

Modifica di un banco prova vibrazionale per la caratterizzazione sperimentale di turbocompressori

Ernesto Benini, Fabio Pertile

Dipartimento di Ingegneria Meccanica – Università di Padova

Via Venezia, 1 – 35131 Padova

Tel. 049-8276767 Fax 049-8276785

e-mail: ernesto.benini@unipd.it

Sommario

In questo articolo viene presentata una tecnica di semplice implementazione che consente di trasformare un banco prova vibrazionale per turbocompressori in un apparato sperimentale di accresciute funzionalità, che consente la determinazione delle curve caratteristiche dei turbocompressori, fondamentali per la messa a punto di un motore sovralimentato. Le modifiche da apportare, dettagliatamente descritte, comportano un modesto investimento in termini economici.

Introduzione

E' ben noto che ogni turbocompressore (inteso come gruppo compressore-turbina, o "core-assy") utilizzato per la sovralimentazione di motori automobilistici, specie quelli da competizione, necessita periodicamente di essere revisionato: durante tale operazione vengono tipicamente sostituiti i pezzi usurati ed effettuato un controllo di tutte le parti. Una volta ri-assemblati i componenti, si deve effettuare una prova dinamica volta all'accertamento della presenza e dell'entità dello squilibrio tra le parti in movimento. Infatti, per garantire silenziosità nel funzionamento, assenza di vibrazioni etc., è necessario effettuare una bilanciatura degli organi in rotazione alle velocità di normale funzionamento. Tale operazione è effettuata utilizzando un banco prova vibrazionale, o banco di equilibratura.

Di fatto, tali banchi prova sono assai diffusi presso le autofficine specializzate nella messa a punto dei motori sovralimentati. D'altra parte, per una corretta preparazione del motore, nonché per un corretto accoppiamento motore-sovralimentatore, oltre all'equilibratura, è di fondamentale importanza la conoscenza delle effettive prestazioni del gruppo turbocompressore al momento della revisione. E' ben noto infatti come le prestazioni dei sovralimentatori varino nel tempo a causa dello sporco e dell'usura; inoltre, i dati di prestazione dichiarati dai costruttori non sempre si rivelano sufficientemente affidabili (e per questo occorrerebbe disporre di un adeguato banco prova per turbocompressori, raramente disponibile presso le autofficine). Tutto ciò rende oltremodo difficoltosa una messa a punto ottimale del propulsore.

In questo articolo si vuole dimostrare come sia possibile, tramite alcune modifiche relativamente poco costose, arricchire le funzioni di un banco prova vibrazionale tradizionale con l'aggiunta di un apparato sperimentale che consenta di rilevare le effettive prestazioni di un gruppo turbocompressore e, perciò, di disporre di uno strumento di lavoro che agevoli la messa a punto ottimale di un motore sovralimentato.

Descrizione dell'apparato di prova

Un tipico banco prova utilizzato per l'equilibratura di un gruppo sovralimentatore per impieghi automobilistici è rappresentato Figura 1. Esso permette di verificare lo squilibrio dell'insieme giranti-alberino e quindi provvedere ad una adeguata equilibratura del core-assy, fornendo l'angolo di correzione e il modulo di squilibrio per poter intervenire con semplicità e precisione sulle parti da equilibrare.



Figura 1: Tipico banco prova vibrazionale.

Un banco prova del tutto simile a quello appena descritto è stato modificato al fine di poter rilevare anche le caratteristiche funzionali del solo compressore in condizioni del tutto simili a quelle di un turbocompressore montato su motore. I componenti dell'apparato di prova modificato, nonché gli strumenti di misura utilizzati a tale scopo sono rappresentati schematicamente nella Figura 2. La Figura 3 illustra invece lo spaccato di un gruppo di sovralimentazione, con evidenziate le parti essenziali.

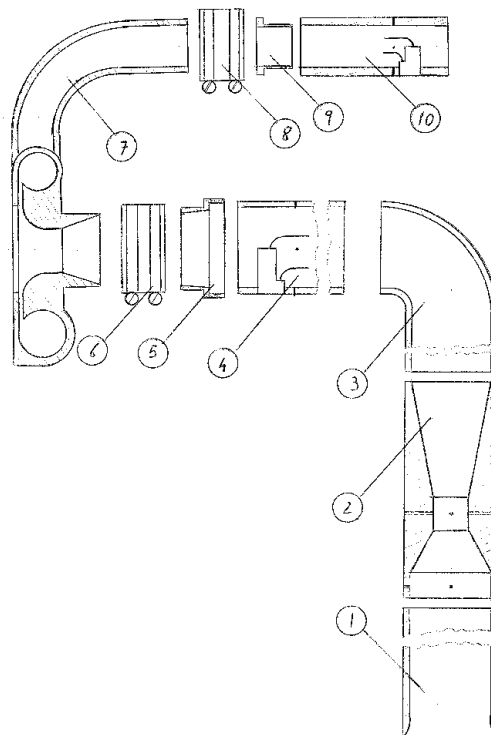


Figura 2: Complessivo dispositivi costituenti il banco prova

Complessivamente gli elementi addizionali del banco prova sono i seguenti:

