelerometrica. L'analisi delle funzioni di trasferimento e l'applicazione di algoritmi per identificazione modale, permettono di ottenere frequenze proprie e modi di vibrazione. In figura è rappresentato ad esempio il primo modo torsionale.

◆ **Analisi modale di strutture di interesse aerospaziale**

Queste misure sono state effettuate su una piastra in composito, per impiego aerospaziale. La metodologia di prova si basa su eccitazione impulsiva e risposta accelerometrica. Sono state analizzate due configurazioni: piastra appoggiata e piastra libera. È stato usato il sistema di acquisizione LMS SCADAS III con software CADA-X per le misure e l'elaborazione dati. È stata eseguita l'analisi modale calcolando, attraverso i dati sperimentali, frequenze, smorzamenti e modi di vibrare. La procedura di identificazione prevede un fitting globale delle FRF, con identificazione delle frequenze proprie e degli smorzamenti. Poi si procede con la valutazione delle deformate modali. Un CAD 3D presente nel CADA-X permette di descrivere la geometria del pezzo e visualizzare i modi di vibrazione; l'animazione delle modalità di vibrazione permette di visualizzare il comportamento in risonanza.

Ulteriori attività sperimentali hanno riguardato il monitoraggio delle vibrazioni e delle caratteristiche modali in apparati per impiego aerospaziale (con DTM – Ferrari Aerospace s.r.l.); l'impiego di metodologie stocastiche per l'analisi delle vibrazioni di strutture aerospaziali (con HIGHFTECH S.R.L.); l'ottimizzazione di ruote dentate cilindriche finalizzata alla riduzione della rumorosità di ingranamento (in convenzione con CNH – Case New Holland S.p.A. di Modena).

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ F. Pellicano, Y. Mikhlin, I. Zolotarev "Nonlinear Dynamics of Shells with Fluid-Structure Interaction", Ed. Inst of Thermomechanics AS CR Prague, 2002, ISBN 80-85918-76-5
- ◆ F. Pellicano, M. Amabili, A. F. Vakakis "Nonlinear Vibrations and Multiple Resonances of Fluid-Filled, Circular Shells, Part 2: Perturbation Analysis", ASME J. of Vibration and Acoustics, 122, 355-364, 2000
- ◆ M. Amabili and F. Pellicano "Nonlinear Supersonic Flutter of Circular Cylindrical Shells" AIAA Journal, 39 (4), 564-573, 2001
- ◆ F. Pellicano, A. Vakakis "Normal Modes and Boundary Layers for a Slender Tensioned Beam on a Nonlinear Foundation". Nonlinear Dynamics, 25 (1-3), 79-93, 2001
- ◆ M. Amabili, F. Pellicano, M. P. Païdoussis "Nonlinear Stability of Circular Cylindrical Shells in Annular and Unbounded Axial Flow". ASME J. Applied Mechanics, 68, 827-834, 2001
- ◆ M. Amabili, F. Pellicano, "Multimode Approach to Nonlinear Supersonic Flutter of Imperfect Circular Cylindrical Shells", ASME J. of Applied Mechanics , 69, 117-129, 2002

- ◆ F. Pellicano, M. Amabili, M.P. Paidoussis "Effect of the geometry on the non-Linear vibration of circular cylindrical shells". Int. J. of Nonlinear Mechanics, 37, 1181-1198, 2002
- ◆ F. Pellicano, F. Vestroni "Complex Dynamics in High Speed Axially Moving Systems", J. of Sound and Vibration, 2002, 258(1), 31-44, 2002
- ◆ M. Amabili, F. Pellicano, M. P. Paidoussis "Non-linear dynamics and stability of circular cylindrical shells conveying flowing fluid", in corso di pubblicazione su Computers and Structures, 2002, 899-906, 80
- ◆ F. Pellicano, A. Fregolent "Analisi sperimentale delle vibrazioni di una cinghia di trasmissione mediante l'uso di tecniche laser", Atti dell'AIMETA97, XIII Congr. Naz. dell'Ass. Naz. di Meccanica Teorica ed Applicata, Siena, 29 sett.-3 ott., 1997
- ◆ F. Pellicano, F. Zirilli "Boundary layers and non-linear vibrations in an axially moving beam", Int. J. of Non-Linear Mechanics, 33(4), 691-711, 1998
- ◆ F. Pellicano, F. Vestroni "Nonlinear Dynamics and Bifurcations of an Axially Moving Beam", J. of Vibration and Acoustics, 122, 21-30, 2000
- ◆ F. Pellicano, A. Fregolent, A. Bertuzzi, F. Vestroni, "Primary and Parametric Non-Linear Resonances of a Power Transmission Belt: Experimental and Theoretical Analysis", J. of Sound and Vibration, 244(4), 669-684, 2001
- ◆ F. Vestroni, F. Pellicano, G. Catellani, A. Fregolent, "Nonlinear Resonance and Parametric Instability of a Power Transmission Belt: Numerical Analysis with Experiments", ASME-DETC'01, 18th Biennial Conf. On Mech. Vibr. And Noise, Pittsburg, USA, Sept. 2001
- ◆ F. Pellicano, A. Fregolent "Analisi sperimentale e teorica della risposta nonlineare di una cinghia di trasmissione", Atti AIMETA 2001
- ◆ F. Pellicano, F. Vestroni "Complex Dynamics in High Speed Axially Moving Systems", J. of Sound and Vibration, 258(1), 31-44, 2002
- ◆ F. Pellicano, G. Catellani, A. Fregolent "Parametric instability of belts: theory and experiments", in pubblicazione su Computers & Structures, 2003
- ◆ A.O. Andrisano, G. Bonori, G. Catellani, F. Pellicano "On A FRF Based Experimental Sub Structuring Technique For Linear Vibrating Systems", 2nd FPNI- PhD Symposium in Fluid Power, Modena, July 2002

