

## Relazione e prove di un " sincrofiltro " per il rilievo delle vibrazioni torsionali degli alberi (\*)

### PREMESSA.

Il motore diesel, costituendo con la sua caratteristica ciclicità una sorgente cospicua di momenti torcenti eccitanti, induce nei suoi stessi organi rotanti nonché in quelli della corrispondente utenza e delle trasmissioni esistenti, fenomeni vibratorii torsionali che possono, in risonanza, dar luogo a sollecitazioni o ad ampiezze vibratorie inaccettabili.

Pur esistendo modelli matematici abbastanza perfezionati per potere prevedere le velocità critiche e le sollecitazioni o ampiezze relative sia in risonanza che fuori, è tuttavia necessario in molti casi la verifica sperimentale della validità dei valori numerici così conseguiti.

Tale necessità risiede soprattutto nelle notevoli incertezze che sussistono in talune valutazioni sia relative alla rigidità dell'albero a manovelle dei motori, sia alla rigidità di giunti elastici di accoppiamento e sia, infine, ai valori dei coefficienti di smorzamento dei cilindri motori, dei propulsori, dei giunti elastici e degli stessi eventuali smorzatori, specie quando questi elementi meccanici sono realizzati da costruttori non attrezzati alla determinazione sperimentale di tali parametri (1).

I mezzi di rilevamento sono fondamentalmente due:

- a) rilevatori di ampiezza assoluta;
- b) rilevatori di deformazione relativa.

Alla categoria a) appartengono i « torsografi » che sono sostanzialmente dei rivelatori accelerometrici, che però, usati in campi di frequenza al di sopra della loro frequenza propria, diventano dei misuratori di ampiezza assoluta (2).

Questi rivelatori per la loro natura non possono essere « inseriti » nel sistema dinamico considerato ma solo applicati ad un estremo libero del sistema stesso.

(\*) Memoria presentata dall'Accademico AGOSTINO ANTONIO CAPOCACCIA.

Negli apparati motori di propulsione l'unico estremo libero è a proravia del motore diesel e spesso ulteriori macchinari ausiliari trascinati da tale estremità non consentono neanche questa possibilità.

Inoltre questo tipo di rivelatore per la sua natura inerziale, rivela anche la cosiddetta « irregolarità ciclica » del motore, dando così luogo alla impossibilità di scissione fra ampiezza derivante da tale irregolarità ed ampiezza dovuta alla vibrazione torsionale di eguale frequenza.

Negli impianti di propulsione con giunto elastico di pescherecci l'ordine principale fondamentale (che corrisponde alla frequenza dell'irregolarità ciclica) dà luogo a regimi critici nel campo di utilizzazione del motore.

Alla categoria *b*) appartengono i metodi cosiddetti « estensimetrici », ossia realizzati con l'incollaggio sulla linea d'asse di « strain-gages » collegati fra loro a ponte di Wheatstone opportunamente alimentati in c.c. o in c.a. su una diagonale e prelevando il segnale sull'altra diagonale.

Tanto l'alimentazione quanto il segnale devono realizzarsi tramite contatti striscianti su appositi collettori in generale a 4 piste isolate tra loro e rotanti con l'albero nelle immediate prossimità della zona di applicazione degli estensimetri.

Questo metodo di rilievo, a differenza del precedente, ha la possibilità di *inserirsi* nel sistema dinamico e non è sensibile alle ampiezze assolute, ma solo alle deformazioni tangenziali delle fibre dell'albero su cui sono applicati gli strain-gages.

Mediante questo sistema si misurano pertanto le coppie torcenti alternative agenti sulla sezione retta dell'albero corrispondente al ponte di misura.

Per l'uso di tale metodo è pertanto necessario che sia accessibile un tronco d'asse sul quale potere applicare sia il ponte estensimetrico che il collettore di alimentazione e prelievo.

Negli impianti propulsori dei pescherecci in generale l'unica zona accessibile è l'albero intermedio ossia quella porzione di asse di trasmissione compresa fra l'invertitore o, se quest'organo manca, fra il volano e la tenuta prodiera dell'astuccio (Fig. 1).

Se ci riferiamo alla Fig. 1 che rappresenta per l'appunto un tipico esempio di apparato motore di propulsione di barche da pesca, e tracciamo rispetto ad esso le deformate torsionali della 1<sup>a</sup> e seconda frequenza si vede come la zona accessibile, ossia l'albero intermedio corrisponde ad una zona nodale della 1<sup>a</sup> frequenza e ventrale della seconda. Ciò significa che sistemando il ponte estensimetrico sull'albero intermedio si avrà un elevato segnale dovuto alla 1<sup>a</sup> frequenza ed un modesto segnale dovuto alla seconda frequenza. Infatti la zona nodale è caratteristica delle massime deformazioni torsionali mentre quella ventrale è caratteristica delle minime deformazioni (infatti il momento torcente è proporzionale alla derivata della deformata torsionale).

