

Studio di centrale elettrica da 20.000 kW

Allo scopo di rendere più note le caratteristiche costruttive e di funzionamento di una centrale elettrica azionata da motori a combustione, è stato completato lo studio di una centrale di media potenza.

Sono riportati disegni e specificazioni in tre varianti, e sono forniti elementi e dati tali da permettere un sufficiente giudizio sulla convenienza di una centrale di questo tipo.

Il progresso tecnico dei motori a combustione, che ha reso normale la costruzione di unità dell'ordine di grandezza fino a 12.000 ÷ 15.000 HP, ha allargato il campo di applicazione dei motori anche alla produzione di energia elettrica in centrali di rilevante potenza.

Possono essere oggi costruite, senza ricorrere a costruzioni agrischiate di tipo eccezionale, unità azionate da motori a combustione della potenza di 7.000 ÷ 8.000 kW; questo corrisponde a impiegare per la produzione di energia macchine equivalenti a quelle normalmente usate per la propulsione di navi da carico veloci o di navi da passeggeri.

Tre o quattro unità ognuna azionate con un motore a 8 o 10 cilindri, possono fornire la potenza di 20 o 30 mila kW; nessuna difficoltà vi sarebbe a sommarne un maggior numero e a costruire centrali di potenze superiori.

Che tale possibilità esista in effetti lo dimostra l'esistenza di alcuni impianti (Sciangai, Brokenhill, ecc.) che hanno raggiunto oggi potenze molto considerevoli e che sono costituiti da oltre una diecina di unità; è però da notare che la loro attuale consistenza non corrisponde ad un progetto iniziale, ma è il risultato di successivi ampliamenti fatti nel corso di alcune diecine di anni.

I grandi produttori di energia elettrica sono tuttora orientati verso il macchinario a vapore, ma noi riteniamo che il motore Diesel potrà affermarsi per le grandi centrali se potrà essere eliminata la prevenzione abbastanza diffusa che un

notevole numero di gruppi generatori, quali occorrono per ottenere grandi potenze, possa dar luogo a disturbi nell'esercizio o ad eccessivo dispendio nella manutenzione.

In realtà impiegando cilindri a doppio effetto di dimensioni non eccessive possono aversi oggi senza difficoltà per ogni cilindro 700 o 800 kW, il che significa che per 20.000 kW occorrono da 25 a 30 cilindri, per 50.000 kW da 60 a 75 cilindri.

È probabile che quando si disponga, come oggi avviene correntemente, di gruppi turbo-alternatori per potenze di 50.000 kW e più in una sola macchina azionata da 1 o 2 caldaie, vi sia chi possa ritenere almeno a prima vista più semplice e tranquilla la seconda soluzione.

Non vogliamo entrare in discussioni su questo punto, per quanto molto si potrebbe dire per sfatare l'impressione di apparente semplicità derivante dai macchinari a vapore, perchè essi sono in realtà tanto più complessi, delicati e di difficile condotta, quanto più avanzata è la economia di esercizio e quanto più basso è il consumo di combustibile che si desidera ottenere.

Desideriamo invece segnalare all'attenzione dei produttori di energia elettrica, a cui sono certamente più familiari le centrali a vapore, i dati e le caratteristiche di una centrale Diesel di media potenza contenuta largamente entro i limiti di sicura e tranquilla realizzazione. Per questo fissaremo il nostro esame su una centrale di circa 20.000 kW la quale potrà essere costruita secondo gli schemi e impiegando i motori qui appresso descritti.

Chiediamo senza se dovremo ripetere qualche dato già pubblicato in precedenti trattazioni sul nostro bollettino.

A differenza di quanto avviene per un apparato motore navale, in cui le esigenze della propulsione e dello spazio limitano la scelta del numero e del tipo dei motori che possono essere impiegati, una centrale come quella che intendiamo considerare può essere progettata con numero di unità molto diverse; e notevole larghezza, fissata la potenza, si ha anche nella scelta dei tipi di motori da impiegare.

A parità di potenza installata, il numero delle unità generatrici può dipendere dall'andamento del carico che la centrale deve produrre. Se il carico è di base, e con un servizio continuativo con caratteristiche di costanza, conviene avere il maggior numero di unità, onde avere una minor perdita di produzione nei necessari periodi di fermata per manutenzione; se il carico è discontinuo o stagionale può essere preferibile un minor numero di unità, in quanto il tempo occorrente per la manutenzione può ricavarsi dai periodi stagionali o diurni di fermata o di carico ridotto.

La scelta del numero dei giri può essere fatta con una certa larghezza: ragioni di costo e di ingombro, specialmente per le macchine generatrici spingono ad un più alto numero di giri, cioè a diametri di cilindri minori, mentre la tendenza a non moltiplicare il numero dei cilindri agisce nel senso opposto.

Anche l'andamento del carico ha la sua influenza in tale scelta; per un servizio di base conviene avere cilindri di grande diametro a giri bassi, meglio adatti a bruciare nafta scendenti e richiedenti manutenzione a più lunghi intervalli, per un servizio stagionale o di punta possono usarsi con vantaggio motori più veloci che danno luogo ad un minor costo di impianto.

Per contro qualche limitazione nella scelta del numero e delle dimensioni dei cilindri e del numero di giri si ha dalla esigenza di eliminare, non solo dalla zona di velocità di funzionamento, ma possibilmente anche nel campo attraversato durante l'avviamento, critiche torsionali di entità pericolosa per l'albero del motore e dell'alternatore. Questa esigenza raccomanda particolari numeri di cilindri e particolari calettamenti ed eventualmente l'uso di smorzatori torsionali e determina, più

che le condizioni di sollecitazione meccanica dovuta agli sforzi normali, le dimensioni dell'albero a gomito e la costruzione della parte meccanica dell'alternatore. La presenza della grande massa rotante dell'alternatore rende questo problema più importante e delicato di quanto non avvenga nei motori adibiti alla propulsione navale.

Per tener conto delle varie esigenze progetteremo quindi la centrale in tre varianti, scegliendo le unità motrici fra i tipi di motori di nostra più corrente costruzione.

1) La prima soluzione (disegni a pag. 4 e 5) è da noi ritenuta più adatta ad un servizio stagionale o di punta, giacché comporta poche unità, a numero di giri relativamente alto in relazione alla potenza installata.

Sono previsti tre gruppi da circa 6.000 kW, azionati da motori di circa 9.000 HP di potenza normale. Ciascun motore ha 9 cilindri a doppio effetto, 650 mm di diametro, e 960 mm di corsa; per la frequenza di 50 periodi funziona a 166,5 giri, azionando un alternatore a 36 poli. Il motore ha un notevole margine di potenza, potendo sopportare per brevi periodi, un sovraccarico di circa il 20%; la potenza in servizio normale è sviluppata alla pressione media effettiva di 4,6 Kg/cm² e alla velocità di stantuffo di 5,34 m/sec.

Abbiamo costruito molti motori per navi da passeggeri e centrali elettriche uguali a quelli qui proposti o impiegando cilindri dello stesso tipo; le loro caratteristiche, già segnalate in precedenti articoli del nostro bollettino, sono note ai nostri lettori.

Anche per centrali elettriche pensiamo opportuno che i motori siano completi della loro pompa per l'aria di lavaggio, che preferiremmo del tipo a stantuffo, per ragioni di semplicità di costruzione e manutenzione.

I disegni fig. 1 A rappresentano la disposizione generale della centrale e vi sono elencati in dettaglio anche gli ausiliari.

Riportiamo inoltre il disegno di ingombro di ciascun gruppo (fig. 1 B) e il diagramma delle relative sollecitazioni torsionali (fig. 1 C).

Il consumo di combustibile per kWh in una centrale di questo tipo, nell'ipotesi di impiegare combustibile normale per motori Diesel (potere calorifico superiore di 10.600 Cal/Kg e densità

0,89 ÷ 0,9 a temperatura ambiente) è riportato nel grafico di fig. 1 D.

Come si può osservare esso si mantiene praticamente costante e prossimo al valore minimo fino a carichi pari a $1/5 \div 1/6$ del carico totale.

I motori sono in grado di bruciare anche nafta da caldaie, purché preventivamente riscaldata e depurata; in questo caso il consumo di combustibile aumenta del $5 \div 7\%$ in relazione al minor potere calorifico della nafta da caldaia.

2) La seconda soluzione (disegni a pag. 6 e 7), è forse più adatta a un servizio continuato, essendo costituita da 4 gruppi da 5300 kW circa, a più basso numero di giri.

Ogni gruppo è azionato da un motore da circa 7800 HP di potenza normale, con 7 cilindri a doppio affetto, 680 mm di diametro e di 1200 mm di corsa. Per la frequenza di 50 periodi i motori funzionano a 136,5 giri azionando alternatori a 44 poli.

Anche qui i motori sono moderatamente caricati, avendo al carico normale una pressione media effettiva di 4,6 Kg/cm² e una velocità di stantuffo di 5,46 m/sec; possono essere sovraccaricati fino al 20% per brevi periodi. Il diagramma di consumo (fig. 2 D) è un po' più favorevole a causa della minore velocità e un po' più costante fino alle basse andature causa il maggior numero di gruppi installati.

Dato il minor numero di giri è da prevedersi un più facile uso di combustibili di qualità scadente.