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ CRIT (MO)
- ◆ CSM, Centro Sviluppo Materiali (RM)
- ◆ Mc Gill University, Canada
- ◆ SIPE (MO)
- ◆ Università di Parma (PR)
- ◆ Università di Roma "La Sapienza" (RM)
- ◆ University of Illinois at Urbana Champaign, (USA)

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ COFIN 1999 - "Tecniche di progettazione virtuale per l'ottimizzazione dinamica di strutture meccaniche complesse"-
- ◆ COFIN 2000 - "Dinamica non-lineare ed interazione fluido-struttura in strutture a guscio per applicazioni aerospaziali"
- ◆ NATO - "Cooperative Linkage Grant 2000-2003: Nonlinear Dynamics of Shells with Fluid Structure Interaction"
- ◆ ASI 1999-2000 - "Dinamica ed interazione fluido-struttura nei serbatoi per applicazioni aerospaziali"
- ◆ CNR AGENZIA 2000 - "Instabilità dinamica di tubazioni per fluidodinamica industriale"
- ◆ Progetto Ricerca Industriale 2002, Fondazione Cassa Risparmio di Vignola: "Software (non commerciale) di verifica strutturale delle gru, migrazione da ambiente Unix (linguaggio Fortran) ad ambiente Windows (software MathCad) ed interfacciamento con CAD 3D"
- ◆ Progetto Ricerca Industriale 2002, Fondazione Cassa Risparmio di Vignola: "Analisi teorica e sperimentale su fenomeni di instabilità giroscopica (*flutter*) e termoelastica (*Hot-Spot*) in frizioni a bagno d'olio per trasmissioni di veicoli Off-Road"

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

Le possibili applicazioni dei risultati di ricerca sono qui descritte in riferimento alle singole linee di ricerca già citate precedentemente.

◆ **Dinamica e stabilità di strutture e sistemi meccanici**

Le metodologie sviluppate ed in corso di sviluppo trovano principale applicazione nell'industria aerospaziale: missili, lanciatori, serbatoi e carlinghe di aereo. Strutture simili a quelle precedentemente menzionate trovano applicazione anche in campo meccanico, nucleare o civile: serbatoi, tubazioni, scambiatori di calore.

◆ **Problemi di stabilità nelle trasmissioni meccaniche**

I problemi affrontati in questo studio hanno origine da reali problemi di rottura in particolari meccanici; pertanto le metodologie sviluppate potranno trovare immediata applicazione in campo industriale.

◆ **Sottostrutturazione dinamica**

Le tecniche di sottostrutturazione dinamica studiate trovano interessanti applicazioni nei casi in cui sia necessario prevedere il comportamento vibrazionale di sistemi meccanici complessi di cui siano note, per via numerica o sperimentale, le caratteristiche dinamiche di singoli componenti.

◆ **Analisi sperimentale delle vibrazioni, analisi modale, monitoraggio.**

Tale attività trova immediata applicazione in tutti i settori industriali in cui siano necessari dei test di verifica delle caratteristiche dinamiche di strutture meccaniche o sia necessario il monitoraggio delle vibrazioni.

◆ **Ottimizzazione di ruote dentate cilindriche finalizzata alla riduzione della rumorosità di ingranamento**

Tale attività è motivata da reali problemi di rumorosità che si riscontrano in trasmissioni di tipo industriale e veicolistico. I risultati di tali ricerche potranno essere utilizzati dalle aziende coinvolte per aumentare il grado di competitività dei propri prodotti.

Tipologia di imprese destinatarie

Le potenziali imprese destinatarie della ricerca condotta dal DIMEC dell'Università di Modena e Reggio Emilia appartengono ai seguenti settori industriali:

- ◆ Aerospaziale
- ◆ Automazione
- ◆ Meccanico
- ◆ Motoristico
- ◆ Packaging
- ◆ Veicolistico

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione ed inerenti la tipologia/tematica

- ◆ MAPE S.p.A., Bazzano (BO) - Analisi sperimentale delle vibrazioni di alberi motore
- ◆ HIGHFTECH S.R.L., Modena (MO) - Analisi modale di strutture di interesse aerospaziale
- ◆ DTM – Ferrari Aerospace s.r.l., Modena (MO) - Monitoraggio delle vibrazioni e delle caratteristiche modali in apparati per impiego aerospaziale
- ◆ HIGHFTECH S.R.L., Modena (MO) - Impiego di metodologie stocastiche per l'analisi delle vibrazioni di strutture aerospaziali
- ◆ Case New Holland, Modena (MO) - Deterioramento e rottura di frizioni a dischi multipli in bagno d'olio dovute ad instabilità di tipo giroscopico
- ◆ CNH – Case New Holland S.p.A. di Modena

Laboratori/strumentazioni già disponibili presso la struttura inerenti la tematica

Il laboratorio è situato presso il Centro Laboratori Pesanti di Via Vignolese. La strumentazione presente nel laboratorio permette la realizzazione di misure di vibrazione e accurate analisi modali di strutture e sistemi meccanici.