La modestia del segnale dovuto alla seconda frequenza è tale da rendere nella maggior parte dei casi il rapporto segnale/disturbo già prossimo a valori critici.

Vi è inoltre da considerare il fatto che le cause smorzanti insite nel motore, nel propulsore e nell'isteresi degli alberi di trasmissione sono in generale funzioni delle ampiezze vibratorie.

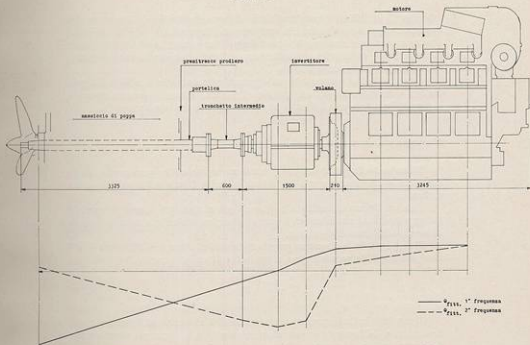


Fig. 1. - Schema tipico di un apparato motore per elicotteri ed andamento delle relative deformate torsionali di 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> frequenza.

Sussistono perciò smorzamenti molto più importanti per la 1<sup>a</sup> che per la 2<sup>a</sup> frequenza con il risultato che le critiche presentano un andamento molto più piatto se appartengono alla 1<sup>a</sup> frequenza e notevolmente acute se invece appartengono alla seconda.

Consegue, sul piano pratico, l'ulteriore maggiore difficoltà di « centrare » una critica della 2<sup>a</sup> frequenza, interessando questa un campo di giri molto più esiguo.

La pratica corrente confermando tutte queste considerazioni è tale da non consentire con le usuali strumentazioni di rilievo di mettere in chiara evidenza le critiche dovute alla 2<sup>a</sup> frequenza (2).

Il suggerimento più immediato per superare le difficoltà esposte sarebbe quello di filtrare in banda stretta il segnale spazzolando, a velocità costante del motore, il campo di frequenza interessante la seconda frequenza, e ripetendo tale operazione per diverse velocità, sempre costanti, dell'apparato motore.

L'inserimento di un filtro a banda stretta e frequenza sintonizzabile costituisce una nuova variabile: « lo spazzolamento in frequenza », che si aggiunge alla variabile convenzionale che è lo « spazzolamento in giri » dell'apparato motore.

A parte le difficoltà pratiche relative al mantenimento a *velocità costante dell'apparato motore in navigazione*, in ogni caso un rilievo siffatto verrebbe ad essere oltremodo oneroso e conserverebbe ancora un notevole grado di aleatorietà, stante la impossibilità di eseguire con sufficiente continuità lo spazzolamento delle due variabili, sia pure in tempi diversi.

La soluzione del nostro problema è pertanto connessa alla possibilità di legare tra loro i due spazzolamenti ed è ciò che si realizza mediante il processo noto con la terminologia tedesca « *Ordnungs analyse* » ossia « *analisi per ordine* » (4).

#### L'ANALISI PER ORDINE.

Diciamo che l'apparato motore presenta un regime critico quando vi è coincidenza fra la frequenza propria del sistema e quella di una armonica della causa eccitante.

Tale coincidenza si manifesta in generale con un picco più o meno pronunciato del segnale che misura la coppia torcente o l'ampiezza vibratoria durante lo spazzolamento della variabile giri/min.

Il rapporto fra la frequenza propria  $f_p$  in cicli al minuto ed il numero di giri  $nr$  al minuto dell'apparato motore al quale si verifica la risonanza dicesi « *ordine* » della frequenza critica.

$$\frac{f_p}{nr} = N_{op} . \quad (1)$$

Il rapporto fra la frequenza eccitante  $f_e$  in cicli al minuto ed il numero di giri  $nr$  al minuto dell'apparato motore al quale si verifica la risonanza, dicesi « *ordine dell'armonica della frequenza eccitante* ».

$$\frac{f_e}{nr} = N_{ae} . \quad (2)$$

Se il motore termico è a due tempi, ossia il ciclo motore si volge in un giro, si avrà l'identità numerica fra ordine della critica e dell'armonica eccitante.

Se il motore termico è ad esempio a 4 tempi, ossia il ciclo motore si svolge in due giri, si avrà la relazione :

$$N_{op} = \frac{N_{ae}}{2} .$$

Il confondere quindi, come talvolta avviene, l'ordine della critica con quello dell'armonica eccitante conduce a considerare ordini di armoniche non interi e pertanto in contrasto con l'algoritmo di Fourier.

