

Capitolo 7

Studio del posizionamento del microfono

7.1 Introduzione

Il primo aspetto analizzato del segnale microfonico ha riguardato la sua dipendenza dalla posizione e dalla distanza rispetto alla sorgente sonora.

Si è suddiviso l'ambiente in 4 zone distinte:

- Test;
- Lato Slave sinistro;
- Lato Slave destro;
- Motore A/C.

Nella zona test le acquisizioni sono state ripetute ed in numero maggiore dato l'elevato interesse nel confrontare i risultati ottenuti con il microfono con i risultati degli accelerometri della zona test, mentre nelle altre zone si è proceduto ad una serie di acquisizioni che ci permettessero da una parte di associare con una certa sicurezza determinate componenti frequenziali a determinati elementi della struttura e dall'altra di confrontare i risultati ottenuti con quelli degli accelerometri triassiale e mobile. La figura 7-1 riporta in modo schematico la posizione e la distanza del microfono.

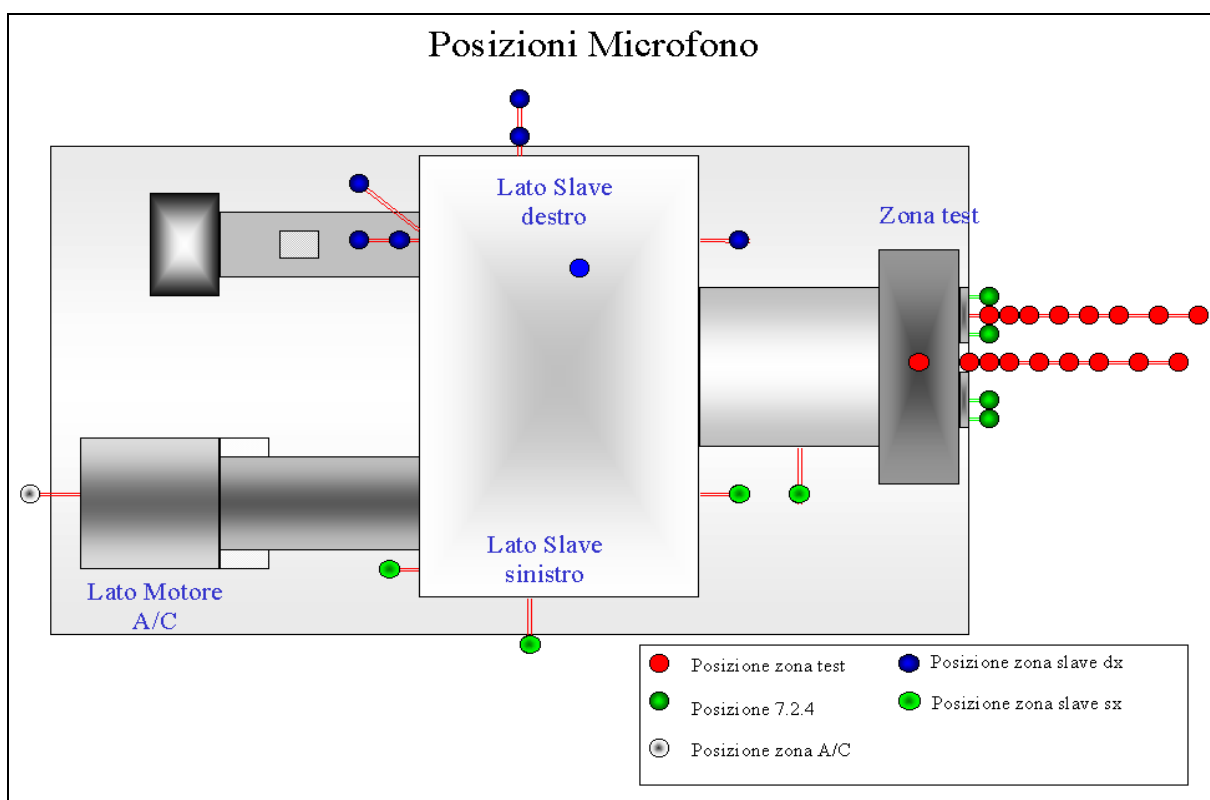


Figura 7- 1 Schema di posizionamento microfono

7.2 Zona test

7.2.1 Microfono puntato al centro delle due ruote test

In tale acquisizione il microfono è stato avvicinato progressivamente, passando dai 400 mm ai 10 mm con la seguente procedura di avvicinamento: 400-300-200-150-100-50-30-10 mm.

Il microfono è stato puntato nella direzione del centro delle due ruote test, come illustrato dalle figure 7-2,3 e 4 relative, rispettivamente, ad una distanza di 400, 100 e 50 mm.

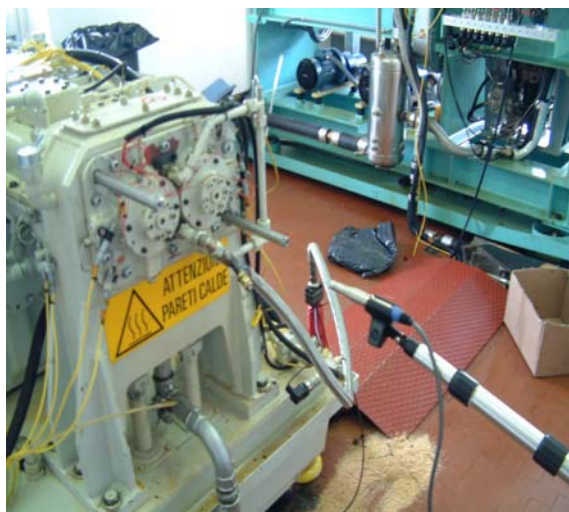


Figura 7- 2: 400 mm dalla zona test

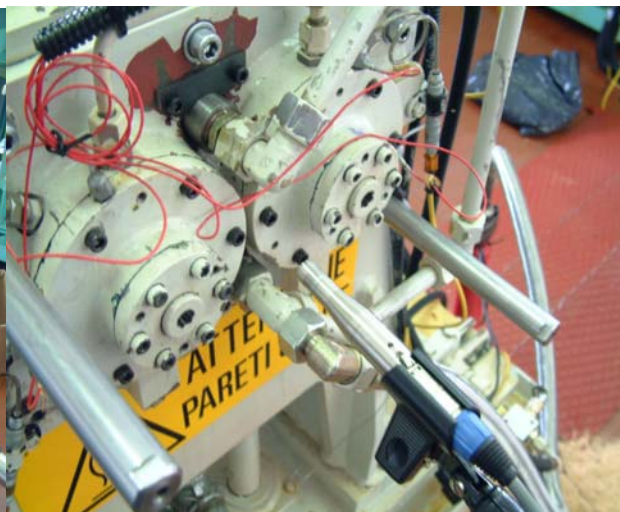


Figura 7- 3: 100 mm dalla zona test



Figura 7- 4: 50 mm dalla zona test

Si confronta il segnale acquisito dal microfono con quello dell'accelerometro 2, segnale decisamente più pulito tra quelli della zona test e si riportano gli spettri FFT e PSD con i seguenti campi di interesse:

- 0-90 e.o. per accelerometro 2;
- 0-90 0-10 37-41 77-83 e.o. per microfono.

Esaminiamo i cambiamenti nelle varie zone:

- e.o. 0-90: Rispetto all'accelerometro 2, il microfono rivela una elevata attività a bassa frequenza, fino ad ordine 30 (4500 Hz), mentre il segnale risulta molto più pulito nelle zone di interesse, ovvero nell'intorno della frequenza di ingranamento test, 80 e.o. (12 kHz).
- e.o. 77-83: L'intensità del segnale alla frequenza di ingranamento, $f_{g\text{test}}$, raddoppia, da 20 a 40 mPa, passando da 400 a 300 mm, poi si mantiene pressoché costante, oscillando poco rispetto ai 40 mPa, fino ai 50 mm dove si attenua nuovamente sui 20 mPa. Gli effetti di modulazione appena visibili in FFT, sono assenti in PSD, mentre la $78, 2x f_{g\text{slave}}$, si mantiene costante intorno ai 10 mPa e solo a 50 e a 30 mm cresce fino a 30 mPa.
- e.o. 37-41: L'intensità del segnale alla frequenza di ingranamento, $f_{g\text{slave}}$, ha un andamento altalenante, ovvero passa da 50 mPa (150 e 10 mm) a 0 in pochi centimetri di variazione (dai 150 ai 100 mm). Sono presenti un maggior numero di effetti di modulazione che presentano lo stesso andamento altalenante, con la componente a 38.35 e.o. che rimane comunque la più elevata.
- e.o. 0-10: Nella zona di bassa frequenza si nota principalmente che avvicinandosi al banco l'ordine 4 si attenua, mentre crescono gli ordini 8.2 e 9.5.

Il miglior risultato per la diagnosi degli ingranaggi, in questa posizione, viene ottenuto a 100 mm dalla superficie anteriore della sezione test del banco e non ad una distanza inferiore, come ci si poteva attendere, in quanto, avvicinandosi ulteriormente, il microfono si viene a trovare in una zona in cui le pareti stesse (freccia rossa in fig.7-3), che suddividono gli alloggiamenti dei due alberi su cui sono montate le ruote, causano effetti di riflessione e riverberazione.

Le figure 7-5 e 7-6 riportano gli spettri PSD del segnale relativi ad una distanza di 400 e 100 mm, in appendice B sono riportati gli spettri relativi alle varie distanze analizzate.