Nel disegno fig. 2 A si vede la disposizione del macchinario previsto per la centrale, per la quale valgono le considerazioni fatte per la prima alternativa; nel disegno fig. 2 B è rappresentata la costruzione e sono riportate le dimensioni di ingombro dei gruppi.

Per ridurre le sollecitazioni torsionali (vedi figura 2 C) durante la fase di avviamento abbiamo previsto uno smorzatore torsionale.

3) La terza soluzione (disegni a pag. 8 e 9) è basata sull'impiego di motori a semplice effetto, e richiede pertanto un maggior numero di cilindri. La centrale è quindi fornita di 6 unità, ognuna di 3300 kW; i necessari lavori di manutenzione, impiegando un gruppo per volta, lasciano disponibili salvo casi eccezionali, i $5/6$ della potenza installata. Questa centrale potrebbe quindi essere meglio adatta della precedente per un carico base.

Ogni gruppo è azionato da un motore da circa 4800 HP con 7 cilindri a semplice effetto, diametro di mm 680 e corsa di mm 1200. La velocità di servizio è di 136,5 giri corrispondente ad un alternatore di 44 poli.

Il carico normale è dato con pressione media di 5,2 Kg/cm² e con una velocità di stantuffo di 5,46 m/sec; il maggior valore della pressione media è relativo al funzionamento a semplice effetto.

Come per le altre varianti riportiamo anche per questa soluzione il disegno complessivo della centrale (fig. 3 A), l'ingombro dei singoli gruppi (figura 3 B), il diagramma torsionale (fig. 3 C), il diagramma del consumo unitario di combustibile (fig. 3 D) che rispetto alle precedenti soluzioni si presenta ancor meglio sia per il funzionamento a semplice effetto sia per il maggior numero di gruppi installati.

Dall'esame dei disegni delle varie soluzioni, e dalle annesse specifiche del macchinario risulta che, malgrado le differenti caratteristiche dei gruppi elettrogeni, i macchinari e i servizi accessori sono stati progettati con criterio uniforme.

Sarà quindi opportuno fare, in comune per tutti i progetti proposti, qualche considerazione sui servizi ed impianti ausiliari.

Struttura del fabbricato e fondazione dei motori.

In conformità alla pratica prevalentemente seguita in Italia per le costruzioni industriali, la struttura del fabbricato è stata prevista in cemento armato; vi è un grande salone per il macchinario principale, contornato su tre lati da gallerie a due piani destinati a ricevere i macchinari ausiliari, le casse di servizio del combustibile, i quadri e le apparecchiature elettriche. Il quarto lato è libero per permettere un eventuale ampliamento.

Le fondazioni dei gruppi elettrogeni sono indipendenti fra loro e dalle fondazioni del fabbricato, onde evitare la trasmissione di vibrazioni; sono accessibili nell'interno per il controllo dei bulloni di fondazione e per il passaggio di cavi e tubolature.

Aspirazione dell'aria.

Per ogni kWh prodotto è necessario introdurre nei motori ca. 12,5 mc/ora di aria; in relazione al volume della sala delle macchine, si



Fig. 1A - Sezioni e pianta della sala macchine

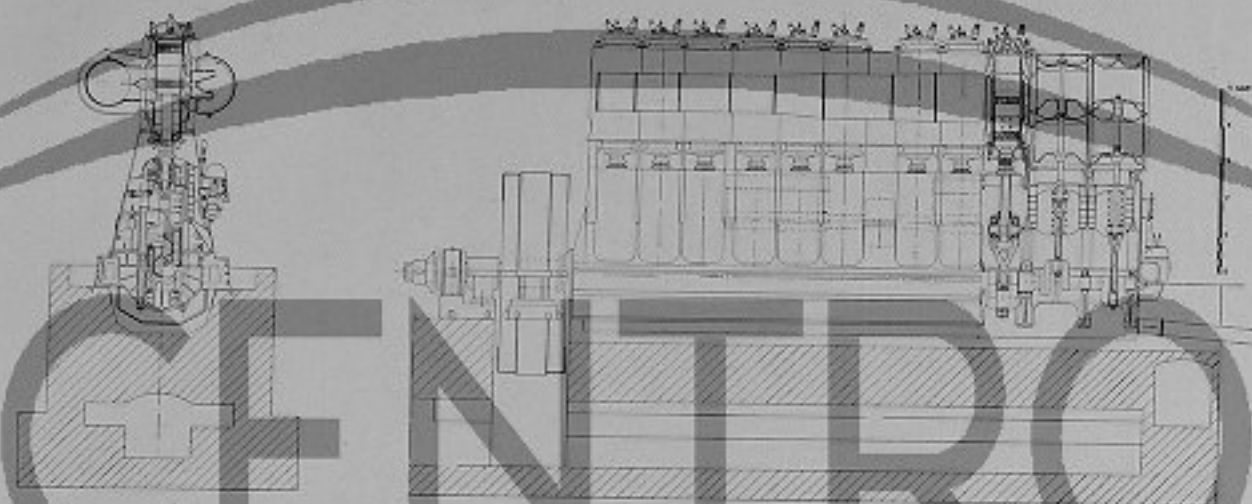


Fig. 1B - Sezione trasversale e longitudinale di un gruppo da 8000 kW

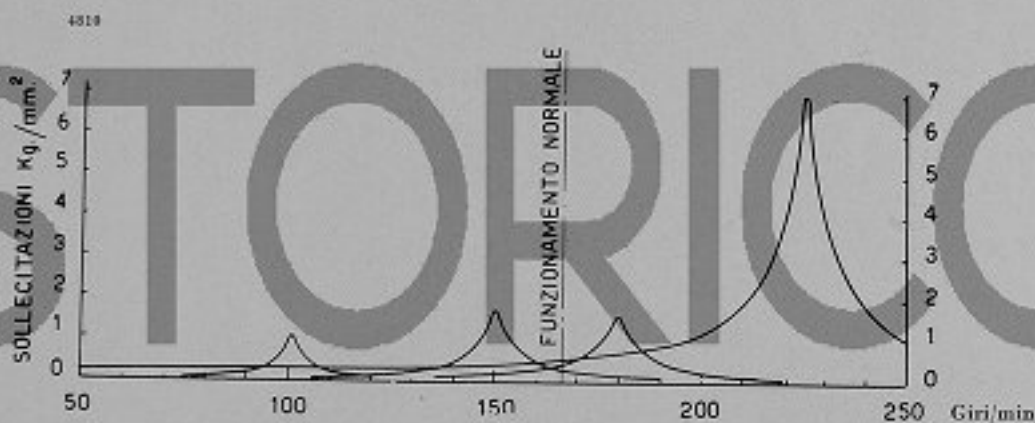


Fig. 1C - Diagramma delle sollecitazioni torsionali

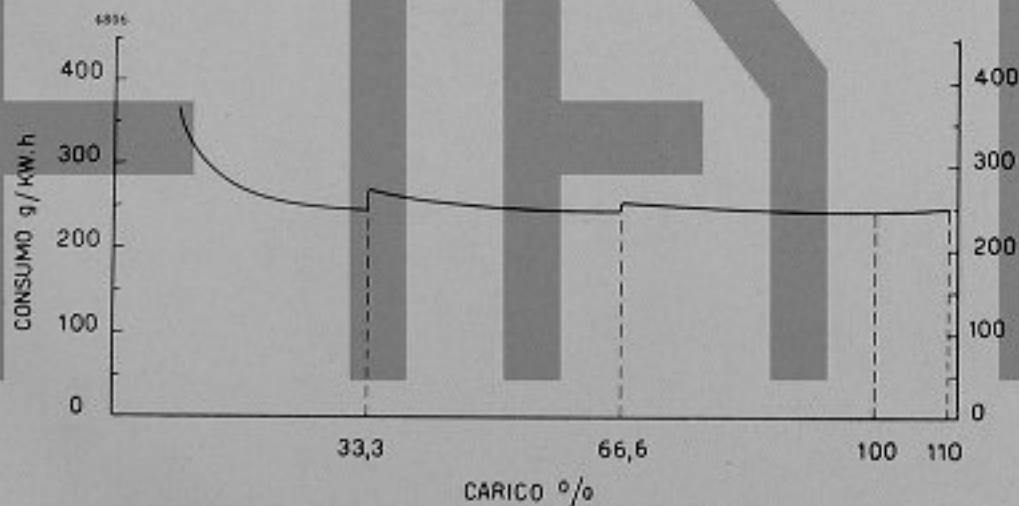
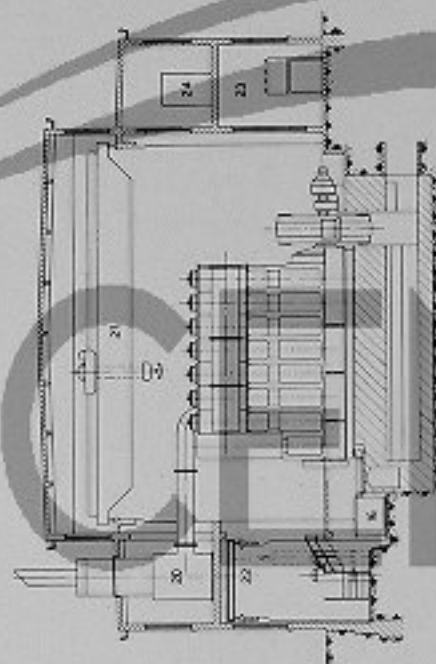