Possono essere eseguiti test su strutture fino a 200-300 kg eccitate tramite martello strumentato o shaker. Micro-accelerometri (PCB 0.5 10-3kg e Bruel-Kiaer 0.25 10-3kg) permettono l'analisi di strutture leggere. I dati ricavati durante le prove vengono trattati per ricavare parametri utili in fase di verifica della struttura: frequenze naturali, coefficienti di smorzamento e forme modali. E' possibile l'analisi di vibrazioni in campo non lineare sfruttando un controllo a ciclo chiuso sulla forza e il modulo Step-Sine del software LMS CADA-X.

La strumentazione presente in laboratorio è la seguente:

- ◆ Shaker V830T-SPA-K LDS, 9000 N, 0-3000 Hz. Per prove di vibrazione su grandi strutture o utilizzo come tavola vibrante monoassiale (per sistemi con massa inferiore a 300 kg);
- ◆ Shaker Bruel&Kiaer, 110 N, 0-10000 Hz, per prove di vibrazione ed analisi modale su strutture di media grandezza o utilizzo come tavola vibrante monoassiale (per sistemi leggeri, massa inferiore a 2 kg);
- ◆ Uno shaker TiraVib, 18 N, 0-11000 Hz, per prove di vibrazione ed analisi modale su strutture leggere.;
- ◆ Trasduttori e strumentazione per la misura delle vibrazioni;
- ◆ Misure accelerometriche e di spostamento;
- ◆ Eccitazione impulsiva strumentata;
- ◆ Accelerometri micro e medi: 0-10000 Hz;
- ◆ Celle di carico statiche e dinamiche fino a 20000 N;
- ◆ Sistema di acquisizione LMS SCADAS III (4 canali di input e 2 canali di output) con software CADA-X: signal processing; output sinusoidale retroazionato, altri output in catena aperta, identificazione parametrica e analisi modale;
- ◆ Scheda di acquisizione National Instruments (2 canali di input e 2 canali di output), con Lab-View signal processing software ed ambiente di sviluppo;
- ◆ Software per eccitazione sweep in catena aperta; sinusoidale in retroazione; eccitazione impulsiva; determinazione delle funzioni di trasferimento;
- ◆ Analizzatore di spettro real-time Ono-Sokky (2 canali di input and 2 canali di output): eccitazione in catena aperta (sinusoidale, impulsiva, random ecc.);
- ◆ Scheda di acquisizione 8 canali National Instruments portatile, per Laptop;
- ◆ Software Visual Nastran 4D per analisi di meccanismi 3D e modulo per analisi strutturale;
- ◆ Software MSC Marc per analisi strutturale.

Struttura 6: Dipartimento di Ingegneria Industriale (UNIPR)

Università di Parma

Dipartimento di Ingegneria Industriale

Sito web: <http://ied.unipr.it>

Indirizzo: Via delle Scienze 181/A - 43100 Parma

Direttore: Prof. Gianluca Medri

Tel: 0521-905701

e-mail: medri@ied.unipr.it

Attività

TEMA 1 - Studio della propagazione del rumore in reparti di packaging ed imbottigliamento

TEMA 2 - Cancellazione attiva del rumore mediante array di trasduttori

TEMA 3 - Misurazione e valutazione psicoacustica dell'abitacolo degli autoveicoli

TEMA 4 - Vibrazioni e controllo attivo di pannelli e strutture sottili anche in campo di vibrazioni di grande ampiezza ed interazione fluido-struttura

Tematica 1: Studio della propagazione del rumore in reparti di packaging ed imbottigliamento

Descrizione

La ricerca è partita dalla evidenza sperimentale del fatto che, in reparti produttivi di packaging ed imbottigliamento, le normali leggi di propagazione del suono in ambienti chiusi non valgono, stante le peculiari caratteristiche dei locali e la tipologia del macchinario installata, caratterizzata da una vasta presenza di elementi lineari di trasporto (nastri). La ricerca si avvale da un lato di moderne tecniche di misurazione dei parametri acustici ambientali (decadimento del livello sonoro con la distanza, fattore di correzione ambientale), facenti impiego della più avanzata strumentazione di misura oggi disponibile (intensimetria acustica, sorgente sonora omnidirezionale di riferimento), e di uno speciale software per la simulazione matematica della propagazione del rumore (RASS, Ramsete Acoustic Simulation System), sviluppato e messo a punto in stretta collaborazione con una azienda leader nel settore del packaging e dell'imbottigliamento, la SIG Simonazzi di Parma. La ricerca prevede di raggiungere, entro tre anni, una nuova formulazione matematica semplificata, in grado di descrivere correttamente il fenomeno fisico della propagazione del rumore a partire da sorgenti distribuite collocate in ambienti bassi e vasti: ciò consentirà di valutare la mappa della rumorosità già in fase di stesura del layout degli impianti, ed ottimizzare lo stesso al fine di limitare l'esposizione al rumore degli operai addetti alle linee.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ A. Farina "RAMSETE "A new Pyramid Tracer for medium and large scale acoustic problems", Proc. of EURO-NOISE 95 Conference, Lyon 21-23 march 1995
- ◆ A. Farina "Pyramid Tracing vs. Ray Tracing for the simulation of sound propagation in large rooms", In the volume "Computational Acoustics and its Environmental Applications", pp. 109-116, Editor C.A. Brebbia, Computational Mechanics Publications, Southampton (GB) 1995
- ◆ A. Farina "Verification of the accuracy of the Pyramid Tracing algorithm by comparison with experimental measurements by objective parameters", ICA95 (International Conference on Acoustics), Trondheim (Norway) 26-30 June 1995
- ◆ A. Farina, G. Fornari "Studio della propagazione del rumore in ambienti industriali bassi e vasti", Atti del convegno dBA-98, Modena, 16-18 settembre 1998
- ◆ G. Fornari, A. Farina "Studio della propagazione del rumore in ambienti industriali bassi e vasti", Industria delle Bevande (ISSN 0390-0541), anno 27, n. 158, Dicembre 1998, pp. 585-596
- ◆ A. Farina "Propagazione sonora e previsione del rumore negli ambienti di lavoro", Atti del seminario "Rumore e vibrazioni negli ambienti di lavoro: dalla valutazione alla bonifica", Modena, 23 settembre 1999
- ◆ A. Farina, G. Fornari "Simulazione della propagazione sonora", Il Progettista Industriale, ISSN 0392-4823, N. 7, Luglio 2000, pp. 48-52