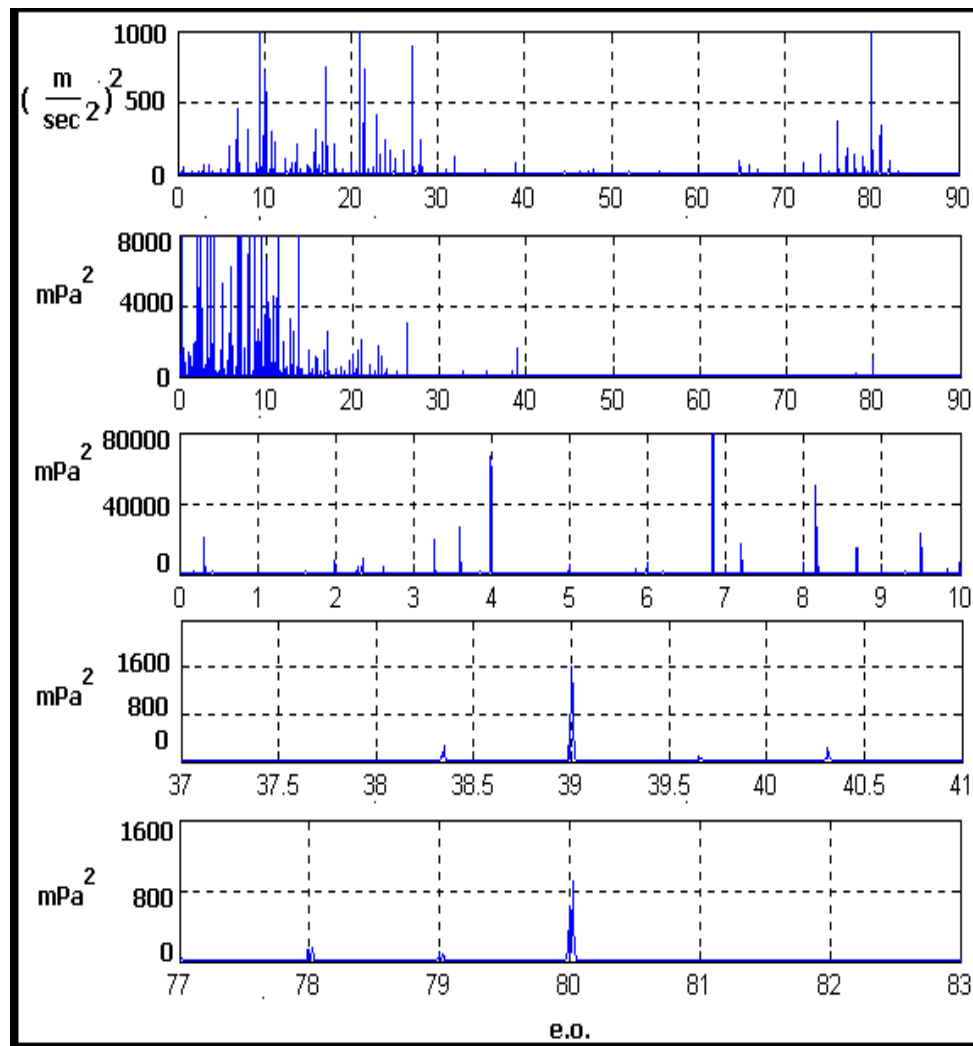


Figura 7- 5 400 mm da zona test- PSD

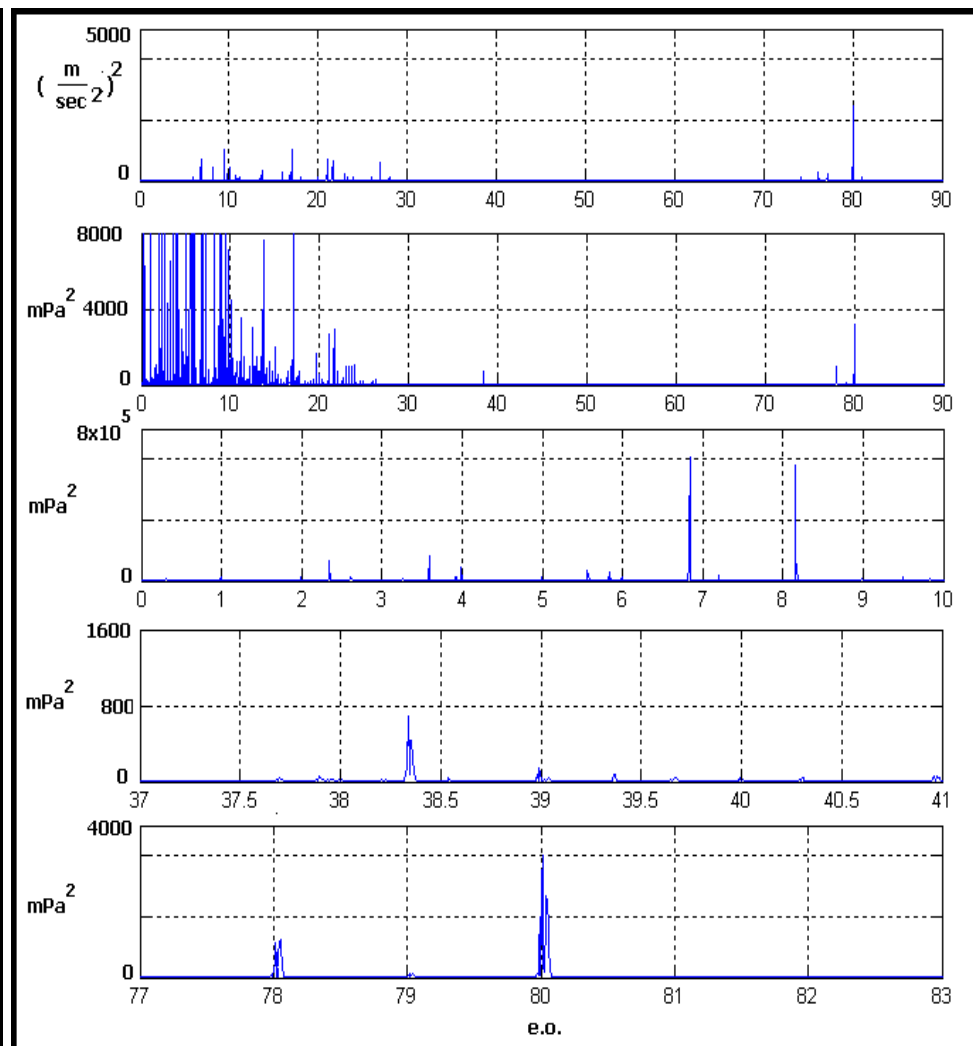


Figura 7- 6 100 mm da zona test- PSD

7.2.2 Microfono puntato al centro della ruota test destra

In tale acquisizione il microfono è stato avvicinato progressivamente passando dai 400 mm ai 10 mm con la seguente procedura di avvicinamento: 400-300-200-150-100-50-30-10 mm.

Il microfono è stato puntato nella direzione del centro della ruota test, come illustrato dalle fig 7-7, 8 e 9 che si riferiscono, rispettivamente, ad una distanza di 300, 50 e 30mm.

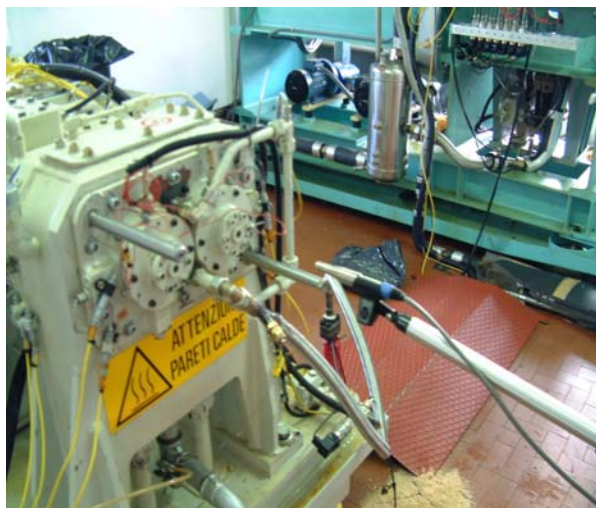


Figura 7- 7: 300 mm dalla ruota test destra

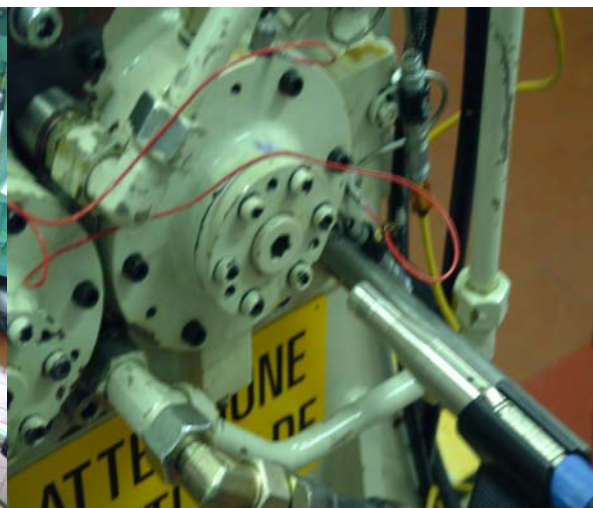


Figura 7- 8: 50 mm dalla zona test

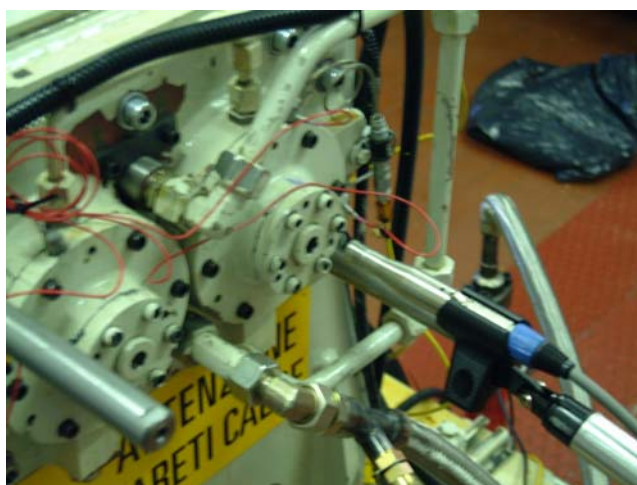


Figura 7- 9: 30 mm dalla zona test

Si confronta il segnale acquisito dal microfono con quello dell'accelerometro 2, segnale decisamente più pulito tra quelli della zona test e si riportano gli spettri FFT e PSD con i seguenti campi di interesse:

- 0-90 e.o. per accelerometro 2;
- 0-90 0-10 37-41 77-83 e.o. per microfono.

Esaminiamo i cambiamenti nelle varie zone:

- e.o. 0-90: Rispetto all'accelerometro 2, il microfono ha una elevata attività a bassa frequenza, fino ad ordine 30 (4500 Hz) e non mostra attività legata all'ingranamento test fino a 100 mm; dopo fornisce risultati rilevanti, simili tra 30 e 10 mm, mostrando in modo chiaro entrambe le frequenze di ingranamento, slave e test. Gli spettri FFT e PSD risultano molto più puliti nell'intorno della $f_{g\text{test}}$ e della $f_{g\text{slave}}$.
- e.o. 77-83: L'intensità del segnale alla frequenza di ingranamento, $f_{g\text{test}}$, è nulla fino ai 150 mm, dove inizia ad apparire, poi scompare ai 100mm, ma, avvicinando il microfono cresce molto rapidamente passando dai 60 mPa a 50 mm, per arrivare ai 140 mPa tra i 30 e 10 mm. Gli effetti di modulazione sono assenti, e la $78, 2x f_{g\text{slave}}$, è visibile tra i 300 e i 200 mm con un valore intorno ai 20.
- e.o.37-41: L'intensità del segnale alla frequenza di ingranamento, $f_{g\text{slave}}$, si mantiene costante tra i 400 e i 150 mm attorno a 40 mPa, sparisce a 100mm per poi aumentare rapidamente a 50 mPa (50mm) per raggiungere gli 80mPa a 30 mm. Gli effetti di modulazione, presenti fino ai 200 mm tendono a sparire avvicinandosi alla superficie, con la componente a 38.35 e.o. che rimane comunque la più elevata.
- e.o. 0-10: Nella zona di bassa frequenza si nota che, diminuendo la distanza dalla superficie del banco, crescono le componenti frequenziali più elevate fino ai 50 mm; oltre si attenuano, ad eccezione dell'ordine 6.8, che si sdoppia (fig.7-36), indicando una sorta di "battimento", riconducibile ai cuscinetti reggispinta a doppia corona di sfere montati sugli alberi slave veloci.

Tale posizione è caratterizzata dal fatto che, superata la soglia dei 100 mm, limite che sembra suddividere due diversi campi sonori, il segnale evidenzia in modo netto le frequenze di interesse e che nella zona tra i 30 e i 10 mm non sussistono sostanziali differenze.

Le figure 7-10, 7-11 e 7-12 riportano gli spettri FFT del segnale relativi ad una distanza di 400, 50 e 30 mm, in appendice B sono riportati gli spettri relativi alle varie distanze analizzate.