Fig. 1D - Grafico dei consumi specifici di combustibile a diversi carichi della centrale



Centrale da 21.200 kW con 4 gruppi da 5300 kW ciascuno

1	Motori	4 da 7.800 HP
2	Alternatori	4 da 5.300 kW
3	Gruppo ausiliario per il primo avviamento	1 da 220 mc/h
4	Elettrocompressori	3 da 8 mc
5	Serbatoi aria avviamento	5 da 400 mc/h
6	Pompe acqua raffreddamento	2 da 90 mc/h
7	Pompe acqua raffreddamento polverizzatori	1 da 20 mc/h
8	Refrigeranti acqua polverizzatori	5 da 300 mc/h
9	Pompe olio	4
10	Filtri olio	16 da 80 mc/h
11	Refrigeranti olio	9 da 18 mc/h
12	Pompe alimento nafta	2 da 5.000 l/h
13	Depuratori nafta con riscaldatore	3 da 5.000 l/h
14	Depuratori nafta con riscaldatore	1
15	Banco servizio depuratori	4 da 12 mc
16	Serbatoi raccolta olio lubrificazione generale	2 da 12 mc
17	Serbatoi olio riserva lubrificazione generale	4 da 30 mc
18	Serbatoi nafta di servizio giornaliero	1 da 1 mc
19	Serbatoio olio riserva lubrificazione cilindri	1
20	Silenziatori con calderina a gas	1
21	Cru	1
22	Paranco	1
23	Apparecchiature elettriche	
24	Quadri elettrici	
25	Apparecchiature elett. serv. ausiliari	
26	Officina	
27	Magazzino	
28	Servizi sanitari	

