

# FIAT STABILIMENTO GRANDI MOTORI

N. 2

BOLLETTINO TECNICO

ANNO 1952



APPARECCHIATURE ELETTRONICHE IN USO NELLA NOSTRA SALA PROVE.

52.176

Molti fra i fenomeni rapidamente variabili che caratterizzano il funzionamento di un motore alternativo e che erano, fino a pochi anni fa, difficilmente rilevabili, sono oggi misurati con relativa facilità e notevole precisione da tutta una serie di apparecchi elettronici. La fotografia ne rappresenta tre gruppi di uso ormai corrente nella nostra Sala Prove, e cioè quelli per determinare (a sinistra) le ampiezze e le sollecitazioni torsionali, (al centro) le sollecitazioni meccaniche di detentati organi, (a destra) le pressioni dell'olio motore e dell'olio di lubrificazione.

# CENTRO

LA MISURA DELLE VIBRAZIONI DI SCAFO  
Contributo dei Laboratori della Fiat Stabilimento Grandi Motori nella  
determinazione dei relativi elementi caratteristici Dott. Ing. G. Villa

CAP. I - Particolarità introduttive . . . . . Pag. 33

CAP. II - Generalità sulle vibrazioni di scafo e sui relativi  
metodi di misura . . . . . 35

CAP. III - Gli strumenti elettronici per le vibrazioni di scafo  
nelle loro pratiche realizzazioni . . . . . 41

CAP. IV - Esempificazione dei risultati ottenuti . . . . . 59

# STORICO

# FIAT

## LA MISURA DELLE VIBRAZIONI DI SCAFO

CONTRIBUTO DEI LABORATORI DELLA FIAT STABILIMENTO GRANDI MOTORI  
NELLA DETERMINAZIONE DEI RELATIVI ELEMENTI CARATTERISTICI

Memoria presentata al Convegno congiunto:  
INA (Institution of Naval Architects) - ATENA (Associazione di Tecnica Navale)  
tenutosi a Genova nei giorni 25/9 - 2/10/1952.

### CAPITOLO I

## PARTICOLARITÀ INTRODUTTIVE

Rumori e vibrazioni sono disturbi comuni a tutti i nostri mezzi di trasporto, dal più antico carro, lento e massiccio, al più moderno e veloce aereo di linea.

L'unica eccezione a questa regola è stata forse la nave, finché la muoveva la volubile forza del vento: ancor oggi la vela è sinonimo di silente cammino.

Silente, ma periglioso e troppo indipendente dalla volontà dell'uomo tanto che questi, non appena ha potuto disporre di una fonte di energia meccanica sicura ed economica come la macchina a vapore, ha volentieri rinunciato alle vele, accettando anche sulle navi rumori e vibrazioni.

Lieve sacrificio del resto nei primi tempi della navigazione meccanica, perché l'intensità di tali disturbi era quasi trascurabile, data la tranquillità delle macchine e la robustezza degli scafi, e in ogni caso non certamente tale da peggiorare in modo sensibile il grado di conforto — quasi inesistente — offerto allora al passeggero.

Ma a poco a poco il passaggio delle costruzioni navali dal legno al ferro, il progressivo aumento delle loro dimensioni, la richiesta di sempre maggiori velocità e quindi di maggiori potenze, l'incremento nel numero e nella potenza degli ausiliari, la naturale tendenza ad alleggerire lo scafo e le macchine e a salire con le

velocità di rotazione — tutta la corsa al progresso insomma — hanno contribuito ad accrescere di continuo l'intensità dei rumori e delle vibrazioni.

D'altro canto le vibrazioni a bordo di una nave non solo devono essere mantenute entro certi limiti per non danneggiare le strutture e le macchine ma, insieme ai rumori e ad ogni altra causa di disturbo, devono essere ridotte al massimo per soddisfare le nostre esigenze e le nostre naturali aspirazioni verso più elevate condizioni di conforto e di abitabilità.

Questo risultato finale può tuttavia essere realizzato in misura notevole solo se si riesce ad agire contemporaneamente ed in profondità su tutte le fonti, sia di disturbo che di benessere, diminuendo le prime e migliorando le seconde, perché la nostra natura è tale che le sensazioni piacevoli e quelle sgradevoli vengono percepite complessivamente, fuse cioè in un unico insieme, nel quale finiscono di sparire le varie origini e nel quale le stesse intensità vengono apprezzate in modo affatto speciale.

La nostra vita quotidiana è piena di esempi relativi a questo nostro modo tanto strano di reagire all'ambiente esterno: in treno rumori e vibrazioni anche se di intensità notevole si mascherano a vicenda e noi, loro malgrado,

non ci sentiamo troppo disturbati e apprezziamo lo stesso una amichevole conversazione o la vista di un bel panorama.

In casa nostra al contrario proviamo un senso di insolenza solo se il ticchettio di un orologio o la leggera vibrazione di un vetro turbano la quiete ivi regnante. A bordo di una nave accettiamo persino con piacere il frastuono dei saloni in festa, ma ci lagnamo subito dopo se il fruscio dell'aria che esce dalla bocchetta di ventilazione è appena appena sensibile o se il nostro tavolino è scosso dalla più lieve vibrazione.

Si è voluto accennare a questa interdipendenza delle nostre percezioni sensorie non certo per trattarne in esteso, ma per sottolineare come il problema che ci interessa — cioè quello delle vibrazioni di una nave — non sia agli effetti del benessere del viaggiatore un problema a se stante, ma un problema collegato a molti altri, a lui paralleli e altrettanto importanti.

E difatti in pratica tali problemi sono stati affrontati insieme e notevoli progressi, su questa strada, si sono ottenuti proprio nel campo specifico delle navi, ove fra l'altro sono stati estesamente applicati tutti i più moderni e progrediti sistemi di conforto ambientali, quali il condizionamento dell'aria, la razionalità dell'illuminazione, la comodità di ogni accessorio e così via.

Anche per quanto riguarda i disturbi generati dai macchinari i risultati non sono stati inferiori: i rumori sono stati eliminati al loro stesso sorgere, finché è stato possibile, oppure sono stati assorbiti con efficaci accorgimenti. Dove ciò non è bastato se ne è ostacolata la trasmissione o se ne sono eliminati gli effetti nocivi.

Più difficile si presenta invece il problema di attenuare le vibrazioni, perché spesso, anche dal punto di vista teorico, non siamo in grado né di eliminare del tutto le cause che le eccitano, né di modificare così profondamente le caratteristiche elastiche degli scafi in vibrazione da spostarne le frequenze di risonanza fino a valori al di là del campo che ci interessa liberare, né infine di impedirne totalmente la trasmissione verso le zone che desidereremmo mantenere quiete.

Una differenza così sostanziale nei mezzi a nostra disposizione per ridurre i rumori e le altre fonti di disturbo da un lato e le vibrazioni dall'altro non solo rende ragione a priori delle maggiori difficoltà teoriche

del problema che stiamo per considerare, ma spiega anche il motivo per cui mentre sulle navi moderne una buona silenziosità è raggiungibile facilmente, non sempre è viceversa completa l'assenza di vibrazioni.

Giova anzi notare subito che la nave si trova, agli effetti vibratori, in una posizione particolarmente sfavorevole per i seguenti due motivi:

a) perché le azioni di smorzamento esterno ed interno sono per essa generalmente minori di quelle che si manifestano nelle usuali costruzioni edilizie e meccaniche. Infatti la nave non usufruisce di appoggi in grado di assorbire una grossa parte del lavoro dovuto agli spostamenti vibratori e perciò gli smorzamenti esterni sono piccoli. Altrettanto piccoli sono quelli interni giacché, data la relativa leggerezza delle sue strutture vive e morte, la nave rappresenta — specie in senso verticale — un sistema elastico con coefficiente di risonanza molto elevato. Bastano quindi delle forze eccitanti relativamente modeste per creare, in risonanza, delle vibrazioni di ampiezza notevole.

b) perché la nave, specie se di grandi dimensioni e con sovrastrutture molto sviluppate, è dal punto di vista della elasticità un solido quanto mai complesso e tale da presentare una numerosa schiera di modi naturali di vibrazione poco diversi fra di loro come forma e frequenza. Di conseguenza è quasi impossibile evitare che qualcuno di tali modi di vibrazione non entri in risonanza nelle normali condizioni di esercizio.

Tutte queste considerazioni accentuano l'importanza e le difficoltà del nostro problema, che noi affronteremo da un lato estremamente interessante: quello del rilievo delle vibrazioni a nave in esercizio.

Conoscere queste vibrazioni vuol dire non solo avere in mano gli elementi per potere, con i vari mezzi a disposizione, ridurle al minimo, ma vuol dire soprattutto creare le basi per l'ulteriore progresso degli studi teorici circa la previsione in sede di progetto dei fenomeni vibratorii di una nave e delle conseguenze ad essi relativi.

E' appunto a questo duplice e fondamentale obiettivo che abbiamo mirato nel nostro lavoro, del quale presentiamo qui una succinta rassegna e con il quale speriamo di aver portato un modesto contributo in un campo di indubbio interesse teorico e pratico.

## CAPITOLO II

GENERALITÀ SULLE VIBRAZIONI DI SCAFO  
E SUI RELATIVI METODI DI MISURA

Dopo le precedenti osservazioni introduttive e prima di prendere in esame direttamente l'esposizione dei vari tipi di strumenti elettronici sui quali dobbiamo riferire, ci pare utile fare alcune considerazioni di carattere generale e teorico, anche se esse sono a tutti note, non fosse altro che per richiamarle alla memoria nella forma che qui ci torna più comoda.

1) *La misura dei fenomeni dinamici.*

La misura dei fenomeni non statici, come è quella delle vibrazioni, ha attirato l'attenzione di molti sperimentatori fin dai primi tempi nei quali la tecnica si è trovata dinnanzi a questo problema e, come è logico, le prime soluzioni escogitate sono state ricavate dai già esistenti metodi per le misure statiche: essi risultavano allora sufficienti ed ancora oggi tante volte possono tornare utili.

Ne può essere un esempio il comparatore centesimale usato come misuratore delle ampiezze massime di vibrazione: si tratta di uno strumento puramente statico e costruito per misure statiche, ma, quando le vibrazioni sono molto lente, esso può egregiamente servire.

Tutti però possono comprendere che simili sistemi in molti anzi moltissimi altri casi non possono venire usati e che quindi è stato necessario studiarne e costruirne dei nuovi specialmente adatti allo scopo voluto. La meccanica di precisione e l'ottica sono allora intervenute per fornire apparecchi di misura con i quali per molti anni hanno lavorato valenti sperimentatori e coi quali oggi ancora si possono ottenere soddisfacenti risultati nei campi di misura per cui essi sono stati costruiti.

La tecnica attuale ha però esigenze superiori alle possibilità di questi metodi perchè pretende maggior precisione, maggior sensibilità, più vasto campo di misura riguardo alla frequenza del fenomeno ed infine, come è giusto, anche maggiori comodità, quali ad esempio possibilità di rilievi contemporanei in più punti, facilità di registrazione ecc.

In queste condizioni lo sperimentatore non poteva che chiedere l'aiuto dell'elettrotecnica e dell'elettronica per costruire con esse quanto a lui occorreva.

Sono sorti in tal modo vari gruppi di strumenti più o meno complessi i quali si differenziano per gli artifici usati e per le loro caratteristiche di volta in volta indirizzate a particolari tipi di misure. Di essi, per quanto riguarda la misura delle vibrazioni di scafo che qui ci interessano, faremo una rapida rassegna soffermandoci su quelli ai quali in Italia è stata dedicata maggiore attenzione.

2) *Che cosa intendiamo per vibrazioni di scafo.*

Precisare quali sono le vibrazioni che noi vogliamo misurare potrebbe forse sembrare una inutile disquisizione, ma di esse potremmo trovare varietà così differenti da costringerci a ritornare sul nostro ragionamento ed a giustificare una loro, anche se grossolana, definizione.

Se vogliamo stare nello stretto significato della parola quale almeno l'uso comune la intende, non possiamo trovare altra risposta che:

« per vibrazioni di scafo intendiamo quelle vibrazioni che interessano la parte resistente vera e propria della nave e intesa come unico sistema oscillatorio dotato di masse ed elasticità e nel quale si possono riscontrare vari modi naturali di vibrazione a frequenze ben definite ».

Un matematico però ed un teorico potrebbero sorridere del modo col quale noi pratici interpretiamo questa definizione; egli infatti ci farebbe subito osservare che, se un tale sistema oscillatorio noi lo supponessimo composto da un numero molto grande di masse ed elasticità quali effettivamente sono, potremmo trovare un altrettanto grande numero di modi naturali di vibrazione, la maggior parte dei quali sarebbero estranei alla nostra definizione perchè ai nostri occhi interesserebbero soltanto parti limitate o ristrette della nave, (Paglioli, ponti, sovrastrutture) che noi implicitamente abbiamo escluso.

Che cosa dobbiamo quindi rispondere? O meglio ancora che cosa risponde la pratica comune a queste osservazioni di carattere molto generale ed anche, potremmo dirlo, sin troppo preciso?

La cosa non è invero tanto semplice perchè di volta in volta le nostre precisazioni, pur mantenendosi nei limiti della pratica, potrebbero risultare inesatte, per cui tenendo conto di ciò la risposta potrebbe essere:

« Teniamo sempre come valida l'interpretazione o la definizione data in precedenza precisando, tutt'al più, che essa intendeva limitare il suo valore ai « primi modi » naturali di vibrazione del sistema oscillatorio considerato ».

Qui però siamo stati un'altra volta poco precisi perchè non abbiamo stabilito quanti sono questi « primi modi di vibrazione naturale »; ma non ci è stato possibile fare altrimenti perchè non lo sappiamo.

Dobbiamo limitarci al 3° oppure arrivare al 10° modo oppure ancora al 100° modo? Non lo possiamo precisare, ma per esclusione, in base a quanto è stato fatto, possiamo dire che mentre la letteratura tecnica cita sovente il 3° e il 4° modo di vibrazione, quasi certamente mai ha parlato del 10° e di quelli superiori che sono al di fuori dei normali campi di indagine.

Ne tragga quindi il lettore le conclusioni che sono più logiche, ma tenga presente che contraddicendo ciò che proprio ora abbiamo detto, noi non dobbiamo trascurare i modi di vibrazione elevati di questo nostro sistema elastico e specialmente quelli che hanno una configurazione tale per cui solo una parte piccola o relativamente piccola dello scafo è « visibilmente » interessata. Sono questi i casi di quelle vibrazioni già in precedenza citate di ponti, di sovrastrutture ecc. le quali in via teorica non possono essere studiate disgiunte dal rimanente della nave, ma per le quali la pratica fa una trattazione ed uno studio a parte, come se il resto della nave non esistesse o potesse essere considerato dotato di massa e rigidità infinite.

Non ci rimane quindi che concludere che indirizzeremo il nostro studio delle vibrazioni di scafo tenendo presenti sia quelle dei primi modi di vibrazione, per le quali è interessata tutta la nave contemporaneamente, sia quelle così dette locali e che a « prima vista » parrebbero completamente disgiunte dal resto della nave.

### 3) Come si può misurare una vibrazione su di una nave.

Alla domanda di come si può misurare una vibrazione per dare una risposta esauriente sarebbe necessaria una trattazione che qui non risulterebbe giustificata, tuttavia crediamo che con brevi parole ci sia possibile richiamare quei concetti che saranno la base di quanto più avanti diremo, rimandando chi volesse avere maggiori particolari alle pubblicazioni specializzate che al riguardo sono più che abbondanti [1] [2] [3] \*.

(\*) I numeri fra [ ] si riferiscono alla bibliografia riportata nell'ultima pagina del Bollettino.

Innanzitutto preciseremo alcune caratteristiche dei sistemi elastici che stiamo studiando, non esistendo le quali tutte le nostre misure cadrebbero.

— Intendiamo che per quanto a noi interessa sia sempre valida ogni legge di linearità ed in modo particolare quella di Hooke tra sforzi e deformazioni.

— Intendiamo pure sempre valido il principio di sovrapposizione degli effetti e quindi naturalmente anche sempre validi gli sviluppi in serie di Fourier con tutte le conseguenze che essi portano.

Di una vibrazione complessa perciò si potranno separatamente prendere in considerazione le armoniche componenti e per una qualsiasi di esse genericamente rappresentarne lo spostamento con la:

$$\text{Spostamento} \quad a = A \sin(2\pi ft) \quad (1)$$

supponendo che:

$a$  sia il valore istantaneo dello spostamento dovuto alla vibrazione

$A$  la relativa ampiezza

$f$  la frequenza

$t$  il tempo

Per la semplicità si è trascurato l'angolo di fase supponendo  $a = 0$  per  $t = 0$ .

Derivando una 1° ed una 2° volta si ricava:

$$\text{Velocità} \quad \frac{da}{dt} = (2\pi f A) \cos(2\pi ft) \quad (2)$$

$$\text{Accelerazione} \quad \frac{d^2a}{dt^2} = -(2\pi f)^2 A \sin(2\pi ft) \quad (3)$$

sono semplici espressioni nelle quali compaiono le seguenti grandezze fondamentali:

lo spostamento	$a$
la sua velocità	$\frac{da}{dt}$
la sua accelerazione	$\frac{d^2a}{dt^2}$
l'ampiezza	$A$
la frequenza	$f$

Non tutte queste grandezze sono indipendenti, ma note alcune di esse si ricavano le altre, perciò possiamo domandarci: per conoscere tutto di una vibrazione quali grandezze dobbiamo misurare?

La risposta più semplice è la seguente:

$$A \text{ ed } f$$

perchè note esse ricaveremmo immediatamente lo spostamento e le sue derivate (velocità ed accelerazione) qualora ci interessassero.

Molte volte fare ciò è possibile, ma tante altre volte purtroppo no, per cui è necessario ricorrere a differenti misure quali possono risultare dalle varie combinazioni delle grandezze precedenti.

a) *Caso di una vibrazione armonica semplice.*

Generalmente nel caso di una vibrazione armonica semplice si eseguisce una delle seguenti misure:

- a) misurare  $A$  e la frequenza  $f$  come qui sopra abbiamo detto  
 b) misurare l'ampiezza della velocità  $(2\pi f)A$   
 c) o dell'accelerazione  $(2\pi f)^2 A$  e la frequenza  $f$   
 d) rilevare il diagramma dello spostamento  $a$  in funzione del tempo e da esso ricavare  $A$  come valore di cresta ed  $f$  come numero delle oscillazioni contenute nell'unità di tempo.

- e) rilevare analogamente il diagramma delle velocità e  
 f) delle accelerazioni istantanee  $(\frac{da}{dt} \text{ e } \frac{d^2a}{dt^2})$  in funzione del tempo.

In molti casi però non è necessario conoscere tutte le particolarità di una vibrazione ma è al contrario sufficiente solo conoscerne lo spostamento o la velocità o l'accelerazione massima; si eseguono allora misure di tipo ridotto con sistemi più semplici come a suo tempo vedremo.

b) *Caso di una vibrazione composta.*

Quando una vibrazione è composta da 2 o più armoniche semplici le cose si complicano un po' perché oltre alle grandezze citate nel paragrafo precedente, sovente occorre conoscere anche la fase relativa tra un'armonica e l'altra, o meglio ancora la fase di ciascuna armonica componente rispetto ad un evento ben determinato nel periodo del fenomeno complessivo.

Le misure perciò che si eseguono sono:

- a) misure di  $A$  e di  $f$  per ciascuna armonica con strumenti del tipo selettivo, che cioè sappiano selezionare un'armonica dall'altra (in questo caso non si cerca quasi mai la fase relativa)  
 b) misurare analogamente la velocità e l'accelerazione,  
 c) oltreché la frequenza  $f$  (casi questi molto più rari)  
 d) rilievo del diagramma, in funzione del tempo, dello spostamento totale della vibrazione:

$$a = \sum_{x=1}^{x=n} A_x \sin [(2\pi x f t) + \varphi_x] \quad (4)$$

per eseguire poi, se è il caso, la scomposizione armonica onde ricavare per ciascuna componente i parametri caratteristici:  $A_x$ ,  $x f$ ,  $\varphi_x$ .

- e) (molto più raramente) rilievo del diagramma come per il punto d) della velocità e della accelerazione complessiva della vibrazione.

Questo della vibrazione composta è il caso più frequente nel quale si viene di solito a trovare lo sperimentatore, per cui ad esso si deve dare maggior importanza tenendo presente che le misure che in questi casi più solitamente si fanno sono quelle dei punti a) e d) perché da esse si possono ricavare tutte le deduzioni che più interessano.