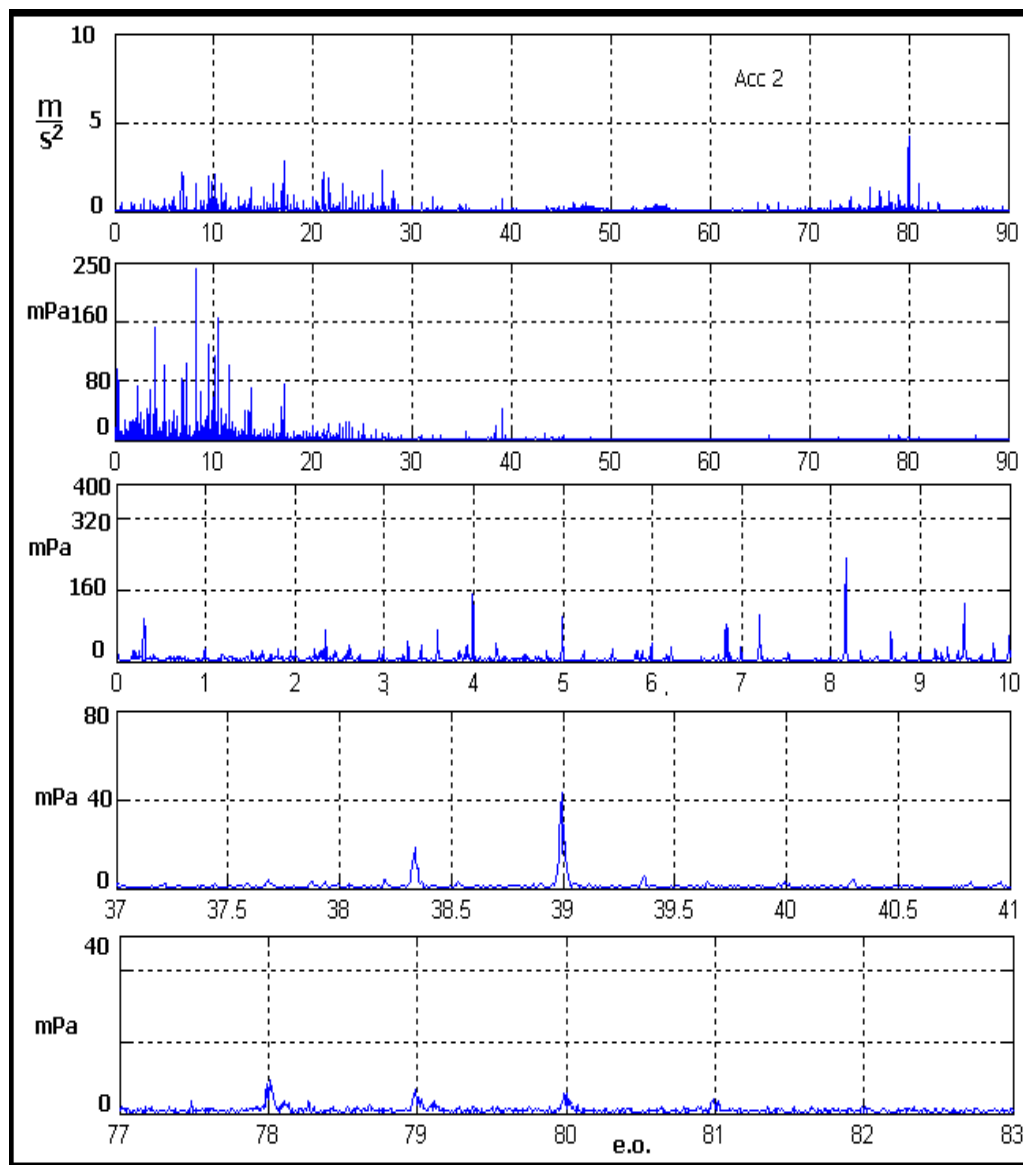


Figura 7- 10 400 mm dalla ruota destra test - FFT

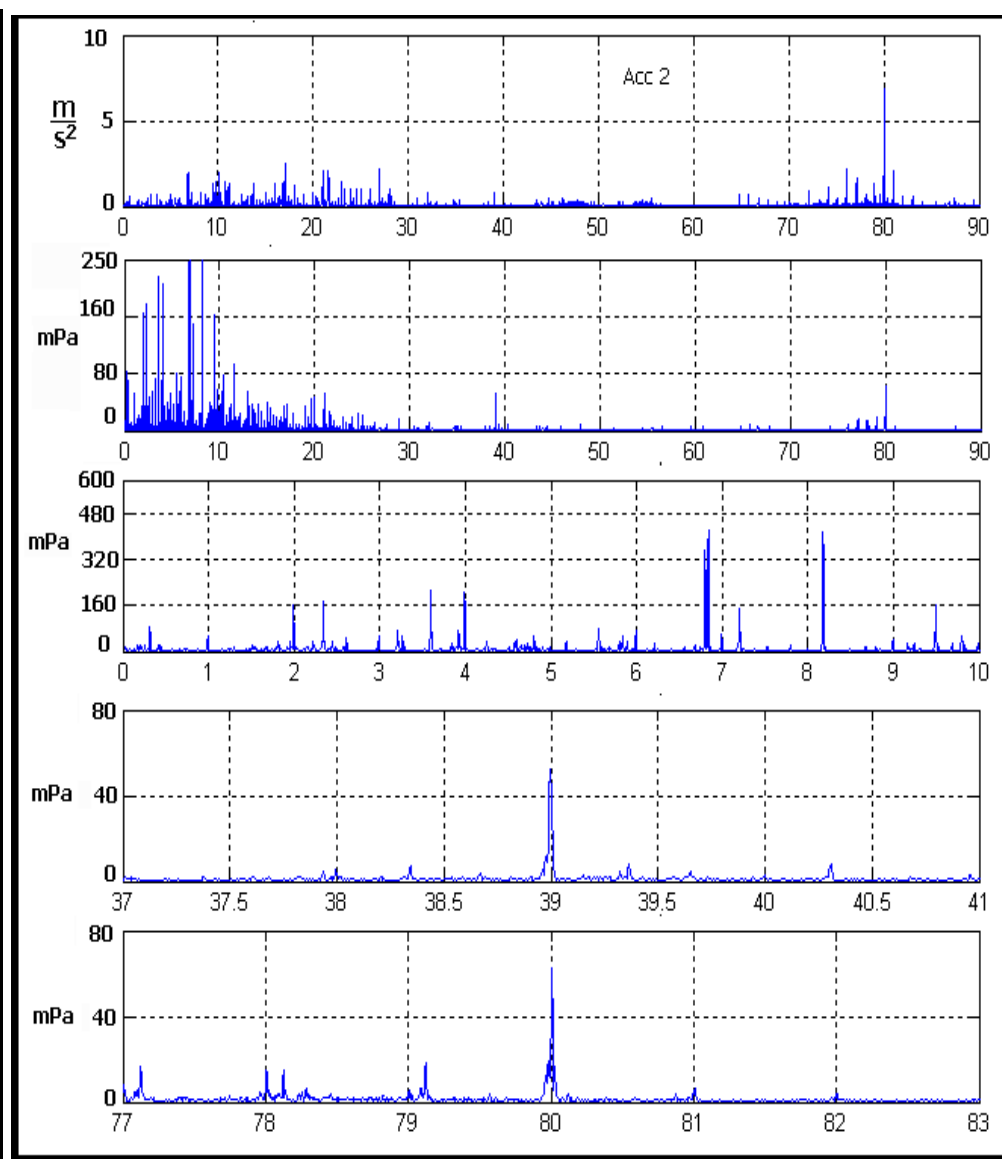


Figura 7- 11 50 mm dalla ruota destra test - FFT

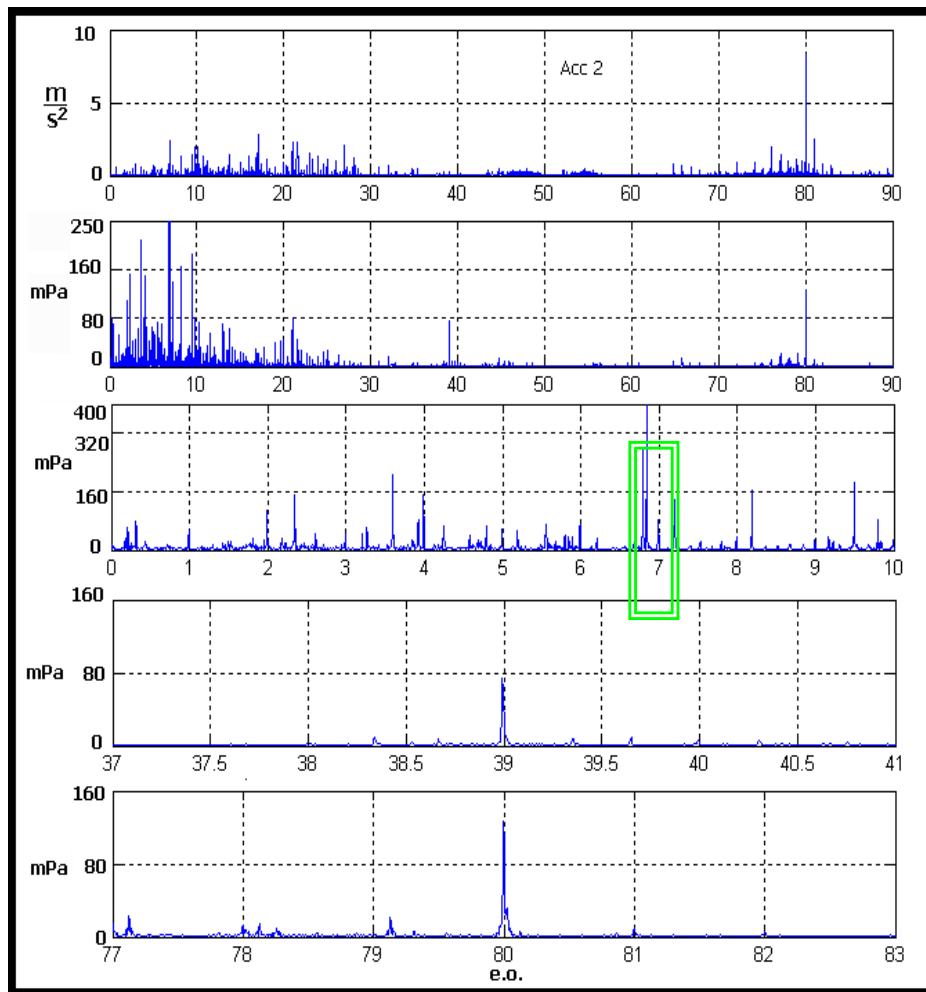


Figura 7- 12 30 mm dalla ruota destra test – FFT

7.2.3 Microfono puntato sulla parte alta della ruota test destra

In tale acquisizione il microfono è stato avvicinato progressivamente passando dai 100 mm ai 10 mm con la seguente procedura di avvicinamento: 100-50-30-10 mm. Il microfono è stato puntato sulla parte alta della ruota test destra, come illustrato dalle figure 7-13, 14 e 15 che si riferiscono, rispettivamente, ad una distanza di 100, 50 e 30 mm.