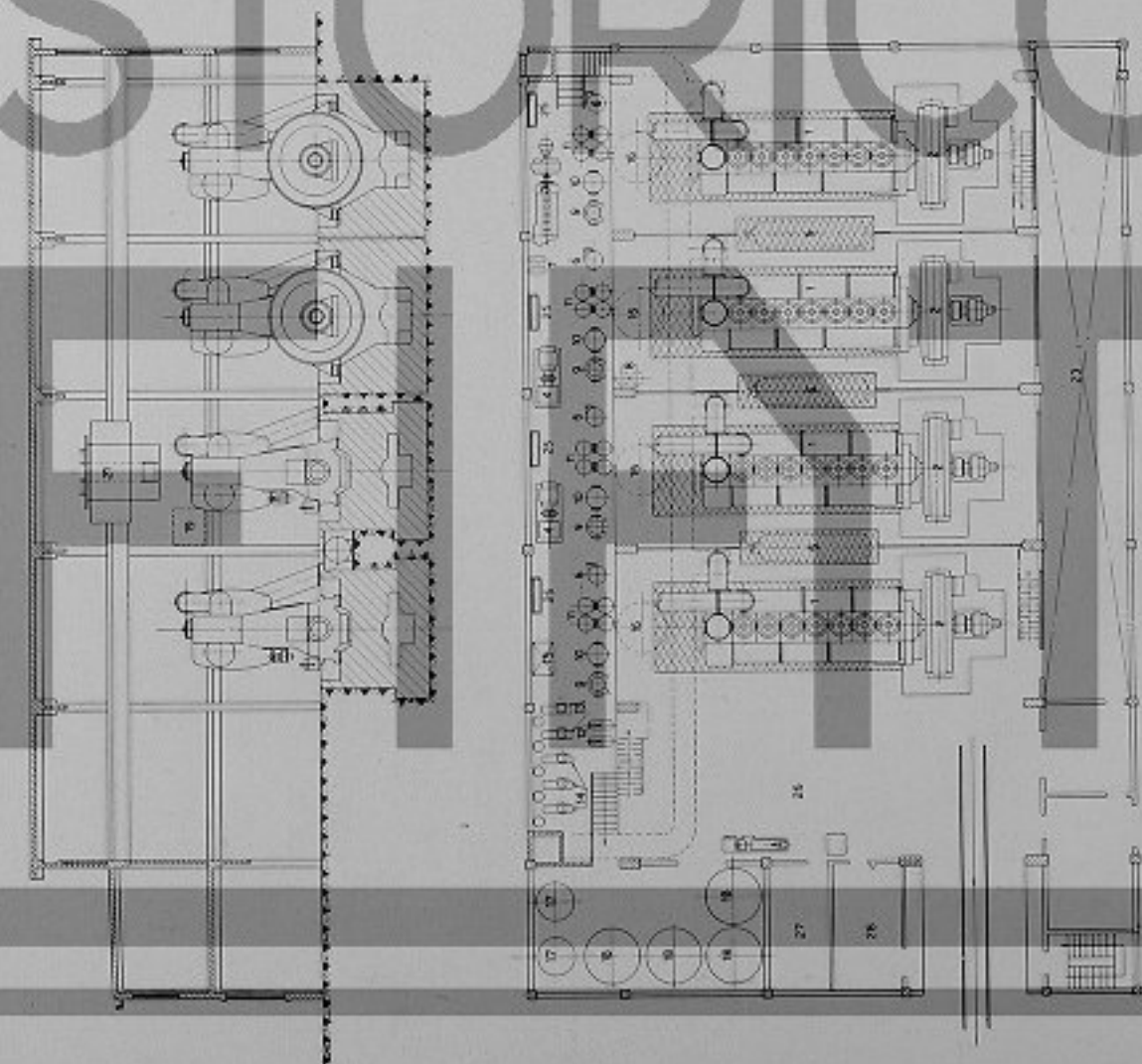


Fig. 2 A - Sezioni e pianta della sala macchine

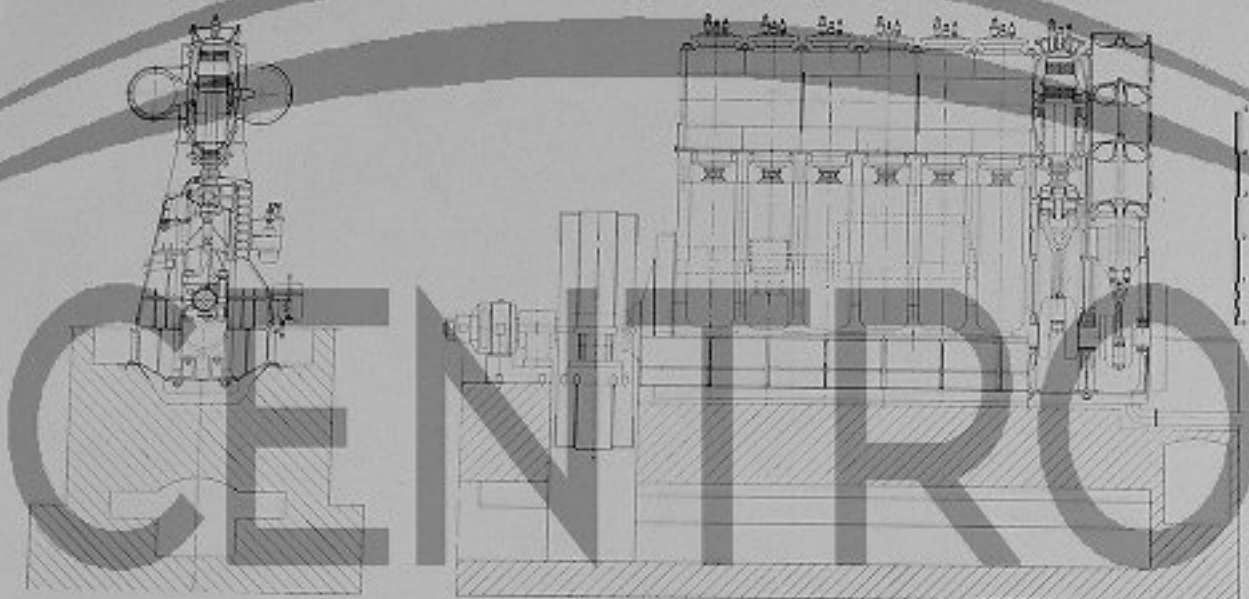


Fig. 2 B - Sezione trasversale e longitudinale di un 4 gruppo da 5300 kW

4893

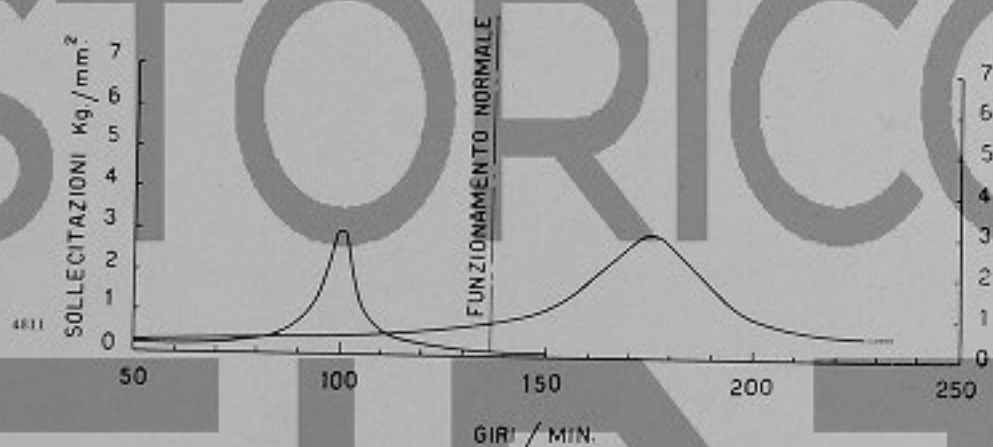


Fig. 2 C - Diagramma delle sollecitazioni torsionali

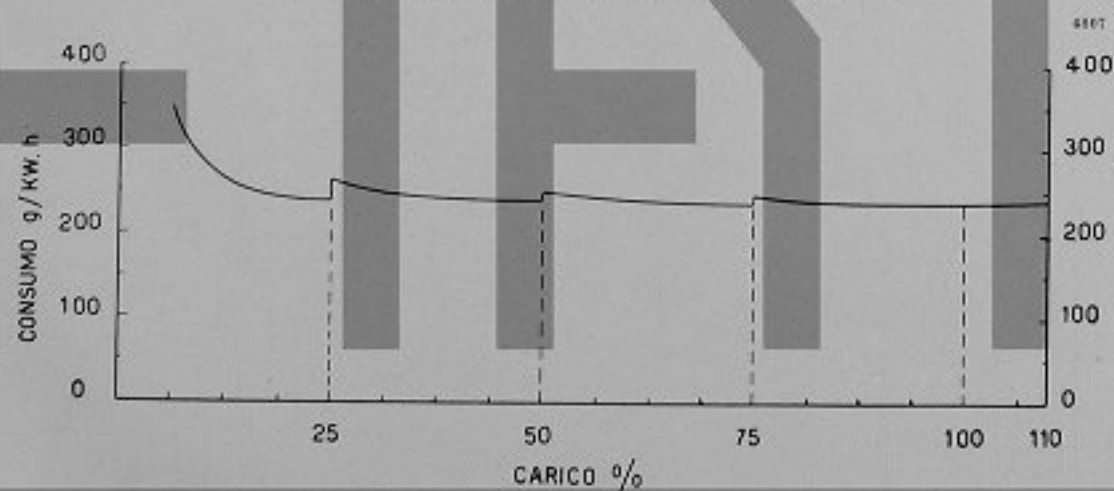


Fig. 2 D - Grafico dei consumi specifici di combustibile a diversi carichi della centrale



Fig. 3 A - Sezioni e pianta della sala macchine

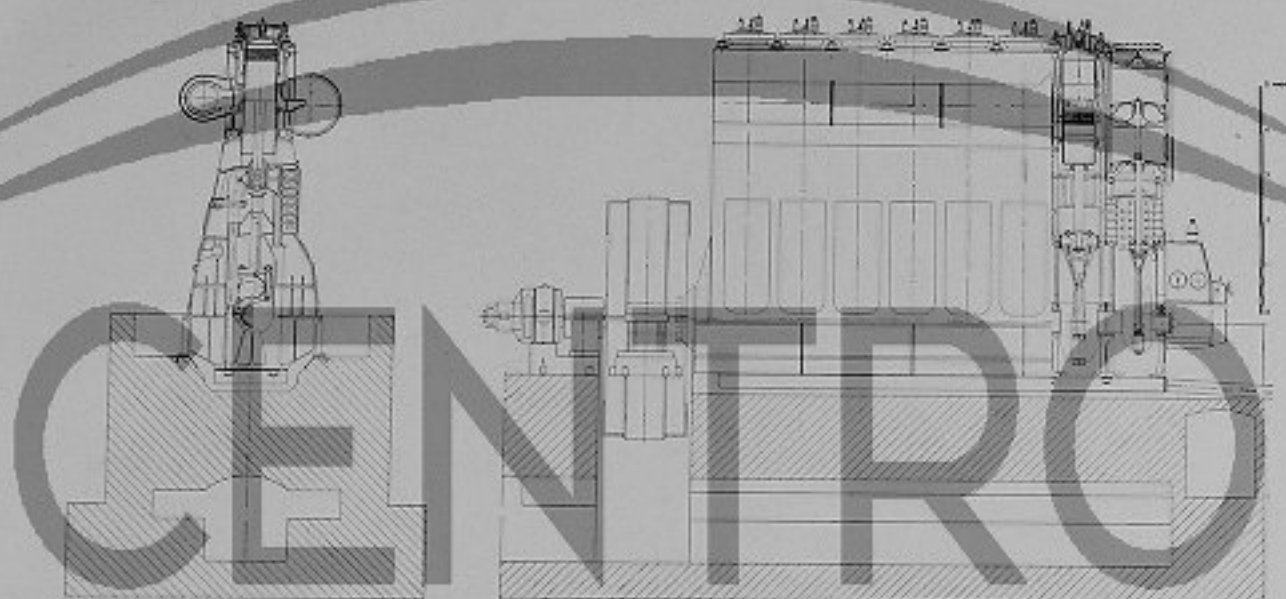


Fig. 3B - Sezione trasversale e longitudinale di un 6 gruppo da 3300 kW

4805

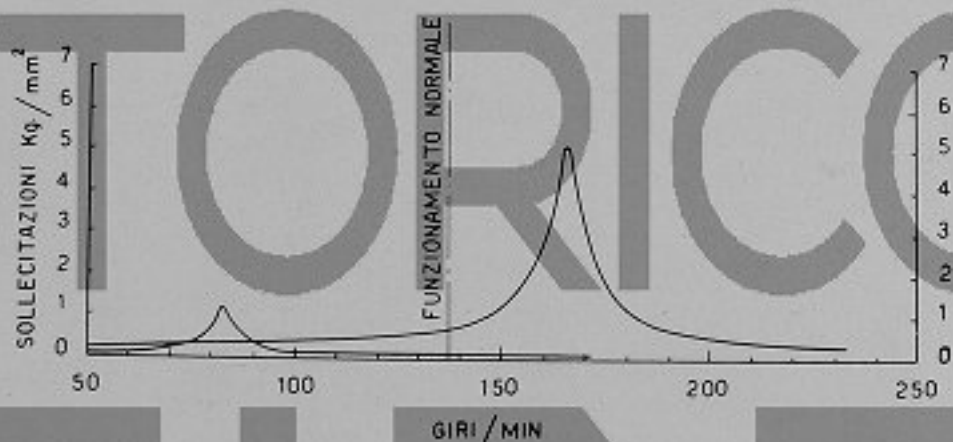


Fig. 3C - Diagramma delle sollecitazioni torsionali

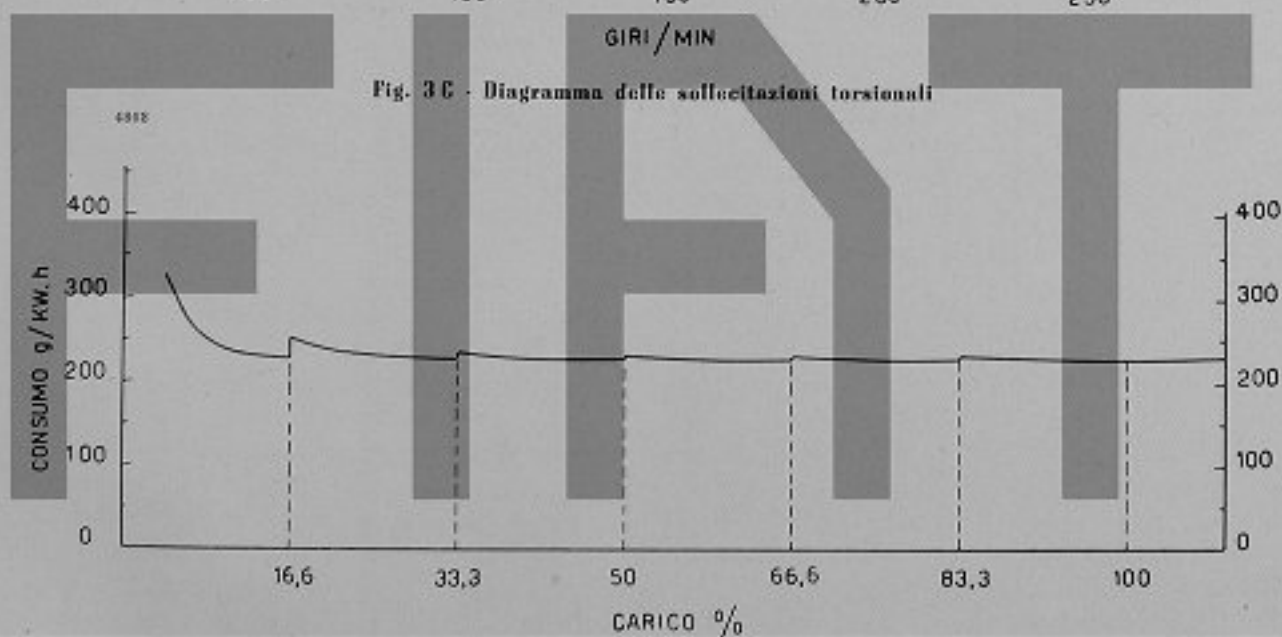


Fig. 3D - Grafico dei consumi specifici di combustibile a differenti carichi della centrale

avrebbe a piena potenza, aspirando l'aria direttamente dal locale, un ricambio orario pari a ca. $10 \div 15$ volte.