In particolare il diagramma che forniscono le prove d) può essere con comodità esaminato a rilievo ultimato ed elaborato a piacimento con la precisione e l'indirizzo voluti, rendendo così più comoda ed anche più controllabile la misura eseguita.

1) *Frequenze ed ampiezze comuni nelle vibrazioni di scafo.*

A titolo informativo e per definire, anche solo « grosso modo », il campo nel quale dovranno lavorare i nostri apparecchi di misura ci conviene precisare anche i valori più comuni di queste grandezze:

le frequenze che si riscontrano nelle vibrazioni di scafo sono generalmente comprese fra:

$$50 \text{ e } 200 \div 400 \text{ per/min}$$

e cioè

$$1 \text{ e } 4 \div 7 \text{ per/s}$$

le ampiezze possono a loro volta essere comprese fra:

$$0,1 \text{ e } 10 \div 20 \text{ mm}$$

intendendo come ampiezza sempre il valore di  $A$  il quale compare nell'equazione (1) prima scritta.

Le vibrazioni invece di *solo parti ristrette* dello scafo, quelle che abbiamo inteso citare nel precedente paragrafo 2) hanno generalmente frequenze più elevate, fra:

$$200 \text{ e } 20 \div 30 \text{ mila per/min}$$

e cioè

$$4 \text{ e } 400 \div 500 \text{ per/s}$$

Le loro ampiezze sono molto più piccole delle precedenti, come d'altra parte è logico, data la loro elevata frequenza e si mantengono in media fra:

$$\frac{1}{1000} \text{ e } 1 \text{ mm}$$

naturalmente tutti questi valori sono puramente indicativi e vanno interpretati col criterio che la sensibilità umana è, a parità di ampiezza, all'incirca proporzionale al quadrato della frequenza della vibrazione.

### 5) Misura dello spostamento.

Come abbiamo visto la prima delle grandezze che dobbiamo misurare per conoscere una vibrazione è lo spostamento  $a$  o la sua ampiezza  $A$ . Come in ogni altro campo della tecnica anche nel nostro la misura di un moto può essere fatta solo con riferimento a punti che debbano ritenersi fissi e costanti; ma per noi ciò è veramente impossibile per cui sarà necessario ricorrere a qualche artificio che permetta di creare, almeno per quanto ci interessa, artificialmente questi punti fissi.

La dinamica è generosa in questo e ci offre anche maggiori comodità di misura di quanto non avessimo noi in precedenza potuto supporre.

Se infatti prendiamo in considerazione una massa sospesa ad un elemento elastico: una molla ad esempio (vedi Fig. 1) ed assoggettiamo il giogo che la sostiene ad un movimento vibratorio nella direzione dell'asse della molla stessa, si può calcolare che il moto relativo  $s$  tra

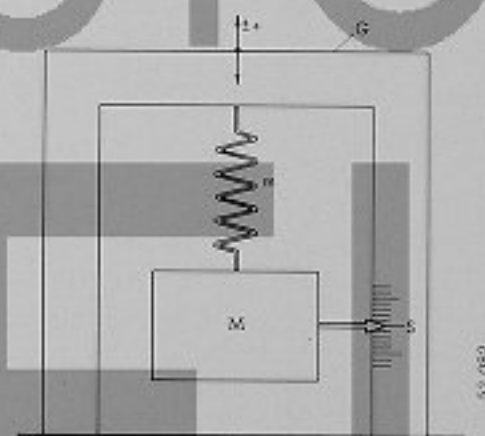


Fig. 1 - Rilevatore di spostamento a massa sismica.

La massa  $M$ , entro un certo campo di frequenza, si comporta da massa sismica e fa sì che il suo moto relativo  $s$  rispetto al giogo, risulta eguale allo spostamento  $a$  della vibrazione.

la massa  $M$  ed il giogo può essere espresso, quando  $a$  sia eguale all'unità, dalla

$$s = \frac{(f/f_0)^2}{\sqrt{[(f/f_0)^2 - 1]^2 + \beta^2 (f/f_0)^2}} \quad (4)$$

dove:

- $f$  è la frequenza delle vibrazioni impressa al giogo
- $f_0$  la frequenza naturale della massa  $M$  sospesa alla molla
- $\beta$  un coefficiente che tiene conto dello smorzamento che inevitabilmente si trova nella vibrazione della massa.

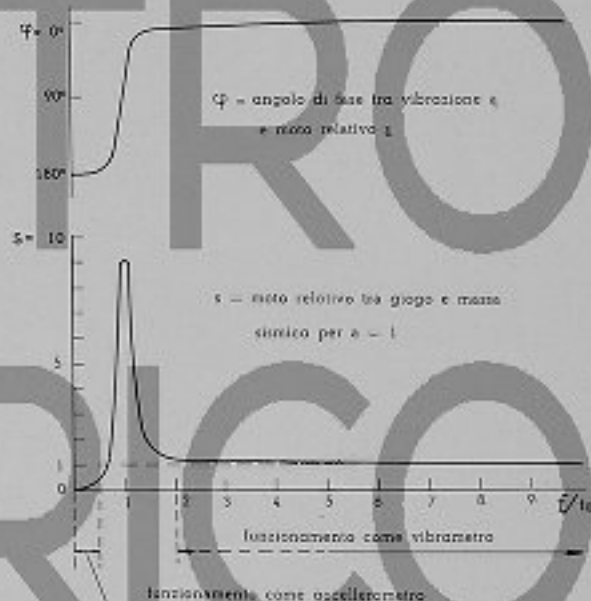


Fig. 2 - Moto relativo fra massa e giogo e rispettivo angolo di fase.

Il moto relativo fra la massa e il giogo risulta:

- eguale allo spostamento  $a$  della vibrazione del giogo per  $f$ , piuttosto grande (funzionamento come sismometro);
- più grande di  $a$  per  $f$ , poco discosto da  $f_0$ ;
- moto più grande ancora per  $f$ ,  $= f_0$  (risonanza);
- tendente a 0 per  $f$ , tendente a 0 (accelerometro).

Per meglio discutere il significato di questa espressione torna utile riportarla su di un diagramma cartesiano con ordinate  $s$  ed ascisse il rapporto  $f/f_0$  (Fig. 2).

Un simile diagramma può essere diviso in tre campi principali ed in un punto singolarmente interessante:

- 1)  $f$  molto più grande di  $f_0$  — moto relativo  $s$  — allo spostamento  $a$
- 2)  $f$  all'incirca eguale ad  $f_0$  — moto relativo  $s$  molto più grande di  $a$
- 3)  $f = ad f_0$  (punto singolare - condizioni di risonanza) moto relativo  $s$  infinitamente grande se non intervenisse lo smorzamento a limitarlo
- 4)  $f$  molto più piccolo di  $f_0$  — moto relativo  $s$  praticamente nullo



Risulta quindi evidente che se noi ci mettiamo nelle condizioni del punto 1) ( $f$  molto maggiore di  $f_0$ ) misurando il moto relativo  $s$  avremmo senz'altro la misura del valore  $a$  della vibrazione.

Le altre condizioni — punti 2) 3) 4) — per quanto qui ora ci interessa, devono essere evitate; di esse parleremo semmai nei capitoli seguenti.

Il punto fisso che ci mancava l'abbiamo così dinamicamente creato noi, sospendendo la massa alla molla e lavorando in campi di frequenze di vibrazione nei quali la sua inerzia sia enormemente più grande delle forze che ad essa applica la molla per effetto del moto relativo  $s$ .

Su questo principio molto semplice si basa la totalità dei rivelatori di vibrazione per i quali si dovrà ritenere come caratteristica e proprietà principale la frequenza  $f_0$  o « frequenza propria » come usualmente viene chiamata.

In pratica simili rivelatori di vibrazione possono venire usati come lineari per frequenze minime sino a  $4 \div 5 f_0$  ed in casi particolari anche sino a  $2 \div 3 f_0$ , purché si tenga conto di opportuni fattori correttivi.

Costruire rivelatori di vibrazioni con frequenze naturali relativamente alte è cosa piuttosto semplice ( $f_0 > 10$  per/s) la cosa diventa invece molto più difficile quando, come è necessario nel caso nostro,  $f_0$  deve essere anche inferiore ad 1 per/s.

Queste difficoltà molte volte sono tali da scoraggiare lo sperimentatore e da invitarlo a misurare l'accelerazione della vibrazione piuttosto che la sua ampiezza per ottenere poi questa per mezzo di due successive integrazioni [4].

#### 6) Misura della velocità della vibrazione.

Con sistemi meccanici semplici non è possibile rilevare direttamente la velocità di una vibrazione, per cui quando è necessario fare ciò la si ottiene dallo spostamento, captato come detto nel paragrafo precedente, generalmente derivandolo dopo averlo trasformato per comodità in una corrispondente grandezza elettrica.

Alcune volte però la velocità della vibrazione è una grandezza che viene data dai nostri apparecchi anche contro la nostra volontà perché essa rappresenta l'uscita del rivelatore elettrico usato per misurare lo spostamento (rivelatori di tipo elettromagnetico) i quali come è noto derivano direttamente la grandezza che li comanda (Fig. 3).

#### 7) Misura dell'accelerazione della vibrazione.

La misura diretta dell'accelerazione della vibrazione è di uso molto frequente specialmente perché sovente i rivelatori risultano molto semplici e facili da costruire. Vediamo ad esempio la fig. 4, che rappresenta schema-

ticamente un accelerometro a quarzo piezoelettrico; in esso la massa  $M$  è incollata sul quarzo  $Q$  il quale a sua volta è incollato sul giogo  $G$ . Se a questo applichiamo un movimento oscillatorio nel senso perpendico-

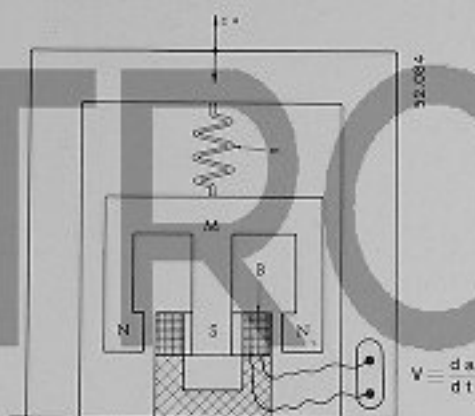


Fig. 3 - Rivelatore elettromagnetico di spostamento.

Si comporta come quello di fig. 1 e fornisce al seg. della bobina  $B$  una f. e. m. proporzionale alla velocità dello spostamento; per avere il quale occorre perciò integrare questa f. e. m.

lare al piano del quarzo si può facilmente constatare come la massa  $M$ , data la rigidità di questo ultimo, venga trascinata in vibrazione esattamente come il giogo e che

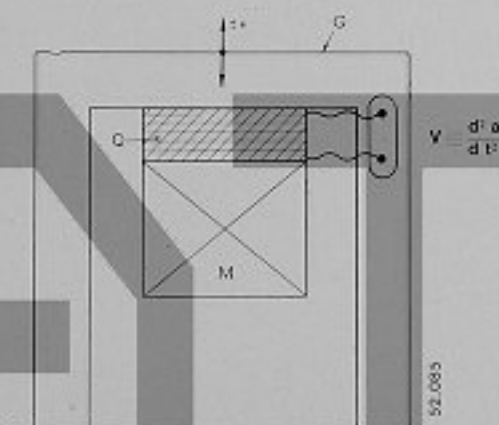


Fig. 4 - Accelerometro a quarzo.

Sulle facce del quarzo  $Q$  si rischiano forze elettromotriche proporzionali all'accelerazione della vibrazione.

per effetto di tale movimento essa applichi al quarzo forze proporzionali alla sua accelerazione.

Sulle due facce del quarzo verranno perciò a crearsi cariche elettriche a tali accelerazioni esattamente corrispondenti.

Un accelerometro però può essere costruito anche senza l'aiuto dell'elettrotecnica, è infatti sufficiente (fig. 5) che una massa  $M$  sia sospesa ad una lamina elastica  $L$  perchè le oscillazioni di questa massa e quindi le sollecitazioni della lamina siano proporzionali alle accelerazioni del giogo  $G$ , purchè la  $f_0$  del sistema sia molto maggiore di quella dell'accelerazione da misurare. Le cose esposte così semplicemente in pratica subiscono molte

superiore e che molti artifici meccanici ed elettrici si prestano facilmente allo scopo.

La risonanza di organi meccanici può servire egregiamente al nostro caso. È molto facile infatti accertare quando una data vibrazione è in risonanza con la frequenza propria di un qualsiasi sistema oscillatorio, perchè, se lo smorzamento non è eccessivo, in queste condizioni le ampiezze su tale sistema raggiungono un valore massimo.

Se perciò disponiamo di una serie di questi organi i quali abbiano frequenze naturali diverse ed a noi note, la frequenza del fenomeno potrà essere misurata osservando quello dei vibratori che oscilla con maggiore ampiezza. È questo il caso comune dei frequenzimetri a lamelle in uso nell'elettrotecnica per la misura sulle correnti alternate industriali.

Il fenomeno può anche essere visto in altro modo per cui, usufruendo di un solo vibratore, se ne può far variare la frequenza propria in modo noto e ben definito e così misurare quella della vibrazione che ci interessa; è questo il caso dei vibrometri a filo ed a lamina, ad esempio, nei quali la frequenza di risonanza viene variata variandone la tensione o la lunghezza.

Il sistema risonante però può anche non essere meccanico ma unicamente elettrico ed allora con artifici più o meno complicati si fa la misura unicamente su grandezze elettriche (resistenze, capacità, induttanze), per cui una volta trasformata la vibrazione in una tensione elettrica è facile misurarne la frequenza con circuiti ad accordo variabile preventivamente tarati.

In questi ultimi tempi si è anche aggiunto un sistema che ha preso una certa diffusione data la semplicità del suo uso; è quello di contare una per una le oscillazioni che vengono compiute nell'unità di tempo. In passato ciò sarebbe stato impossibile specialmente per le vibrazioni molto veloci, ma oggi siccome si dispone di contatori elettrici ed elettronici, molto precisi (quelli che derivano dagli apparecchi in uso per contare le radiazioni dei materiali radioattivi) la cosa diventa relativamente semplice [6].

Nel campo però delle vibrazioni di scalo la misura della frequenza è, per la maggior parte dei casi, eseguita contemporaneamente a quelle delle ampiezze di vibrazione, registrandone il diagramma e contando poi su di esso, a prove ultimate, il numero delle oscillazioni nell'unità di tempo.

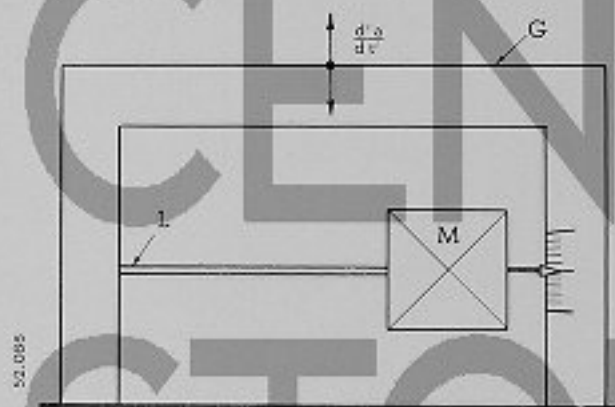


Fig. 5 - Accelerometro a molla di flessione.

La massa  $M$  subisce spostamenti proporzionali all'accelerazione del giogo purchè la sua  $f_0$  sia molto maggiore di quella dell'accelerazione.

variazioni ed adattamenti, ma in ogni caso sono dominate da precise relazioni teoriche, le quali derivano tutte dall'equazione (3) e dai diagrammi di fig. 2, i quali ci fanno sapere che, perchè un sistema del tipo di quello allora studiato misuri le accelerazioni, occorre che la sua « frequenza propria »  $f_0$  sia molto più grande di quella massima componente il fenomeno da misurare.

Contrariamente al vibrometro che deve lavorare tutto al di sopra di  $f_0$  l'accelerometro lavora tutto al di sotto di questo parametro caratteristico.

### B) Misura delle frequenze di vibrazione.

I metodi usati per la misura delle frequenze delle vibrazioni meccaniche sono basati su principi di natura molto più disparata di quanto non sia per lo spostamento e l'accelerazione; ciò principalmente è dovuto al fatto che non ve n'è fra di essi uno che agli altri sia chiaramente

## CAPITOLO III

GLI STRUMENTI ELETTRONICI PER LE VIBRAZIONI  
DI SCAFO NELLE LORO PRATICHE REALIZZAZIONI1) *Strumenti meccanici e strumenti elettronici.*

Dopo l'esposizione introduttiva del capitolo I e dopo la discussione dei metodi di misura del precedente capitolo II, ci conviene ora **abbordare** direttamente l'argomento interessante la nostra relazione per portarla così alla conclusione, descrivendo come queste cose siano state effettivamente realizzate.

Come abbiamo già promesso, non faremo cenno degli strumenti meccanici, estranei a quanto qui dobbiamo dire, anche se essi, specialmente in alcune particolari costruzioni (Geiger, Cambridge, Askania, ad esempio), abbiano raggiunto così elevati gradi di efficienza da farli tenere ancora oggi in ottima considerazione [7] [8] [9].

Gli apparecchi meccanici offrono molte comodità: facilità di uso e semplicità di costruzione oltre che costo relativamente ridotto, mancano però di tante cose che devono ritenersi assolutamente indispensabili.

- Manca una buona amplificazione non solo nel campo medio ma soprattutto in quello delle più basse e delle più alte frequenze
- Manca facilità di lettura e di registrazione
- Manca infine la possibilità di registrare contemporaneamente e sulla stessa zona di carta vibrazioni di più punti di uno stesso sistema anche se molto lontani l'uno dall'altro.

Gli elettrotecnici e gli elettronici non hanno trovato ostacoli davanti a queste cose (ne fanno fede numerose pubblicazioni al riguardo [10], [11], [12] ad esempio), ed hanno potuto facilmente realizzarle anche se all'inizio, come in ogni nuova cosa umana, essi hanno trovato difficoltà e qualche volta incomprensione. Oggi però (possiamo dirlo con sicurezza e crediamo qui utile sin da ora farlo presente), gli apparecchi che descriveremo, per quanto riguarda l'uso che ne viene fatto alla FIAT Grandi Motori, sono stati realizzati ed organizzati in modo tale da permettere rapide e precise misure con tempi di preparazione veramente esigui e tali soprattutto da non richiedere che la nave venga particolarmente impegnata per la loro esecuzione.

Sono infatti sufficienti i normali intervalli di tempo fra una prova e l'altra di macchina di una stessa uscita in mare per eseguire, con le varie apparecchiature multiple

che verranno più avanti descritte, completi ed esaurienti rilievi su uno scafo.

Parte I. - COMPLESSO DI MISURE SINGOLE  
CON RIVELATORE A QUARZO2) *Descrizione generale.*

Questo complesso di misura, composto degli apparecchi che più avanti verranno citati e descritti, è stato così raggruppato allo scopo di poter misurare e registrare la vibrazione di un solo punto dello scafo anche se relativamente lontano (10 - 15 m) dal registratore.

Con il rivelatore a quarzo si rilevano le accelerazioni della vibrazione, le quali poi con semplice o doppia integrazione vengono trasformate nella velocità o nello spostamento; esso può essere sistemato in qualsiasi posizione senza speciali adattamenti onde poter misurare la vibrazione nella direzione voluta, essendo essa semplicemente determinata dalla perpendicolare alle facce maggiori del quarzo.

Si può così ottenere un complesso di caratteristiche veramente universali, di facilissimo trasporto, perché è molto leggero, e pure di facile adattamento, dato che nella totalità dei suoi componenti è alimentato da batterie incorporate.

Per di più questi componenti possono essere usati anche non tutti insieme, perché ciascuno di essi è praticamente fine a se stesso e permette, in determinati settori, misure complete, come ad esempio è dimostrato nel seguente prospetto:

- a) misurare il « valore quadratico medio » dell'accelerazione, della velocità o dello spostamento (solo apparecchio seguente punto d)
- b) in più, misurare la frequenza delle armoniche componenti la vibrazione (apparecchi seguenti punti d - e)
- c) infine, anche registrare su zona di carta le tre grandezze del punto a) e cioè l'accelerazione, la velocità e lo spostamento della vibrazione (apparecchi punti d - f - g)

I singoli componenti sono:

- d) il rivelatore di vibrazioni a quarzo piezoelettrico e relativi circuiti amplificatori (vibration meter tipo 761 A della General Radio Co. di Cambridge U.S.A.)

- e) l'analizzatore di vibrazioni per determinare lo spettro delle frequenze componenti (vibration analyzer tipo 762 B sempre della General Radio)
- f) l'amplificatore per correnti alternate tipo ReB I di costruzione FIAT Grandi Motori, alimentato a batterie di pile incorporate
- g) l'oscillografo registratore a penna scrivente, pure di costruzione FIAT Grandi Motori tipo OBM I con « Penn Motor » della Ditta Brush di Cleveland U.S.A.