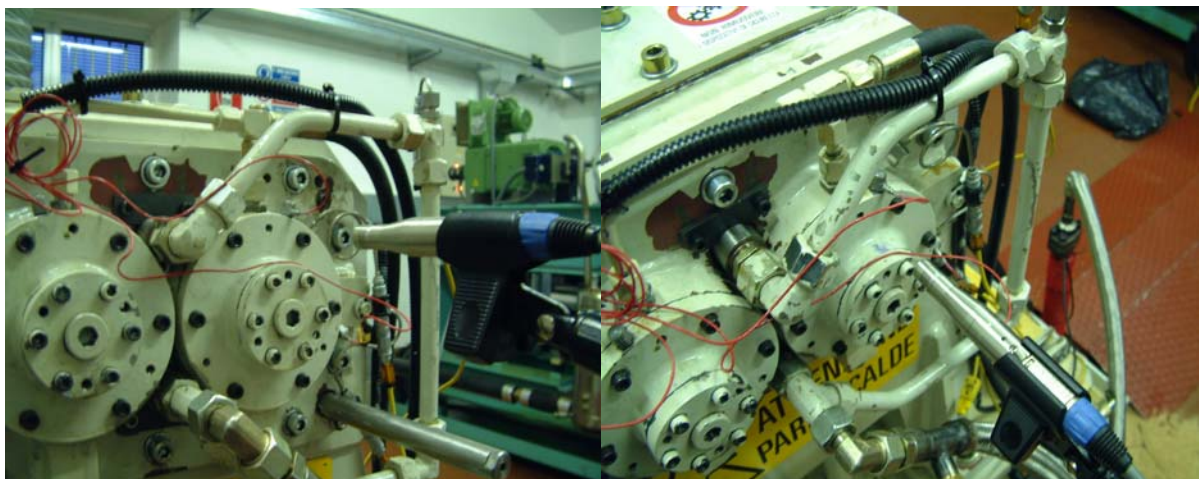


Figura 7- 13: 100 mm dalla parte alta ruota test dx Figura 7- 14: 50 mm dalla parte alta ruota test dx

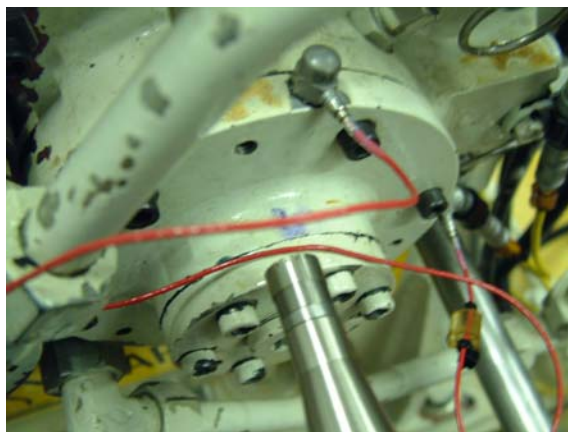


Figura 7- 15: 30 mm dalla parte alta ruota test destra

Si confronta il segnale del microfono con quello dell'accelerometro 2, segnale decisamente più pulito tra quelli della zona test e si riportano gli spettri FFT e PSD con i seguenti range di interesse:

- 0-90 e.o. per accelerometro 2;
- 0-90 0-10 37-41 77-83 e.o. per microfono.

Esaminiamo i cambiamenti nelle varie zone:

- e.o. 0-90: Rispetto all'accelerometro 2, il microfono ha una elevata attività a bassa frequenza, fino ad ordine 30 (4500 Hz) e mostra le f_{gtest} e f_{gslave} in modo distinto dai 100 mm, per raggiungere la miglior visibilità tra 50 e 30 mm.
- e.o. 77-83: L'intensità del segnale alla frequenza di ingranamento, f_{gtest} , ai 100mm vale 40 mPa ed avvicinando il microfono cresce molto rapidamente arrivando ai 100 mPa per attenuarsi fino a 20 mPa a 10 mm. Gli effetti di modulazione sono assenti.
- e.o. 37-41: L'intensità del segnale alla frequenza di ingranamento, f_{gslave} , si mantiene costante attorno a 40 mPa. Gli effetti di modulazione sono visibili in FFT seppur molto bassi.
- e.o. 0-10: Si nota, oltre all'elevato valore dell'ordine 6.8, la costanza delle altre componenti ad eccezione dell'ordine 9.5 che aumenta avvicinandosi alla superficie. Permane l'effetto di battimento in corrispondenza di 6.8.

Tale posizione è caratterizzata dal fatto che il miglior segnale si ricava tra i 50 e i 30 mm, mentre avvicinandosi ulteriormente si assiste ad una notevole attenuazione della f_{gtest} .

Tale fatto è da associarsi alla forma tonda della sede di alloggiamento che, in tale posizione, passando da 30 a 10 mm dalla superficie, influenza le alte frequenze.

Le fig. 7-16, 17 riportano gli spettri FFT del segnale relativi ad una distanza di 100 e 30 mm. In appendice B sono riportati gli spettri relativi alle varie distanze analizzate.

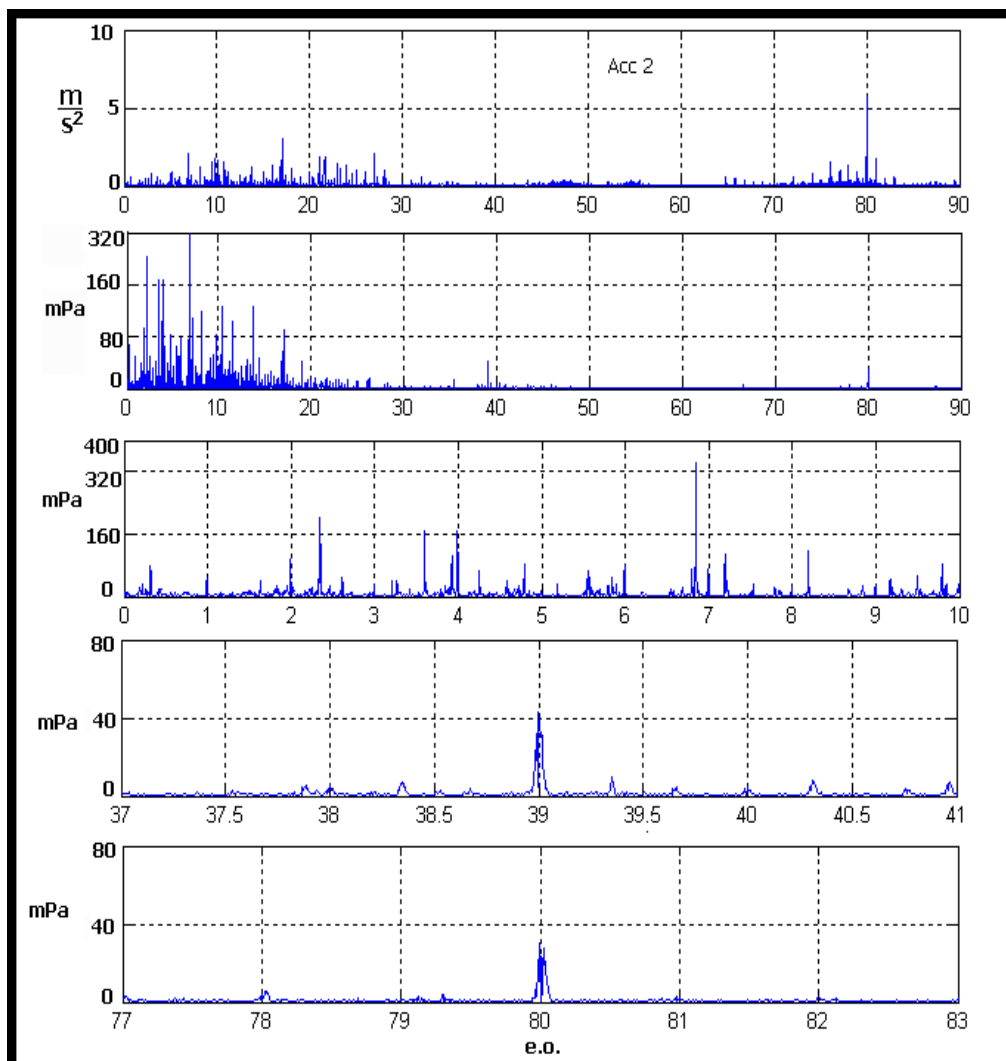


Figura 7- 16 100 mm dalla parte alta della ruota test destra - FFT

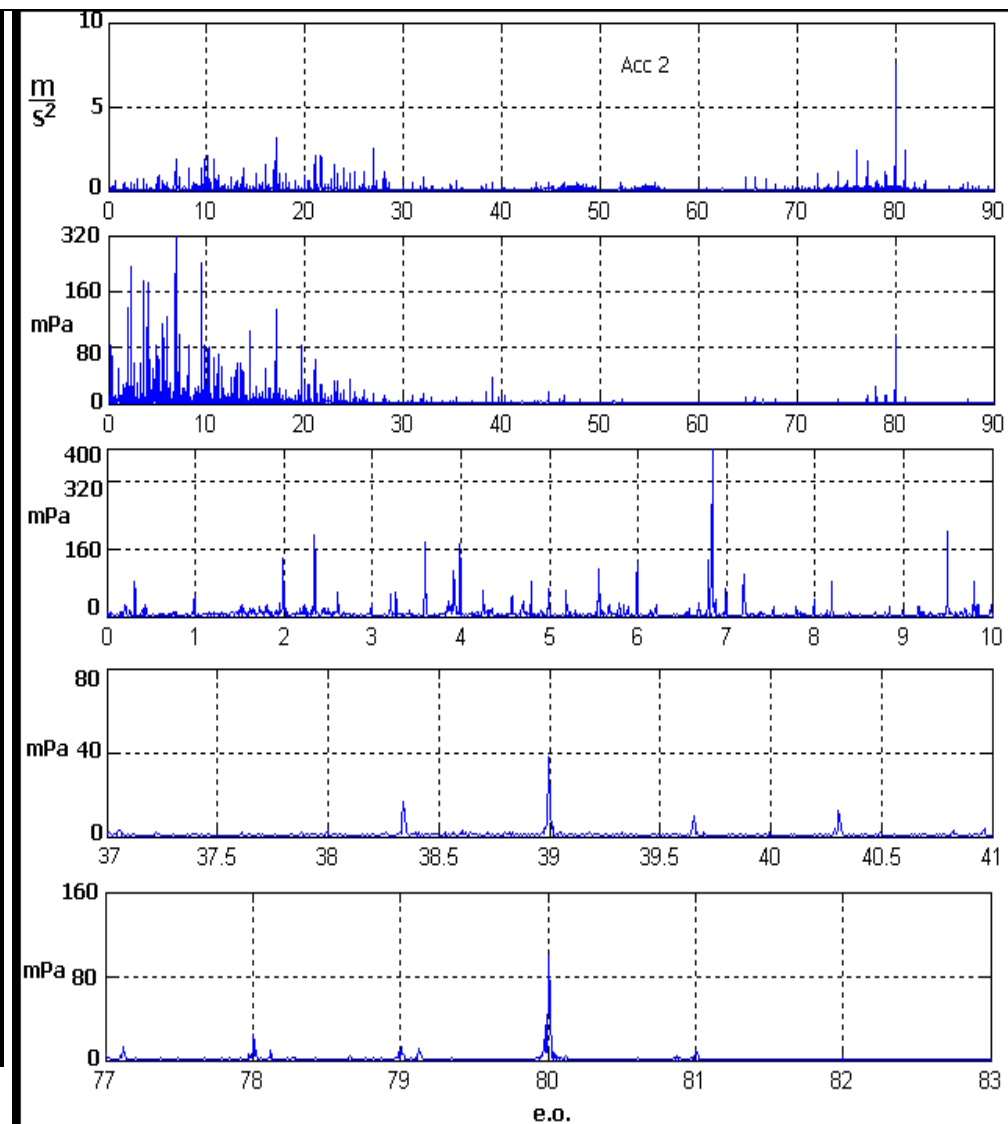


Figura 7- 17 30 mm dalla parte alta della ruota test destra - FFT

7.2.4 Segnale rilevato in corrispondenza degli accelerometri test

Per valutare quale posizione sia la migliore nella zona test, ci siamo posti davanti ai 4 accelerometri test, vedi fig.7-18, 19, 20 e 21, ad una distanza di 30 mm, che, come indicato nei precedenti paragrafi, permette la miglior visibilità della $f_{g_{test}}$ sia nello spettro FFT e che in PSD.