- ◆ A. Farina, G. Fornari "Propagazione del rumore in ambienti industriali bassi e vasti", *Analisi & Calcolo*, anno IV, n. 12, Gen-Mar 2003, pp. 23-26

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara - Messa a punto del sistema di simulazione Ramsete
- ◆ LookLine, Modena - Messa a punto della sorgente sonora omnidirezionale a potenza controllata
- ◆ DIENCA, Università di Bologna - Possibilità di utilizzare un microfono Soundfield quale sonda instensimetrica tridimensionale, e simulazione del comportamento mediante un microfono singolo posizionato in diverse posizioni

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ SASIB (oggi Sig Simonazzi) - n. 3 prestazioni "conto terzi" per misurazioni in ambito industriale, 1997; sviluppo del sistema di elaborazione RASS-1, 1998-2002; cofinanziamento di un Assegno di Ricerca su problematiche acustiche nell'industria dell'imbottigliamento, 2000; contratto di ricerca che prevede l'erogazione di una borsa di studio per dottorato di ricerca, di durata triennale, 2002
- ◆ Aquater - Contratto di ricerca, acquisizione della nuova linea di strumentazione (nuova sorgente sonora omnidirezionale, nuovo analizzatore di spettro portatile, nuova sonda instensimetrica), 2001

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

La ricerca prevede di sviluppare una nuova formulazione matematica semplificata, in grado di descrivere correttamente il fenomeno fisico della propagazione del rumore a partire da sorgenti distribuite collocate in ambienti bassi e vasti. Ciò consentirà di valutare la mappa della rumorosità già in fase di stesura del layout degli impianti, ottimizzare lo stesso al fine di limitare l'esposizione al rumore degli operai addetti alle linee e valutare in fase previsionale l'effettiva efficacia di interventi di risanamento.

Le applicazioni riguardano i numerosi ambienti industriali bassi e vasti in cui ci sono problemi di rumore. In tutti questi casi non è possibile ricorrere alle formulazioni classiche per il campo acustico. Poter invece ricorrere ad un modello corretto (implementato all'interno di un completo e semplice software) permette di ottimizzare il layout degli impianti per minimizzare l'esposizione dei lavoratori. Tutto il sistema sviluppato (in particolare l'insieme dei descrittori acustici per le sorgenti e per gli ambienti industriali) potrà essere di grande aiuto anche ai produttori di macchine industriali in quanto, senza alcun equivoco, potranno caratterizzare le prestazioni acustiche dei loro prodotti.

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Industria Alimentare
- ◆ Altri settori caratterizzati da impianti ad alta emissione sonora inseriti in ambienti alti e vasti
- ◆ Tutte le imprese interessate al problema del rumore

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione ed inerenti la tipologia/tematica

- ◆ SIG Simonazzi (Parma) - Sviluppo di speciale software per la simulazione matematica della propagazione del rumore in ambienti bassi e vasti, in particolar modo ottimizzato per l'inserimento degli impianti industriali come sorgenti sonore.

Laboratori/strumentazioni già disponibili presso la struttura inerenti la tematica

E' disponibile il laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Parma e della relativa strumentazione. In particolar modo, sono presenti le seguenti strumentazioni:

- ◆ sorgente omnidirezionale standard;
- ◆ fonometro B&K di vari modelli con sonda intensimetrica;
- ◆ microfono Soudfield.

Sono, inoltre, disponibili all'utilizzo gli spazi industriali di SIG Simonazzi e dei loro clienti e gli impianti industriali progettati per compiere una vasta campagna di misura per tarare e verificare il modello.