Di questi strumenti daremo qui di seguito una breve descrizione riportando infine i risultati che essi permettono di raggiungere.

### 3) Rivelatore di vibrazione a quarzo General Radio 761 A.

Come abbiamo detto il rivelatore della vibrazione usato in questo strumento è un quarzo piezoelettrico disposto all'incirca secondo quanto era già stato indicato in fig. 4: esso è racchiuso in una scatola metallica stagna ed è provvisto di attacchi e puntali di varia forma (vedi anche fig. 6) i quali inoltre possono di volta in volta essere adattati alla misura che si deve fare per disporre il rivelatore con le sue facce maggiori perpendicolari alla direzione della vibrazione che si vuol misurare.

Un cavo schermato collega il quarzo all'amplificatore, il quale con le batterie di alimentazione è tutto compreso

57.007

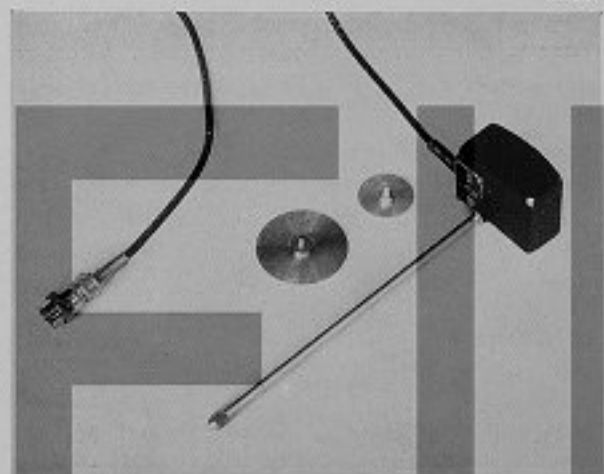


Fig. 6 - Rivelatore di vibrazioni G.R. a quarzo.

Il quarzo piezoelettrico è contenuto nella scatola stagna di destra, dai possono collegarsi puntali e sostegni di varia forma.

in una elegante cassetta di legno che raccoglie anche il rivelatore (fig. 7).

L'amplificatore, il cui schema è riportato in fig. 8, è provvisto di 4 tubi elettronici, nei circuiti di accoppia-

mento dei quali sono disposte le due reti integrazione, di cui una viene inserita quando si vuole ottenere la velocità della vibrazione, mentre la seconda si aggiunge ad essa, quando da questa velocità si vuole ottenere lo spostamento.

52.000



Fig. 7 - Misuratore di vibrazioni G.R. 761 A.

L'uscita del rivelatore di fig. 6 è introdotta in questo apparecchio, che, dopo aver amplificato ed elaborata la vibrazione, ne sogna l'ampiezza sullo strumento indicatore in alto a destra. A sinistra in alto è l'attenuatore tarato. Al centro in alto è il cavo di collegamento al rivelatore. A sinistra in basso è la fila dei pulsanti di costruzione per misurare l'accelerazione, la velocità e lo spostamento.

L'uscita dell'amplificatore è inviata ad un galvanometro indicatore con scala graduata tra 16 e 110 unità di misura e sulla quale si può leggere direttamente l'ampiezza della vibrazione (in termini di accelerazione, velocità o spostamento) nel suo valore quadratico medio (\*). Inoltre questa uscita può anche essere utilizzata per altri scopi come più avanti spiegheremo.

Per ottenere infine vari campi di sensibilità, l'amplificatore è provvisto di un attenuatore con rapporto di attenuazione da 1 a 30000 volte, regolabile in 10 intervalli.

Questo strumento, che è di ideazione e costruzione molto ingegnosa, è descritto in due importanti pubbli-

(\*) Il valore quadratico medio corrisponde alle seguenti espressioni:

$$\text{Per lo spostamento} = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{x=1}^{x=n} A_x^2}$$

$$\text{Per la velocità} = (2\pi f) \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{x=1}^{x=n} x^2 A_x^2}$$

$$\text{Per l'accelerazione} = (2\pi f)^2 \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{x=1}^{x=n} x^4 A_x^2}$$

quando per le notazioni si faccia riferimento alla (4) del paragrafo 3b, capitolo II.

cazioni citate con i n. [13] e [14] nella bibliografia allegata e, mentre dal lato costruttivo non stiamo qui a descriverlo, perché crediamo sufficienti sia le didascalie della fig. 7 quanto la bibliografia ora citata, ne riportiamo invece qui di seguito i dati numerici principali (vedi anche [15]):

nando di ciascuna sua componente, purché compresa nel campo tra 2,5 e 750 per/s (150 e 45.000 per/min), il valore della frequenza e dell'ampiezza.

L'apparecchio che gode di queste proprietà è l'analizzatore di vibrazioni costruito dalla General Radio e

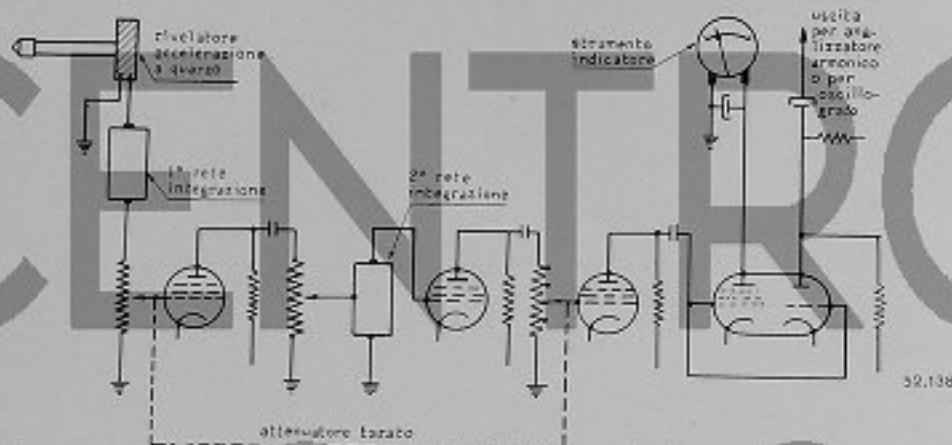


Fig. 8 - Schema misuratore di vibrazioni G.R. 761 A.

Si notino le due reti di integrazione disposte all'ingresso della 1ª e 2ª della sfilata, l'attenuatore tarato e lo spostamento indicatore alla uscita dell'ultimo tubo elettronico.

ampiezze minime e massima misurabili

<i>Spostamento</i>	da $16 \cdot 10^{-6}$ a	30 pollici
<i>Velocità</i>	da $160 \cdot 10^{-6}$ a	300 pollici/s
<i>Accelerazione</i>	da $160 \cdot 10^{-3}$ a	3900 pollici/s <sup>2</sup>

frequenze limite

<i>Per le scale normali</i>	min. 10	max 500	per/s
	e cioè	600	30000 per/min

<i>Per le scale con sensibilità ridotta</i>	a 1/10		
	min. 2	max 500	per/s
	e cioè	120	30000 per/min

Nelle fig. 9 e 10 sono riportate le curve caratteristiche di risposta dello strumento in questi campi di misura per le tre grandezze che esso può rilevare.

Riassumendo quindi possiamo dire che l'apparecchio ora descritto permette di per sé solo, senza l'ausilio di altri strumenti cioè, la misura del valore quadratico medio della accelerazione, della velocità e dello spostamento di una vibrazione, sia essa armonica semplice che composta.

#### 4) Analizzatore di vibrazioni della General Radio 762 B.

La vibrazione rilevata con l'apparecchio precedente può essere prelevata sotto forma di tensione elettrica all'uscita del suo amplificatore ed inviata in un secondo strumento che ne può fare l'analisi armonica determi-

portante la sigla di fabbricazione 762 B. Anche esso come il precedente è a funzionamento completamente elettronico ed eseguisce la analisi armonica per mezzo di un amplificatore a selettività variabile in 5 campi diversi; ciascuno di essi ha un rapporto di frequenza da 1 a 3 (2,5:7,5; 7,5:25; 25:75; 75:250; 250:750) per/s rispettivamente) ed in ciascuno di essi la frequenza di sintonia è indicata dalla scala di un unico quadrante opportunamente graduato con una precisione di lettura del 1,5 per cento o di  $\pm 1,5$  per/s (per le frequenze più basse la percentuale sale a circa  $\pm 5\%$  oppure  $\pm 0,2$  per/s).

La misura e la ricerca delle frequenze componenti una data vibrazione si fa rotando lentamente questo quadrante e spostando successivamente i campi di frequenza per cercare sullo strumento indicatore a lettura diretta, di cui lo strumento è provvisto, i punti di massima uscita.

Note le frequenze di questi punti e le ampiezze ad esse corrispondenti si possono tracciare diagrammi opportuni i quali rappresentino lo spettro delle frequenze che compongono la vibrazione, come ad esempio sono quelli riprodotti nelle fig. 12, 13 e 14. Essi sono stati ricavati da misure della stessa General Radio, costruttrice dello strumento, la quale li ha compilati allo scopo di mettere in evidenza le differenze degli spettri dell'accelerazione, della velocità e dello spostamento, quali sovente può accadere di misurare per una stessa vibrazione,

Un'altra particolarità che qui è utile far presente è il fatto che, al contrario di quanto comunemente accade con altri tipi, la selettività di questo strumento è mantenuta costante, per tutto il campo di frequenze da esso

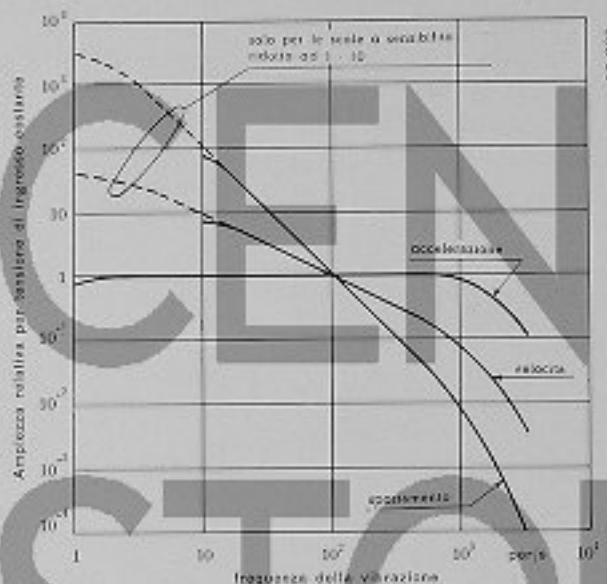


Fig. 9 - Risposta elettrica dell'amplificatore del rivelatore di vibrazione G.R. 761 A in funzione della frequenza e per una tensione di ingresso costante.

Questa risposta è:

- costante per l'accelerazione
  - inversamente proporzionale alla frequenza per la velocità
  - inversamente proporzionale al quadrato della frequenza per lo spostamento.
- Ciò è necessario per ottenere la risposta complessiva di misura uguale a quella di fig. 10, dato che il quarzo fornisce tensioni di uscita proporzionali al quadrato della frequenza quando l'ampiezza della vibrazione rimane costante.

esplorato, in maniera sufficientemente esatta come mette in evidenza il diagramma di fig. 15. Questa selettività per di più, può essere scelta in due tipi diversi che si possono cambiare per mezzo di un semplice commutatore e cioè: *selettività stretta*: con caduta del 30% (3 db) per frequenze differenti dell'1% rispetto a quella di sintonia. *selettività larga*: sempre con la stessa caduta del 30%, ma per differenza di frequenze del 5%.

Le frequenze differenti di una « ottava » da quella di sintonia dell'amplificatore sono attenuate del 98% (35 db) e del 90% (20 db) rispettivamente per la sintonia stretta e larga.

Lo strumento così descritto per quanto abbiamo detto deve essere usato in serie col misuratore di vibrazioni del paragrafo precedente per ottenere oltre che l'ampiezza totale anche le frequenze della vibrazione e le loro ampiezze. Questi due apparecchi, combinati così insieme, costituiscono un unico complesso di misura che può funzionare indipendentemente e che permette di eseguire le

misure citate nel paragrafo 2b) della introduzione di questa prima parte del capitolo.

### 5) Amplificatori FIAT Rcb 1 ed oscillografo FIAT OBM 1.

Questi due apparecchi sono raccolti in un'unica cassetta, come è illustrato in fig. 16, e vengono qui cumulativamente descritti, perché in effetti costituiscono una unica cosa omogeneamente progettata e costruita, con la quale è possibile registrare il diagramma della vibrazione rilevata con il misuratore citato nel precedente paragrafo (3); quando si usa questo apparecchio quindi non serve l'analizzatore che qui sopra abbiamo appena finito di descrivere (parag. 4).

Il diagramma che si ricava da questo oscillografo viene tracciato ad inchiostro su di una carta graduata per mezzo di un pennino comandato da un potente galvanometro di costruzione della Ditta Brush di Cleveland Ohio; esso è così immediatamente visibile e controllabile e permette di seguire direttamente, istante per istante, sia lo svol-

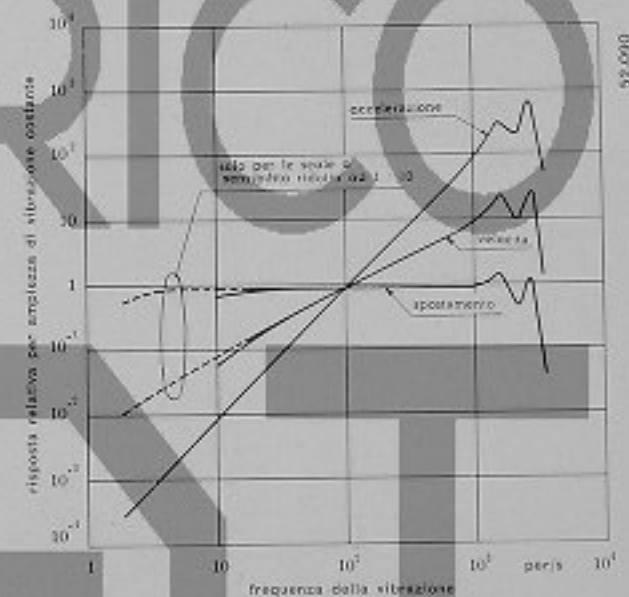


Fig. 10 - Risposta totale del misuratore di vibrazione G.R. 761 A in funzione della frequenza.

Il diagramma rappresenta la risposta totale dal rivelatore a quarzo (compreso) allo strumento indicatore, per una ampiezza costante di vibrazione. In queste condizioni l'accelerazione e la velocità sono proporzionali rispettivamente alla 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> potenza della frequenza come risulta anche dalle (1) (2) (3) del punto 3) cap. II e dalla nota punto 3) cap. III. Notare in questo diagramma, come già anche nel precedente, le curve a tratto corrispondenti ai campi di misura con sensibilità ridotta ad 1/10, i quali permettono altresì anche sino a 2 per/s.

gimento della registrazione man mano che essa si produce, sia l'andamento del fenomeno al quale essa corrisponde.

In tal modo il rilievo eseguito viene chiaramente e permanentemente documentato e può, con comodità ed in

ufficio, essere elaborato e misurato onde ricavare le ampiezze massime di vibrazione, le armoniche componenti a mezzo delle opportune analisi e quanto altro può occorrere per conoscere in pieno la vibrazione che si sta studiando ed i parametri che la governano.

52.091



Fig. 11 - Analizzatore di vibrazione G.R. 762 B.

Dal rivelatore 761 A si può prelevare una tensione proporzionale alla vibrazione; la quale con questo analizzatore può essere scissa nelle sue armoniche componenti leggendo per ciascuna di esse la frequenza (quadrante circol. a destra) e l'ampiezza (istilo strumento a sinistra).

Premesse queste cose di carattere generale vediamo ora come è costruito l'apparecchio, incominciando dal galvanometro registratore che è la parte alla quale devono adattarsi tutte le altre che ad esso sono collegate.

a) Il galvanometro registratore (fig. 17), come già abbiamo detto, è di costruzione della Ditta Brush e rappresenta certamente quanto di meglio si possa richiedere per le nostre necessità [18]. Un potente galvanometro a magnete permanente comanda un sottile pennino della lunghezza di 3 pollici, il quale riceve l'inchiostro da un piccolo serbatoio disposto sul magnete, essendo ad esso collegato da un minuscolo tubetto flessibile. La punta del pennino è così alimentata con continuità e può tracciare sulla carta, che vi scorre sotto il diagramma delle correnti che circolano nella bobina mobile del galvanometro.

Le cose sono state molto ingegnosamente studiate per cui è possibile tracciare senza errori, diagrammi che abbiano frequenze componenti da 0 (fenomeni costanti) sino a 30 per/s (1800 per/min) e anche sino a 100 per/s (6000 per/min) quando si munisca l'amplificatore relativo di una opportuna compensazione (fig. 18). Un simile campo di frequenze è per noi veramente interessante e copre la quasi totalità dei nostri rilievi.

b) L'amplificatore, di progetto e costruzione del Laboratorio Sperimentale della FIAT Grandi Motori, è stato appositamente studiato per lo scopo che qui interessa e può considerarsi come risultato di una lunga serie di esperienze al riguardo: esso comprende circuiti con

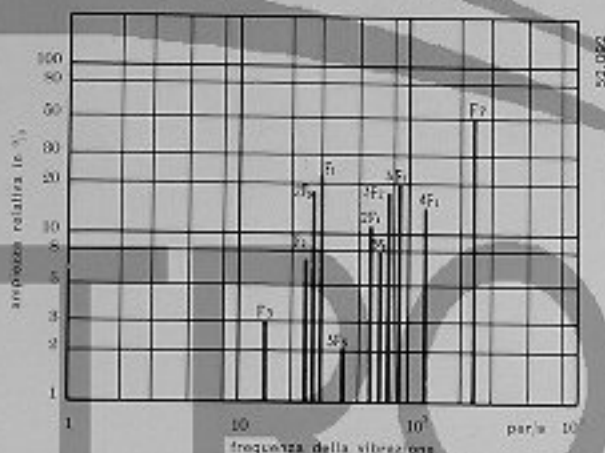


Fig. 12.

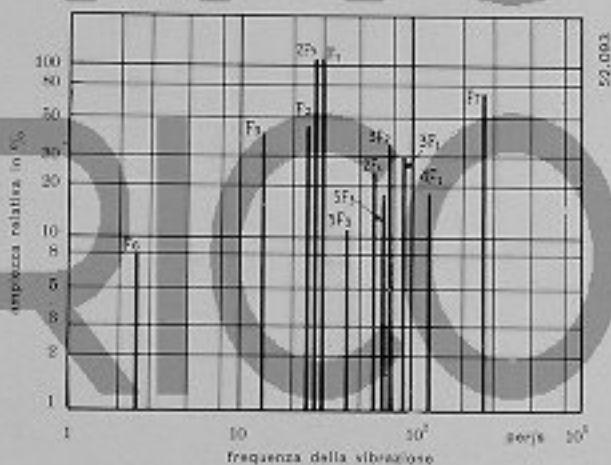


Fig. 13.

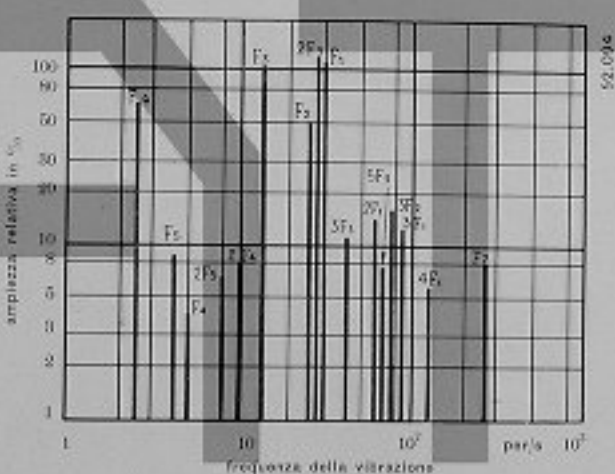


Fig. 14.

Fig. 12-13-14 - Esempio di spettri delle armoniche componenti l'accelerazione (fig. 12) la velocità (fig. 13) e lo spostamento (fig. 14) di una stessa vibrazione.

Osservare la differenza relativa fra le ampiezze di queste tre grandezze per armoniche di diverse frequenze.

caratteristiche originali ed ha particolari proprietà che ne rendono costanti le caratteristiche di amplificazione e di funzionamento, anche con le più disparate condizioni di alimentazione.