Figura 7- 18: Davanti ad accelerometro 4

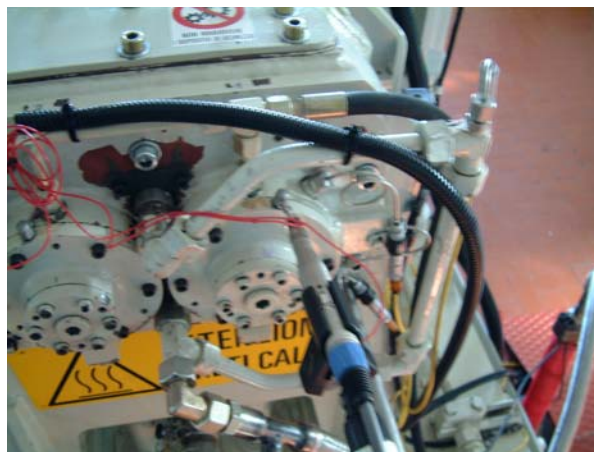


Figura 7- 19: Davanti ad accelerometro 3

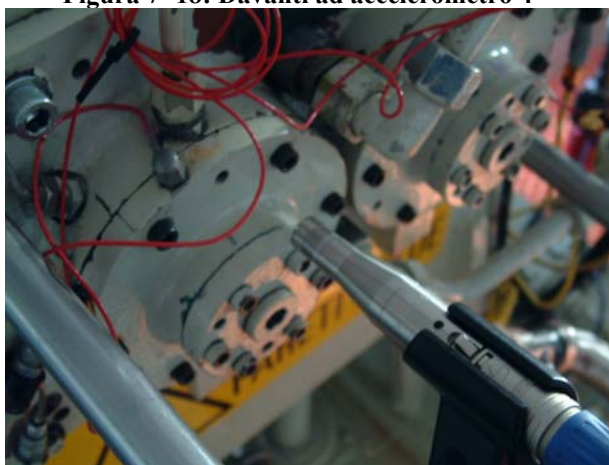


Figura 7- 20: Davanti ad accelerometro 2



Figura 7- 21: Davanti ad accelerometro 1

Esaminiamo i risultati delle 4 posizioni nelle varie zone:

- e.o.77-83: le posizioni migliori risultano essere :
 1. Davanti all'accelerometro 4;
 2. Davanti all'accelerometro2 ;
 in entrambe la $f_{g_{test}}$ presenta un intensità pari a 80 mPa e gli effetti di modulazione presenti corrispondono alla $f_{g_{test}} \pm f_{r_{test}}$: 79 e 81 e.o.
- e.o. 37-41: la $f_{g_{slave}}$ ha massima intensità, 40 mPa, in posizione 1, leggermente più bassa davanti al 2 e tende a scomparire nelle altre posizioni.
- e.o. 0-10: tutte le posizioni individuano il doppio picco a 6.8 e.o., ma nella posizione 1 presenta un valore superiore a 400 mPa.

La posizione, che nel complesso, risulta la più indicata nella analisi delle ruote test è quella davanti all'accelerometro 4, ma può essere utilizzata anche la posizione davanti all'accelerometro 2, in quanto la differenza risulta minima.

Per evidenziare la differenza tra la posizione davanti all'accelerometro 4 e quella davanti all'accelerometro 3 si riportano gli spettri PSD relativi.

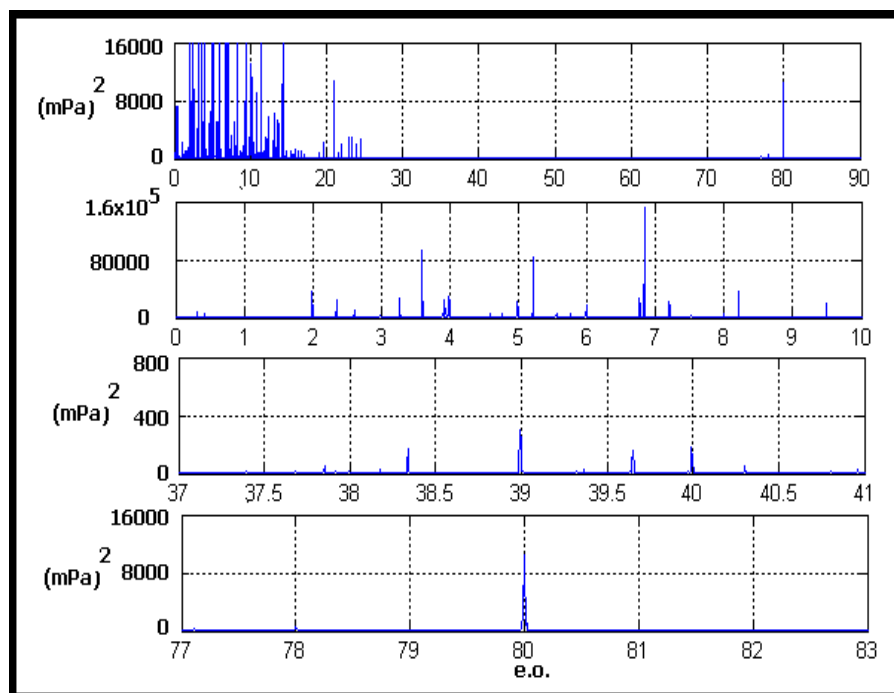


Figura 7- 22 PSD davanti ad accelerometro 4

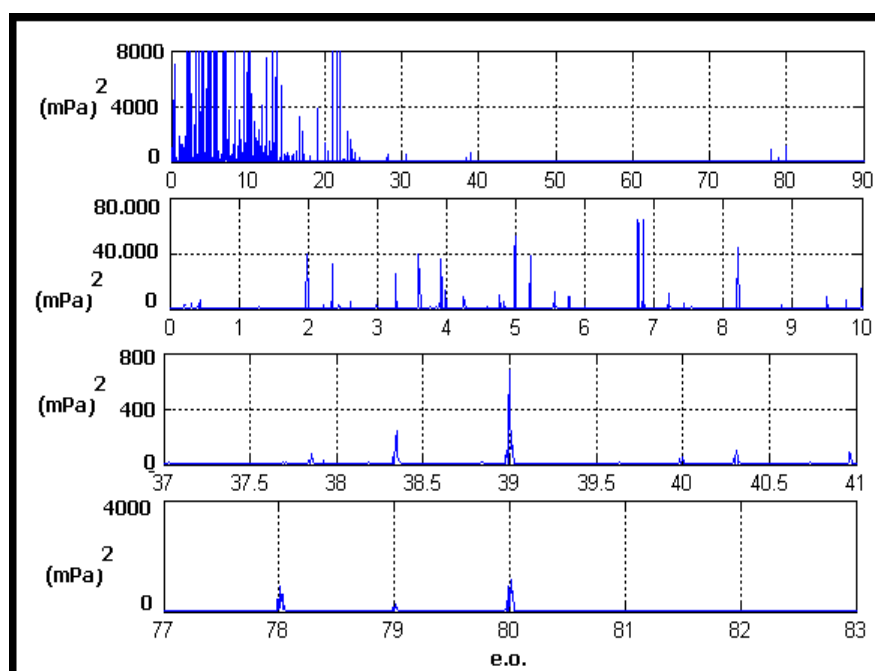


Figura 7- 23 PSD davanti ad accelerometro 3

Gli spettri FFT e PSD relativi ad ogni posizione sono riportati in appendice B.

7.2.5 Rilevazione con capsula disposta a 90°

Il microfono è privo dei dati relativi alla caratteristica di direttività (fig1-17 pp.16), pertanto si è proceduto con acquisizioni in cui il microfono veniva disposto perpendicolarmente al fronte d'onda, fig.7-24, 25 e 26.

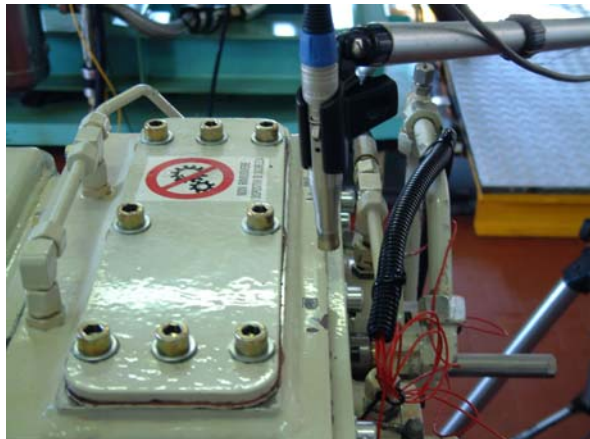


Figura 7- 24 Microfono \perp al fronte d'onda a 20 mm dal coperchio spostato internamente di 30 mm



Figura 7- 25 Microfono \perp al fronte d'onda a 10 mm dal coperchio spostato internamente di 20 mm

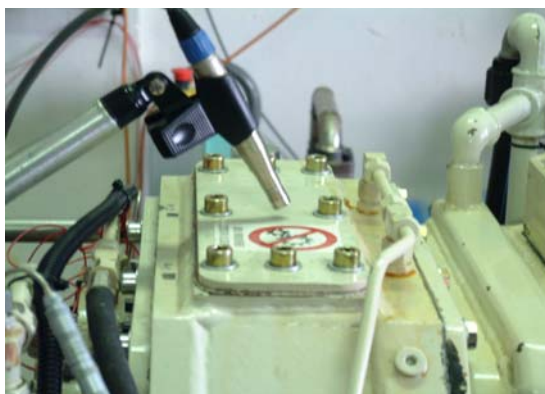




Figura 7- 26 Microfono \perp al coperchio zona test

Esaminando i risultati delle 3 posizioni si osserva chiaramente che i risultati ottenuti sono inferiori rispetto a quelli ottenuti puntando il microfono nella direzione degli assi di rotazione degli alberi.

In effetti dall'analisi dello spettro 0-90 e.o. si osserva una minor attività sia a bassa che ad alta frequenza.

Solo la posizione sopra il coperchio, fig.7-26, presenta una f_{gslave}  e una $2xf_{gtest}$  di dimensioni comparabili a quelle ottenute nei paragrafi precedenti, come evidenziato in fig. 7-27.