L'analisi per ordine consiste pertanto in una metodologia tale da potere considerare verificata la relazione :

$$\frac{f_p}{nr} = N_{op} = \text{costante} \quad (3)$$

e pertanto lo spazzolamento della variabile  $f_p$  (sintonizzazione del filtro) e lo spazzolamento della variabile  $n_r$  (giri/min dell'apparato motore) devono avvenire contemporaneamente ed in modo tale da verificare con continuità la (3).

In questo modo le due variabili, essendo legate dalla (3) danno luogo nuovamente, come nel rilievo convenzionale, ad un'unica variabile, e precisamente ancora la sola  $n_r$  ossia il regime di giri dell'apparato motore.

Ci basterà citare solo che siffatte apparecchiature realizzate in U.S.A. presentano costi elevatissimi (oltre 10 milioni di Lit.) e sono di ben difficile trasportabilità, stante le complessità dei circuiti elettronici necessari.

#### SCOPO DELLA RICERCA.

Il problema pratico del rilevamento della 2ª frequenza torsionale a bordo di barche da pesca o di altre navi, pur meritando tutta l'attenzione degli enti costruttori e di controllo (Registri di classificazione), non poteva essere affrontato con apparecchiature così complesse e costose come quelle che il mercato specializzato ci poneva a disposizione.

Nasceva così l'ambizione di risolvere con altri e ben più semplici mezzi il compito di realizzare con la strumentazione convenzionale la (3), ossia l'effettuazione dell'analisi per ordine.

È stata così ideata, impostata e realizzata la ricerca di cui verranno dettagliati in seguito modalità di esecuzione e risultati conseguiti.

#### IL « SINCROFILTRO ».

Con tale terminologia si è chiamato quel complesso strumentale capace di eseguire l'analisi per ordine.

Si tratta cioè, come già detto, di realizzare una strumentazione capace di verificare con continuità la relazione:

$$f_p = n_r \times N_{op}$$

essendo  $N_{op}$  un parametro che può assumere di volta in volta a priori un valore costante.

Gli ordini che normalmente entrano in gioco possono variare da 0,5 a 20 mentre il numero di giri  $n_r$  possono variare da 50 a 1000.

Le frequenze in gioco  $f_p$  variano da 150 ~ /min a 6.000 ~ /min.

L'idea che si è voluta realizzare consiste sostanzialmente nel pilotare un filtro a frequenza variabile  $f_p$  del commercio mediante un segnale proporzionale alla velocità  $n_r$  dell'apparato motore secondo un fattore moltiplicatore  $N_{op}$  di volta in volta prefissato.

In tal modo l'escursione di velocità dell'apparato motore comporta automaticamente l'escursione del filtro e di qui la terminologia prescelta di « sincrofiltro » ossia un filtro sincronizzato con i giri dell'apparato motore.

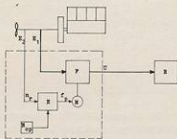


Fig. 2. - Schema di principio a blocchi del sincrofiltro.

Lo schema a blocchi del dispositivo da realizzare è pertanto quello indicato in Fig. 2 e compreso nel rettangolo definito con linea tratteggiata.

Dall'apparato motore vengono prelevati due segnali. Quello corrispondente al tratto in neretto è il segnale estensimetrico convenzionale che viene filtrato dal filtro F e portato poi al registratore R.

Quello corrispondente al tratto sottile è il segnale tachimetrico nr che viene condotto nell'elaboratore E, al quale perviene altresì il segnale manuale Nop. Dall'elaboratore E esce un segnale prodotto  $fp = nr \times Nop$  che pilota, tramite il motorino M, il filtro F, posizionandolo sulla frequenza fp di filtrazione. In tal modo l'uscita U non contiene tutto il segnale E1, ma solo la componente fp contenuta in questo segnale e pertanto l'uscita U è costituita da una frequenza variabile con la velocità dell'apparato motore ed avente le caratteristiche di essere ad ordine Nop costante.

Volendo avere una uscita riferita ad un ordine diverso basta impostare manualmente il nuovo ordine Nop e ripetere l'escursione della velocità del motore.

Il solo problema di una siffatta realizzazione è quindi costituito dal pilotaggio del filtro.

Tale pilotaggio deve essere sufficientemente pronto e preciso per potere di fatto seguire con continuità e rapidità l'escursione del motore, ma nel contempo non dare luogo a pendolazioni sia per instabilità nel circuito di telecomando sia per la irregolarità ciclica del motore.