Tematica 2: Cancellazione attiva del rumore mediante array di trasduttori

Descrizione

Anche questo tema di ricerca è stato avviato in stretta collaborazione con la Sig. Simonazzi, e punta alla realizzazione di una sistema di cancellazione attiva del rumore efficace su una area relativamente vasta e non puntuale, grazie all'utilizzo di una schiera densa di trasduttori (microfoni ed altoparlanti), collegati tramite una opportuna matrice adattativa di processori DSP. Focalizzando sia la captazione del segnale da cancellare, sia l'emissione da parte degli altoparlanti sulla effettiva posizione della sorgente sonora, si prevede di riuscire a creare un fronte d'onda a fase invertita, che mantenga nello spazio e nel tempo la propria coerenza con il fronte d'onda diretto proveniente dalla sorgente reale, dando così luogo ad un fenomeno di interferenza distruttiva che permane all'interno di una vasta area. La ricerca ha avuto una prima fase (studio di fattibilità) nel 2000, è stata poi avviata definitivamente all'inizio del 2003, e vede attualmente in corso una serie di esperimenti in laboratorio facenti impiego di un array lineare di 24 trasduttori. Si prevede di passare alla sperimentazione su sorgenti reali nel corso del 2004, ed installare un sistema pilota in ambiente industriale entro il biennio successivo.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ A. Farina, M. Zanolin, E. Crema - " Measurement of sound scattering properties of diffusing panels through the Wave Field Synthesis approach" -108th AES Convention, Paris 18-22 February 2000
- ◆ M. Zanolin, A.Farina, P.Podini, S. De Stabile, P.Vezzoni – "Active control of noise by Wave Field Synthesis" - 108th AES Convention, Paris 18-22 February 2000

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

La ricerca si è svolta esclusivamente in collaborazione con SIG Simonazzi (Parma) con cui è stato stipulato un accordo di riservatezza sulla divulgazione dei risultati. In un prossimo futuro, siccome a breve verranno a meno le esigenze di riservatezza, saranno possibili collaborazioni con altre Università e Istituti di Ricerca, nonché l'applicazione della metodologia ad altre casistiche industriali.

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Anno 2000 – Tesi di Dottorato di Ricerca del Dottor Zanolin, in collaborazione con SASIB (attuale SIG Simonazzi) che ha dato luogo al primo prototipo del primo array lineare per il controllo attivo

- ◆ Anno 2001, Tesi di Laurea "Controllo Attivo del rumore con array di altoparlanti" di Fabio Bozzoli. All'interno di questa tesi è stato svolto una prima parte dello studio di fattibilità del progetto per conto di SASIB (attuale SIG Simonazzi)
- ◆ Anno 2001, Assegnazione di una borsa di ricerca da parte di SASIB per portare a termine lo studio di fattibilità. In particolar modo si sono indagati quali siano i settori di applicabilità del sistema a controllo attivo all'interno dell'industria per l'imbottigliamento
- ◆ Anno 2002, Realizzazione all'interno di tesi di laurea di un array lineare a 24 altoparlanti e del relativo sistema di pilotaggio

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

Questo sistema si presta all'applicazione in tutti quei casi in cui il lavoratore è esposto ad alti livelli di rumorosità provenienti principalmente da una sorgente localizzata e in cui non è possibile frapporre schermi fisici tra l'operatore e la sorgente. Un tipico caso è la macchina lavabottiglie utilizzata nell'industria alimentare: l'operatore deve continuamente sorvegliare il banco di carico delle bottiglie ed intervenire solo quando avviene il rovesciamento di una bottiglia. Visto che questa eventualità accade poche volte all'ora, l'operatore può rimanere per lunghi periodi all'interno di una "bolla silente" generata dal sistema di controllo attivo abbassando così il livello di esposizione personale giornaliero.

Tipologia di imprese destinatarie

Tutti i settori industriali possono essere destinatari di questa tipologia di applicazione. In particolar modo, le realtà in cui, malgrado siano stati applicati tutti i sistemi tradizionali per la riduzione del rumore, non si riesce a rientrare ugualmente nei limiti di legge e quindi diventa obbligatorio ricorrere a sistemi avanzati di controllo attivo per ridurre anche di pochi decibel il livello.

Laboratori/strumentazioni già disponibili presso la struttura inerenti la tematica

E' disponibile il laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Parma e della relativa strumentazione. In particolar modo un array costituito da:

- ◆ 24 altoparlanti di tipo flat-panel
- ◆ computer con relativa catena per pilotare in tempo reale l'array
- ◆ schede DSP per la realizzazione di un sistema per il controllo attivo stand-alone

I possibili link per informazioni

- ◆ www.sigsimonazzi.com

Tematica 3: Misurazione e valutazione psicoacustica dell'abitacolo degli autoveicoli

Descrizione

Questa ricerca, avviata all'inizio del 2003, vede la partecipazione di un vasto gruppo di partner industriali: Fiat Auto (TO), Centro Ricerche Fiat (TO), ASK Automotive Industries (RE) e Rieter Automotive (Zurigo, Svizzera). In sostanza si tratta di sviluppare la procedura di misurazione ed il relativo software per la caratterizzazione acustica dell'abitacolo degli autoveicoli, superando e migliorando le metodiche attualmente in uso. Lo scopo finale è anche quello di correlare i risultati delle misure con i risultati di questionari compilati da ascoltatori umani, onde definire nuove metriche dei principali parametri acustici: qualità del sistema sonoro, rumore di fondo, intelligibilità della parola, etc. Ciascuno dei tre partner industriali ha messo a disposizione una borsa di dottorato triennale, nonché cospicui fondi di ricerca, ed i propri laboratori. Si prevede che già al termine del primo anno di ricerca verrà resa disponibile la nuova metrica per la valutazione della qualità del sistema audio, mentre allo scadere dei due anni successivi (termine 2004 e termine 2005) si prevede che saranno ultimate anche le metodiche per la misurazione dell'intelligibilità della parola e del rumore di fondo.