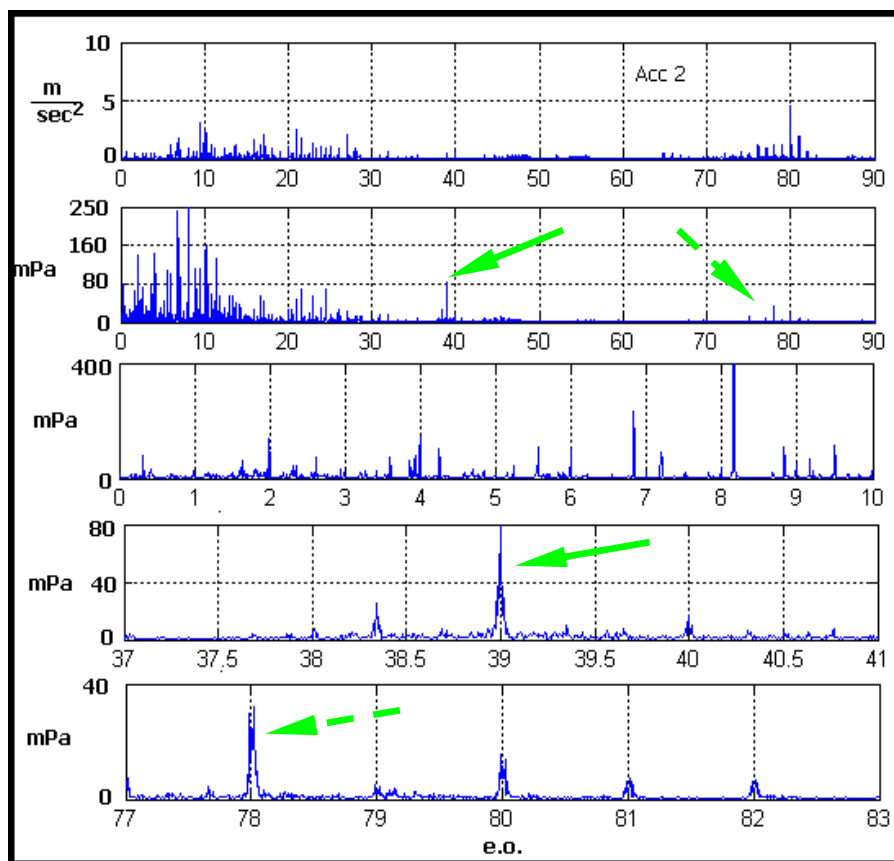


Figura 7- 27 FFT Microfono ⊥ al coperchio zona test

7.3 Zona slave destra

Per analizzare il comportamento del microfono su tale lato del banco, si è posizionato il microfono in diverse zone:

1. in prossimità dell'albero slave veloce,
 - lato motore A/C con microfono disposto:
 - I. assialmente all'albero, ad una distanza di 50 mm (fig.7-28);
 - II. assialmente all'albero, ad una distanza di 10 mm (fig.7-29);
 - III. inclinato rispetto all'albero (fig.7-30).
 - lato ruote test con microfono disposto:
 - I. assialmente al coperchio ad una distanza di 20 mm (fig.7-31).
2. sopra il coperchio delle ruote slave (fig.7-32);
3. lato pannelli con microfono disposto:
 - ⊥ al pannello ad una distanza di 45 mm (fig.7-33);
 - ⊥ al pannello ad una distanza di 20 mm (fig.7-34).

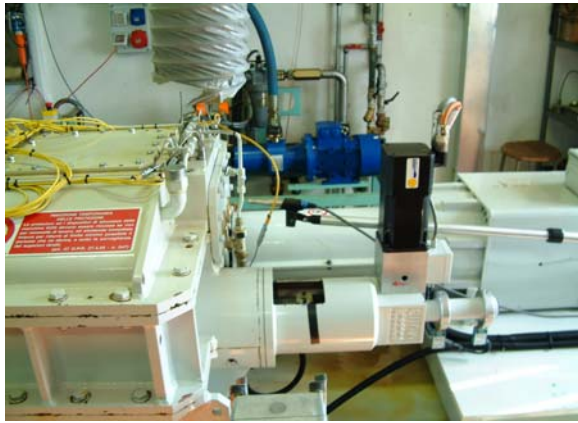


Figura 7- 28 50 mm da albero slave veloce

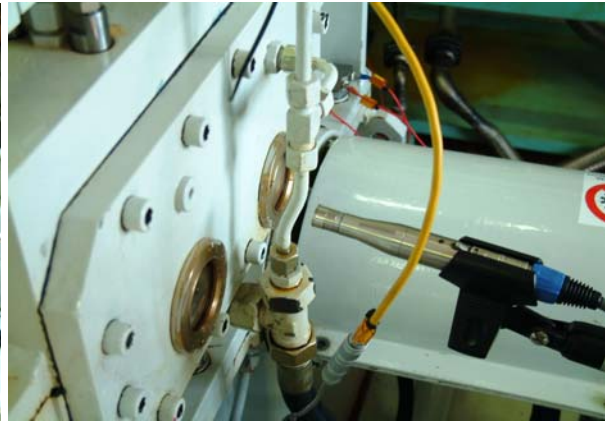


Figura 7- 29 10 mm da albero slave veloce



Figura 7- 30



Figura 7- 31 lato test 30mm da coperchio

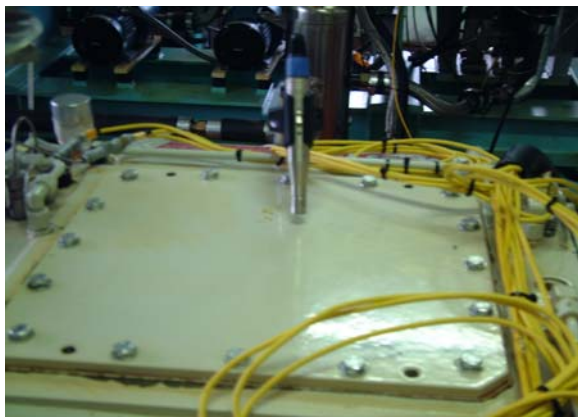


Figura 7- 32 a/b microfono posto sul coperchio delle ruote slave

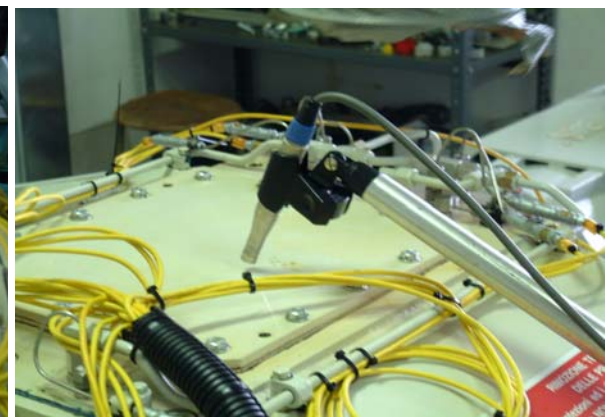


Figura 7- 33 ⊥al pannello ad una distanza di 45 mm



Figura 7- 34 ⊥al pannello ad una distanza di 20 mm

Anche in tale zona si confronta il segnale acquisito dal microfono con quello dell'accelerometro 2, segnale decisamente più pulito tra quelli della zona test e si riportano gli spettri FFT e PSD con i seguenti range di interesse:

- 0-90 e.o. per accelerometro 2;
- 0-90 0-10 37-41 77-83 e.o. per microfono.

Esaminiamo i cambiamenti nelle sottozone:

- ◆ zona 1: in tale zona il microfono non “sente” la f_{gtest} , ma si vede distintamente la f_{gslave} che risulta elevatissima alla distanza di 10 mm, arrivando ad una intensità di 240 mPa, mentre le frequenze legate alla modulazione sono principalmente quelle date da $f_{gslave} \pm 2x f_{rslave}$. La bassa frequenza è caratterizzata da una forte attività entro 0.4 e.o. e dall'ordine 8.2 elevato. La posizione riportata dalla fig.7-31 mostra che è completamente scomparsa l'attività fino a 0.4, quindi riconducibile al rumore prodotto dalla ventola del motore A/C, come vedremo nel paragrafo ad esso dedicato. Si osservano distintamente gli ordini 6.8, 8.2 e 9.5, la f_{gslave} e la sua 2x e una forte componente frequenziale a 45 e.o. di cui non si conosce, allo stato attuale, la causa.
- ◆ zona 2: in tale posizione si vede bene la 39 e la sua 2x, ma in particolare sono elevatissimi gli ordini 6.8, 8.2 e 9.5.
- ◆ zona 3: si osserva, avvicinandosi al pannello, nella zona 37-41 e.o. l'aumento dell'attività, contrassegnata con da ritenersi legata all'onda sonora che investe il pannello. Rimane alta la componente a ordine 6.8.