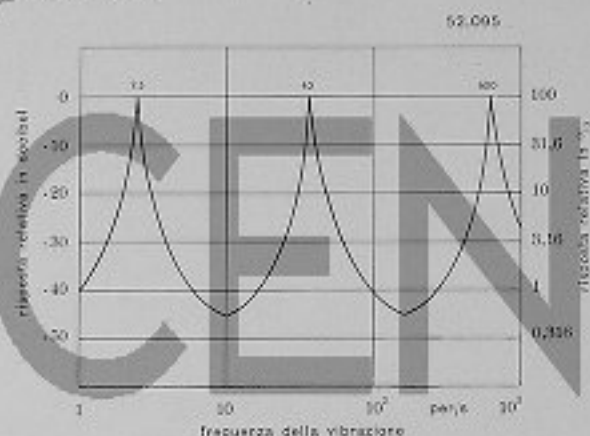


Fig. 15 Caratteristiche di selettività dell'analizzatore G.R. 762 B.

Tanto per le frequenze di sintonia basse come per quelle medie ed alte la curva di selettività rimane sempre la stessa e tale quindi da fornire costanti prestazioni di misura in tutto il campo esplorabile.

Nelle fig. 19 e 20, ad esempio, i diagrammi riportati mettono in vista queste proprietà oltre che la linearità di risposta di uno dei suoi più importanti circuiti: quello dello stadio finale.

Malgrado la rilevante potenza del galvanometro registratore, tutto l'amplificatore è alimentato da batterie in-

corporate, che ne assicurano il funzionamento per diverse giornate di lavoro, ed è risultato di dimensioni veramente ridotte. Lo schema dei circuiti è riportato in fig. 21, da esso si può vedere come lo compongano tre stadi amplificatori a pentodo del tipo miniatura fortemente reazionati ed uno stadio finale in controfase ad uscita bifilare (non simmetrica cioè) quale è necessaria per alimentare il galvanometro che è provvisto di bobina senza connessione centrale.

La rete di compensazione in funzione della frequenza è tale da permettere una registrazione lineare sino ad oltre i 100 per/s, come è già stato detto prima e come è riportato in linea piena nella fig. 18 già prima citata.

A titolo di informazione diciamo pure che l'amplificatore così costruito insieme al seguente oscillografo costituisce uno strumento universale che può essere usato per altri scopi che non siano quelli descritti.

c) *L'oscillografo registratore*, pure esso di progetto e costruzione del Servizio Sperimentale Motori, è disposto nella parte anteriore della cassetta di fig. 16 davanti all'amplificatore ora descritto ed è provvisto di motorino a molla che può trascinare la carta di registrazione a tre velocità diverse (5; 25; e 125 mm/s) per una durata di oltre 6 minuti senza necessità di ricarica, ciò però non impedisce rilievi anche per tempi più lunghi, perché la molla può essere caricata anche con la carta in moto senza influire sul suo svolgimento.

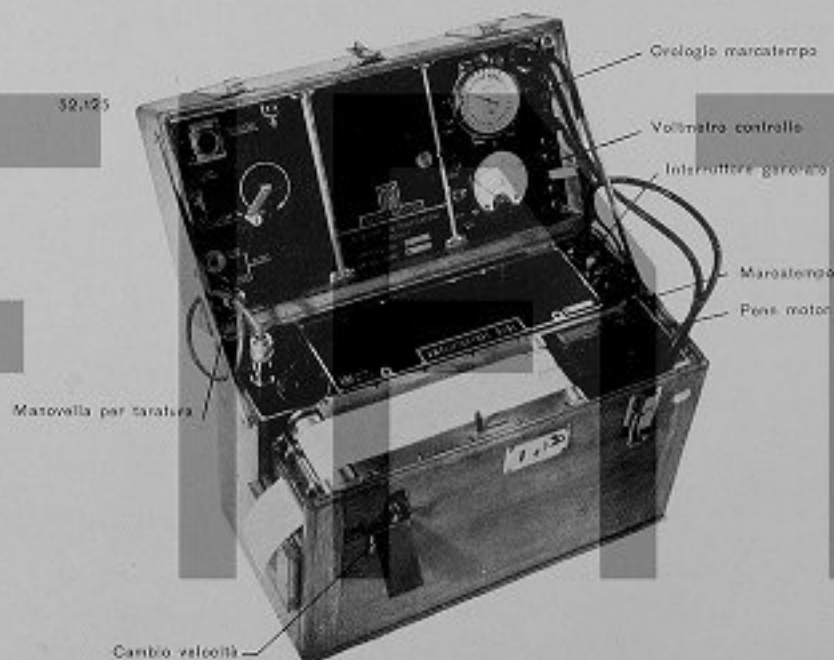


Fig. 16 - Oscillografo Fiat OBM I e relativo amplificatore RoB I.

L'oscillografo, l'amplificatore ed i relativi accessori sono tutti contenuti in un'unica cassetta di piccole dimensioni (295 x 200 x 315 mm) e di peso ridotto. L'apparecchio una volta aperto con il coperchio inclinato a leggio risulta di facile e comodo uso, e completamente indipendente da sorgenti esterne di energia.



È stato scelto il comando con il motorino a molla per non consumare energia elettrica dato che essa in questo caso sarebbe stata non facilmente ottenibile da batterie di pile.

52.098

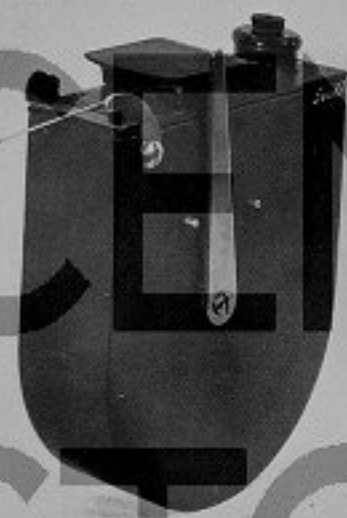


Fig. 17 - Penn Motor Brush

Questo galvanometro registratore è uno dei più importanti componenti del due oscillografi a scrittura diretta Fiat ORM 1 ed ORM 5.

Per l'avviamento e l'arresto della carta è disposta una leva la quale contemporaneamente cortocircuita la bobina del galvanometro e spegne le valvole dello stadio finale

52.099

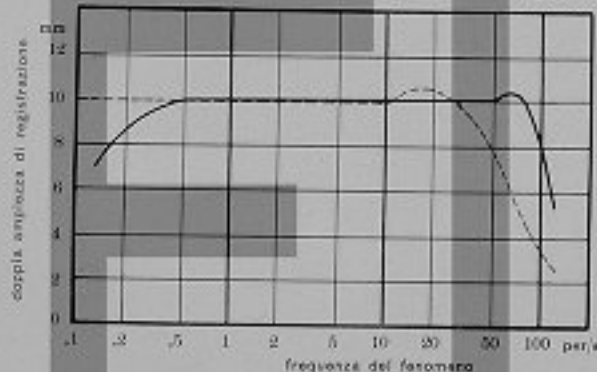


Fig. 18 - Curva di risposta del Penn Motor Brush.

Senza compensazione questo galvanometro ha una curva di risposta data dalla linea a tratti; con la compensazione invece si può fare il che l'istione (amplificatore più penn motor) abbia una risposta lineare come quella della linea a tratto pieno, permettendo così rilievi sino a 100 peris.

dell'amplificatore, per ridurre il consumo delle corrispondenti batterie di accensione e del filamento, dato che esse sono quelle che assorbono la maggior parte della corrente.

Il transitorio che compete all'accensione di queste valvole è molto breve; ad ogni modo però con un interruttore ausiliario esse possono essere lasciate sempre accese qualora fosse necessario, eliminando così ogni

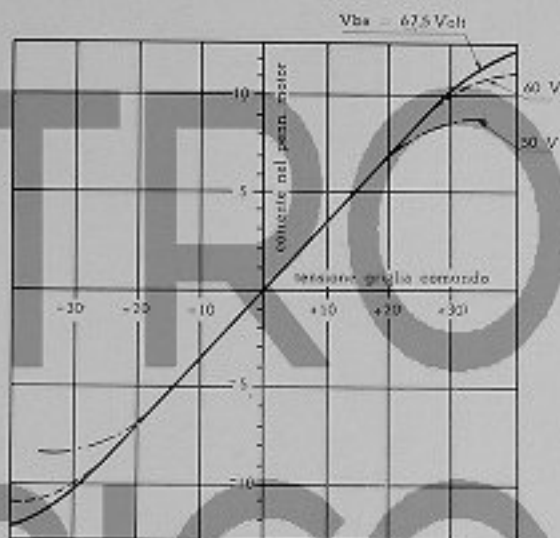


Fig. 19.

52.098

52.099

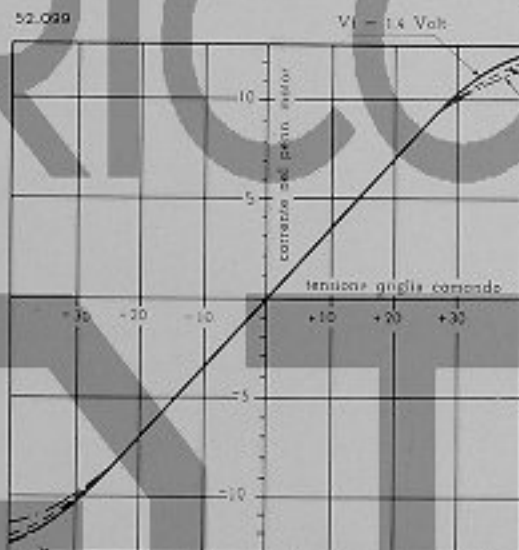


Fig. 20.

Fig. 19 e 20 - Variazione corrente uscita dello stadio finale dell'amplificatore Fiat RCB1 per diverse tensioni di alimentazione anodica (fig. 19) e di filamento (fig. 20).

Nessuna variazione si nota nel coefficiente di amplificazione per variando del 35% l'anodica e del 40% il filamento; sola variazione si ha nella corrente anodica massima di picco e quindi nella massima ampiezza di registrazione. Notare anche la linearità della risposta entro ampi limiti.

eventuale disturbo. Nella fig. 22 sono riportati esemplari di registrazione eseguiti con questi strumenti i quali ne dimostrano le veramente utili doti di praticità.

d) Altri accessori sono pure disposti nella cassetta dell'oscillografo e precisamente nel suo coperchio e cioè:

un complesso per la taratura del coefficiente dell'amplificazione dell'amplificatore, uno strumento indicatore per controllare tensioni delle batterie, continuità di circuiti ecc. oltre che un orologio marcatempo a contatti e due prese per un marcatempo.

Questi due organi pilotano per mezzo di elettroma-

quanto consta all'autore, l'unica realizzazione del genere che sino ad ora sia stata fatta e la prima che sia in grado di fornire mezzi per tracciare con precisione le linee elastiche di vibrazione di uno scafo ricavandole istante per istante da una unica registrazione eseguita in più punti contemporaneamente.

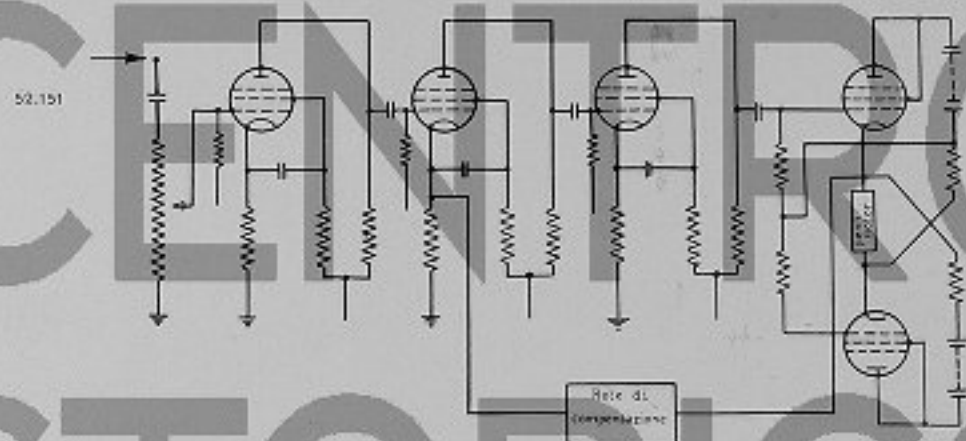


Fig. 21 - Schema elettrico di principio amplificatore Fiat RCB 1.

Le 3 valvole di sinistra sono pentodi amplificatori di segnale, mentre le due sovrapposte di destra costituiscono lo stadio finale che comanda il pent motor. Una rete di compensazione provvede a far sì che le caratteristiche complessive del pent motor + l'amplificatore corrispondano a quelle di fig. 10 a tratto pieno.

gnati due pennini dello stesso tipo di quelli usati per il galvanometro e vengono usati per segnare sulla carta dell'oscillografo una traccia ogni mezzo secondo ed una, ad esempio, ogni rotazione di motori o di qualche altro organo che possa interessare la vibrazione.

e) I rilievi di vibrazioni di scafo che si possono eseguire con questi strumenti sono riportati nei vari esempi del cap. IV.

## Parte II. - APPARECCHIATURA MULTIPLA CON REGISTRAZIONE OSCILLOGRAFICA A PENNINO O SU CARTA FOTOGRAFICA

### 6) Criteri informativi e considerazioni di carattere generale.

Il complesso di misura che qui appresso descriviamo è stato realizzato per registrare contemporaneamente e sulla stessa zona di carta le vibrazioni di più punti di uno scafo anche se molto lontani fra di loro ed è stato informato dai criteri di carattere generale che qui di seguito verranno riportati.

Queste notizie vengono qui per la prima volta rese di pubblica ragione, pur essendo gli strumenti descritti già da diversi anni in funzione; essi costituiscono, per

a) *Misura contemporanea in più punti quale principale necessità sperimentale.* Nel controllo delle vibrazioni di scafo è veramente molto utile e potremmo anche dire indispensabile essere in grado di eseguire le misure relative coi criteri ora accennati e ciò sia per evitare inutili perdite di tempo, sia, soprattutto, per disporre di oscillogrammi tracciati sulla stessa zona di carta, i quali ad ogni istante diano per ciascuno dei punti di misura lo spostamento corrispondente.

Molti al contrario sono stati gli sperimentatori i quali, disponendo di strumenti ad un sol punto di misura, si sono trovati davanti a difficoltà quasi insuperabili (vedi ad esempio [19]); tra essi vi sono stati per parecchio tempo anche i tecnici del Laboratorio Sperimentale della FIAT Grandi Motori sino a quando, circa quattro anni fa, non hanno deciso di preparare l'attrezzatura che qui stiamo descrivendo e che, pur intercalata con altro imporrabile lavoro, nel termine di un anno è stata progettata provata e costruita nella sua soluzione definitiva.

In questa attrezzatura, che è composta in parte di materiale di costruzione dello stesso Laboratorio ed in parte di materiale acquistato da alcuni tra i migliori costruttori Nord-Americani, elemento fondamentale è il rivelatore di vibrazione in base al quale tutto il resto è stato successivamente progettato e definito.

#### b) Rivelatori con frequenza propria molto bassa.

Le vibrazioni di scalo possono in molti casi scendere a valori di frequenze veramente bassi, dell'ordine cioè di 1 : 2 per/s (60 : 120 per/min) e tale quindi da non poter essere misurate coi rivelatori che comunemente vengono offerti dal commercio, siano essi meccanici che elettrici od elettronici; molti hanno pensato di sorpassare l'ostacolo misurando l'accelerazione della vibrazione per poi integrarla elettricamente due volte, come abbiamo in precedenza detto nel punto 5) del capitolo II, ed ottenere così lo spostamento; ma per le frequenze alle quali noi qui dobbiamo lavorare questo artificio ci fa ricadere in un'altra complicazione, quella cioè di praticamente realizzare circuiti integratori per così basse frequenze.

Presso il sopracitato Laboratorio della FIAT il problema è stato accuratamente vagliato ed alla fine ne è uscita la decisione di costruire i rivelatori pendolari nella soluzione che verrà più avanti particolarmente descritta e le cui principali caratteristiche sono:

- tipo a massa sismica con frequenza propria di 1 e volendo anche 0,5 per/s (60 e 30 per/min).
- guida della massa a leva pendolare essendo essa più semplice e meno influenzata da vibrazioni estranee.
- misura dell'ampiezza di vibrazione con sistemi elettrici basati su di un ponte di induttanze atto a modulare in ampiezza una frequenza portante di valore opportuno.
- possibilità di taratura statica diretta di tutto il complesso: rivelatore-amplificatore-registratore.

I rivelatori così costruiti sono risultati di facile e sicuro funzionamento anche nelle più difficili condizioni di prova ed il loro insieme è risultato tale da permettere comode e sicure misure da un posto centrale e protetto della nave anche quando, lontano nei vari punti dove sono piazzati i rivelatori, le condizioni ambientali (condizioni atmosferiche — accessibilità — illuminazione ecc.) siano cattive o proibitive per misure dirette.

c) *Registrazione diretta con oscillografi a penna e registrazione fotografica.* L'apparecchiatura di amplificazione e registrazione è stata costruita in due forme diverse e cioè:

- con oscillografo a 6 galvanometri a penna, dello stesso tipo di quelli descritti nel punto 5) della precedente parte I; campo di registrazione da 0 sino 100 per/s (6000 per/min).
- con oscillografo fotografico con 12 galvanometri a specchio e adatto per frequenze da 0 fino a 500 per/s (30.000 per/min).

Il motivo di questi due differenti tipi è conseguenza del fatto che l'oscillografo scrivente, come già abbiamo fatto osservare nella precedente parte I di questo capi-

tolo, è molto più comodo di quello fotografico permettendo di avere la visione diretta del fenomeno mentre si sta svolgendo e di soffermarsi con maggiore cura nei momenti più salienti; oltre a ciò esso fornisce il non trascurabile vantaggio di disporre dei rilievi immediatamente

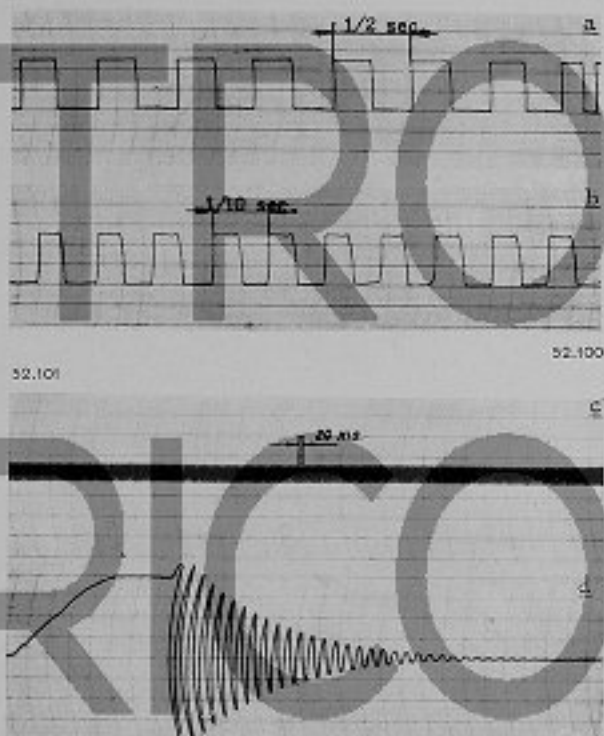


Fig. 22 - Esempi di registrazione con Oscillografo Fiat OBM-1.

- a) Onde quadrate con periodo 1/2 secondo
- b) Idem con periodo 1/10 di secondo
- c) Onda sinusoidale a 20 per/sec.
- d) Onda smorzata.

appena eseguiti senza ulteriore trattamento fotografico. Purtroppo però questo sistema ha una frequenza max. di soli 100 per/s, la quale può in alcuni casi risultare insufficiente ed ha anche l'inconveniente che già con 6 registratori la zona di carta risulta piuttosto larga (266 mm) per cui è praticamente inaccettabile costruirne di tipi a 12 tracce; si ricorre perciò in questi casi all'oscillografo fotografico il quale con carta da 150 mm di altezza permette molte tracce (i raggi luminosi si possono infatti incrociare e sovrapporre senza danno) ed ha nel nostro caso frequenze massime registrabili fino a 500 per/s.

d) *Taratura statica:* Nelle misure che si eseguono a bordo le condizioni di lavoro degli amplificatori possono variare anche più del previsto e così influire notevolmente sul loro funzionamento e soprattutto anche sulla loro amplificazione; per compensare gli errori che ne deriverebbero è necessario poter eseguire la taratura

di tutto il complesso una volta installato ed ottenere così la scala effettiva dei diagrammi.

Il metodo più semplice per raggiungere questo scopo è stato quello di scegliere per la rivelazione e l'amplificazione il sistema a frequenza portante, il quale è sensibile anche alle componenti costanti della vibrazione, ed eseguire la taratura del complesso per via statica spostando a mano di quantità note la massa sismica dei rivelatori.