Le principali pubblicazioni scientifiche inerenti la tipologia/tematica

- ◆ A. Farina, E. Ugolotti "Subjective comparison between Stereo Dipole and 3D Ambisonics surround systems for automotive applications" - 16th AES Conference, Rovaniemi (Finland), 10-12 April 1999
- ◆ E. Ugolotti, G. Gobbi, A. Farina "IPA - A Subjective Assessment Method of Sound Quality of Car Sound Systems" - Proceedings of the 110th AES Convention, 2001 May 12-15 Amsterdam, The Netherlands
- ◆ A. Azzali, A. Bellini, A. Farina, E. Ugolotti "Design and Implementation of Psychoacoustics Equalizer for Infotainment DSP Application Day" - Politecnico di Milano, 23 September 2002
- ◆ A. Farina, F. Bozzoli "Measurement of the speech intelligibility inside cars 113th AES Convention" Los Angeles, 5-8 October 2002
- ◆ E. Carpanoni, M. Romagnoli, A. Farina "AQTtool an automatic tool for design and synthesis of psychoacoustic Equalizers" - 114th AES Convention, Amsterdam, 22-25 March 2003
- ◆ A. Azzali, A. Bellini, E. Ugolotti, E. Armelloni, F. Bozzoli, A. Farina "Effects of the background noise of the perceived quality of car audio systems 112th AES Convention" - Munich, 10-13 May 2002

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Fiat Auto (TO)
- ◆ Centro Ricerche Fiat (TO)
- ◆ Rieter Automotive, Zurigo (CH)

I principali progetti passati e presenti inerenti la tipologia/tematica

- ◆ Anno 1999 - Stesura di una Convenzione di Ricerca con ASK Automotive Industries (RE) inerente alla caratterizzazione degli impianti HI-FI all'interno degli autoveicoli
- ◆ Anno 2001 - Convenzione di Ricerca con RIETER Automotive per il cofinanziamento di una borsa di dottorato della durata di 3 anni su problematiche di acustica soggettiva all'interno dell'autoveicolo
- ◆ Anno 2002 - Convenzione di Ricerca con FIAT per il cofinanziamento di una borsa di dottorato della durata di 3 anni riguardante la caratterizzazione acustica dell'autoveicolo

Sfruttamento dei risultati

Alcune possibili applicazioni

Il principale scopo della ricerca è la realizzazione di nuova metrica per la valutazione della qualità del sistema audio, dell'intelligibilità della parola e del rumore di fondo. Dunque, lo sviluppo di nuove metriche si potrà concretizzare nella realizzazione di nuovi strumenti di valutazione.

Tipologia di imprese destinatarie

Tutte le imprese del settore automotive coinvolte nell'acustica dell'autoveicolo. Queste nuove metriche avranno una grande utilità nella parte progettuale (progettazione dell'autoveicolo) ma anche commerciale (confronto di prodotti differenti).

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione ed inerenti la tipologia/tematica

- ◆ ASK Automotive Industries (RE) - Convenzione di Ricerca per il cofinanziamento di borse di dottorato della durata di tre anni, di assegni di ricerca e di premi di laurea

Laboratori/strumentazioni già disponibili presso la struttura inerenti la tematica

- ◆ Laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Parma e della relativa strumentazione
- ◆ Presso ASK il laboratorio, camera anecoica e camera di ascolto per i test soggettivi
- ◆ Presso Rieter, camera anecoica con banco a rulli di prova
- ◆ Presso FIAT, banchi a rulli e camere di ascolto

I possibili link per informazioni

- ◆ www.rieter.com
- ◆ www.fiat.com
- ◆ www.ask.com

Tematica 4: Vibrazioni e controllo attivo di pannelli e strutture sottili anche in campo di vibrazioni di grande ampiezza ed interazione fluido-struttura

La ricerca è mirata ad uno studio approfondito dei comportamenti vibratorii e dinamici di pannelli e strutture a guscio di spessore sottile. Lo studio di comportamenti vibratorii tipici di queste strutture verrà effettuato da due punti di vista:

- ◆ numerico, con lo sviluppo di opportuni codici di calcolo dedicati e con l'utilizzo di simulazioni FEM in versione parallela su supercomputer;
- ◆ sperimentale, utilizzando il sofisticato strumento CADA-X della LMS, al fine di validare i codici numerici e di approfondire dinamiche complesse e l'effetto delle imperfezioni geometriche.

Il controllo delle vibrazioni di sistemi meccanici è un argomento che da tempo riveste notevole importanza sia nel campo dei trasporti sia nel campo industriale, coinvolgendo svariati aspetti progettuali, quali la resistenza strutturale, la funzionalità del sistema o l'emissione acustica. Le metodologie per affrontare questo problema sono essenzialmente di tipo passivo, attivo o semi-attivo. In particolare, il controllo attivo mediante attuatori piezoelettrici è un sistema in via di sviluppo che ha grandi prospettive di applicazione.

Di seguito, sono presentate le linee di ricerca più rilevanti.

Studio della dinamica lineare e non-lineare di pannelli e strutture sottili: analisi teorica e sperimentale

In tale studio sono stati indagati: comportamenti nonlineari, problemi di stabilità dinamica ed eccitazione parametrica per gusci e pannelli sottili, valutando gli effetti delle imperfezioni di forma, dell'interazione fluido-struttura con fluido fermo o con flusso interno od esterno e gli effetti di precarico. Pannelli di diversi materiali (acciaio, rame, alluminio e materiali compositi in fibra di carbonio) sono stati studiati sia teoricamente che sperimentalmente. In particolare si sono testati sia laminati unidirezionali e tessuti.