Tale ricambio, forse gradevole nella stagione estiva, può essere intollerabile nella stagione invernale, e in ogni caso potrebbe dar luogo a una forte introduzione di polvere; inoltre è desiderabile che i motori aspirino aria più fresca possibile, il che migliora il rendimento termico. E' quindi raccomandabile aspirare l'aria dall'esterno. Nei nostri progetti prevediamo a tale scopo canali sotterranei di ampia sezione praticati nelle fondazioni, comunicanti all'esterno attraverso brevi tubolature verticali che si aprono a una certa altezza dal suolo.

In località molto polverose può essere necessario l'impianto di filtri d'aria da sistemarsi all'esterno della centrale.

La ventilazione della centrale e il disperdimento del calore irradiato dai motori e dagli alternatori dovrà essere ottenuto mediante opportuna disposizione delle aperture.

Scarico dei gas e ricupero di calore.

Lo scarico dei gas va fatto attraverso tubi ben isolati (a pieno carico si hanno temperature sui 300°) e silenziatori. Senza ingombro e perdita di carico eccessive si possono costruire oggi silenziatori di tale efficienza da permettere l'installazione della centrale anche in aree popolate. Nel nostro progetto i silenziatori sono posti parzialmente nell'interno della centrale, in quanto essi contengono una calderina atta a produrre una modesta quantità di vapore (ca. 300 Kg/ora) a bassa pressione ($2 \div 3$ Kg/cmq). Questo vapore può servire occorrendo al riscaldamento invernale della centrale, ma principalmente è destinato al riscaldamento della nafta, come sarà appresso spiegato.

I silenziatori sono completati da parascintille del tipo a ciclone capaci di trattenere le scintille od i pezzetti di carbone che eventualmente si staccano dai tubi di scarico.

Qualora la centrale sia costruita in luogo ove la produzione di vapore a bassa pressione o acqua calda abbia qualche interesse, specialmente per uso di riscaldamento, e qualora il carico della centrale sia sufficientemente elevato e costante, sarà opportuno tenersi presente che, installando al posto dei silenziatori adatte caldaie, potranno essere recuperate, in condizioni industriali, circa $250 \div 300$ calorie per ogni kWh prodotto. Questo dato significa

che, per ogni kWh potranno essere riscaldati da 20° a 90° circa 4 Kg/ora di acqua, o potranno essere prodotti ca. 0,4 Kg/ora di vapore a 3 Kg/cmq.

Raramente una centrale destinata a produrre energia da vendere può far uso di tale possibilità, qualora però tale caso si desse, il rendimento termico della centrale potrebbe aumentare di circa il $10 \div 15\%$ con una trascurabile maggior spesa di impianto.

Ancora più raro è il caso in cui si possa praticamente utilizzare per usi di riscaldamento il calore asportato dall'acqua di raffreddamento (cioè circa $500 \div 600$ Cal/kWh), in quanto si tratta bensì di quantità notevoli di calore, ma a basso livello di temperatura. Se però tale caso si desse si avrebbe un ulteriore ricupero di circa il 20% delle calorie contenute nella nafta.

Il ricupero parziale del calore dei gas di scarico utilizzando il vapore prodotto per azionare un turbogeneratore ausiliario non è in pratica conveniente, in quanto la maggior complicazione e il costo dell'impianto non sono proporzionati al risultato che si può avere.

Ad ogni modo la maggior potenza ottenibile con questo ricupero è pari a circa il $4 \div 5\%$ della potenza prodotta dai generatori principali.

Raffreddamento.

Dato il basso numero di giri e le rilevanti dimensioni dei generatori elettrici non si ritiene dover prevedere alcun sistema di raffreddamento artificiale dei generatori stessi.

Dovranno invece prevedersi i mezzi di raffreddamento per i motori tenendo presente che a carico normale dovranno essere asportate dall'acqua di raffreddamento circa $600 \div 700$ Cal per ogni kWh prodotto.

Qualora sia disponibile acqua dolce di qualità eccezionalmente buona e quasi priva di sali depositabili, i motori potranno essere raffreddati in circuito aperto; un consumo di acqua con variante fra i 30 e 40 litri per ogni kWh. Se invece l'acqua disponibile è salmastra o incrostante, conviene ricorrere al raffreddamento in circuito chiuso facendo circolare nei motori sempre la stessa acqua dolce e sottraendo a questa il calore acquistato per mezzo di appositi impianti di refrigerazione.

Questi possono essere costituiti da scambiatori di calore a superficie qualora sia disponibile acqua bruta in ragione di $50 \div 60$ litri per kWh, ovvero da raffreddatori diretti del tipo a pioggia,

in cui il calore viene sottratto all'acqua mediante evaporazione diretta. Quest'ultimo sistema richiede impianti più costosi e ingombranti, ma per contro dà luogo ad un consumo minimo di acqua dell'ordine di grandezza di 1 litro per kWh.

Nei nostri schemi di impianto abbiamo previsto soltanto le pompe necessarie alla circolazione dell'acqua dolce dentro ai motori supponendo di sistemare all'esterno le torri di refrigerazione o gli scambiatori di calore da progettarsi in relazione alle condizioni locali.

Ogni gruppo elettrogeno, come risulta dal disegno, ha il proprio impianto autonomo di circolazione di acqua e di olio ed è quindi indipendente dal funzionamento degli altri motori. Tutto l'impianto di raffreddamento è schematicamente semplice, con pompe di tipo centrifugo a moderata pressione e numero di giri.

Servizio avviamento.

I motori vengono avviati con aria compressa contenuta in appositi serbatoi a circa 30 atm. e rifornite a mezzo di elettrocompressori, che nel caso attuale prevediamo della potenza di ca. 80 HP.

Ricordiamo in questa occasione che i motori Diesel possono essere avviati e fermati pressoché istantaneamente a seconda della necessità del servizio, permettendo di utilizzare sempre la centrale, nelle condizioni di migliore rendimento. Va tenuto poi conto che i motori dopo l'avviamento e nel termine di qualche minuto sono pronti per essere portati al loro carico normale.

Servizio combustibile.

Abbiamo previsto nell'interno della centrale soltanto casse di servizio sufficienti a garantire complessivamente 24 ore di funzionamento a pieno carico, permettendo nel contempo, qualora si impieghi nafta pesante, di depurare una corrispondente quantità per il turno di funzionamento successivo.

La depurazione e il riscaldamento della nafta sono indispensabili per l'uso della nafta da caldaie; a questo scopo sono stati previsti depuratori di dimensioni e caratteristiche adeguate. Per il riscaldamento iniziale della nafta a centrale completamente ferma serve una piccola calderina a nafta che viene messa fuori servizio non appena i motori producano il vapore occorrente mediante le calderine dei silenziatori.

Gruppo ausiliario per il primo avviamento.

Nel caso in cui la centrale dovesse poter funzionare in modo indipendente, abbiamo previsto un gruppo ausiliario da 200 kW, capace di fornire energia per azionare i compressori d'avviamento e le pompe, e permettere così la messa in moto della centrale.

Ultimato con questo l'esame delle caratteristiche costruttive della centrale nelle tre varianti proposte, riteniamo opportuno prospettare alcune ulteriori considerazioni:

Sicurezza di funzionamento.

Il motore Diesel, per potenze come quelle qui considerate, costituisce oggi il mezzo più diffuso di propulsione navale; e questo in un campo in cui qualsiasi deficienza di funzionamento può dar luogo a conseguenze gravissime. Ciò significa che nessun dubbio esiste da parte degli armatori e degli assicuratori sulla sicurezza e tranquillità di servizio. Gli apparati motori marini, a seconda delle navi su cui sono montati, lavorano dalle 5000 alle 7500 ore all'anno; una parte del tempo in cui le navi sono in porto è impiegato nei lavori di ordinaria manutenzione.

Il servizio dei motori in una centrale elettrica non è diverso da quello che è richiesto dalla propulsione navale; e non diversa è quindi la valutazione della sicurezza di funzionamento.

Il servizio può essere gravoso e prolungato quando si debba produrre un carico base costante; più leggero quando si abbiano carichi variabili o discontinui. Interesserà valutare specialmente nel primo caso, quale riserva debba essere prevista per i lavori di manutenzione.

Detti lavori nelle moderne costruzioni, tendono ad essere sempre più ridotti nella entità e nel tempo occorrente; una buona organizzazione e una adeguata scorta di materiali di ricambio atta a permettere una ragionevole rotazione dei pezzi che sul motore richiedono controlli o manutenzione (polverizzatori, valvole, stantuffi, ecc.) consente di ridurre al minimo il tempo in cui il motore dovrà essere fermato, e la corrispondente perdita di produzione di energia elettrica.

In pratica, in base alla nostra esperienza si può ritenere che salvo casi eccezionali occorrerà disporre per la manutenzione di un tempo pari al 10 ÷ 15% del tempo di funzionamento. Naturalmente tale

diminuzione nella disponibilità dei gruppi risulta evidente soltanto in quei casi in cui la centrale sia obbligata a produrre in modo continuo la massima potenza: questi casi non sono da considerarsi però frequenti nella pratica, almeno per centrali della potenza considerata. Nella maggior parte dei casi invece il carico non è costante, ma presenta variazioni stagionali e giornaliere di notevole entità le quali permettono largamente di eseguire qualsiasi lavoro di manutenzione ordinario ed in alcuni casi anche straordinario, senza nessun pregiudizio o riduzione nella quantità di energia che deve essere prodotta.