Per la registrazione con 12 punti di misura occorrono, come è ovvio, 6 rivelatori in più, ma anche un secondo amplificatore MRC 12.

### 7) I rivelatori di vibrazione a pendolo.

I rivelatori della vibrazione, di progetto e costruzione del Servizio Sperimentale della FIAT Grandi Motori sono costituiti da pendoli disposti nell'interno di una

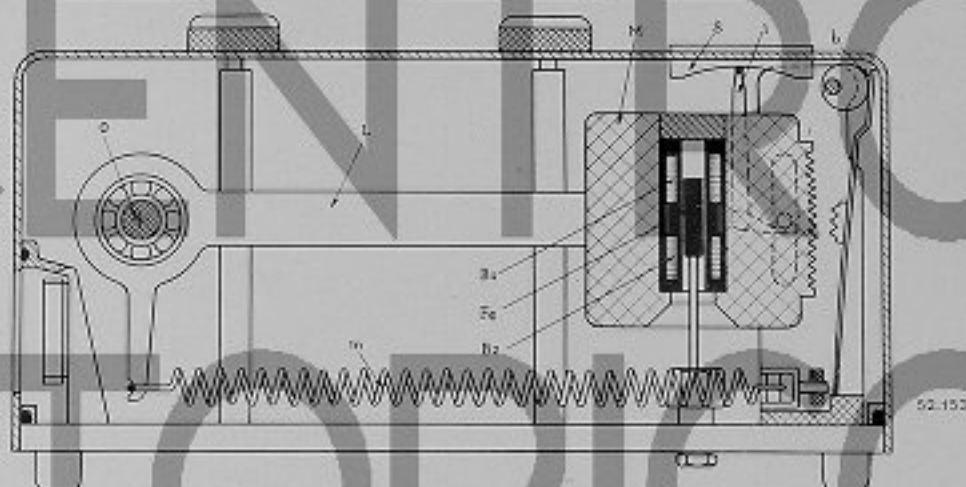


Fig. 23 - Rivelatore di vibrazione Fiat VPI 2.

Per le registrazioni in più punti contemporaneamente viene usato questo rivelatore di spostamento a massa sismica pendolare, il quale agisce col sistema a variazione di induttanza. Le due bobine B1 e B2 si trovano davanti al ferro Fe e variano la propria induttanza in modo sinusoidale, per cui possono venire inserite in fili adiacenti di un opportuno ponte di Wheatstone.

c) *Apparecchi componenti*: Gli apparecchi necessari a realizzare il nostro complesso di misura sono nei due casi sopradetti i seguenti:

#### — registrazione a penna

— 6 rivelatori di vibrazione di costruzione FIAT Grandi Motori tipo VPI 2

— 6 amplificatori a frequenza portante di 2000 per/s di costruzione Beush di Cleveland di Ohio (U.S.A.) tipo BL 310

— 1 oscillografo registratore ad inchiostro di costruzione del Servizio Sperimentale Motori della FIAT Grandi Motori tipo OBM 6 con 6 galvanometri Brush tipo BL 902 A.

#### — registrazione fotografica

— 6 rivelatori VPI 2 come quelli qui sopra citati

— 1 amplificatore a 6 canali di tipo portatile alimentato a batterie incorporate con frequenza portante di 5000 per/s di costruzione Hathaway di Denver (U.S.A.) tipo MRC 12

— 1 oscillografo registratore con 12 galvanometri a specchio pure esso di costruzione Hathaway tipo S 12 A.

opportuna cassetta metallica stagna agli spruzzi come è schematizzato in fig. 23 e fotograficamente riprodotto in fig. 24. Una grande massa  $M$  che funziona da massa sismica, ruota attorno al punto  $O$  perchè trattenuta da due leve  $L$  e da una sospensione a cuscinetti a sfere. Quando il pendolo così fatto lavora con le leve orizzontali per misurare le vibrazioni in senso verticale, due molle  $m$  lo mantengono in equilibrio nella posizione centrale di riposo.

In queste condizioni qualsiasi moto vibratorio impresso alla placca di base del rivelatore in direzione perpendicolare al suo piano viene rivelato sottoforma di moto relativo tra questa placca e la massa  $M$ , purchè però ci si trovi in quelle particolari condizioni di frequenza ( $f$  molto più grande di  $f_0$ ) già citate nel capitolo II a proposito dello studio dei vibrometri.

La massa  $M$  si comporta in questi casi come un punto fisso allo stesso modo come se fosse completamente sospesa ad una molla come indicato in fig. 1 e la leva del pendolo facesse solo da guida.

Il motivo per il quale si è scelta questa sistemazione è stato quello di avere la guida veramente efficiente

senza eccessive complicazioni costruttive onde eliminare qualsiasi interferenza di vibrazioni che non fossero nella direzione voluta. Quando i rivelatori vengono usati per vibrazioni nel piano orizzontale la leva  $L$  si dispone in senso verticale appoggiando il vibrografo su una delle due facce minori; in questo caso però occorre anche sganciare le molle  $m$  perchè non è più necessario con esse compensare il peso della massa.



Fig. 24 - Rivelatore di vibrazione Fiat VPI-2 con e senza scatola di protezione.

52,502

Il moto relativo della massa  $M$  rispetto alla placca di base, quello cioè che rappresenta lo spostamento della vibrazione, viene nel nostro caso rivelato elettronicamente per mezzo di un sistema di due bobine  $B_1$  e  $B_2$  contenute nell'interno della massa stessa e collegate a ponte di Wheatstone con due resistenze che sono incorporate nello stesso strumento.

Nel foro interno del supporto delle due bobine e simmetricamente ad esse è disposto un piccolo nucleo di ferro  $F$ , del tipo per alta frequenza. Questo ferro è sostenuto da un sottile stelo di materiale non magnetico fissato sulla placca di base.

Ogni moto relativo fra questa placca e le bobine causa perciò una variazione della loro induttanza ed uno sbilanciamento del ponte nel quale esse sono collegate.

Se una diagonale di questo è alimentata da corrente ad alta frequenza (2000 oppure 5000 per/s nei casi degli amplificatori che più avanti citeremo), sull'altra sua diagonale si potrà raccogliere un segnale consistente in una corrente della stessa frequenza che risulta modulata in ampiezza in modo esattamente corrispondente allo sbilanciamento del ponte e perciò allo spostamento della vibrazione che si vuol misurare.

Un simile sistema a frequenza portante, anche se complica un po' l'apparecchiatura nella sua parte elettronica, ha l'enorme vantaggio di non avere limiti nella frequenza minima del fenomeno da misurare oltre a quello di permettere la taratura statica del complesso di misura (rivelatore-amplificatore-oscillografo) come già qui sopra abbiamo detto.

È infatti sufficiente spostare staticamente la massa  $M$  di quantità fisse e note rispetto alla posizione di riposo, per ottenere sull'oscillografo corrispondenti spostamenti delle tracce e per ricavare così la scala del diagramma rilevato. Per facilitare la cosa sul nostro rivelatore è stato disposto un sistema di due settori dentati uno sulla massa  $M$  e l'altro su di una molla a balestra  $b$ ; il passo dei denti è tale da corrispondere allo spostamento di 1 mm del centro istantaneo di rotazione della massa pendolare con le leve e le altre parti ad essa collegate, in modo tale da corrispondere esattamente ad 1 mm di spostamento della vibrazione alla placca di base. Quando si fa la taratura statica è così possibile, facendo ingranare i due settori, avere la certezza che la massa si sia spostata della grandezza voluta, la quale all'esterno è indicata in modo grossolano dall'indice  $I$  sulla scala graduata  $S$ .

Come è ovvio la molla balestra ed il relativo settore dentato devono venire allontanati dalla massa sismica durante i rilievi di vibrazione per non bloccarla e così pure occorre fare per l'indice ora citato, per non introdurre cause di errori; nella costruzione da noi fatta le cose sono disposte in modo tale che è possibile eseguire tutte queste operazioni di taratura senza aprire la scatola stagna del rivelatore.

Ed ora due parole circa le caratteristiche dinamiche dei rivelatori, la loro sensibilità ed i dati tecnici relativi.

52,155

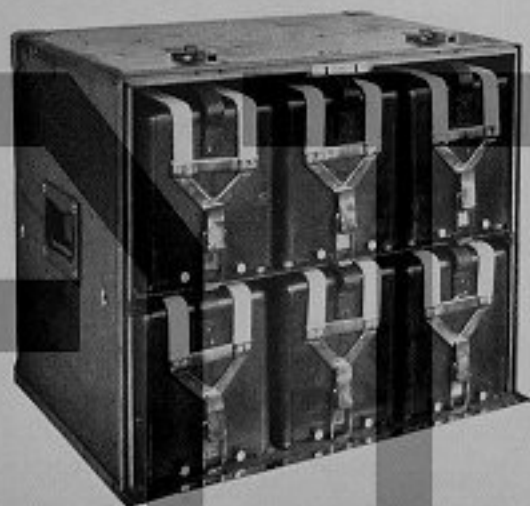


Fig. 25 - Cassa di trasporto per 6 rivelatori di vibrazione VPI-2.

a) *Frequenza propria verticale*: Quando i pendoli vengono usati per misurare vibrazioni verticali la loro frequenza propria è di circa 58 per/min (1 per/s) con le molle di compensazione normale e di 30 per/min

(0,5 per/s) con le molle più elastiche (elasticità 4 volte la normale).

b) *Frequenza propria orizzontale*: Quando il pendolo viene usato con le leve verticali per misurare le vibrazioni nel piano orizzontale, devono essere, come è ovvio, tolte le molle sopracitate, per cui la sua frequenza

### Vibrazioni verticali

con molle normali da 4 (2) a 500 per/s  
240 (120) 30.000 per/min

tra parentesi è indicato il valore minimo raggiungibile permettendo una non linearità di risposta tra 4 e 2 per/s e correggendola con una opportuna curva di taratura.

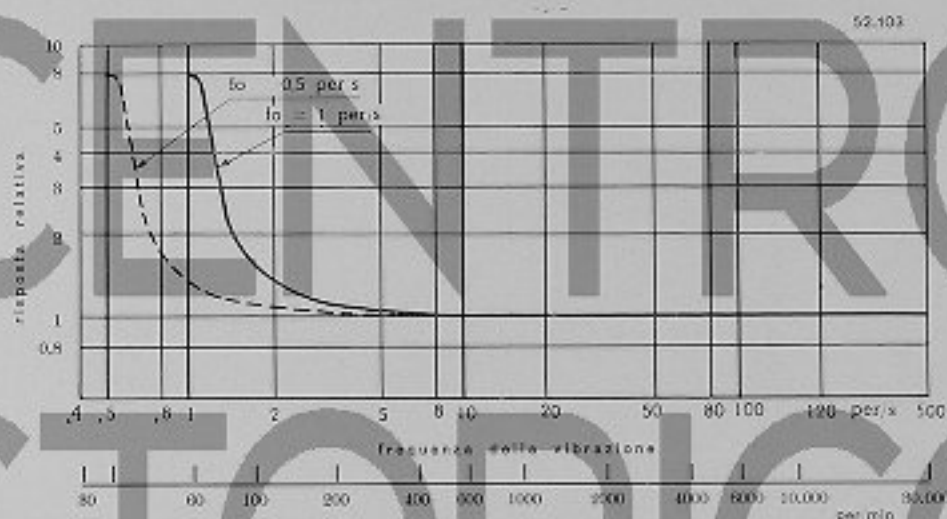


Fig. 26 - Risposta del rivelatore Fiat VPI-2 in funzione della frequenza e per le due soluzioni con  $f_0 = 1$  ed  $f_0 = 0,5$  per/s.

La prima soluzione permette rilievi sino a frequenze di 4 ad anche di 2 per/s per la seconda invece questi valori scendono rispettivamente a 2 ed 1 per/s.

propria risulta dipendente dalla sola accelerazione di gravità. I nostri pendoli hanno una lunghezza ridotta di 191 mm per cui la loro frequenza naturale risulta di 1,14 per/s (68,4 per/min).

c) *Risposta in funzione della frequenza della vibrazione*: Il rivelatore di cui stiamo parlando, rispetto alla frequenza di vibrazione ha un campo di misura molto vasto il quale nel suo valore minimo è limitato dalle frequenze proprie ora riportate (vedi per questo anche il capitolo II e le relative conclusioni) mentre nel valore massimo è limitato dal tipo della costruzione meccanica usata e dall'errore di risposta del ponte di induttanza e resistenze che costituiscono l'elemento modulatore della frequenza portante degli amplificatori.

Per quanto riguarda la frequenza minima con curve di correzione è possibile portarne il valore utile ancora più basso di quanto non permetta la risposta lineare raggiungendo così lo scopo di scendere a valori molto piccoli e tali da coprire tutto il campo che ci interessa.

In questo modo e con queste correzioni la taratura statica risulta essere uguale a quella dinamica ed i rivelatori possono essere considerati lineari entro i limiti qui sotto segnati.

con molle con flessibilità maggiorata: la frequenza minima scende a 2 per/s (120 per/min) e ad 1 per/s (60 per/min) tenendo conto del fattore di correzione, mentre la frequenza massima rimane sempre la stessa.

### Vibrazioni orizzontali

senza alcuna molla come abbiamo già detto:

da 4,6 (2,3) a 500 per/s  
276 (138) a 30.000 per/min

Nella fig. 26 è riportato il diagramma di risposta di questo nostro rivelatore per il caso delle vibrazioni verticali tenendo conto che il suo smorzamento è quello che dà  $\beta = 8$  nella formula (1) del capitolo II. Nella fig. 27 invece è riportato il diagramma dei coefficienti di correzione da usarsi per le frequenze molto vicine a quelle di risonanza dei pendoli (tra 4 e 2 per/s per il caso con le molle normali ad esempio); esso pur essendo espresso in altra forma non è che una porzione molto ingrandita del diagramma della precedente fig. 26 ed è stato espresso in funzione di  $f_0$  per poter servire tanto nel caso delle molle normali, che di quelle ridotte, che nel caso delle vibrazioni orizzontali ( $f_0 = 1; 0,5; 1,14$  per/s rispettivamente).

d) *Risposta in funzione dell'ampiezza di vibrazione*: La costruzione delle bobine disposte nell'interno della massa dei pendoli è stata fatta in modo tale da avere nel ponte una uscita lineare per tutta l'ampiezza di vibrazione che la costruzione meccanica del rivelatore permette e di ciò si può aver conferma dalla fig. 28.

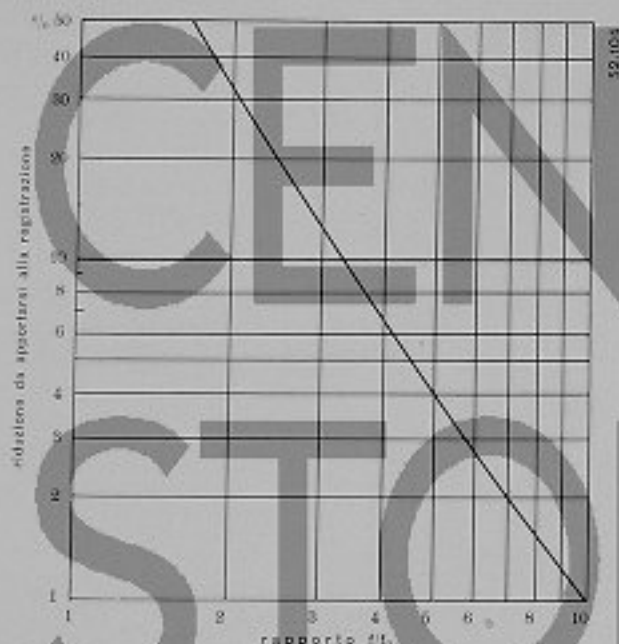


Fig. 27 - Curva di correzione per i rivelatori Fiat VPI 2 nel caso di funzionamento in vicinanza della frequenza di risonanza.

Sulle ordinate sono segnate le riduzioni in % da portarsi alla registrazione fatta, per avere la effettiva ampiezza di vibrazione.

Inoltre i coefficienti di amplificazione ottenibili ed i valori minimi e massimi misurabili sono i seguenti:

*Coefficienti di amplificazione* - rapporto fra l'ampiezza dell'oscillogramma e quella della corrispondente vibrazione:

- con oscillografo a penna ed amplificatore BL 310  $\left\{ \begin{array}{l} \text{min. } 2 \text{ volte} \\ \text{max } 2000 \text{ volte} \end{array} \right.$
- con oscillografo S12A ed amplificatore MRC 12  $\left\{ \begin{array}{l} \text{min. } 1 \text{ volte} \\ \text{max } 200 \text{ volte} \end{array} \right.$

*Minima ampiezza misurabile*

- con oscillografo a penna OBM6 ed amplificatore BL 310  $\pm 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$
- con oscillografo S12A ed amplificatore MRC 12  $\pm 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$

*Ampiezza della vibrazione che con la max amplificazione manda a fondo scala l'oscillografo.*

- con oscillografo OBM 6 ed amplificatore BL 310 (ampiezza registrazione  $\pm 20 \text{ mm}$ )  $\pm 10 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$
- con S12A ed MRC 12/70 (ampiezza registrazione  $\pm 70 \text{ mm}$ )  $+ 350 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$

*Massima ampiezza misurabile*

- per tutti i casi  $+ 12 \text{ mm}$   
(questo valore è unicamente determinato dalla costruzione meccanica del rivelatore).

e) *Caratteristiche elettriche*: Dal lato elettrico possiamo dire quanto segue:

- le due bobine hanno una induttanza di 120 ohm ciascuna a 5000 per/s
- i due resistori che costituiscono gli altri due lati del ponte hanno pure essi una resistenza di 120 ohm e sono privi di induttanza
- per ridurre la sensibilità del ponte sulla sua diagonale di alimentazione viene inserito una resistore di circa 1000 ohm.

f) *Distanza massima fra rivelatori e amplificatori*: La distanza massima alla quale possono funzionare i rivelatori dal relativo amplificatore dipende innanzi tutto dal tipo di cavo di collegamento usato; con i cavi che noi appositamente abbiamo fatto costruire, i quali

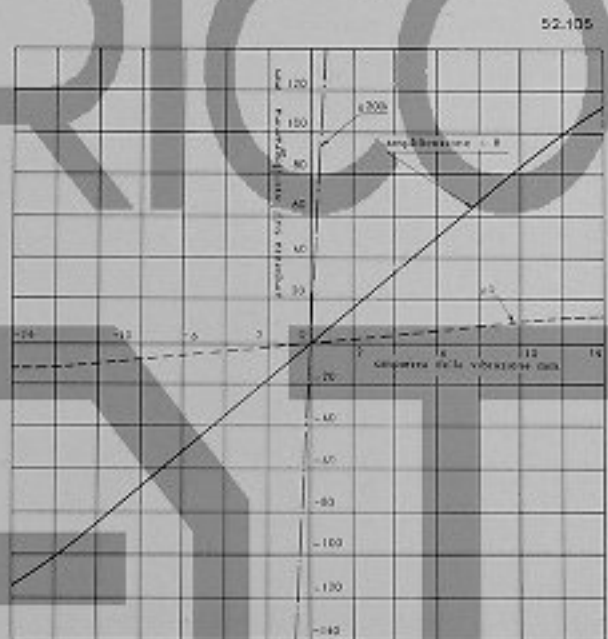


Fig. 28 - Risposta complessiva: Vibrometro Fiat VPI 2 + Oscillografo Hathaway S12 A + Amplificatore MRC 12 in funzione dell'ampiezza di vibrazione.

Sono segnate tre curve di risposta per tre diversi coefficienti di amplificazione (minimo - medio - massimo). Osservare la linearità di questa risposta.

sono costituiti da una bicoppia opportunamente tracciata in modo da avere tutti e quattro i conduttori componenti perfettamente simmetrici e con il particolarmente curato tipo di isolamento da noi richiesto, ci è possibile raggiungere senza speciali difficoltà i 200 metri di distanza.

### 8) L'oscillografo FIAT OBM 6.

L'oscillografo FIAT OBM 6 che viene usato per registrare direttamente a penna le vibrazioni di scafo col sistema che ora stiamo descrivendo è all'incirca la ripetizione, opportunamente ingrandita, di quello semplice già prima descritto (punto 5 - Parte I di questo capitolo),

52.159



Fig. 29 - Oscillografo Fiat con registrazione a penna OBM-6 senza coperchio.