I gusci sono modellati utilizzando le teorie non-lineari di Sanders-Koiter e Novozhilov in modo da descrivere con ottima precisione deformazioni finite. Il sistema è stato discretizzato utilizzando un'accurata espansione degli spostamenti del guscio nella base dei modi normali lineari. Questo metodo ha dato eccellenti risultati nello studio delle vibrazioni forzate di gusci circolari cilindrici pubblicati recentemente. L'espansione modale utilizzata permette modi stazionari ed onde viaggianti sul guscio, consentendo un completo studio della dinamica. Inoltre è stata applicata la tecnica della Proper Orthogonal Decomposition (POD) al fine di ridurre il numero dei gradi di libertà. Saranno analizzati, sia per via teorica che sperimentale, gli effetti di imperfezioni e difetti strutturali che possono alterare la simmetria della struttura stessa. È stata messa a punto una tecnica automatica per ottenere le equazioni del moto, basata su una proiezione alla Galerkin programmata in ambiente software Mathematica. Particolare cura è stata posta nel soddisfare le diverse condizioni al contorno. Diversi modelli sono stati sviluppati per descrivere accuratamente l'interazione tra il guscio ed il flusso, partendo dai modelli semplificati, come ad esempio, il flusso a potenziale e la *piston theory*, per finire a modelli più complessi.

L'attività precedente è affiancata da simulazioni numeriche per mezzo del codice ad elementi finiti ADINA, che nella sua versione parallela Open-MP è stato utilizzato sul supercomputer ORIGIN 3800 a 128 processori RISC del CINECA.

Le prove sperimentali sono fondamentali per validare i metodi di calcolo proposti e per valutare l'effetto delle imperfezioni geometriche che hanno un'effetto decisivo nella risposta e stabilità non-lineare di strutture a parete sottile. In particolare, diverse strutture a guscio e pannelli in acciaio ed in materiale composito sono stati realizzati, misurati (per determinare le imperfezioni geometriche) e testati in laboratorio. I gusci sono stati riempiti d'acqua per simulare l'interazione fluido-struttura. I gusci ed i pannelli sono stati eccitati con forzante armonico controllato in controreazione, con frequenza prossima ad una delle prime risonanze della struttura. Prove sperimentali sulla stabilità di gusci contenenti un flusso d'acqua sono svolte anche in collaborazione con l'Università McGill (Montreal, Canada) che mette a disposizione una galleria ad acqua.

Controllo attivo di strutture sottili mediante sensori ed attuatori piezoelettrici

Per estendere la gamma di efficacia dei tradizionali controlli passivi e di quelli semi-attivi si ricorre quindi a tecniche di controllo attivo, applicando un certo numero di sensori e di attuatori alla struttura interessata, in modo da esercitare "attivamente" l'azione di smorzamento delle vibrazioni. Tra gli attuatori disponibili per la realizzazione di sistemi di controllo attivo, quelli piezoelettrici applicati in modalità superficiale rappresentano al momento una delle scelte più ricche di potenzialità. Esistono trattazioni sulla scelta di sensori e attuatori localizzati piuttosto che distribuiti: questi ultimi funzionano già da filtro sulle frequenze, cosa che può avere risvolti positivi o negativi a seconda delle applicazioni. Per la loro corretta disposizione è necessario effettuare lo studio della struttura attraverso prove sperimentali di caratterizzazione e simulazioni numeriche, ricavando così importanti informazioni sui modi di vibrare del sistema in oggetto. Di fondamentale importanza è poi la tipologia di algoritmo di controllo utilizzato per il comando degli attuatori piezoelettrici: negli ultimi anni si sono sperimentati algoritmi di tipo neurale o sistemi a logica fuzzy che hanno dato ottimi risultati.

Con il presente progetto di ricerca, si vogliono applicare tecniche di controllo attivo delle vibrazioni a strutture piane e cilindriche in varie configurazioni di prova, estendendo significativamente la casistica già esistente in letteratura.

Vibrazioni di componenti meccanici

Sono in corso anche altri studi su problematiche vibratorie associate a ingranaggi (tenendo conto delle imperfezioni di forma e di passo) e nastri in avvolgimento.

Le principali pubblicazioni scientifiche

- ◆ M. Amabili, F. Pellicano, M. P. Païdoussis, 1999, "Non-linear dynamics and stability of circular cylindrical shells containing flowing fluid. Part I: stability", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 225, No. 4, pp. 655-699
- ◆ M. Amabili, 2000, "Eigenvalue problems for vibrating structures coupled with quiescent fluids with free surface", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 231, No. 1, pp. 79-97
- ◆ R. Garziera, M. Amabili, 2000, "Damping effect of winding on the lateral vibrations of axially moving tapes", *Transactions of the ASME, Journal of Vibration and Acoustics*, Vol. 122, No. 1, pp. 49-53
- ◆ M. Amabili, F. Pellicano, M. P. Païdoussis, 2000, "Non-linear dynamics and stability of circular cylindrical shells containing flowing fluid. Part IV: large-amplitude vibrations with flow", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 237, No. 4, pp. 641-666
- ◆ M. Amabili, F. Pellicano, A. F. Vakakis, 2000, "Nonlinear vibrations and multiple resonances of fluid-filled, circular shells, Part I: Equations of motion and numerical results", *Transactions of the ASME, Journal of Vibration and Acoustics*, Vol. 122, No. 4, pp. 346-354