Dopo avere scartate svariate possibili soluzioni appunto per le incertezze che le accompagnavano, è stata prescelta la soluzione realizzata che è raffigurata nello schema di Fig. 3.

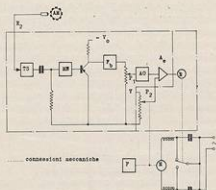


Fig. 3. - Schema funzionale del sincrofiltro.

Sulla linea d'alberi dell'apparato motore AM, vengono sistemate delle barrette equidistanziate (ad esempio 10) ed un rivelatore magnetico, disposto radialmente, per variazione della riluttanza dà luogo al segnale E 2 digitale. Questo segnale alimenta un trigger di Smith TS il quale dà luogo ad un treno di impulsi con fronte di salita molto ripido e quindi differenziabili onde ottenere degli impulsi rettangolari e stretti adatti per comandare un circuito monostabile MN a tempo fisso, dal quale quindi esce un treno di impulsi la cui tensione però può non essere rigorosamente costante. Onde rendere costante anche l'ampiezza dei singoli impulsi si pilota una porta elettronica a transistore che, alimentata da una tensione stabilizzata V, rende il treno di impulsi a tensione costante.

Onde eliminare le componenti alternative più alte, si filtra il segnale attraverso un filtro passa basso Fb e quindi la tensione uscente viene prelevata su un potenziometro elicoidale a 10 giri P 1, per essere condotta ad un amplificatore operazionale A 0.

L'uscita di questo amplificatore è quindi un segnale la cui tensione è proporzionale ad una funzione prestabilita dal numero dei giri al min dell'apparato motore.

Un secondo potenziometro elicoidale P 2 del tutto identico a quello P 1 è sottoposto ad una tensione fissa e stabilizzata V. Il cursore di questo potenziometro è mosso dallo stesso motore elettrico M che comanda il filtro F (vedi Fig. 2). Pertanto un amplificatore A e di errore confronta ed amplifica la differenza fra i due segnali provenienti rispettivamente dai due potenziometri P 1 e P 2. Il risultato è il comando di un relè R il quale provvede ad invertire il senso di rotazione del motore M, chiudendo così il circuito di asservimento del motore M.

Il potenziometro P 1 infatti è quello manuale che definisce l'ordine desiderato, il motore M girerà in un senso o in senso contrario a secondo che il segnale prove-



niente da A M sarà maggiore o minore di quello che in un certo istante proviene da P 2 e corrisponde ad una certa posizione del filtro F principale.

Nella Fig. 3 sono stati indicati con linea punteggiata i collegamenti meccanici. L'amplificatore operatoriale A o ha lo scopo di adattare l'asservimento del motorino del filtro F alle caratteristiche del comando del filtro stesso.

Nel caso in esame è stato adoperato un filtro del commercio e precisamente il modello 1554-C della General Radio americana, il quale ha il vantaggio di potersi filtrare con continuità con due diverse larghezze di banda (1/10 e 1/3 di ottava) un campo di frequenza compreso fra 2,5 e 25.000 Hz. Questo filtro possiede una manopola di comando di sintonia la cui graduazione è logaritmica e pertanto nella realizzazione da noi effettuata l'amplificatore A o è in particolare un amplificatore logaritmico.

Qualora in altri casi si volesse adoperare altro tipo di filtro basta variare corrispondentemente le caratteristiche dell'amplificatore A o.

L'apparecchiatura è naturalmente completata con l'alimentatore corrispondentemente necessario, a sua volta in grado di erogare le diverse tensioni stabilizzate necessarie per il corretto funzionamento del circuito così predisposto.

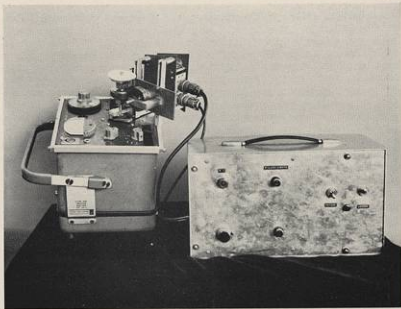
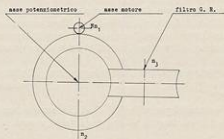


Fig. 4. - Sinerofiltro completo di alimentatore.



Nella foto 4 è visibile il Sincrofiltro completo ossia con l'apparecchiatura elettronica che comprende oltre all'alimentazione anche il circuito compreso nella linea a tratto e punto sulla Fig. 3.



$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{6,5} \qquad \frac{n_4}{n_3} = \frac{1}{25}$$

Fig. 5. - Schema del cinematismo di trascinamento del filtro e del potenziometro P 2 di asservimento.