Nell'atto in questo strumento appositamente progettato e costruito per la misura delle vibrazioni di scafo le seguenti particolarità:

- I 5 galvanometri registratori Brush. Un 6° può essere ancora aggiunto, togliendo il doppio marcatore di avviato che si nota in alto a destra.
- Tra un galvanometro e l'altro lo spazio sufficiente per poter inserire marcatori di questo tipo senza che le penne reciprocamente si disturbino nella registrazione.
- Il comando a leva per l'avviamento e l'arresto del motorino a molla che trascina la carta.

caso contiene 6 galvanometri registratori del tipo Brush e può quindi permettere la registrazione simultanea sulla stessa zona di carta di 6 fenomeni contemporanei (fig. 29).

E' stato progettato e costruito dal Servizio Sperimentale Motori della FIAT Grandi Motori principalmente allo scopo di permettere queste registrazioni ma, date le sue caratteristiche, in seguito esso è risultato idoneo anche per molti altri tipi di misure di carattere generale. I galvanometri registratori sono sempre gli stessi già prima descritti (punto 6 - capitolo III) e perciò di essi qui non faremo ulteriori parole, solamente osserveremo che devono essere del tipo BL 902 A, quali la Brush costruisce per i casi nei quali occorre affiscarne parecchi l'uno all'altro; in queste condizioni i loro magneti si influenzano reciprocamente e, per avere inalterate le proprietà di sensibilità, smorzamento e frequenza di risonanza, devono essere particolarmente compensati.

In questo nostro oscillografo il movimento della carta

è ottenuto, come già nel precedente, a mezzo di un motorino a molla di dimensioni notevolmente maggiorate però, il quale ne permette il funzionamento per 12 minuti consecutivi alle 3 velocità di 5, 25, 125 mm/s, commutabili per mezzo di un opportuno comando.

Oltre ai 6 galvanometri, sull'oscillografo è possibile sistemare 4 ulteriori penne ciascuna comandata da, fra di loro indipendenti, elettromagneti, allo scopo di segnare altrettanti eventi quali possono risultare necessari per la successiva interpretazione della registrazione; queste penne, come anche tutte quelle dei galvanometri, segnano la loro traccia sulla stessa perpendicolare alla direzione di traslazione della carta, in modo tale da rendere evidente la contemporaneità dei fenomeni tracciati.

Allo scopo di mettere in mostra i vantaggi di simili sistemi di registrazione in fig. 30 ne abbiamo riprodotto, in scala ridotta purtroppo per necessità tipografiche, un tratto di zona quale si ottiene dal nostro apparecchio; esso dimostra pienamente come i rilievi risultino chiari, ben distinti oltre che di rapida e comoda interpretazione anche se l'altezza della carta appare piuttosto rilevante (266 mm). Forse infatti lo è anche più di quanto lo richiederebbero le necessità della pratica, ma ciò è legato alla stessa natura del sistema scrivente e non può essere altrimenti corretto; di buon grado però può anche essere accettato, perché, pur costituendo esso un inconveniente del metodo di registrazione, i vantaggi che questo offre sono tali da compensarlo convenientemente. L'apparecchio così costruito ha risposto alle previsioni di progetto fornendo utili e comode registrazioni, le quali con altri mezzi sarebbero state molto più complicate e laboriose. Esso inoltre è risultato di solida e robusta costruzione oltre che di facile uso ed installazione non richiedendo sorgenti esterne di energia ed essendosi il motorino a molla che ne comanda la carta dimostrato di comoda ricarica e di rapida messa in moto.

Vogliamo infine ricordare che anche questo oscillografo è stato costruito in modo da poter essere facilmente trasportato in cassetta a mo' di valigia, per tenerlo, quando fosse necessario, anche in ferrovia sotto forma di bagaglio personale.

### 9) L'amplificatore BL 310.

Per comandare i galvanometri del precedente oscillografo viene utilizzato un amplificatore a frequenza portante di 2000 per/s di costruzione Brush tipo BL 310 il quale, contrariamente a tutti gli altri strumenti sino ad ora citati, deve essere alimentato a corrente alternata a 110 Volt 60 per/s; ciò può in molti casi costituire una difficoltà per le prove, ma non è possibile fare altrimenti, non essendovi ancora amplificatori con caratteristiche



similari alimentati a batteria: a bordo perciò, dove non si dispone di corrente alternata, essi vengono alimentati da una convertitrice portatile che trasforma la corrente continua in corrente alternata.

In fig. 31 è riprodotta la fotografia esterna di questo apparecchio, in fig. 32 lo schema di principio; essi sono

corto conduttore al galvanometro registratore, il quale perciò fornisce esattamente il diagramma della vibrazione.

— Un attenuatore tarato a  $\pm 1\%$  permette di ridurre la sensibilità della misura nel rapporto da 1 a 200 in 8 differenti intervalli.

— Con questo sistema si può eseguire la taratura

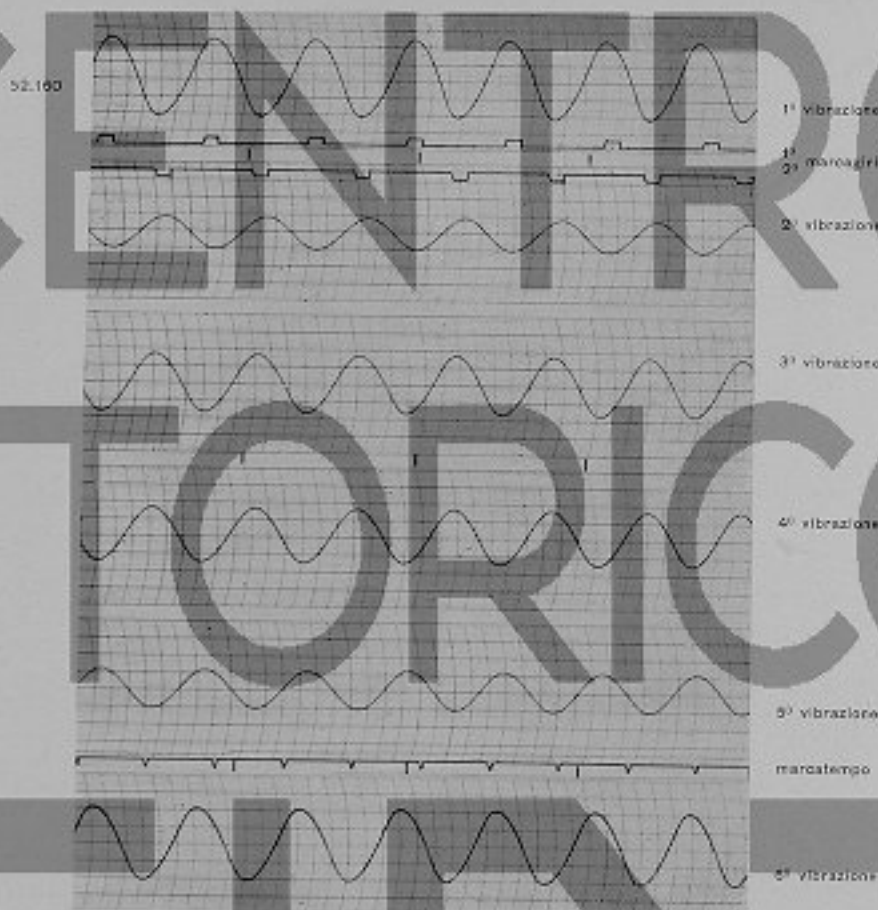


Fig. 30 - Esempio di registrazione con oscillografo Fiat OBM-6.

La registrazione comprende: 6 curve di altrettanti differenti punti di vibrazione; 2 tracce per le rotazioni di due differenti motori; una traccia per il marcatempo (1/2 sec.).

stati ricavati da una interessante pubblicazione [20] nella quale l'apparecchio è descritto per esteso e nella quale ne sono riportate tutte le caratteristiche.

Per quanto a noi interessa possiamo dire:

— I rivelatori vengono direttamente collegati, attraverso i cavi speciali di cui in precedenza abbiamo parlato, ai morsetti di ingresso dell'amplificatore.

— L'oscillatore a 2000 per/s è già in esso incorporato e fornisce tanto la corrente di alimentazione del rivelatore quanto quella necessaria al ponte demodulatore all'uscita dell'amplificatore.

— Questa uscita è collegata direttamente con un

statica di tutto il complesso di registrazione con l'attenuatore nella posizione più comoda per poter avere adatte ampiezze sull'oscillografo; la scala così ottenuta potrà venire aumentata o ridotta a seconda della sensibilità necessaria per la misura della vibrazione in rapporti noti corrispondenti agli spostamenti che si renderanno necessari sull'attenuatore.

Come abbiamo già detto l'amplificatore BL 310 serve per un solo canale di misura, per cui con un oscillografo a 6 equipaggi, come è il nostro, occorre disporre di 6 esemplari; ciò complica un po' le cose per l'ingombro ed il peso che essi comportano, per cui presso i Labo-

ratori della FIAT è attualmente in studio un nuovo tipo di amplificatore facilmente portatile e per di più alimen-

52.106



Fig. 31 - Amplificatore Brush tipo BL 310 a frequenza portante di 2000 per/sec.

Esso, in unione ai rivelatori Fiat VPI-2 ed all'oscillografo OBM-6 permette di ottenere coefficienti di amplificazione di anche 2000 volte.

tato a batterie; esso purtroppo non è oggi ancora completato nella sua soluzione definitiva, per cui non possiamo qui dire altro, anche se, come è presumibile all'epoca del Meeting (settembre 1952), esso potrebbe già essere in servizio.

Con la descrizione ora fatta dell'amplificatore e con quella precedente dell'oscillografo OBM 6 e dei rivelatori VPI 2 abbiamo terminato la rassegna del primo gruppo di strumenti i quali permettono di eseguire le misure di vibrazione in 6 punti con registrazione diretta a penna; passiamo perciò ora alla descrizione degli apparecchi con oscillografo fotografico.

#### 10) Oscillografo fotografico S 12 A ed amplificatore a 6 canali MRC 12.

Questi due apparecchi sono fra di loro intimamente legati per cui unitamente li descriveremo. Essi sono di costruzione della Hathaway di Denver U.S.A. e rappresentano uno dei migliori

complessi del genere, di tipo portatile alimentato completamente a batterie di pile o di accumulatori [21] [22].

L'oscillografo (vedi fig. 33) è a 12 equipaggi galvanometrici ed è provvisto di molti ed utili accessori che lo rendono di facile e pratico uso oltre che di rapida e comoda installazione. Tra di essi, per quanto concerne il nostro lavoro, crediamo utile citare i seguenti:

- grande varietà di galvanometri con differenti frequenze proprie e sensibilità da adattarsi ai vari tipi di vibrazione che occorre misurare.
- Marcatempo incorporato per segnare tracce di 1/10 e di 1/100 di secondo.
- Comandi automatici per accendere o per survolare la lampada di illuminazione dei galvanometri all'atto di ogni registrazione.
- Regolazione automatica della lunghezza della carta da far scorrere per ogni registrazione.
- Possibilità di vedere su un vetro trasparente le ampiezze di vibrazione.
- Cambio del serbatoio della carta fotografica alla luce del giorno.
- Grande numero di velocità di svolgimento della carta tra 1/2 e 58 pollici al secondo.
- Numerazione automatica di ogni registrazione.

Tutto l'apparecchio è racchiuso in una elegante scatola metallica provvista di attacchi a vite per i cavi di collegamento con gli amplificatori e con la sorgente di alimentazione.

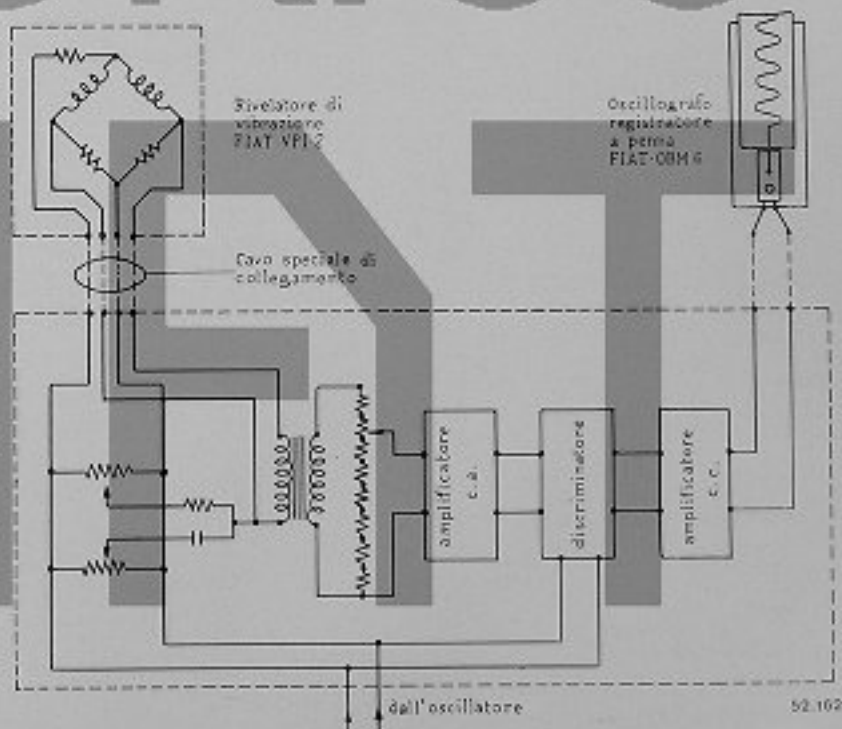


Fig. 32 - Schema di principio dell'amplificatore Brush BL 310.

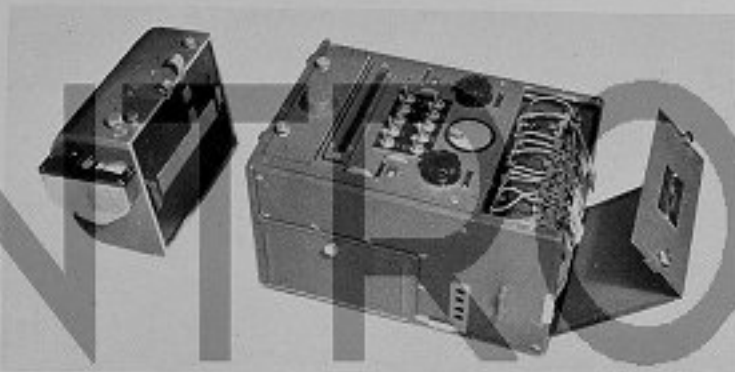
La carta fotografica viene trascinata con motorino a corrente continua a velocità rigorosamente costante, motorino che deve essere alimentato alla tensione di 12 Volt, quale può fornire una comune batteria di accumulatori;

di principio riportato in fig. 35. Come si può in esso vedere l'oscillatore invia la propria frequenza portante direttamente all'ingresso dei ponti del rivelatore. L'uscita del quale entra nell'amplificatore, viene amplificata, demodulata, quindi inviata al galvanometro a specchio per la registrazione.

Fig. 33 - Oscillografo Hathaway S12 A.

Nella fotografia qui riprodotta si possono osservare partendo da sinistra:

- Il serbatoio della carta fotografica esportabile alla luce del giorno e provvisto di riduttore di avvolgimento della carta e di tamburo guidato per la quantità della carta impressionata.
- Il pannello disposto su questo serbatoio per frangere ogni tanto un foro sul bordo della carta fra una registrazione e l'altra, allo scopo di permettere in camera oscura di tagliare in questi punti il rotolo impressionato ed evitare lo sviluppo di tratto troppo lungo.
- La cassa principale dell'oscillografo contenente il motorino per lo avvolgimento della carta, i vari pulsanti di comando, la lampada di illuminazione dei galvanometri, lo strumento per la regolazione della sua tensione di accensione, il manoscritto a diapason.
- I 12 galvanometri disposti nella parte posteriore di detta cassa con i relativi fili di collegamento.



quando si dispone di corrente alternata un opportuno alimentatore ne può fare egregiamente le veci.

La stessa tensione serve per le lampade di illuminazione dei galvanometri e per quella del marcatempo.

L'amplificatore a 6 canali MRC 12 (fig. 34) è anch'esso raccolto in una cassetta metallica, all'incirca delle stesse dimensioni dell'oscillografo, e che contiene:

- 6 amplificatori MRC 12 C
- 1 oscillatore stabilizzato a 5000 per/s
- le batterie di pile necessarie al suo funzionamento.

La corrente massima di uscita del circuito finale è lineare rispetto alla tensione di ingresso fino a circa  $\pm 10$  mA quando si abbia l'avvertenza di usare galvanometri registratori con resistenza non superiore a 10 ohm; questi galvanometri nelle loro esecuzioni normali e per le frequenze che qui ci interessano sono tali da permettere con la corrente sopracitata registrazioni di ampiezza anche superiore alla totale larghezza della carta fotografica.

Siccome la frequenza portante dell'apparecchio che stiamo descrivendo è di 5000 per/s, come già abbiamo detto, esso permette di registrare fenomeni sino ad un massimo di 500 per/s ed è quindi perfettamente adatto a coprire tutto il campo di utilizzazione dei nostri rivelatori di vibrazione.

Vogliamo infine dire che anche questi amplificatori sono provvisti di attenuatore tarato il quale ha 4 intervalli per valori di attenuazione di 1, 1/2, 1/4, 1/8, per cui è possibile fare con una certa precisione la taratura statica del complesso di misura con le ampiezze che più tornano comode.

52.104



Fig. 34 - Amplificatore Hathaway MRC 12 a frequenza portante di 5000 per/s.

Si distinguono: 6 amplificatori MRC 12 C (in basso); 1 oscillatore a 5000 per/s (a destra in basso); 6 strumenti di controllo per gli amplificatori (in alto); 1 Voltmetro di controllo generale (a destra in alto); le batterie dei filamenti e delle anodi nella parte superiore, dalle quale è stato tolto il coperchio.

Come abbiamo già detto questo apparecchio funziona a frequenza portante e gli amplificatori provvisti di 3 valvole di tipo miniatura funzionano secondo lo schema

### 11) Breve conclusione.

Prima di chiudere questo capitolo crediamo utile fare un breve riassunto di quanto in esso abbiamo detto scrivendo che:

- Con: 6 Rivelatori tipo FIAT VPI 2
- 6 Amplificatori Brush BL 910
- 1 Oscillografo FIAT OBM 6

è possibile registrare lo « spostamento » delle vibrazioni in 6 punti differenti anche molto lontani fra di loro (200 + 200 metri fra le due estremità).

Per la loro alimentazione questi apparecchi richiedono corrente alternata 60 per/s almeno fino a che essi non

porate e l'oscillografo deve essere alimentato da una batteria di accumulatori del tipo da automobile, per cui non è necessaria una sorgente esterna di energia.

Per quanto riguarda il trasporto degli apparecchi a bordo delle navi non abbiamo sino ora detto nulla, pur

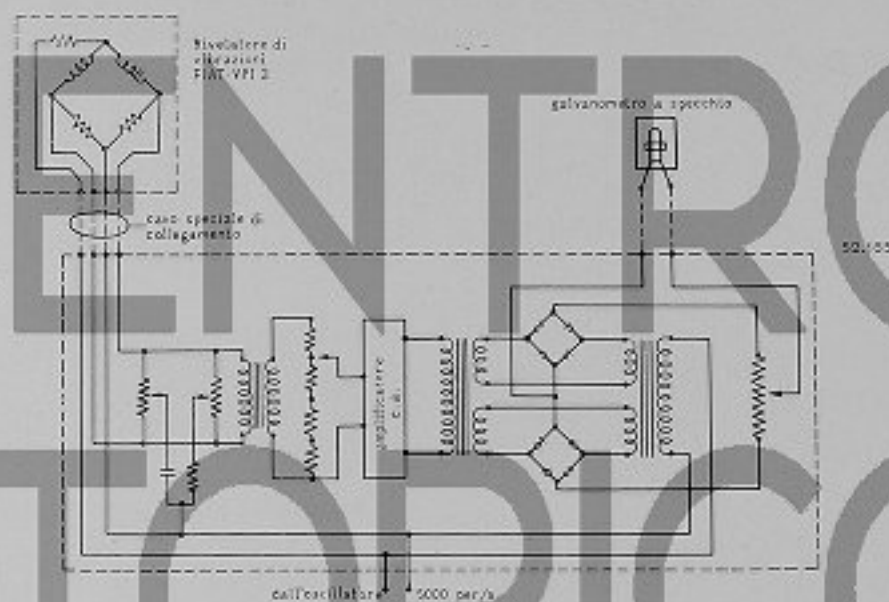


Fig. 35 - Schema di principio dell'amplificatore Hathaway MRC 12 C.

potranno essere sostituiti dai nuovi tipi con alimentazione a batteria.