- 1 : tubazione d'ingresso
- 2 : venturimetro
- 3 : gomito

- 4 : gruppo sonde di acquisizione delle grandezze all'aspirazione
- 5 : boccola interfaccia banco-compressore
- 6 : manicotto in gomma
- 7 : compressore (raccordo iniziale, girante, diffusore, voluta)
- 8 : manicotto in gomma
- 9 : boccola interfaccia compressore-banco
- 10 : gruppo sonde di acquisizione delle grandezze alla mandata

Sul banco prova originario il turbocompressore che si desidera equilibrare viene installato completo di tutte le sue parti. Tramite un'apposita flangia, esso viene collegato alla turbina, la quale viene equipaggiata di una cassa a spirale già presente tra gli accessori del banco (6A), e priva del dispositivo di "Wastegate" che, come noto, permette la limitazione della potenza del gruppo sovralimentatore.

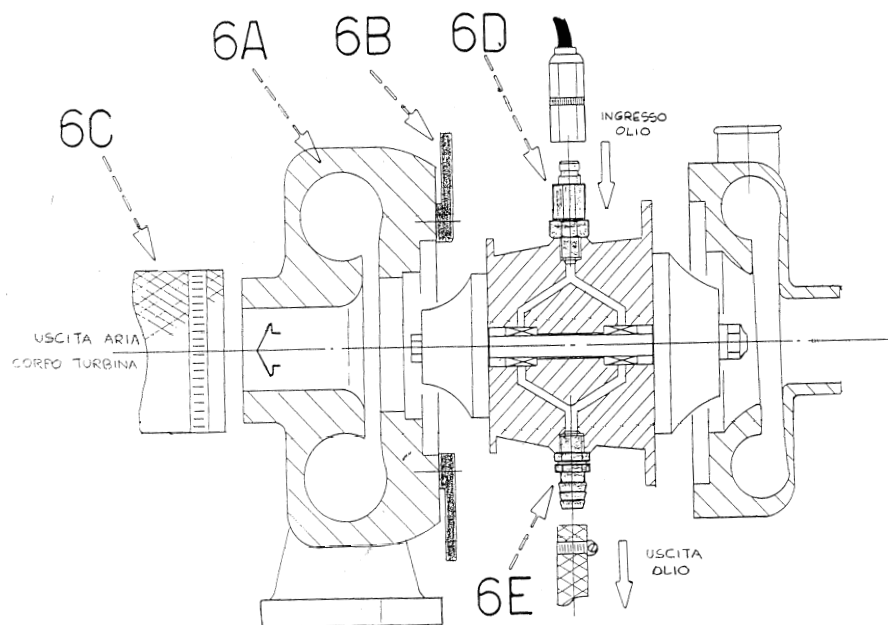


Figura 3: Sezione del turbocompressore

L'azionamento del turbocompressore, nonché la regolazione del regime di rotazione, avvengono tramite una manopola con la quale si impone il valore della pressione di alimentazione della turbina.

Nel banco prova modificato è possibile effettuare la misura delle seguenti grandezze:

- portata di massa d'aria nel compressore;
- pressioni totale e statica dell'aria a monte e a valle del compressore;
- temperature totale e statica dell'aria a monte e a valle del compressore.

Tramite le predette grandezze è facile calcolare il rapporto di compressione sviluppato dal compressore ed il relativo rendimento isoentropico.