Nella Fig. 5 è rappresentato il cinematismo che lega il moto del motorino al moto dell'alberello di comando del filtro G. R. e al moto del cursore del potenziometro P 2 con l'indicazione dei rispettivi rapporti di riduzione.

#### TARATURA DEL SINCRIFILTRO E SUOI LIMITI DI UTILIZZAZIONE.

La taratura del sincrofiltro ha avuto come preciso scopo la necessità di rendersi conto dell'entità dell'errore verificantesi durante l'asservimento.

A tale scopo ci si è serviti di due generatori di frequenza a frequenza variabile e di un contatore digitale di impulsi a 5 cifre, di elevatissima precisione.

I due generatori vengono connessi al sincrofiltro alle sue due entrate, in modo che uno simuli il segnale tachimetrico digitale E 2 e l'altro il segnale estensimetrico E 1.

Con il generatore che simula E 2 si entra con una frequenza che corrisponde al numero di giri minimo del motore moltiplicato per 10, essendo tale il numero delle barrette sistemate normalmente sull'albero intermedio dell'apparato motore — e supponiamo sia 25 Hz.

Disposto il potenziometro P 1 sull'ordine 10 occorre verificare che il filtro si posizioni automaticamente sul valore di 25 Hz. Se ciò non avviene, basta svincolare l'asse della manopola di comando del filtro del servocomando badando di non alterare la posizione assunta dal potenziometro P 2 e ruotando a mano si porta il filtro sulla frequenza di 25 Hz e si riblocca il collegamento con l'asservimento.

Si vari ora la frequenza del generatore che simula E 2 portandola a 250 Hz. Si verifichi se il servocomando ha fatto ruotare la manopola di comando del filtro fino a filtrare la frequenza di 250 Hz. Se ciò non avviene occorre ruotare il potenziometro di taratura P 3 che è situato in serie al potenziometro P 2.

In questo modo il complesso è tarato in due punti di cui uno modificando l'asservimento meccanico e l'altro modificando invece l'asservimento elettrico.

Fra i due estremi così tarati ad errore zero il comportamento del sincrofiltro consentirà di evidenziare gli eventuali errori rispetto alla risposta ad errore permanentemente nullo.

Tale controllo viene eseguito verificando la posizione del filtro che corrisponde alla massima uscita del filtro, del segnale entrante e proveniente dal generatore che simula E 1.

Ripetendo tale controllo per gli ordini che interessano e senza più modificare la taratura iniziale si sono ricavati ad esempio i valori raccolti nella Tab. 1.

TABELLA 1.

Ordine	fr = 25		fr = 125		fr = 250	
	f 1	%	f 1	%	f 1	%
10	25	0	125	0	250	0
8	—	—	123	-1,62	248,7	-0,5
6	—	—	125	0	247,7	-1,33
5	—	—	123,3	-1,4	244,6	-2,16
1	—	—	—	—	252,5	+1

L'errore massimo del  $-2,16\%$  è però ancora compreso nella zona appiattita della curva di risposta del filtro e pertanto la banda di frequenza filtrata anche utilizzando il filtro in banda stretta (1/10 di ottava) fornisce sempre una risposta valida. Infatti la banda di 1/10 di ottava tra gli estremi è pari al  $\pm 3,6\%$  della frequenza centrata.

Dalla tabellina si nota anche come a 25 Hz. di frequenza entrante sia possibile ricavare solo una risposta per l'ordine 10, così come per la frequenza di 125 Hz. non è possibile avere una risposta per ordini inferiori al 5 mentre con 250 Hz entranti è possibile arrivare sino all'ordine 1.

Questa limitazione, che però è solo formale, è dovuta al fatto che nel progetto sono state ipotizzate 10 barrette da applicare sull'albero intermedio dell'apparato motore, ossia si è supposto di moltiplicare per 10 il numero degli impulsi e la tensione risultante è applicata ai capi del potenziometro P 1 a 10 giri in modo da potere prelevare  $\frac{K}{10}$  della tensione entrante essendo K l'ordine impostato manualmente.

Sussistono perciò delle limitazioni di progettazione quali ad esempio :

- 1) La frequenza entrante deve essere compresa fra 25 e 250 Hz.
- 2) L'ordine deve essere compreso fra 1 e 10.

Sussiste però anche la seguente relazione funzionale :

$$f = \frac{n \cdot Nb}{60 K}$$

essendo  $f$  la frequenza entrante in Hz.

$n$  il numero di giri/min. dell'apparato motore in corrispondenza dell'applicazione delle barrette

$Nb$  il numero di barrette

$k$  l'ordine

e quindi le limitazioni sono :

$$25 \leq \frac{n \cdot Nb}{60} \leq 250 \quad (1)$$

$$1 \leq \frac{Nb}{K} \leq 10 \quad (2)$$

Si deduce conseguentemente il diagramma di utilizzazione del sincrofiltro riportato in Fig. 6.