- Con : 6 (oppure 12) rivelatori FIAT VPI 2
- 1 (oppure 2) amplificatori a 6 canali Hathaway MRC 12
- 1 Oscillografo Hathaway S 12 A

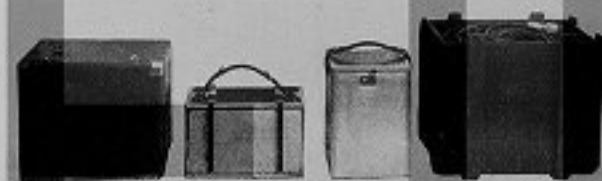


Fig. 36 - Complesso di misura per 6 posizioni pronto per il trasporto a mezzo ferrovia.

Da sinistra a destra: 1 cassa con 6 rivelatori Fiat VPI-2; 1 valigetta con amplificatore MRC-12; 1 valigetta con oscillografo fotografico S 12 A; 1 cassa da imballo per i cavi di collegamento degli amplificatori ai rivelatori.

è possibile eseguire la stessa registrazione in 6 (oppure in 12) differenti punti.

In questo caso gli amplificatori hanno le batterie incor-

stituendo esso una cosa veramente importante per la rapida e comoda esecuzione delle prove. Quando le distanze non sono molto grandi esso viene generalmente eseguito con l'ausilio di un automezzo, il quale può recarsi direttamente sotto bordo della nave.

Quando invece torna più comodo il treno, gli stessi sperimentatori trasportano, come loro bagaglio personale e direttamente nel loro scompartimento di viaggio, l'oscillografo e gli amplificatori racchiudendoli in valigette appositamente costruite, mentre i rivelatori ed i cavi di collegamento vengono inviati a mezzo bagaglio ferroviario generalmente caricandoli sullo stesso treno.

Per l'uso continuo e frequente che di questi apparecchi viene fatto presso il Servizio Sperimentale Motori della FIAT Grandi Motori, le modalità di trasporto acquistano anche una non trascurabile importanza per la vita e la conservazione degli strumenti, importanza che dagli sperimentatori incaricati viene opportunamente valutata e rispettata.

Un esempio di questi apparecchi pronti per la spedizione è a titolo di riferimento riportato in fig. 36.



STABILIMENTO  
GRANDI MOTORI  
Serv. Spec. Motori

### VIBRAZIONI VERTICALI DI SCAFO

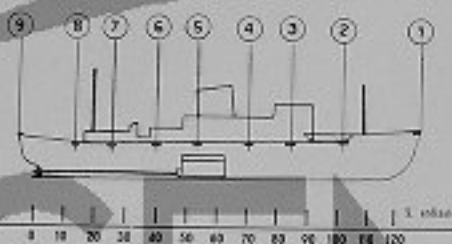
N. 1

DATA DELLA PROVA

13-11-49

#### VIBRAZIONI LINEARI

POSIZIONE RILIEVI: Ponte di coperta, trincarino destro

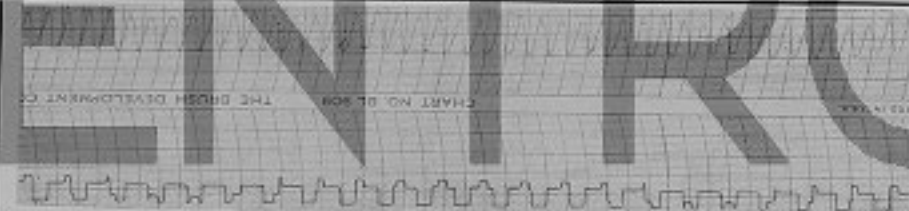


#### VIBROGRAFO

AMPLIFICAZIONE STATICA	1	—	—
FREQUENZA PENDOLO ISOLATO VERTICALE	1	—	Hz
— " — MONTATO CON MOLLE E LEVE	1	—	Hz
AMPIEZZA VIBRAZIONE MISURATA	2A	—	0,057 o mm.
COEFFICIENTE CORREZIONE DINAMICA *			
velocità frequenza di:	—	per min.	—
— " —	—	per min.	—
UNA INTERERREZIONE CON	1/2	sec.	1
			rot.

\* Per linee coste dell'angolo, il limite del vibrografo (ampiezza misurata/ampiezza effettiva)  
 n Velocità massima oltre motore in giri/min.  $\frac{60 T}{L}$   
 L e T lunghezza rispettivamente in centimetri e in secondi in mm.  
 o Doppio ampiezza di corsa del vibrografo in mm.

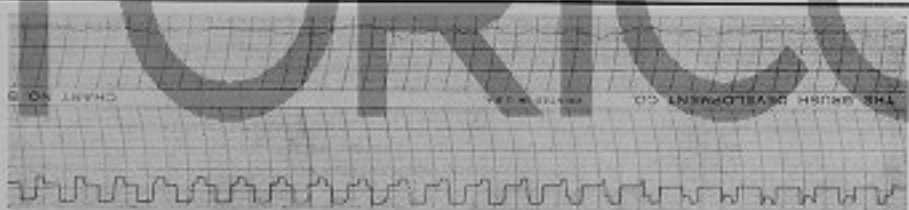
n. 117  
T.L. 18,9 / 9,7  
a 8,5 mm.  
2A 0,5 mm.  
Armonica 2.a  
Posizione rilievo 1



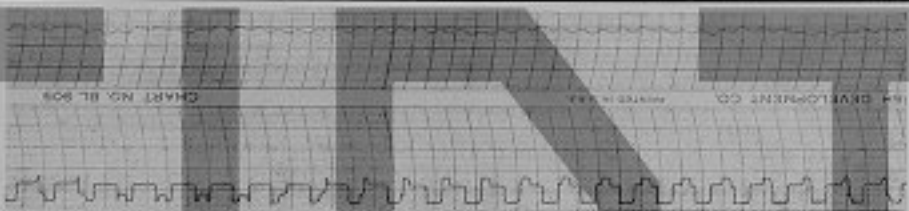
n. 115  
T.L. 18,9 / 9,9  
a 5,5 mm.  
2A 0,82 mm.  
Armonica 2.a  
Posizione rilievo 2



n. 115  
T.L. 19 / 9,85  
a 0,6 mm.  
2A 0,085 mm.  
Armonica —  
Posizione rilievo 3



n. 115  
T.L. 18,76 / 9,9  
a 1 mm.  
2A 0,067 mm.  
Armonica —  
Posizione rilievo 4



n. 115  
T.L. 18,7 / 9,75  
a 1,5 mm.  
2A 0,061 mm.  
Armonica —  
Posizione rilievo 5



n. 115  
T.L. 18,6 / 9,72  
a 1,2 mm.  
2A 0,065 mm.  
Armonica —  
Posizione rilievo 6

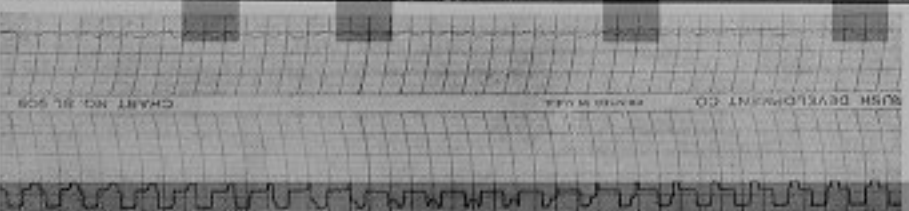


Fig. 37 - Esempio di registrazione in un sol punto con rivelatore G.R. 761 A ed oscillografo a penna.

Gli oscillogrammi dopo la misura vengono ricostituiti in moduli prestabiliti per la successiva riduzione nel formato normalizzato di 210 x 297 mm. Nell'esempio qui riportato si vede:

- lo schema della nave con i 9 successivi punti di misura le alte a sinistra
- 6 oscillogrammi per i punti da 1 a 6 e per la medesima velocità di rotazione del motore principale
- la tracce del tempo e dei giri sulla parte inferiore di ciascun oscillogramma per controllare l'esattezza di questa velocità.

## CAPITOLO IV

## ESEMPLIFICAZIONE DEI RISULTATI OTTENUTI

Dopo tutto quanto abbiamo detto nei capitoli precedenti ci tocca ora arrivare alla conclusione del nostro lavoro facendo una rapida rassegna dei risultati che gli apparecchi studiati e descritti hanno permesso di raggiungere e dei dati e parametri caratteristici che con essi si sono potuti ricavare intorno alle vibrazioni di scafo.

Le didascalie delle due figure citate e specialmente quelle della prima possono essere sufficienti ad illustrare i rilievi che esse rappresentano. Facciamo solo notare come questa ultima figura dia anche un esempio del modo col quale gli oscillogrammi rilevati vengano raccolti e ordinati per la loro elaborazione onde essere poi

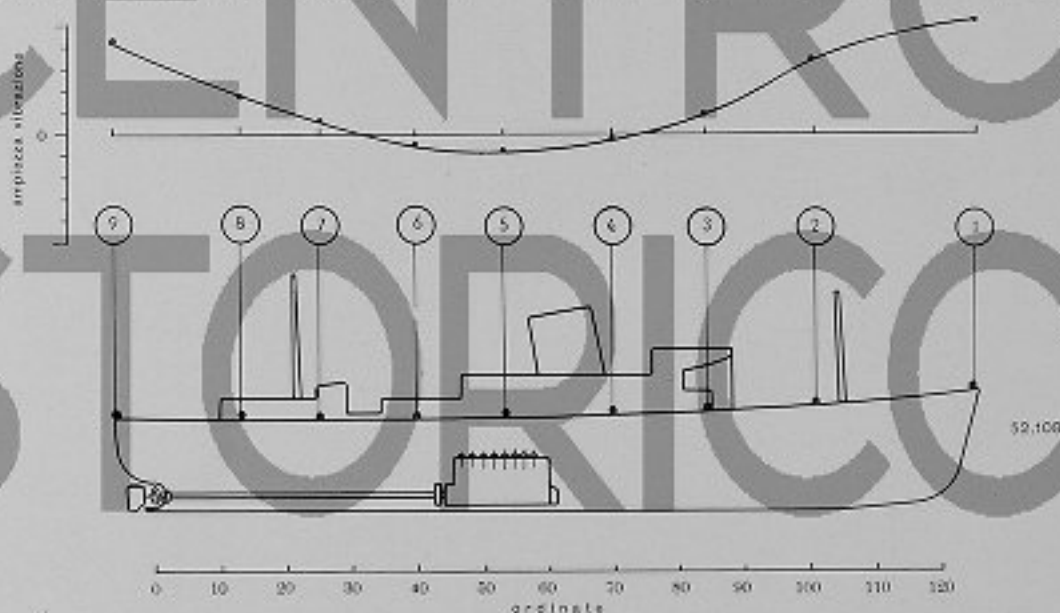


Fig. 38 - Linea elastica ricavata dai rilievi della precedente fig. 37.

### 1) Rilievo di linea elastica di vibrazione.

a) Con il rivelatore a quarzo ed il relativo oscillografo registratore, come descritto nella parte I del precedente capitolo III, si possono fra l'altro ricavare diagrammi di vibrazione in corrispondenza di vari punti dello scafo disposti da prora a poppa come ad esempio è raffigurato in fig. 37.

Essa si riferisce a vibrazioni verticali dello scafo di una nave della stazza di circa 2000 tonn. le quali sono state rilevate in 9 punti differenti uno successivo all'altro ed in base alle quali si è tracciata la linea elastica riportata in fig. 38.

L'apparecchio qui usato, come già sappiamo, permette il rilievo di un punto per volta e quindi per tracciare con precisione questa linea elastica si è dovuto avere cura di mantenere le condizioni di vibrazione della nave sempre uguali.

anche allegati alle relative relazioni fotograficamente ridotti nel formato normalizzato di  $210 \times 297$  mm.

b) Con i rivelatori FIAT a pendolo e oscillografo fotografico (oppure oscillografo multiplo a galvanometri scriventi) i rilievi vengono eseguiti in più punti contemporaneamente, come già detto, eliminando le difficoltà dei successivi rilievi con gli apparecchi ad un solo punto di misura.

Un esempio di questi diagrammi è riportato in fig. 39 il quale contiene, sempre in moduli normalizzati per essere ridotti fotograficamente al formato delle relazioni, 4 rilievi diversi, ciascuno contenente il diagramma della vibrazione di 6 punti distribuiti lungo lo scafo della nave. I rilievi riprodotti si riferiscono a 4 differenti velocità intorno alla risonanza ed hanno permesso insieme ad altri che qui, per ovvi motivi, non sono riportati ma che si riferiscono ad altre posizioni (n. 2, 3, 4, 5, 6) inter-

**FIAT****STABILIMENTO  
GRANDI MOTORI**

Serv. Sper. Motori

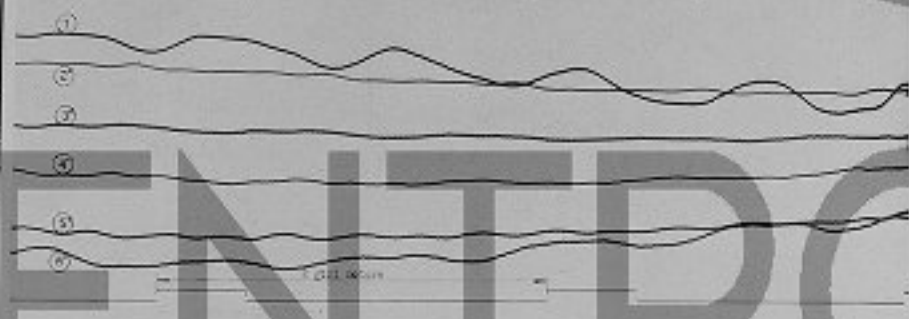
**VIBRAZIONI VERTICALI DI SCAFO**

effettuata contemporaneamente con 6 vibrometri Fiat a variazione di inerzia

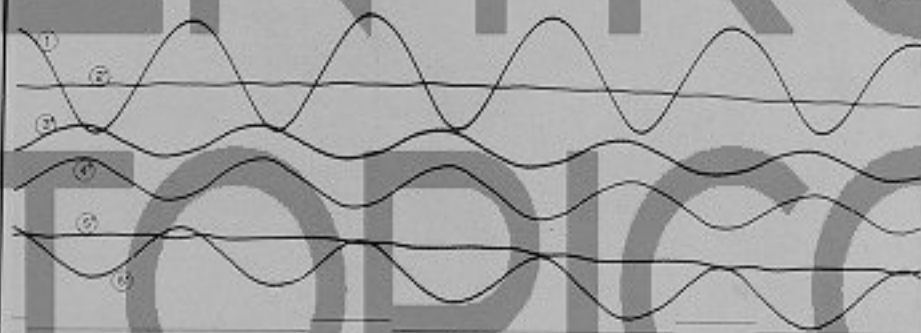
N. E361

LUGLIO 1951 DATA DELLA PROVA  
CANNES-GENOVA 6/1/1951ORIGINALE SU FORMATO  
525 x 742,5VIBROLOGIA DISPOSITIVO A FORNITURA SINGOLA SE ORDINATE - Estrema prova - CM-105-75-17 - Estrema prova  
Ritardo con motori a giri costantiSCALA FOTOSTAMPA  
1:0,5
 $n = 83,2 \text{ g/m}$   
 $L = 79,7 \text{ mm}$   
 $T = 110,5 \text{ mm}$ 

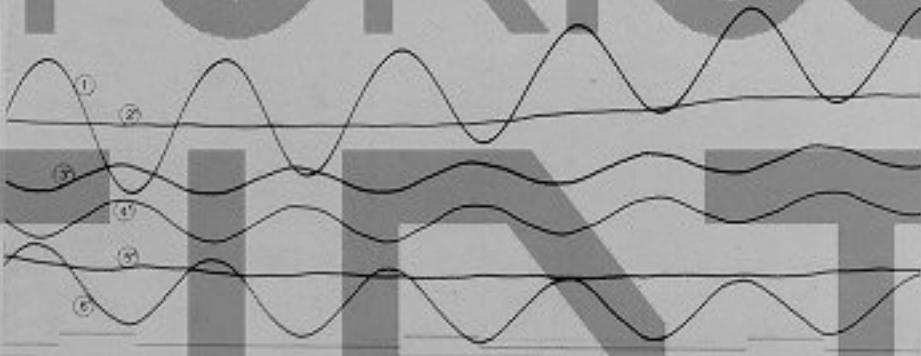
Vibrom.	$\mu$ mm	2A mm
1	11,2	0,975
2'	9,4	0,145
3'	2,0	0,107
4'	2,7	0,190
5'	2,6	0,110
6'	4,5	0,840


 $n = 90 \text{ g/m}$   
 $L = 73,75 \text{ mm}$   
 $T = 110,5 \text{ mm}$ 

Vibrom.	$\mu$ mm	2A mm
1	46	2,00
2'	—	—
3'	13	0,28
4'	19	1,33
5'	—	—
6'	22,5	1,58


 $n = 96 \text{ g/m}$   
 $L = 69,6 \text{ mm}$   
 $T = 110,5 \text{ mm}$ 

Vibrom.	$\mu$ mm	2A mm
1	41,6	2,48
2'	1,7	0,1
3'	11,3	0,48
4'	14,5	1 —
5'	9,2	0,095
6'	25 —	1,98


 $n = 115 \text{ g/m}$   
 $L = 58 \text{ mm}$   
 $T = 110,5 \text{ mm}$ 

Vibrom.	$\mu$ mm	2A mm
1	10,5	0,93
2'	2,0	0,140
3'	2,5	0,15
4'	2,5	0,175
5'	2,6	0,114
6'	4,2	0,51

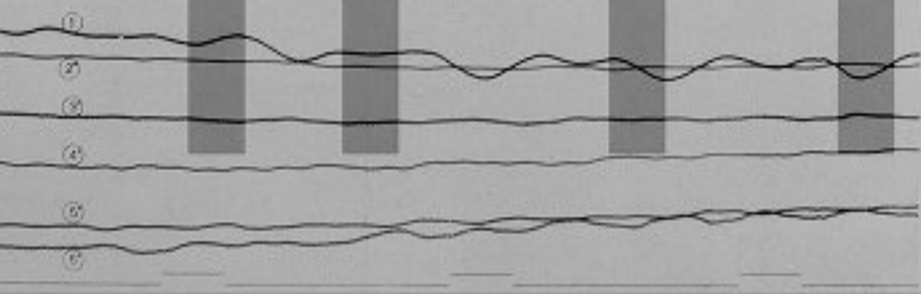


Fig. 39 - Esempio di registrazione con oscillografo fotografico a 6 punti di misura contemporanea.

A parte il differente metodo di registrazione anche qui valgono le stesse considerazioni di fig. 37; ciascun oscillogramma però al riferisco ad una differente velocità di rotazione del rotore, dato che su 47 assi sono segnate le vibrazioni di 6 punti dello scafo sufficienti a tracciare, a quelle velocità, la linea elastica con una certa precisione.

medie alle precedenti, di tracciare la linea elastica dello scafo con 12 punti di riferimento. In questa misura per ovviare alla non contemporaneità dei due gruppi di rilievi il punto di misura portante il n. 1 è sempre rimasto lo

A questo proposito facciamo notare che la vibrazione di cui ci siamo ora interessati era completamente indipendente dalle vibrazioni di scafo come le abbiamo intese nella nostra prima definizione, ma che faceva parte

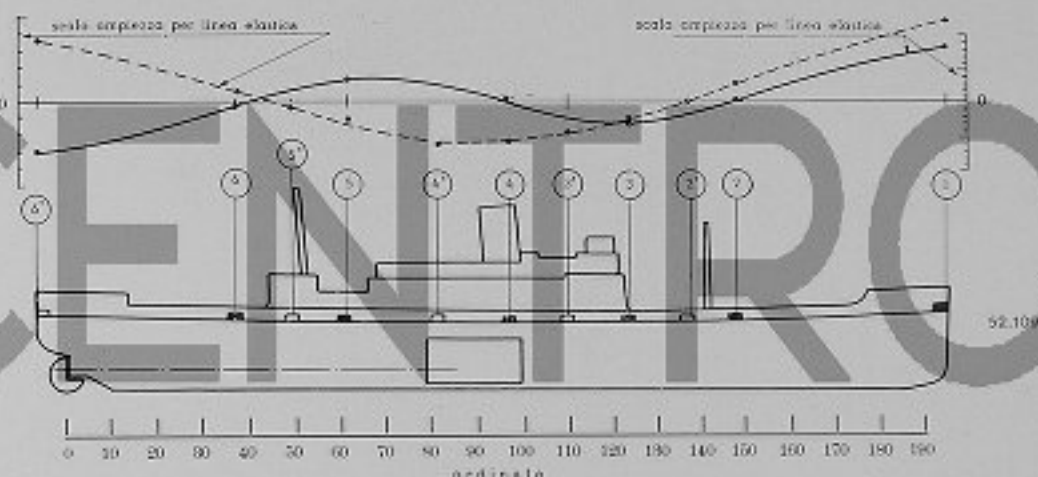


Fig. 40 - Linea elastica a due e a tre nodi ricavata dai rilievi di fig. 39.