- ◆ M. Amabili, F. Pellicano, M. P. Paidoussis, 2001, "Nonlinear stability of circular cylindrical shells in annular and unbounded axial flow", Transactions of the ASME, Journal of Applied Mechanics, Vol. 68, No. 6, pp. 827-834
- ◆ M. Amabili, R. Garziera, 2002, "Vibrations of circular cylindrical shells with nonuniform constraints, elastic bed and added mass; Part III: steady viscous effects on shells conveying fluid", Journal of Fluids and Structures, Vol. 16, No. 6, pp. 795-809
- ◆ M. Amabili, F. Pellicano, 2002, "Multi-mode approach to nonlinear supersonic flutter of imperfect circular cylindrical shells", Transactions of the ASME, Journal of Applied Mechanics, Vol. 69, No. 2, pp. 117-129
- ◆ F. Pellicano, M. Amabili, M. P. Paidoussis, 2002, "Effect of the geometry on the non-linear vibration of circular cylindrical shells", International Journal of Non-Linear Mechanics, Vol. 37, No. 7, pp. 1181-1198
- ◆ M. Amabili, M. Pellegrini, M. Tommesani, 2003, "Experiments on large-amplitude vibrations of a circular cylindrical panel", Journal of Sound and Vibration, Vol. 260, No. 3, pp. 537-547
- ◆ M. Amabili, 2003, "Theory and experiments for large-amplitude vibrations of empty and fluid-filled circular cylindrical shells with imperfections", Journal of Sound and Vibration, Vol. 262, No. 4, pp. 921-975
- ◆ M. Amabili, 2003, "Comparison of shell theories for large-amplitude vibrations of circular cylindrical shells: Lagrangian approach", Journal of Sound and Vibration, Vol. 264, No. 5, pp. 1091-1125
- ◆ M. Amabili, A. Sarkar, M. P. Paidoussis, "Reduced-order models for non-linear comparison of shell theories for large-amplitude vibrations of circular cylindrical shells: Lagrangian approach", (accepted) Journal of Fluids and Structures

Le principali collaborazioni in ambito regionale, nazionale ed internazionale

- ◆ Department of Mechanical Engineering, McGill University, Montreal, Canada
- ◆ Department of Mechanical Engineering, École Polytechnique, Montreal, Canada
- ◆ Structural Mechanics and Coupled Systems Laboratory, Conservatoire National des Arts et Metiers (CNAM), Parigi, Francia
- ◆ Département Dynamique des Structures et des Systèmes Couplés, ONERA, Francia
- ◆ Institute of Thermomechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic, Praga, Repubblica Ceca
- ◆ Department of Mechanical Engineering, Dongguk University, Seoul, Corea
- ◆ Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile, Università di Modena

I principali progetti passati e presenti

- ◆ Gruppo di Ricerca di Rilevante Interesse Nazionale (COFIN) 2000-2002 "Dinamica non-lineare ed interazione fluido-struttura in strutture a guscio per applicazioni industriali ed aeronautiche"

- ◆ Coordinatore nazionale del Gruppo di Ricerca "Dinamica ed interazione fluido-struttura nei serbatoi per applicazioni aerospaziali" finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) con 50 milioni nel 1998 e con 80 milioni nel 1999
- ◆ Coordinatore nazionale del Progetto di Ricerca FIRB 2001 "Vibrazioni di grande ampiezza e stabilità di strutture a parete sottile con interazione fluido struttura (FSI)" finanziato dal MIUR (45000 Euro quota locale)
- ◆ Coordinatore locale del progetto NATO Project CLG PST. CLF. 977350
- ◆ Progetto di ricerca su misuratori di portata a vibrazione innovativi, in collaborazione con Krohne Ltd., UK

Alcune possibili applicazioni

Le applicazioni finora condotte hanno riguardato l'industria aeronautica ed aerospaziale e quella della sensoristica. Potenzialmente le tecniche e le metodologie sviluppate sono applicabili a qualsiasi sistema meccanico per affrontarne le problematiche vibro-acustiche.

Tipologia di imprese destinatarie

- ◆ Settore meccanico
- ◆ Settore aeronautico ed aerospaziale
- ◆ Organismi di certificazione e standardizzazione

I principali rapporti realmente operativi con aziende della regione

- ◆ San Barnaba (progettazione di componentistica per veicoli); prove di vibrazione su tappo per serbatoio secondo norme interne Yamaha

Laboratori/strumentazioni già disponibili presso la struttura

Strumentazione completa di alto livello per l'analisi modale sperimentale e la misura di vibrazione, che include:

- ◆ Software LMS CADA-X su workstation per analisi modale sperimentale;
- ◆ Modulo step-sine per identificazioni non-lineari (vibrazioni di grande ampiezza);
- ◆ Front-end DIFA Scadas II per pilotare 4 shakers e misura di 8 canali simultaneamente;
- ◆ Shakers fino a 120 N di forza massima;
- ◆ Accelerometri convenzionali e sub-miniature (0.14 grammi, il più piccolo al mondo);
- ◆ Sensore laser Matsushita per misura di vibrazione senza contatto;
- ◆ Analizzatore di spettro ONO-SOKKI.

I possibili link per informazioni

- ◆ <http://me.unipr.it/mam/amabili/amabili.html>