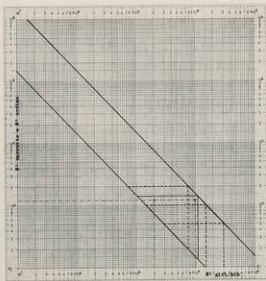


Fig. 6. - Diagramma logaritmico di utilizzabilità del sincrofiltro.

Tale diagramma logaritmico ha in ascissa il numero dei giri  $n$  al minuto dell'apparato motore in corrispondenza al punto di applicazione delle barrette ed in ordinata il numero d'ordine che desideriamo impostare manualmente.

Le due rette inclinate delimitano una fascia che è quella di possibile utilizzazione del sinerofiltro al variare del numero  $Nob$  delle barrette.

Abbiamo riportato a titolo di esempio i tre casi con 5, 10 e 20 barrette.

Ciascun numero di barrette definisce quindi nella fascia obliqua un triangolo di validità.

Così ad esempio con 10 barrette si possono avere tutti gli ordini dall'1 al 10 rispettivamente nel corrispondente campo di velocità da 1500 a 150 giri/min.

Con 20 barrette si possono avere tutti gli ordini dal 2 al 20 rispettivamente nel corrispondente campo di velocità da 750 a 75 giri/min. e così via.

A titolo di esempio di utilizzazione di questo diagramma si supponga di volere estrarre l'ordine 12 da un apparato motore il quale copra nella zona di applicazione delle barrette la gamma di velocità da 200 a 1000 giri/min.

Ci si domanda se lo strumento lo consente e quante barrette occorre applicare. Dal diagramma si vede come tracciando le due rette di richiamo rispettivamente in corrispondenza di 200 e 1000 giri/min., le intersezioni con l'orizzontale corrispondente all'ordine 12 costituiscono un segmento tutto compreso nella fascia di validità del sinerofiltro.

Il numero di barrette più opportuno è in tal caso 14; infatti in tal modo il triangolo di validità comprende perfettamente il segmento rappresentativo dell'utilizzazione strumentale e l'ordine da inserire sarà 8,57 sul bottone  $Nop$  dello strumento.

#### PROVE IN LABORATORIO SU MODELLO.

Allo scopo di verificare l'efficacia dello strumento così realizzato e tarato è stato approntato un modello di sistema torsionale costituito da volantini connessi fra loro da assi come da Fig. 7.

Come elemento eccitatore si è adoperato un banco prova torsografi costituito da un giunto cardanico ruotante a velocità e ad angolazione variabile (Fig. 8).

La variazione di velocità consente di variare la frequenza di eccitazione mentre la variazione di angolazione consente di variare l'entità dell'eccitazione.

Come è noto questo tipo di eccitazione è un eccitatore di ampiezza anziché un eccitatore di coppia come invece di fatto è un motore termico alternativo. Pertanto il sistema reale a 3 masse (motore - volano - elica) e due rigidità diviene nell'analisi prescelta un sistema analogico a 2 masse e due rigidità ossia il sistema libero reale diviene un sistema ad incastro eccitato.

Sul tronco d'asse collegante l'eccitatore alla prima massa volante è stato disposto un ponte estensimetrico torsionale con relativo collettore.

È stato prescelto questo tronco essendo esso nodale per la prima frequenza ma non nodale per la seconda frequenza e ciò in analogia a quanto si verifica come già detto, negli impianti di propulsione di pescherecci.

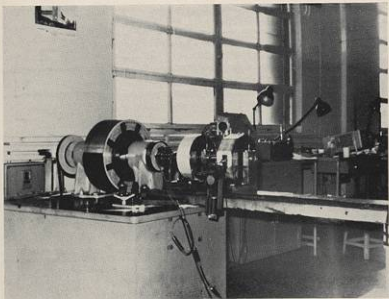


Fig. 7. - Modello dinamico torsionale a due masse volaniche trascinato dal banco prova torsografi.

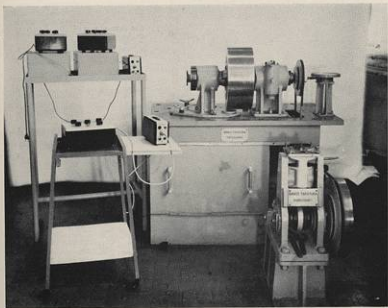


Fig. 8. - Banco prova torsografi con apparecchiatura di rilievo ed alimentazione.