Per disporre di 11 punti differenti di misura i rilievi sono stati eseguiti in due tempi successivi spostando i rivelatori 2, 3, 4, 5, 6 della posizione originaria a quella 2', 3', 4', 5', 6' e lasciando il rivelatore 1 sempre nella stessa posizione per controllo.

stesso nei due casi, onde poter avere l'assicurazione che le ampiezze di vibrazione non avessero subito variazioni.

In fig. 40 sono riportate queste linee elastiche dalle quali si sono potute trarre ottime deduzioni per il bilanciamento degli organi che le eccitavano.

## 2) Vibrazioni localizzate in determinate zone delle navi.

Un esempio di vibrazioni localizzate in parti ristrette di uno scafo è quello di fig. 41, il quale è il risultato di misure eseguite con il rivelatore a quarzo e la relativa apparecchiatura di registrazione singola. Disponendo il quarzo nelle tre direzioni volute (verticale - trasversale - longitudinale), si sono misurate, per diverse velocità di rotazione del motore principale, le tre componenti della vibrazione della base della bussola magnetica sul ponte di comando di una piccola nave.

Il diagramma che si è potuto ricavare ha permesso di determinare che si era in presenza di una critica alla velocità di 137,5 giri/min del motore principale con una oscillazione di ottava armonica, corrispondente ad una frequenza propria del sostegno della bussola di 1100 per/min.

I rilievi così eseguiti hanno permesso di determinare la entità delle modifiche necessarie per eliminare la vibrazione dannosa, variando la frequenza propria del ponte che portava la bussola.

di quei particolari modi di vibrazione di numero elevato che abbiamo voluto sottointendere nella successiva precisazione (capitolo II, punto 2). Le vibrazioni di scafo

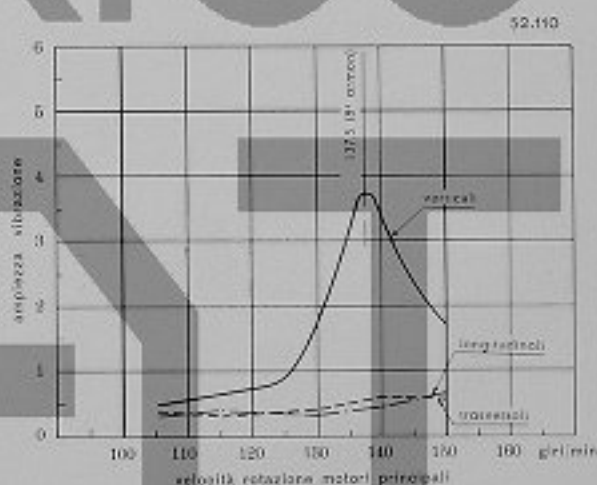


Fig. 41 - Vibrazioni verticali, trasversali e longitudinali.

Le vibrazioni trasversali e longitudinali sono praticamente trascurabili; quelle verticali hanno invece una chiara risonanza a 137 giri/min dei motori principali.

infatti nella loro componente verticale avevano una frequenza propria di soli 234 per/min ed entravano in risonanza a 117 giri/min con la 2<sup>a</sup> armonica della velocità di rotazione dei motori principali.



### 3) Influenza degli elementi bilancianti sugli organi eccitanti la vibrazione.

Lo studio delle vibrazioni di scafo deve essere in grado di fornire elementi anche per la loro riduzione od

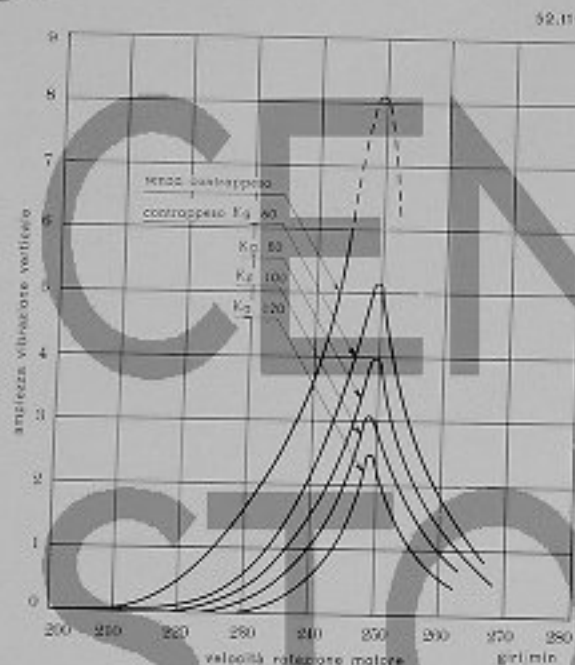


Fig. 42 - Influenza della contrappesatura di organi rotanti eccitanti la vibrazione.

eliminazione compatibilmente con le esigenze tecniche della costruzione. Studi, ad esempio, sono stati fatti per determinare l'influenza dei sistemi di bilanciamento degli organi che eccitavano le vibrazioni; un esempio è riportato in fig. 42, la quale si riferisce a diverse prove eseguite su di una stessa nave col motore principale differenzialmente controbilanciato. La frequenza di risonanza, come è ovvio, è rimasta sempre costante, ma le curve di risonanza hanno notevolmente variato la loro ampiezza. Si sono potute così determinare le condizioni ottime per il bilanciamento del motore senza sovraccaricare troppo i relativi cuscinetti portanti.

### 4) Influenza del carico a bordo sulla frequenza di vibrazione.

Il carico imbarcato su di una nave ne varia la massa e quindi la frequenza propria perchè i relativi elementi elastici rimangono invariati; il diagramma di fig. 43 rappresenta appunto ricerche eseguite con questo scopo, quali sono necessarie quando la frequenza propria dello scafo è molto vicina a quella degli organi che la eccitano e né l'uno né l'altro possono essere notevolmente modificati.

In questi casi, come è ovvio, è necessario trovare condizioni di compromesso sulle quali notevole influenza hanno i carichi imbarcati a bordo.

### 5) Variazioni della frequenza propria col variare della disposizione del carico.

Anche la posizione del carico ha sensibile influenza sulla frequenza propria dello scafo; aggiungendo o togliendo masse nei ventri della vibrazione la frequenza di risonanza varia notevolmente; è questo ad esempio il caso di fig. 44, nel quale lo spostamento del carico di zavorra dalle due estremità di poppa e prora al centro della nave, ha portato una variazione della frequenza propria abbastanza sentita come si può vedere dai due diagrammi di fig. 45.

### 6) Conclusione.

Siamo così giunti alla fine della nostra memoria dopo aver idealmente percorso tutto il lavoro teorico, progettuale e di approntamento necessario per arrivare ad una serie di strumenti adatti alle esigenze delle misure che ci eravamo proposte. Dopo averne esposte le effettive

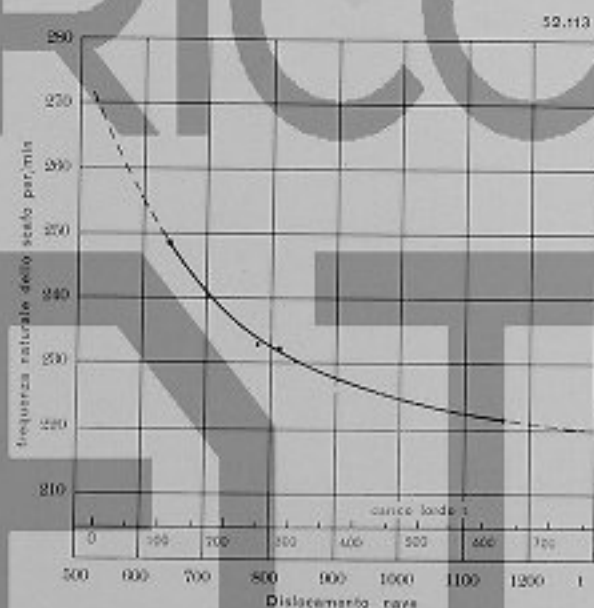


Fig. 43 - Influenza del carico imbarcato sulla frequenza naturale di vibrazione.

Aumentando il carico imbarcato si riduce la frequenza naturale di vibrazione perchè si aumentano le masse della nave lasciando inalterato l'elasticità.

realizzazioni, ci siamo perciò trovati qui all'ultimo capitolo in grado di giustificare la nostra opera ed il tempo per essa speso con i risultati ottenuti, oltre che nella possibilità di avere un compenso alla laboriosità del per-

corso fatto nei miglioramenti che si sono potuti raggiungere sulle costruzioni studiate.

notevolmente ha influito sul lavoro eseguito, quello cioè che si riferisce alle fatiche, al lavoro oltreché all'amore

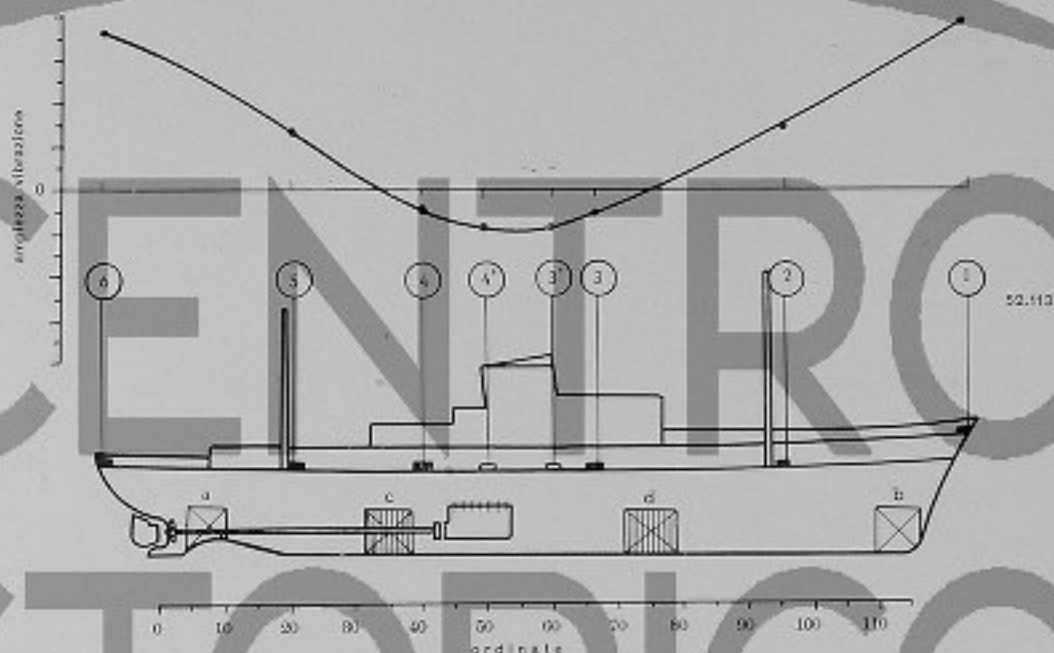


Fig. 44 - Variazioni della frequenza propria col cambiare della posizione del carico di zavorra. Differenti posizioni del carico di zavorra corrispondenti ai cillisti di fig. 43 e linea elastica rilevata per le prove con carico al centro (a + d).

Nella lettura di tutte queste nostre parole però nessuno si trova su di un argomento molto importante che

che per tutto ciò hanno dovuto dedicare le persone che se ne sono interessate. Questo è forse uno dei fattori principali, che nessuno può trascurare nell'esecuzione di qualsiasi opera umana e tanto meno perciò in ricerche e studi come quelli qui sopra esposti, nei quali la preparazione sia tecnica che morale delle persone interessate è almeno altrettanto importante quanto tutto il resto. Tutto ciò deve quindi almeno qui essere ricordato: frutto di tempo, di perseveranza, oltre che di costante e benevola collaborazione, cui deve l'autore tributare il meritato riconoscimento.

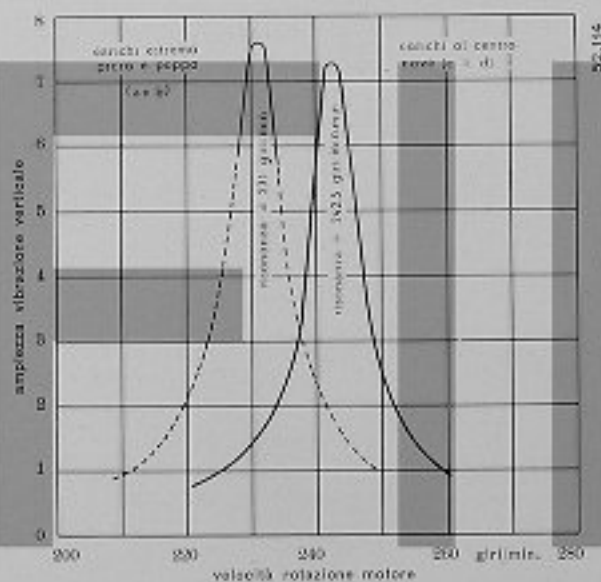


Fig. 45 - Variazioni della frequenza propria col cambiare della posizione del carico di zavorra.

Curve di risonanza per le due condizioni specificate in fig. 44: spostando i carichi dalle estremità di prora e di poppa al centro nave (da a + b a c + d) la risonanza varia da 231 a 242,5 per/min.

### 7) Ringraziamento.

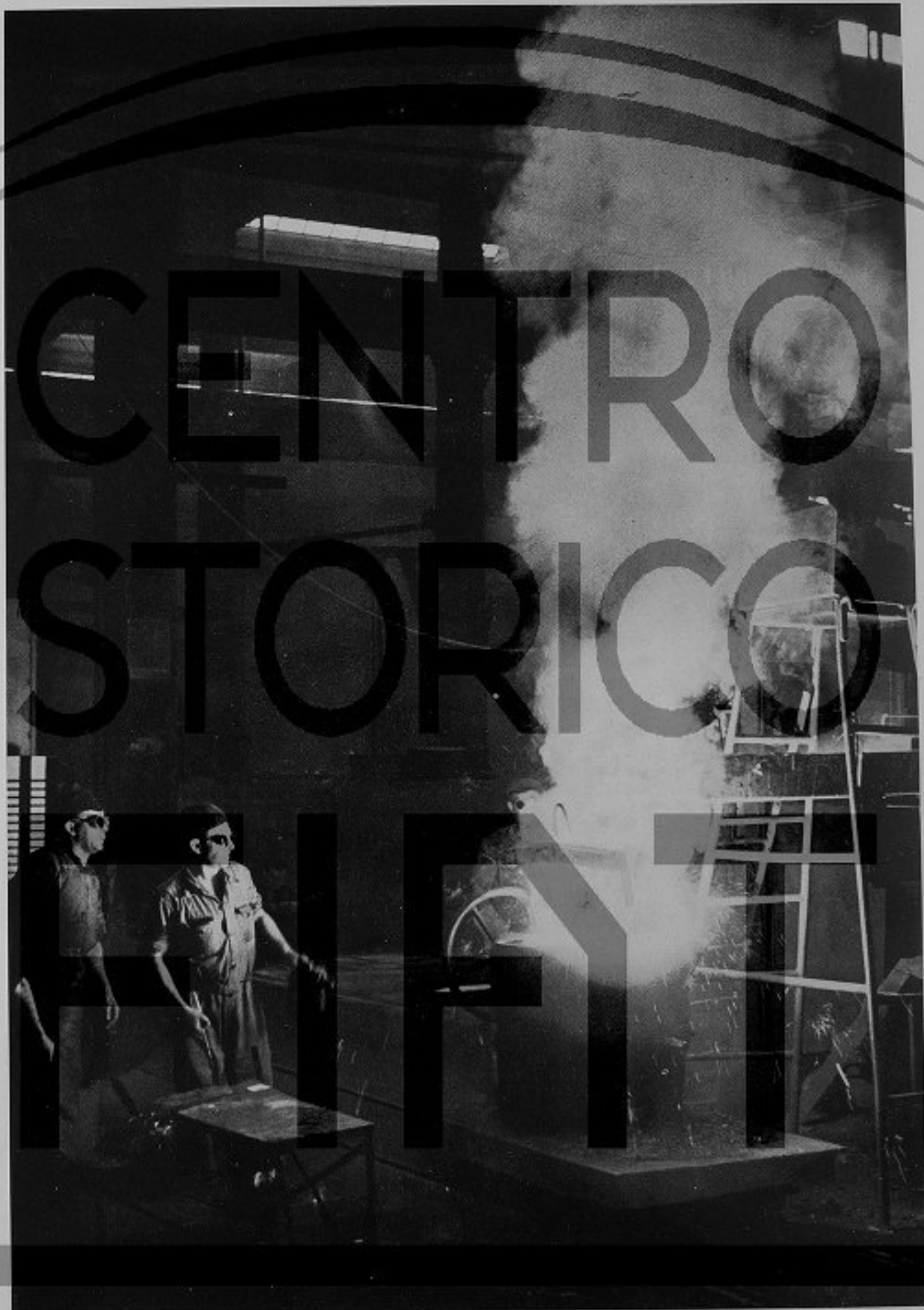
L'autore desidera infine rivolgere un particolare ringraziamento alla Direzione della FIAT Grandi Motori per i mezzi che gli ha concesso per la preparazione e l'esecuzione delle apparecchiature e dei lavori sopra descritti, e per la autorizzazione di rendere queste cose qui pubblicamente note.

Egual ringraziamento deve pure essere rivolto alle società Armatrici ed ai Cantieri Costruttori per la benevola e costante collaborazione prestata oltre che per gli aiuti forniti.

Dott. Ing. GIOVANNI VILLA.

# BIBLIOGRAFIA

- [1] J. P. DEN HARTOG: *Mechanical vibrations* — Mc Graw Hill Co.
- [2] S. TIMOSHENKO: *Vibration problems in engineering* — Constable Co. Londra.
- [3] J. GEIGER: *Mechanische schwingungen* — Springer Berlino.
- [4] L. C. BURRILL, A. G. BOGGIS: *Electronics in naval architecture - Some applications to research problems* — N. E. Coast Inst., Vol. 67, pag. 159.
- [5] *Comè* 4, pag. 158.
- [6] J. J. WILD: *Predetermined counters* — Electronics Marzo 1947, pag. 120 - 123.
- [7] J. GEIGER: *Vibration on motor ships* — Motor Ship Novembre 1923.
- [8] *Cambridge Integral Vibrograph* — Catalogo della Cambridge Instruments Co. - Londra.
- [9] *Messung von Kraftfahrzeugschwingungen* — Z. VDI 79 - 1935 - pag. 199 - 202.
- [10] P. M. FELIER: *Elektrische messung Mechanischer größen* — Springer Berlino.
- [11] G. VILLA: *La misura elettrica delle grandezze meccaniche* « *Electronica* » (Torino), Aprile-Maggio-Luglio-Dicembre 1946.
- [12] U. ZELBSTEIN: *Applications industrielles des mesures électroniques* — Ed. De Montligeon — La Chapelle Montligeon, Francia 1950.
- [13] H. H. SCOTT: *A general purpose vibration meter* — J. Ac. Soc. of Am. Vol. XIII n. 1 p. 46-50 - Luglio 1941.
- [14] *General Radio Experimenter* — Vol. XVI n. 1 — pagine 1-8, 1941.
- [15] *Catalogo « M » della General Radio di Cambridge, U.S.A.*, pag. 17-18.
- [16] *The noise primer* — Edito da General Radio Co., Cambridge, U.S.A., pag. 28-29.
- [17] H. H. SCOTT: *An analyzer for subaudible frequencies* — J. Ac. Soc. of Am., Vol. XIII n. 4 pagine 360-362 — Aprile 1942.
- [18] H. B. SHAPER: *Electrodynamic direct-inking pen* — Electronics, Marzo 1940, pag. 148-151.
- [19] A. J. JOHNSON: *Vibration tests of all-welded and all-ribbed 10,000 ton dry cargo ship* — N. E. Coast Inst., vol. 67 parte 1, pag. 210.
- [20] Dean CHRISTIAN: *BL 310 Strain Analyzer* — Experimental Stress Analysis, Vol VII n. 1, pag. 21-29.
- [21] C. M. HATHAWAY: *New portable stress analysis equipment* — Exp. Stress An., Vol. IV n. 1, pag. 56-63.
- [22] C. M. HATHAWAY: *New developments in dynamic strain recording Equipment* — Exp. Stress An., Vol. VII n. 2, pag. 119-126.



Trattamento di inoculazione durante una colata, nella nostra fonderia, di ghisa a grafite sferoidale secondo il processo Mond-Nikol.