Consumo di combustibile.

Il consumo di combustibile ai vari carichi è quello indicato nei diagrammi figg. 1D-2D-3D. Con lievi differenze dovute al tipo di motore o al tipo di combustibile impiegato varia fra i 230 e i 260 gr/kWh, e mediamente potremmo calcolare un valore da 2400 a 2600 Cal/kWh. Assai interessante il fatto che detto consumo si mantiene per ciascuna centrale praticamente costante entro tutto il campo di funzionamento dalla piena potenza fino al 10 ÷ 20 % di tale carico.

A questo consumo dobbiamo aggiungere quello corrispondente all'azionamento dei macchinari ausiliari (pompe acqua, olio, ecc.) la cui potenza complessiva non supera il 3 ÷ 4 % della potenza prodotta dai generatori; cosicchè tutto calcolato si potrà avere una effettiva garanzia di consumo da 2500 a 2700 Cal/kWh.

Agli effetti economici ricordiamo che i motori proposti, date le loro rilevanti dimensioni e il basso numero dei giri, possono bruciare in modo soddisfacente gli stessi combustibili pesanti che si usano nelle caldaie a vapore.

Notevole per centrali a diagramma di carico discontinuo o variabile il vantaggio che si ha per effetto del frazionamento delle unità e della possibilità di adeguare rapidamente il numero delle unità al carico occorrente, cosicchè anche a bassa andatura il costo di combustibile per unità prodotta è praticamente uguale a quello che si ha a pieno carico.

Consumo di lubrificante.

Il consumo di lubrificanti dei motori Diesel ammonta a circa 0,7 ÷ 0,8 % in peso del consumo di combustibile. Questa cifra comprende l'olio neces-

sario per la lubrificazione dei cilindri e l'olio che di tanto in tanto deve essere aggiunto o sostituito nel circuito di lubrificazione generale e raffreddamento stantuffi.

Fabbisogno di personale.

Nell'ipotesi di funzionamento continuo una squadra di 5-6 persone per ogni turno è necessaria per la sorveglianza ai motori in funzionamento e ai loro ausiliari. Una diecina di persone in più per un sol turno di lavoro sono da prevedere per il servizio di manutenzione continuo. Complessivamente nell'ipotesi sopra detta i motori della centrale richiedono, compreso il Capo centrale, una trentina di persone: a questo dovrà essere aggiunto il personale occorrente per i servizi elettrici.

La schematica semplicità della Centrale Diesel, somma di gruppi generatori uguali ed indipendenti, non richiede nel personale di sorveglianza particolari qualità o specializzazione; maggior cura dovrà invece aversi nella scelta del personale destinato alla manutenzione.

Manutenzione.

Come precedentemente accennato i motori Diesel richiedono una manutenzione regolare, che va iniziata subito e che va proseguita con ritmo costante fino a che la centrale rimane in servizio.

Questa manutenzione però, se richiama l'attenzione per la sua evidente continuità, non comporta affatto una spesa eccessiva, purchè il lavoro venga organizzato ed eseguito in modo razionale; ciò che è necessario non solo per ragioni di economia, ma anche per ridurre al minimo i periodi in cui i singoli gruppi dovranno rimanere fermi.

La manutenzione di una centrale Diesel va impostata con criteri e mezzi nettamente diversi da quelli di una centrale idraulica o a vapore; i pezzi interessati nella manutenzione sono sempre di moderate e piccole dimensioni, e possono richiedere per essere tenuti in efficienza operazioni meccaniche di ripassatura o riparazione; per questo la centrale deve essere corredata da un'officina con macchinario adatto ai vari lavori occorrenti.

Inoltre è consigliabile avere una certa scorta di ricambi da impiegare in rotazione sui motori; per esempio quando si debba dopo 4 ÷ 5.000 ore di moto rivedere uno stantuffo, conviene sostituirlo sul motore con un altro completo già preparato (il che richiede poche ore di lavoro) e con comodo

eseguire poi i necessari lavori su quello smontato. In questo modo, con modesta spesa di materiali e di personale, è possibile ottenere sempre dai motori, anche a molti anni di distanza dalla loro installazione, buon funzionamento e costante rendimento.

In base alla nostra diretta esperienza e consuntivi di esercizio di vari impianti, possiamo ritenere che il costo annuo dei materiali di manutenzione dei motori non dovrebbe superare il 3 ÷ 4 % del valore di acquisto dei motori stessi, il che vale circa non più del 2 % del costo totale della centrale. Questo nell'ipotesi di servizio continuato di tutti i motori.

Varie.

La centrale Diesel essendo costituita dalla somma di unità uguali ed intercambiabili si presta assai bene in tutti quei casi in cui sia conveniente costruire la centrale in modo graduale, limitandone il primo impianto soltanto a una parte dei gruppi. Un ampliamento successivo è facile e può essere fatto senza disturbare il funzionamento della parte già esistente.

Vantaggiosa è anche la centrale Diesel per impiego in paesi caldi o dove vi sia scarsità di acqua o acqua di pessima qualità, essendo il fabbisogno quantitativo e qualitativo di acqua necessario al funzionamento dei motori Diesel assai minore di quello di una centrale a vapore. I motori Diesel inoltre, pur essendo anche essi sensibili alle variazioni di temperatura ambiente, non danno luogo a perdite di rendimento così grandi come quelle che si hanno negli impianti a vapore quando sia difficile mantenere bassa la temperatura dell'acqua destinata a raffreddare i condensatori.

I dati precedentemente forniti potranno aiutare gli interessati ad eseguire un bilancio economico di esercizio, per completare il quale occorrono i dati di costo della centrale, gli elementi del costo del denaro e di ammortamento ed i dati effettivi del costo del combustibile, la durata di funzionamento e il diagramma del carico. Tutti questi elementi possono essere notevolmente diversi e poiché variazioni anche di non grande entità possono avere un'incidenza notevole nel costo dell'energia prodotta è bene che detto computo venga fatto caso per caso, essendo suscettibile di troppa incertezza qualsiasi calcolo fatto in linea generale.

In media si può ritenere che il costo del macchinario della centrale Diesel di tipo lento e pesante sia alquanto più alto del costo del macchinario a vapore mentre un certo compenso si ha nel costo del terreno, dei fabbricati e degli impianti accessori. Per solito il costo della centrale Diesel risulta un po' più alto di quello di una corrispondente centrale a vapore.

Il costo del combustibile e lubrificante per contro, specialmente in quei casi in cui si debba adoperare combustibile liquido e si abbiano carichi variabili o discontinui è notevolmente inferiore; a nostro avviso scarsa differenza si ha nelle altre voci di spesa (personale, manutenzione), che d'altra parte incidono assai moderatamente sul costo totale del kW prodotto che è in gran prevalenza dovuto alla spesa finanziaria e del combustibile.

Nella maggior parte dei casi riteniamo che il bilancio d'esercizio risultante sia a vantaggio della centrale Diesel.

Dott. ing. ROBERTO DE PIERI.

Vibrazioni di scafo e bilanciamento di motori

In questo articolo si illustrano brevemente le caratteristiche principali delle vibrazioni verticali degli scafi e se ne indicano le principali cause eccitanti ed i mezzi per eliminarle o per lo meno ridurle. Fra questi rivestono particolare interesse, specialmente per i costruttori di macchine navali, quelli riguardanti l'equilibramento delle azioni d'inerzia dovute alle masse in moto attorno o rotante dei macchinari di bordo, e ad essi si rassicano le considerazioni qui esposte. Considerando il bilanciamento delle macchine alternative di bordo da questo punto di vista si vede che mediante la semplice applicazione di contrappesi sulle masse in moto dei motori è possibile, in molti casi, eliminare o almeno ridurre notevolmente le vibrazioni verticali degli scafi senza pregiudizio alcuno della sicurezza ed efficienza di funzionamento dei motori. L'analisi dei risultati, qui riportati ed illustrati, ottenuti al riguardo su alcune installazioni di tipo diverso, chiariscono e confermano le considerazioni di carattere generale esposte.

Lo scafo di una nave può considerarsi, nel suo complesso, come un corpo elastico dotato di numerose frequenze proprie di vibrazione, che dipendono dalle sue dimensioni e dalla distribuzione delle sue masse e dei carichi, e che può compiere, come tutti i corpi elastici, oscillazioni forzate di carattere periodico se sollecitato da azioni di tipo pulsante.

Le oscillazioni di maggiore ampiezza si rilevano di solito nel piano longitudinale dello scafo, ed in genere la corrispondente linea elastica presenta 2, 3 o al massimo 4 nodi.

In conseguenza del fenomeno della risonanza, quando una delle frequenze di vibrazione dello scafo coincide o è molto vicina alla frequenza di una qualsiasi azione pulsante che si scarichi sulle strutture resistenti della nave, l'ampiezza delle vibrazioni forzate viene esaltata. Di conseguenza lo scafo è sottoposto a moti vibratorii talvolta di sensibile entità e quindi molesti specie per le navi adibite al trasporto dei passeggeri.