Si è eseguita la ricerca delle due frequenze critiche adoperando l'apparecchiatura convenzionale e come, avviene di regola con gli apparati motori dei pescherecci, si è chiaramente individuata la prima frequenza del sistema con il 2° ordine a 1440 giri/min. mentre non si è potuta evidenziare la seconda frequenza.

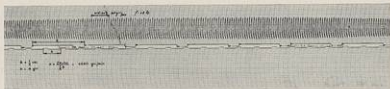


Fig. 9. - Zona di vibrogramma ottenuto con strumentazione convenzionale dal quale risulta la 1ª frequenza del modello dinamico ricavato al banco prova torsio-grafi. Si vede l'ampiezza aumentare, raggiungere in risonanza la massima ampiezza e poi nuovamente ridursi.

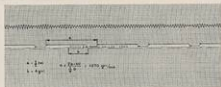


Fig. 10. - Zona di vibrogramma ottenuto con strumentazione convenzionale nella quale dovrebbe essere visibile la risonanza della 2ª frequenza che invece non si riesce a porre in evidenza.

Sono stati riportati in Fig. 9 e 10 rispettivamente i tratti di vibrogramma relativi ai giri in corrispondenza dei quali si è evidenziato l'ordine 2. di 1ª frequenza e si sarebbe dovuto evidenziare l'ordine 6 della 2ª frequenza.

È stato ripetuto l'analogo rilievo adottando però il « sincrofiltro » una volta imponendo manualmente l'ordine 6 e si è chiaramente evidenziata la seconda frequenza in critica a 1270 giri/min. (vedi Fig. 11), ed una volta imponendo manual-

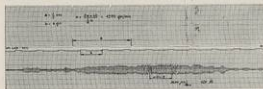


Fig. 11. - Zona di vibrogramma ottenuto mediante l'utilizzazione del « sincrofiltro » che pone in chiara evidenza l'ordine 6 della 2ª frequenza a 1.270 giri/min.

mente l'ordine 7 e si è evidenziata chiaramente la stessa 2ª frequenza (vedi Fig. 12) in critica a 1088 giri/min.

Sono state più volte ripetute le escursioni imponendo, nei limiti della strumentazione in rapporto alle barrette adottate, altri ordini manualmente ed il risultato ha sempre evidenziato con la massima chiarezza le critiche relative.

Fig. 12. - Zona di vibrogramma ottenuto con «sincrofiltro» in cui è bene evidenziata la risonanza dell'ordine 7 di 2ª frequenza a 1.088 giri/min.



Si riportano ancora in Fig. 13 due tratti a) e b) di vibrogrammi con amplificazione e velocità di carta diverse ricavati con il sincrofiltro con impostato l'ordine 6 e corrispondenti alle velocità di 480 e 1270 giri/min. nei quali si evidenziano chiaramente rispettivamente la 1ª e la 2ª frequenza, ovviamente con lo stesso ordine 6.

Fig. 13 a. - Zona di vibrogramma ottenuto con sincrofiltro e con bassissima velocità di scorrimento della carta che consente di vedere entrambe le risonanze dell'ordine 6 sia di 1ª che di 2ª frequenza rispettivamente a 480 e 1.270 giri/min.

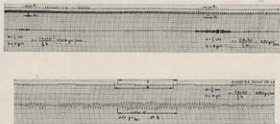


Fig. 13 b. - Zona di vibrogramma ottenuto con il sincrofiltro dove è chiaramente visibile la risonanza dell'ordine 6 di 2ª frequenza a 1.270 giri/min.

Con queste prove si è avuta la prima conferma che lo strumento ideato e realizzato rispondeva pienamente alle esigenze richieste (\*).

(\*) Da queste prove è anche emerso un altro interessante elemento riguardante proprio il sistema eccitatore costituito dal giunto cardanico, infatti dalle teorie semplificate del comportamento del giunto cardanico, in generale si è portati a concludere semplicisticamente che da esso sia possibile erogare esclusivamente un ordine 2. In effetti questa risultante non è rigorosamente sinusoidale e quindi esistono anche altre componenti sebbene di entità inferiore.

L'analisi armonica dell'eccitazione cardanica riportata all'ordine 2 Preso come 100.

Ord. 1 = 2,54%	Ord. 5 = 0,44%	Ord. 9 = 1,23%
» 2 = 100%	» 6 = 0,79%	» 10 = 2,28%
» 3 = 0,37%	» 7 = 0,99%	» 11 = 2,14%
» 4 = 2,34%	» 8 = 1,83%	» 12 = 1,97%

Questo risultato collima molto bene con i valori calcolabili con il modello matematico (1) e giustifica anche la presenza degli ordini ricavati nelle prove del sistema dinamico eccitato dal giunto cardanico.



COLLAUDO DEL SINCROFILTRO A BORDO.