La misura della portata volumetrica d'aria elaborata dal compressore avviene tramite la lettura della pressione differenziale generata da un venturimetro calibrato in alluminio, progettato e

costruito *ad hoc* in accordo con la normativa UNI-ISO 5167, posizionato a monte del compressore stesso. Note la temperatura e la pressione dell'aria in prossimità del venturimetro (anch'esse rilevate mediante termocoppie e prese statiche di pressione, rispettivamente), è quindi possibile conoscere la densità dell'aria aspirata e, in ultima analisi, la portata di massa fluente. La pressione differenziale viene visualizzata tramite un manometro ad U: tale dispositivo è costituito da due tratti, mantenuti rettilinei tramite un apposito telaio, di tubo in Teflon trasparente; le estremità inferiori dei due tubi sono collegate insieme tramite un pezzo di tubo analogo piegato ad arco di cerchio; le estremità superiori sono collegate una alla camera anulare a monte e una alla camera anulare a valle del tubo di venturi. Il liquido manometrico utilizzato è acqua distillata: viene inserita nelle tubazioni tramite una siringa fino a far coincidere il suo livello con lo zero della scala millimetrata. La pressione differenziale massima visualizzabile è di 1500mm di H₂O, corrispondenti a circa 15 kPa; l'utilizzo di tubazioni con diametro interno di 6mm evita la formazione del menisco e quindi errori nella misura.

La pressione totale media nelle sezioni di ingresso e di uscita dal compressore viene misurata utilizzando due tubi di Pitot in ciascuna sezione, collegati assieme in modo da ottenere una compensazione del segnale, che viene trasdotto e letto mediante manometri Bourdon. Nelle medesime sezioni, sono impiegate due termocoppie schermate per la rilevazione della temperatura totale. Al fine di ridurre al minimo l'effetto di inserzione dell'apparato strumentale nei condotti, le suddette sonde di pressione e temperatura sono state inserite all'interno di un supporto conformato a mo' di profilo alare del tipo NACA 0022 (parte inferiore) e NACA 0027 (parte superiore) (Figura 4).

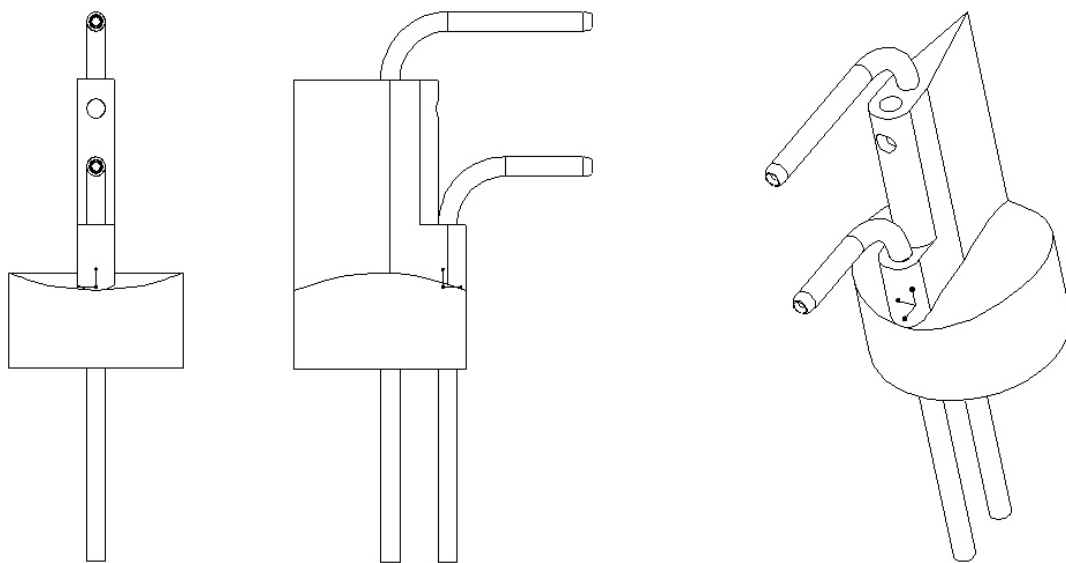


Figura 4: Supporto delle sonde Pitot e della termocoppia.

Il basamento del supporto contenente le sonde ha una sezione circolare di diametro pari a 18 mm e un'altezza di 10mm e viene fissato alla condotta con del collante epossidico. Il profilo alare NACA 0022 ha una corda di lunghezza pari al diametro del basamento (18mm) e uno spessore massimo di 4mm; l'altezza di questo profilo è pari a 5mm. All'interno sono presenti i tre fori per il passaggio delle sonde: hanno un diametro di 2mm ed interasse di 3mm. La parte superiore è costituita da un profilo NACA 0027, avente corda pari a 15mm e uno spessore massimo di 4mm; la coda del profilo è la stessa per entrambi i profili in modo da garantire la massima omogeneità della scia a valle. Al suo interno sono presenti i fori per una presa di pressione e per la giunzione di una termocoppia rame/costantana. A tale proposito giova ricordare che la tubazione di alimentazione del compressore possiede un diametro pari a 44mm.