Le azioni pulsanti capaci di eccitare dette vibrazioni possono essere di varia origine ed in senso assoluto anche non cospicue, essendo la loro efficacia legata più che alla loro intensità, alle caratteristiche elastiche dello scafo ed al loro punto di applicazione rispetto ai nodi ed ai ventri della vibrazione.

Ricordiamo per esempio le pulsazioni dovute all'insufficiente equilibramento delle eliche.

Poiché infatti, come avviene in quasi tutte le navi, l'elica si trova in un ventre della vibrazione, se i suoi giri sono molto vicini alla frequenza della vibrazione ed essa è non perfettamente bilanciata, nascono delle azioni sbilancianti che, anche se non cospicue in valore assoluto, possono, essendo in regime di risonanza, far vibrare lo scafo con sensibile intensità.

Analogamente se azioni libere d'inerzia rotanti ed alterne del manovellismo di una qualsiasi, anche non grande, macchina alternativa (gruppo elettrogeno, compressore o motore di propulsione), pulsano con una delle frequenze proprie dello scafo e sono applicate in una zona particolarmente critica, possono creare delle oscillazioni di sensibile intensità nel piano longitudinale della nave.

L'esistenza di dette vibrazioni, ha indotto i costruttori navali a studiarne le caratteristiche in modo da eliminarle o di ridurle al minimo già in sede di progetto o, con opportuni accorgimenti, anche su navi già costruite.

Da oltre cinquant'anni a questa parte si sono susseguiti le ricerche e gli studi in proposito fra i quali notevoli quelli riguardanti la determinazione « a priori » della frequenza libera di vibrazione degli scafi e della forma della linea elastica.

Oggigiorno esiste abbondante documentazione di carattere teorico e sperimentale sulla scorta del quale il costruttore navale può prevedere, con sufficiente approssimazione le caratteristiche principali delle vibrazioni di scafo in funzione delle sue caratteristiche elastiche e dimensionali e studiare gli accorgimenti più opportuni per eliminarle o ridurle al minimo.

Detti accorgimenti possono consistere fra l'altro:

- a) nella variazione della forma e delle dimensioni delle strutture resistenti dello scafo;
- b) nella variazione della distribuzione dei carichi;
- c) nella scelta dei punti meno critici dello scafo per la sistemazione delle eventuali sorgenti di azioni innescenti le vibrazioni, quali potrebbero

essere le masse in moto alterno e rotante dei macchinari di bordo;

d) nello studio dei bilanciamenti più efficaci ai fini di eliminare o rendere minime le vibrazioni.

Evidentemente poiché il progetto definitivo di una nave risulta dal più felice compromesso tra le molteplici sue esigenze e caratteristiche alcune delle quali in certo senso contrastanti, non sempre, nella visione unitaria ed organica della costruzione, è possibile eliminare tutte le cause che potrebbero essere, a priori, fonte di vibrazioni.

ma bensì agendo sulle azioni eccitanti, riveste particolare interesse per i costruttori di macchine navali potendo essi definire, sia in fase di progetto che di esercizio, le caratteristiche dinamiche delle macchine nel modo ritenuto più opportuno allo scopo.

Lo studio delle caratteristiche di bilanciamento di un motore alternativo fatto da questo punto di vista può condurre talvolta a soluzioni tali da lasciare perplessi se esaminate isolatamente e non in funzione delle caratteristiche dello scafo su cui il motore è installato.

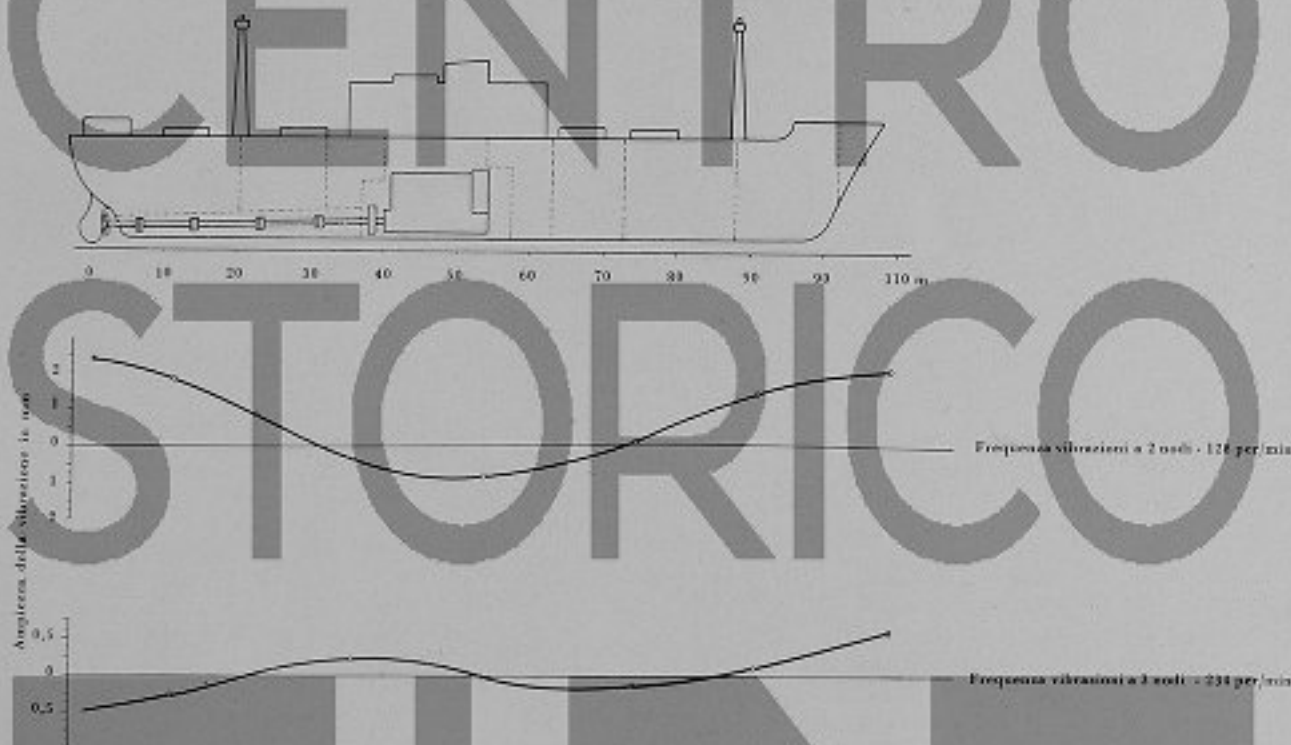


Fig. 1 - Motonave mista da 4200 t. Linee elastiche dalle vibrazioni di scafo

Inoltre può darsi che a nave costruita vengano ad innescarsi delle vibrazioni, in molti casi soltanto locali, per delle cause che in fase di progetto non erano prevedibili o per lo meno dominabili.

Anche in questi casi però senza alterare le caratteristiche strutturali e le dimensioni dello scafo e spesso anche senza spostare il punto di applicazione sull'asse elastico della nave delle azioni pulsanti libere è possibile, con opportuni accorgimenti, eliminare o ridurre l'intensità della vibrazione.

La già accennata possibilità di eliminare le vibrazioni senza modificare le caratteristiche elastiche del sistema eccitato (strutture di scafo),

Può verificarsi infatti che un dato motore alternativo, equilibrato inizialmente nel modo ritenuto migliore in riguardo alle sue caratteristiche e prestazioni e che abbia funzionamento in modo del tutto soddisfacente, installato, ad esempio, come motore di propulsione a bordo di uno scafo di determinate caratteristiche elastiche, innesci delle vibrazioni di scafo che è possibile eliminare modificando ed anche peggiorando, da un punto di vista formale o numerico, le sue caratteristiche iniziali di bilanciamento.

La necessità di eliminare o di diminuire al minimo determinate azioni libere d'inerzia che innescano le vibrazioni dello scafo, può condurre infatti all'aumento di altre azioni libere d'inerzia d'altro

tipo o frequenza, le quali non risultano per la loro natura o punto d'applicazione causa eccitante di vibrazione, e nello stesso tempo non pregiudicano in alcun modo il regolare funzionamento del motore.

Risulta comunque difficile stabilire a priori e in senso generale quali siano le condizioni più opportune di bilanciamento di un motore che sia fonte di vibrazioni, dipendendo esse da molte caratteristiche variabili da costruzione a costruzione, quali ad esempio la posizione del motore rispetto ai nodi della vibrazione, il numero ed il calettamento delle manovelle motrici, l'entità delle masse in movimento, ecc.