Con il conforto dell'ottimo risultato ottenuto in laboratorio si è voluto concludere la serie dei controlli con l'applicazione del Sincrofiltro in un caso tipico di rilevamento della risposta vibratoria torsionale di un apparato motore di un peschereccio.

Si è presentata l'occasione di dover eseguire, in base alle prescrizioni del Registro Italiano Navale, il controllo strumentale torsionale dell'apparato motore Ansaldo sul motopesca Luiciotta.

L'apparato motore di questa barca è raffigurato in Fig. 1. I calcoli hanno dato una previsione della 2ª frequenza di 4362 ~ /min. e tenendo conto che l'albero intermedio che è l'unica zona accessibile all'applicazione del ponte di misura estensimetrico e relativo collettore, ruota dai 250 a 400 giri/min. dovrebbero risultare evidenziali gli ordini 12,14 e 16 che per un motore a 4 tempi e 4 cilindri sono tutti ordini principali.

— Poiché quindi gli ordini da ricercare sono superiori al decimo, sono state disposte 20 barrette sull'albero intermedio (vedi Fig. 14) ed il trasduttore a variazione di riluttanza fornisce quindi 20 impulsi per ogni giro dell'albero intermedio.

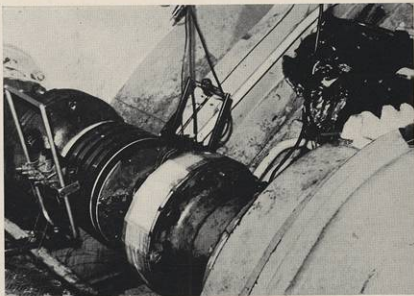


Fig. 14. - Sistemazione del ponte estensimetrico e relativo collettore a 4 piste nonché delle 20 barrette e relativo rivelatore magnetico sull'albero intermedio dell'apparato motore Ansaldo del M/p Luiciotta per la prima utilizzazione a bordo del «sincrofiltro».

— Tarato, come già detto nella descrizione delle prove di laboratorio, il sincrofiltro, e sistemato nel modo convenzionale il ponte estensimetrico e relativo collettore a quattro piste sono state eseguite le escursioni da 250 a 400 giri/min. evidenziando, vedi diagrammi allegati Fig. 15, gli ordini 12, 14 e 16 rispettivamente a 335 giri/min. 288 giri/min. e 251 giri/min. consentendo così la determinazione immediata della 2ª frequenza torsionale di 4020 ~ /min.

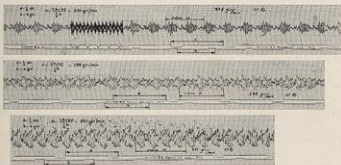


Fig. 15. - Tratti di vibrogrammi ottenuti con «sincrofiltro» a bordo del M/p Luicotta dai quali sono ben individuabili le risonanze degli ordini dall'alto in basso, 12, 14 e 16 rispettivamente a 335, 288 e 251 giri/min. Si noti il tipico andamento battimentale dovuto alla irregolarità ciclica del motore.

Il rilievo convenzionale ossia senza sincrofiltro sarebbe stato caratterizzato invece dalla presenza del solo ordine 4 a 283 giri/min. di 1ª frequenza.

L'uso di un filtro di banda centrato sulla frequenza di calcolo non avrebbe dato alcun risultato positivo, stante la non sufficiente rispondenza fra seconda frequenza calcolata e quella effettiva.

#### CONCLUSIONI.

L'obiettivo della ricerca è stato pertanto perfettamente raggiunto e si può quindi solo aggiungere che ovviamente anche altre soluzioni avrebbero potuto essere prospettate ma che quella prescelta e felicemente concretata ha anche il pregio di essere molto economica il che, dal punto di vista della utilizzazione, non è senza importanza.

Genova - Laboratorio Ricerche dell'Ansaldo Meccanica Nucleare S.p.A. - Novembre 1968.

Ricerca finanziata dal C.N.R. con contratto N. 115/52/74.

BIBLIOGRAFIA

- (1) W. KER WILSON, Practical solution of torsional vibration problems, I e II vol., Chapman & Hall, Ltd., London (1956).
- (2) HARRIS e CREDE, Shock and Vibration Handbook, II vol., Mc. Graw Hill (1961).
- (3) L. VAERLE, Cas d'impossibilité de relevé instrumental des vibrations torsionnelles dangereuses Agi del Convegno Cimac 1951, Parigi.
- (4) H. STEINBENNER e E. MÜLLER, Verfahren zur Schwingungsanalyse nach Ordnungen M.T.Z., N. 27 (1966).
- (5) A. CAPOCACCIA, Meccanica applicata alla Macchina, vol. II, ed. Di Stefano.