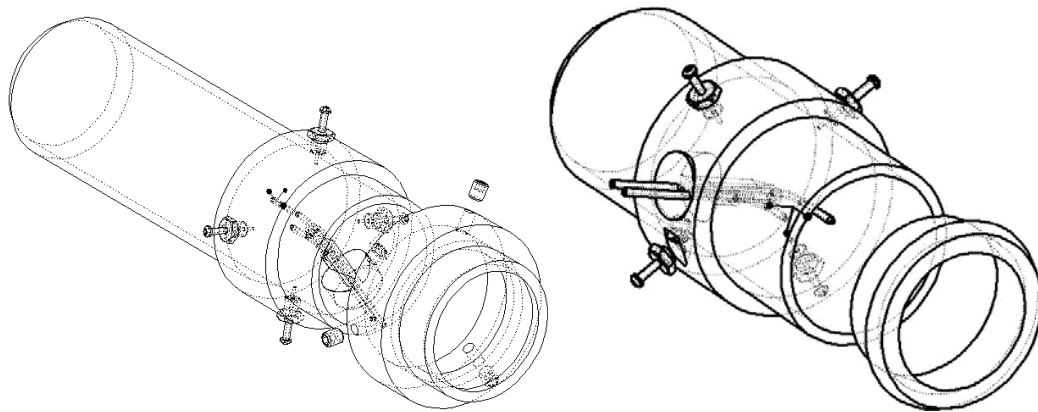


Figura 5: Assieme componenti del banco prova nel tratto a monte (a sinistra) e a valle (destra) del compressore.

I tubi di Pitot sono stati realizzati *ad hoc*. Sono caratterizzati da un diametro esterno di 2mm e foro interno di 1mm, così da rientrare nel vincolo imposto dalla pertinente normativa. Il tratto parallelo al flusso ha lunghezza pari a 20mm per il Pitot superiore e 14mm per quello inferiore. L'estremità della sonda è sagomata a forma di ellissoide, poiché tale geometria minimizza la sensibilità angolare dovuta all'installazione rispetto alle estremità tronco-coniche o semisferiche. Il materiale utilizzato per la loro costruzione è rame.

La pressione e la temperatura statica sono state rilevate praticando delle prese statiche nella tubazione nelle sezioni di interesse e rilevando il segnale tramite un manometro ad acqua ed una termocoppia, rispettivamente.

La velocità di rotazione del gruppo turbocompressore viene misurata tramite un sensore di velocità magnetico, posto coassialmente all'albero del compressore e di fronte al dado di bloccaggio della girante; tale sensore è sensibile alla frequenza delle rotazioni del suddetto dado, opportunamente polarizzato prima della prova tramite una calamita.

Il gruppo sonde presente a monte del compressore viene installato nelle immediate vicinanze del compressore stesso (onde isolare l'effetto legato alle perdite di carico nel tratto di tubazione a monte) e comunque è preceduto da una curva a gomito ampiamente raccordata. Alla mandata del compressore, il gruppo sonde è installato molto a valle per permettere al flusso di assumere un assetto più possibile monodimensionale.

L'assieme dei componenti del banco prova, incluse le relative sonde, a monte e a valle del compressore è rappresentato in Figura 5. La Figura 6 mostra invece una vista del banco-prova modificato.

Prove sperimentali e risultati

I test sperimentali sono stati condotti su tre tipologie di compressori: Garrett GT 15, Garrett GT1549 e Garrett GT 2052V. I primi due tipi sono normalmente installati quali primo equipaggiamento nelle autovetture Renault con propulsore turbodiesel a quattro cilindri. Il terzo tipo viene di regola installato in autovetture del gruppo Audi – Volkswagen con propulsore turbodiesel, sei cilindri a V. La turbina di azionamento è del tipo Garrett GT 15/9, priva di organi predistributori. Le caratteristiche di massima dei componenti in questione sono fornite nella Tabella 1.

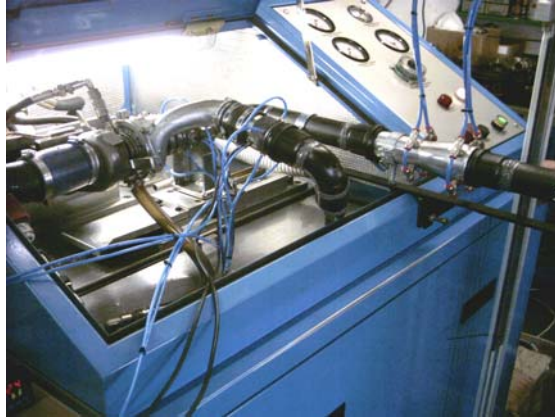


Figura 6: Banco prova modificato. E' visibile sulla sinistra il condotto di ammissione al compressore (nero), con il venturimetro.