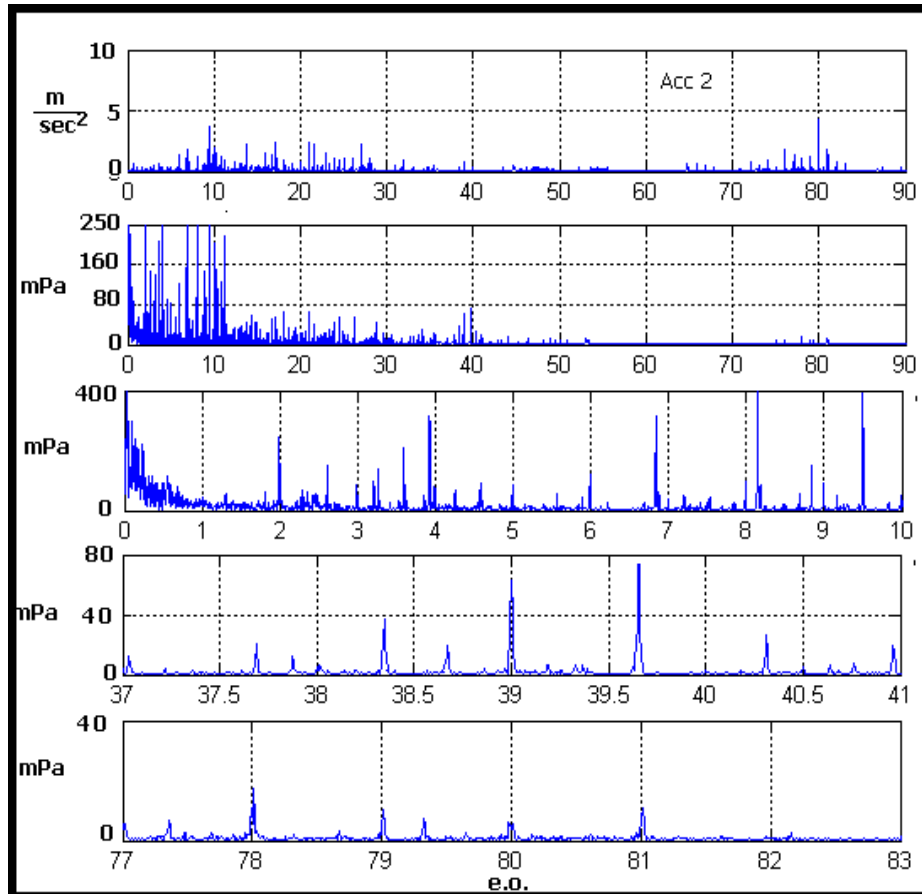


Figura 7- 35 FFT 50 mm da albero slave veloce lato motore

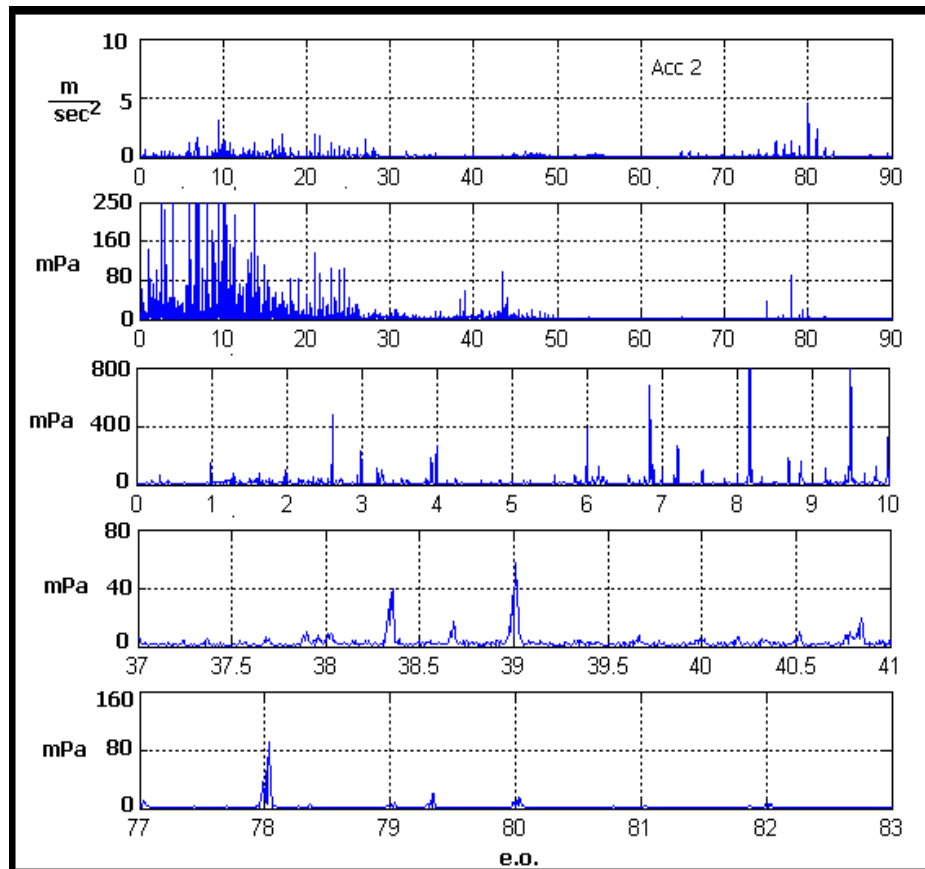


Figura 7- 36 FFT lato test 30mm da coperchio

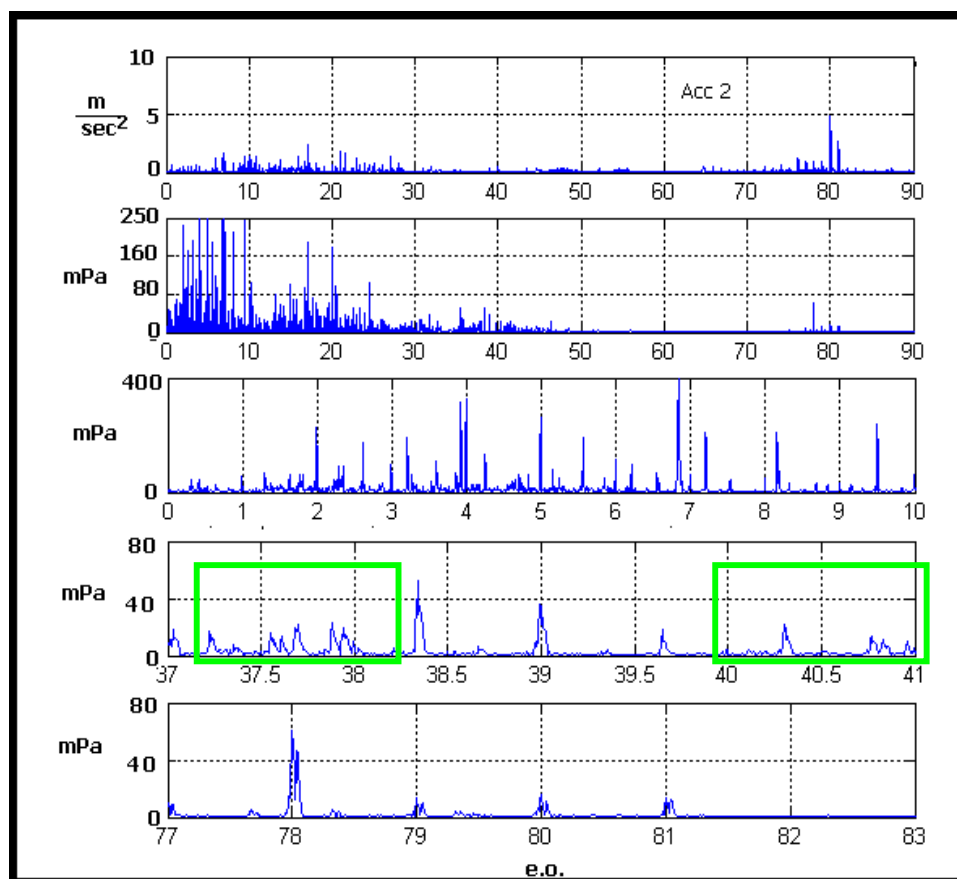


Figura 7- 37 FFT microfono \perp al pannello ad una distanza di 20 mm

7.4 Zona slave sinistra

Per analizzare il comportamento del microfono su tale lato del banco, si è posizionato il microfono nelle seguenti zone:

1. in prossimità dell'albero slave veloce:
 - lato ruote test con microfono disposto:
 - I. assialmente al coperchio ad una distanza di 30 mm(fig.7-38);
 - II. \perp alla zona giunti, in direzione torsionometro(fig.7-39);
2. lato pannelli con microfono disposto:
 - \perp pannello ad una distanza di 30 mm (fig.7-40);
3. in prossimità dell'albero slave lento con microfono disposto:
 - nella direzione dell'accelerometro triassiale a 20mm (fig7-41).

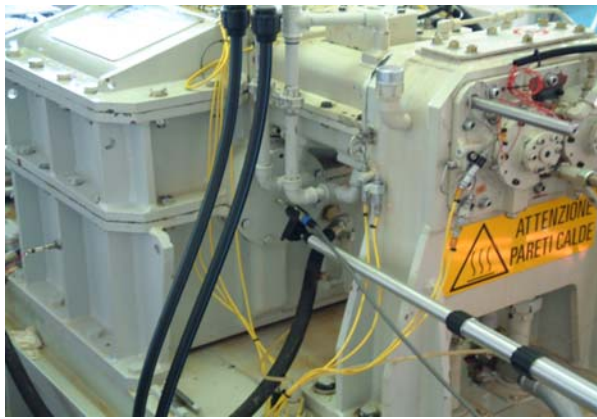


Figura 7- 38 20 mm da coperchio albero slave veloce



Figura 7- 39 lato torsiometro

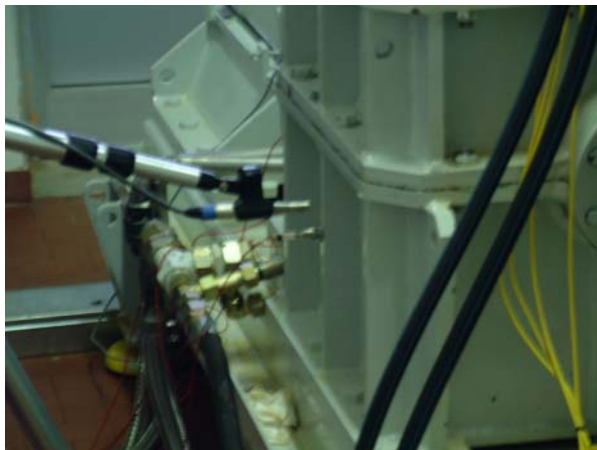


Figura 7- 40 pannello sinistro 30mm

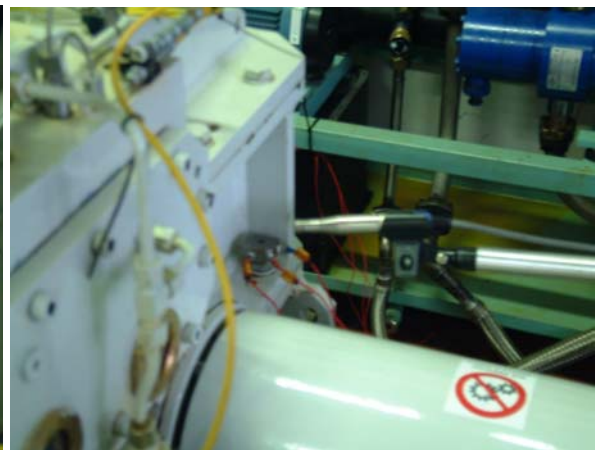


Figura 7- 41 20 mm da accelerometro triassiale

Anche in tale zona si confronta il segnale acquisito dal microfono con quello dell'accelerometro 2, segnale decisamente più pulito tra quelli della zona test e si riportano gli spettri FFT e PSD con i seguenti campi di interesse:

- 0-90 e.o. per accelerometro 2;
- 0-90 0-10 37-41 77-83 e.o. per microfono.

Esaminiamo i cambiamenti nelle sottozone:

- ◆ zona 1: in tale zona il microfono percepisce la $f_{g\text{test}}$, la $f_{g\text{slave}}$, la sua modulazione, $f_{g\text{slave}}-2xf_{r\text{slave}}$ (→) e la sua $2x$ ad un valore pari a $\sim 40\text{mPa}$.
Si vede distintamente la 8.2 in entrambe la posizione, ma l'aspetto interessante è che gli ordini 2 e 4 (→) aumentano notevolmente nella rilevazione eseguita nella zona del torsiometro, ovvero nella zona dei giunti che collegano l'albero slave veloce all'albero test.
- ◆ zona 2: in tale posizione si vede bene la $f_{g\text{slave}}-2xf_{r\text{slave}}$ e la $2xf_{g\text{slave}}$ e sono elevatissimi gli ordini 6.8, 8.2.

- ◆ zona 3: in tale zona il microfono percepisce la f_{gslave} , le sue modulazioni, $f_{gslave} \pm 2x f_{rslave}$ e la sua 2x ad un valore di intensità pari a ~80mPa. A bassa frequenza si rivede l'attività della ventola. Alla componente a 8. 2 si accompagna il doppio picco di ordine 4.

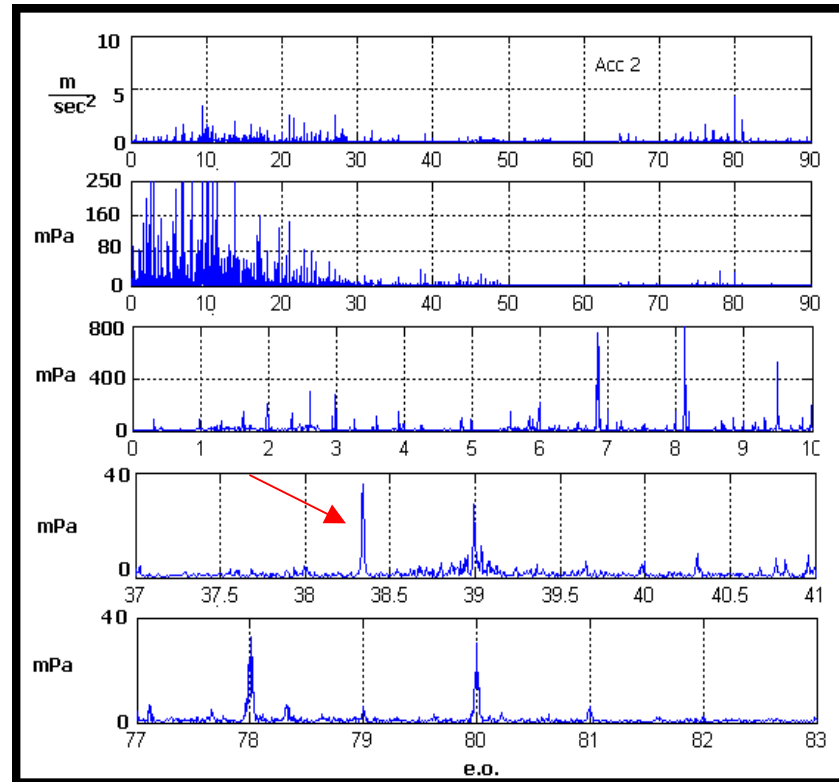


Figura 7- 42 FFT 20 mm da coperchio albero slave veloce

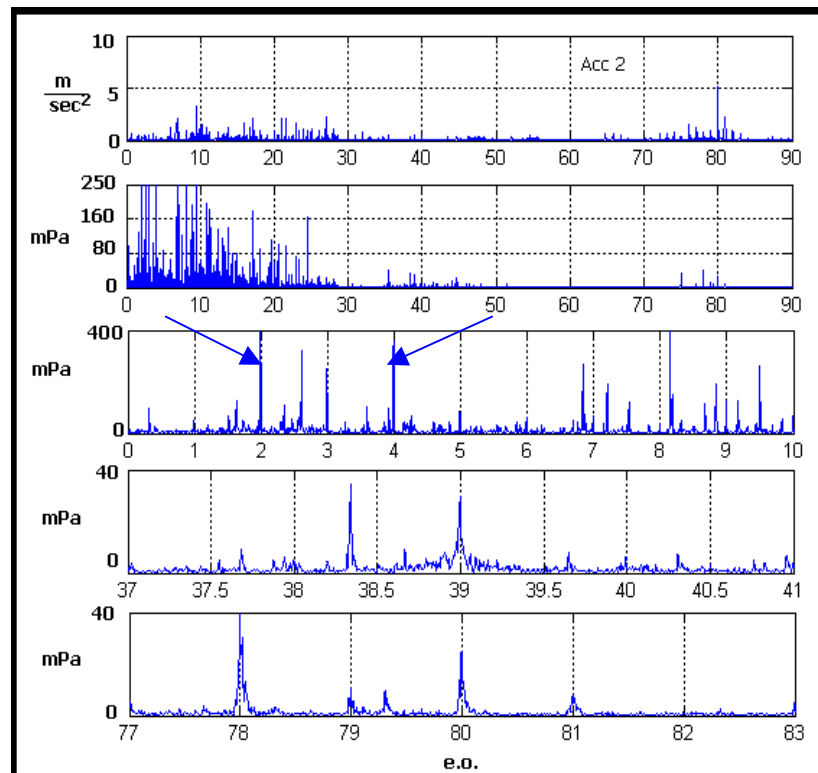


Figura 7- 43 FFT lato torsiometro

7.5 Zona motore A/C

In tale zona siamo andati ad analizzare gli spettri prodotti principalmente dalla ventola di raffreddamento del motore elettrico, per valutare se questa può inficiare i risultati a bassa frequenza.

Allo scopo, ponendoci ad una distanza di 50 mm dalla gabbia della ventola (fig.7-44), con il microfono puntato assialmente al centro della ventola stessa, si è prodotto gli spettri FFT e PSD nelle condizioni operative di 8900 rpm con coppia di -80 e -500 Nm.



Figura 7- 44

Dall'analisi dello spettro relativo a -80 Nm, di cui non si riporta lo spettro nel campo tra 77-83 e.o. perché non si osserva la f_{gtest} , nell'intorno della f_{gslave} risulta la presenza di una notevole attività connessa con la modulazione della f_{gslave} con le $2xfr_{slave}$, come evidenziato dalla doppia freccia \longleftrightarrow , mentre la zona a bassa frequenza, contrassegnata da un rettangolo rosso mostra una intensa attività tra 0 e 2.4 e.o. legata alla velocità di rotazione della ventola pari a 48 Hz (0.32 e.o.) \longrightarrow , al passaggio delle pale della ventola (n.5), ovvero la frequenza di passaggio di una pala della ventola, davanti agli elementi trasversali della gabbia (n.4) pari a 1.63 e.o. \longrightarrow .

Nel passaggio dai tra -80 ai -500 Nm le componenti frequenziali a bassa frequenza non sono cambiate, perché la causa generante è indipendente dal carico applicato, mentre varia l'intensità della f_{gslave} , diminuita di circa il 50%.

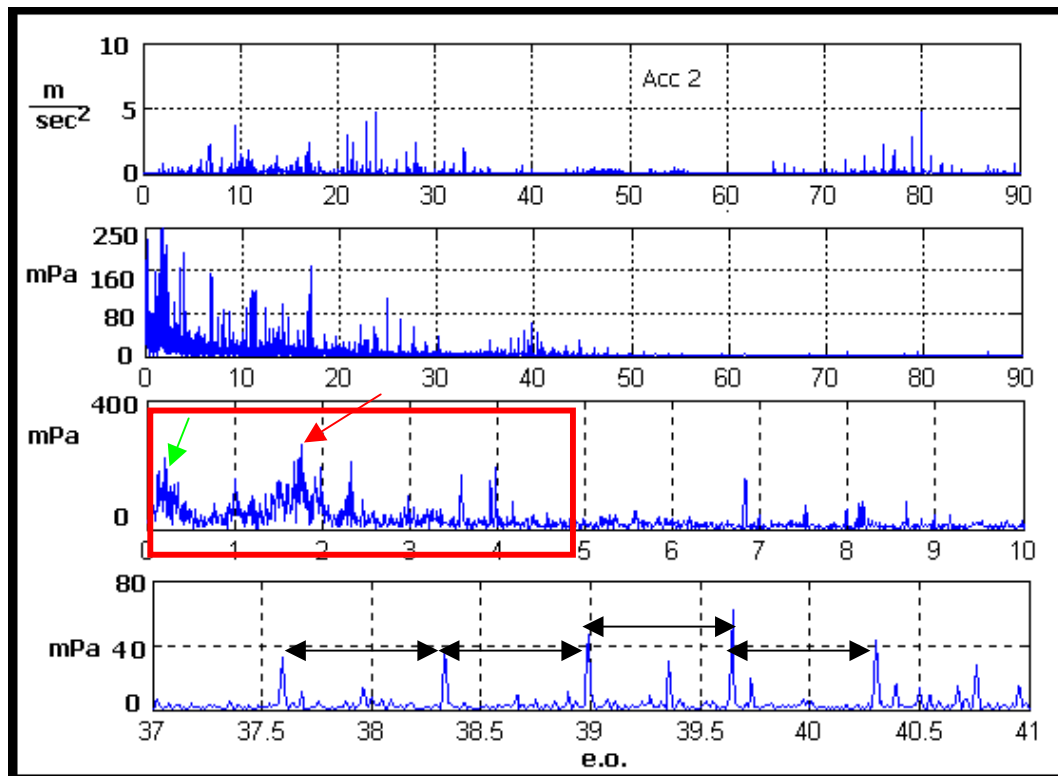


Figura 7- 45 FFT motore elettrico 8900 rpm 80 Nm

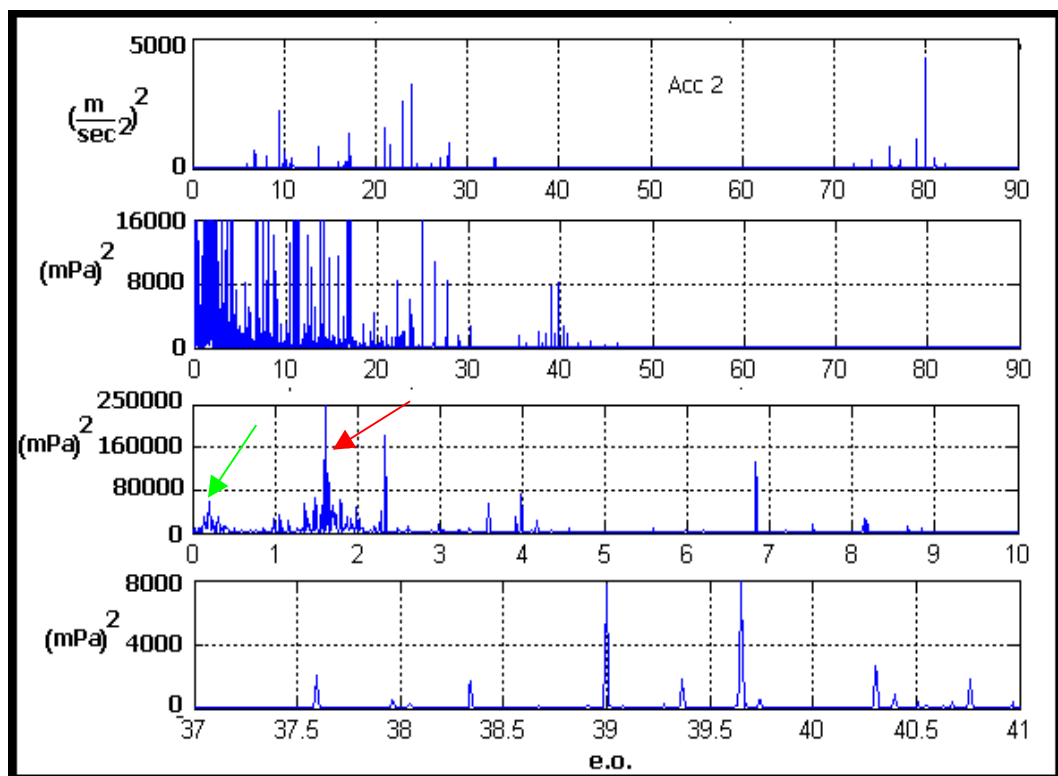


Figura 7- 46 PSD motore elettrico 8900 rpm 80 Nm

7.6 Conclusioni

Sulla base dello studio relativo al posizionamento del microfono si è giunti ad alcune importanti osservazioni.

Innanzitutto il microfono è uno strumento interessante per monitorare lo stato di salute generale del banco nel suo complesso, in quanto, come osservato in tale analisi, rileva le frequenze di interesse legate ai cuscinetti e alle ruote dentate, anche in posizioni relativamente distanti dal punto in cui è stato posizionato il microfono.

Nella parte test, il microfono richiede un'operazione preliminare per il corretto posizionamento, che si deve basare sulla scelta della superficie verso cui puntare la capsula microfonica.

In effetti i risultati migliori, risultati pressoché costanti tra i 30 e i 100 mm di distanza dalla superficie, sono stati ottenuti quando il microfono viene diretto verso superfici piane, o comunque a bassa curvatura, sufficientemente rigide.

Inoltre si è osservato una notevole similitudine tra il segnale microfonico e quello accelerometrico, quando si è puntato il microfono nella direzione degli accelerometri della zona test.

Allo stato attuale delle rilevazioni, l'utilizzo del microfono non deve, comunque, prescindere dall'analisi accelerometrica, anche se i primi risultati ne consigliano l'uso nel monitoraggio di ingranaggi ad elevata velocità, dove le frequenze di interesse, $f_{g \text{ test}}$, hanno valori molto elevati, con costi per la strumentazione inferiori rispetto alla strumentazione accelerometrica.