Tabella 1: Caratteristiche di massima dei componenti sperimentati.

	GT 15	GT1549	GT 2052V	GT 15/9
Diametro interno girante (mm)	33	34.7	38.6	48
Diametro esterno girante (mm)	44	49	52	35.9
Numero pale	6 + 6	6 + 6	6 + 6	9

I test sono stati condotti variando, per ciascun compressore, la pressione di alimentazione della turbina (che è sempre la stessa) a partire da 0 bar di pressione relativa sino al massimo consentito dall'apparato di prova, ossia 3 bar, con un intervallo di 0.2 bar. Contestualmente sono state registrate le letture fornite dagli strumenti in condizioni di segnale stabile.

Il risultato delle sperimentazioni sono le linee operative dei compressori, espresse in termini di rapporto di compressione, rendimento isoentropico e velocità di rotazione al variare della portata di massa (Figura 7).

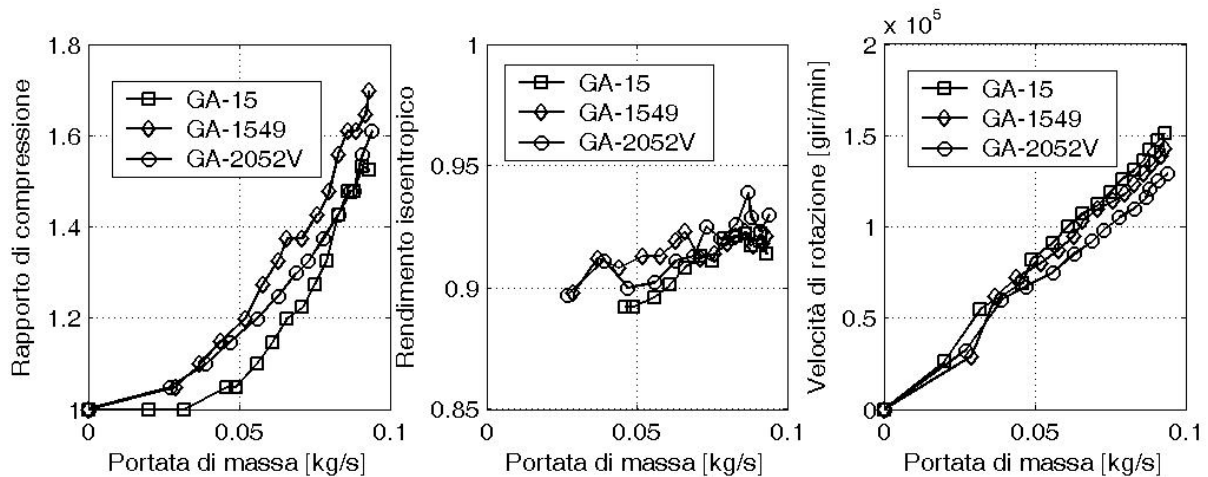


Figura 6: Risultati della prova sperimentale.

Conclusioni

Con un modesto impegno economico è possibile modificare, o per meglio dire ampliare, le funzionalità di un banco prova vibrazionale, in modo da consentire la rilevazione sperimentale delle caratteristiche funzionali in esercizio dei componenti del core-assy di un gruppo di sovralimentazione. In questo articolo è stata mostrata la procedura di modifica del banco prova con particolare riguardo alla strumentazione da applicare al compressore. Nulla vieta peraltro di duplicare l'allestimento e strumentare anche la turbina. Il tutto si rivela particolarmente utile nel caso in cui si voglia avere un unico dispositivo per la messa a punto ottimale del motore sovralimentato.

Bibliografia

E. Benini, "Appunti di Macchine. Dispensa del corso di Macchine per allievi Ingegneri Aerospaziali", Università di Padova (2004).

A. Cavallini, L. Mattarolo, "Termodinamica applicata", Cleup, Padova (1992).

F. Angrilli, "Corso di misure meccaniche, termiche e collaudi", Cedam, Padova (2000).

F. Angrilli, "Corso di misure meccaniche, termiche e collaudi (Gli strumenti di misura). Cedam, Padova" (1998).

A. Brunelli, "Misure di portata", Bias, (1996).

REDAT Turbocompressori, "Manuale per uso e manutenzione bilanciatrice dinamica".