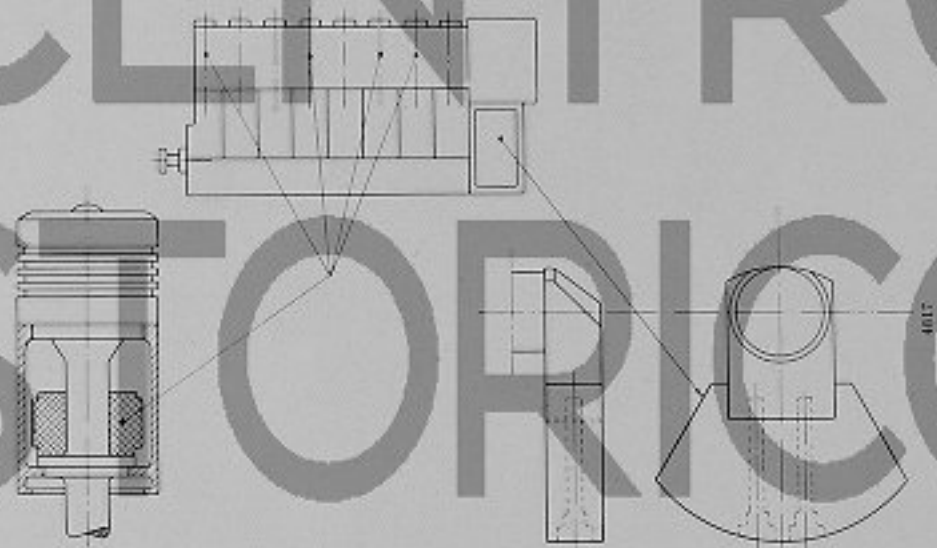


Fig. 2 Motonave mista da 4200 t

Nello schema del motore a 8 cilindri sono segnati i cilindri con pistoni appesantiti e la pompa aria cui si è aggiunto un contrappeso sulla mascherina.

Esse però sono in genere di economica ed agevole realizzazione consistendo nella quasi generalità dei casi in modifiche alla entità delle masse del manovellismo in moto alterno o rotante mediante l'applicazione di contrappesi di dimensioni modeste.

A conferma delle considerazioni di carattere generale fin qui esposte, riportiamo alcuni risultati praticamente ottenuti su alcune motonavi le cui vibrazioni di scafo furono eliminate apportando solo semplici modifiche alle caratteristiche di bilanciamento delle macchine alternative installate a bordo.

a) Nave mista da 4200 tonnellate di portata lorda, della lunghezza di circa 105 m azionata da

un motore Diesel a 2 tempi, semplice effetto, 8 cilindri della potenza normale di 4000 Cv a 125 giri/min.

La frequenza propria della vibrazione verticale di scafo a 2 nodi risultò, nelle condizioni a pieno carico, di 128 per/min, e quella a 3 nodi, nelle stesse condizioni di carico, di 234 per/min.

Il motore si trovava (vedi fig. 1) in un ventre della deformata elastica della vibrazione a 2 nodi ed in prossimità di un nodo della deformata a 3 nodi.

A motore funzionante, furono riscontrate le massime ampiezze della vibrazione a 2 nodi a circa

128 giri/min e quelle delle vibrazioni a 3 nodi (d'intensità molto piccola) a circa 117 giri/min.

Evidentemente la vibrazione a 2 nodi era innescata dalle azioni libere di inerzia del manovellismo, di frequenza uguale ai giri del motore (azioni alterne primarie e azioni rotanti) e quella a 3 nodi dalle azioni libere di inerzia, di frequenza uguale al doppio dei giri di funzionamento del motore e cioè dalle azioni alterne secondarie.

Inoltre, essendo il motore in un ventre della vibrazione a 2 nodi, l'azione libera preponderante doveva essere una forza, mentre per la vibrazione a 3 nodi doveva essere, per via della posizione nodale del motore, un momento.

Le caratteristiche di bilanciamento del motore erano in pieno accordo con le conclusioni desunte dall'esame delle vibrazioni rilevate.

Infatti, pur essendo tutte le azioni libere d'inerzia alterna e rotante di intensità ammissibile

proprio la forza verticale (somma delle forze primarie e rotanti) ed il momento secondario.

Furono allora applicati dei contrappesi agli statuffi motori n. 1-4-6-7 (vedi fig. 2) ed un contrappeso rotante sulla mascherina del gomito della pompa aria.

Di conseguenza risultarono sensibilmente modificate, rispetto a quelle iniziali, le caratteristiche del bilanciamento nel senso che furono annullate le forze libere primarie e rotanti, i momenti secondari rimasero praticamente invariati mentre i momenti primari e rotanti risultarono di intensità maggiore di quelli corrispondenti al bilanciamento iniziale.

Le curve di risonanza rilevate prima e dopo le suddette modifiche (fig. 3), confermarono l'esattezza delle previsioni fatte per via teorica e l'efficacia della contrappesatura realizzata; da esse si poté constatare quanto segue:

— La vibrazione a 2 nodi era praticamente scomparsa. Infatti era stata del tutto eliminata la causa eccitante cioè l'azione libera verticale.

— La vibrazione a 3 nodi rimase d'intensità praticamente uguale al suo valore precedente. Infatti era rimasto costante il momento libero secondario; essa però, come già accennato, dato il suo piccolo valore, in senso assoluto, non destava disturbi sensibili.

— L'aumento dei momenti liberi primario e rotante non innescò nuove vibrazioni o non amplificò le esistenti. Infatti, poichè il motore si trovava in un ventre della vibrazione a 2 nodi, l'efficacia

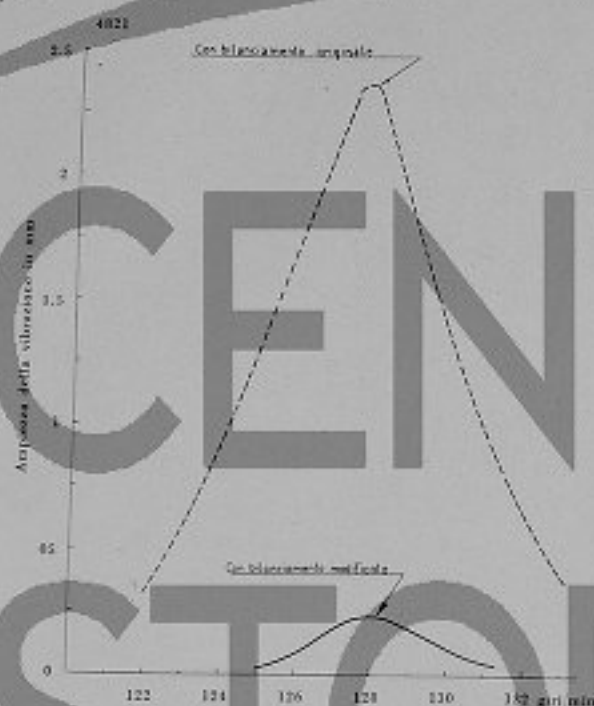


Fig. 3 - Motonave mista da 4200 t
Curva di risonanza della vibrazione a 2 nodi, misurata sull'estremità della nave prima e dopo la modifica del bilanciamento

per il tipo e le caratteristiche del motore in esame, le azioni libere di una certa entità risultavano

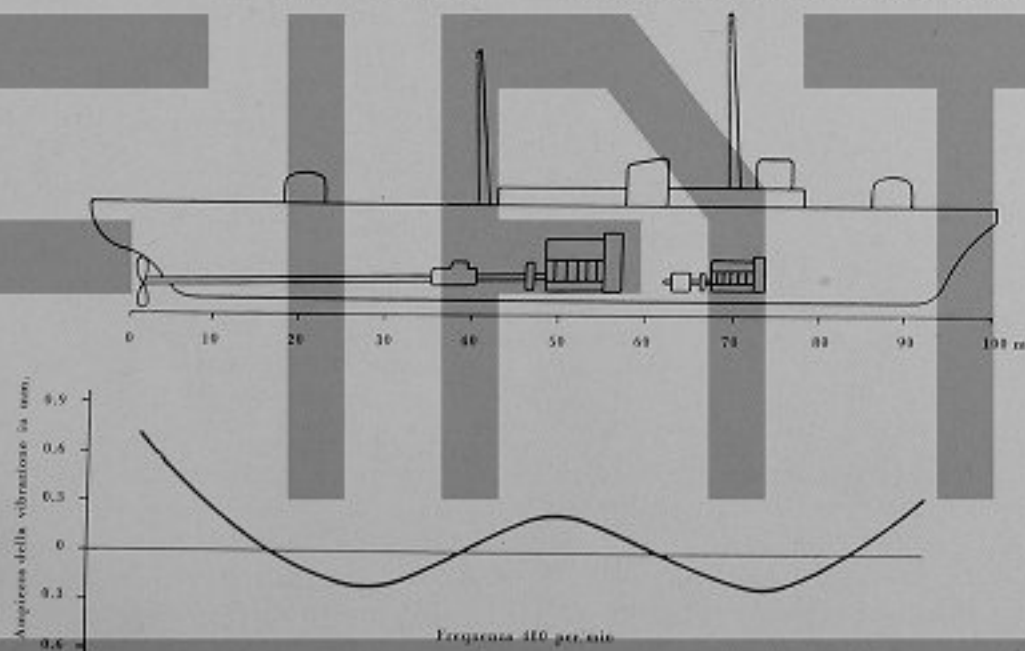


Fig. 4 - Nave coloniale. Linea elastica della vibrazione a 4 nodi

dei momenti liberi, sull'ampiezza di essa, risultava di trascurabile entità.

b) Nave coloniale speciale, della lunghezza di circa 95 m, con propulsione mista Diesel e Diesel-elettrica.

Su questa nave fu rilevata una vibrazione verticale di scafo a 4 nodi con massima ampiezza, quando i gruppi elettrogeni di bordo funzionavano a 480 giri/min.

Come risulta dallo schizzo dello scafo e della

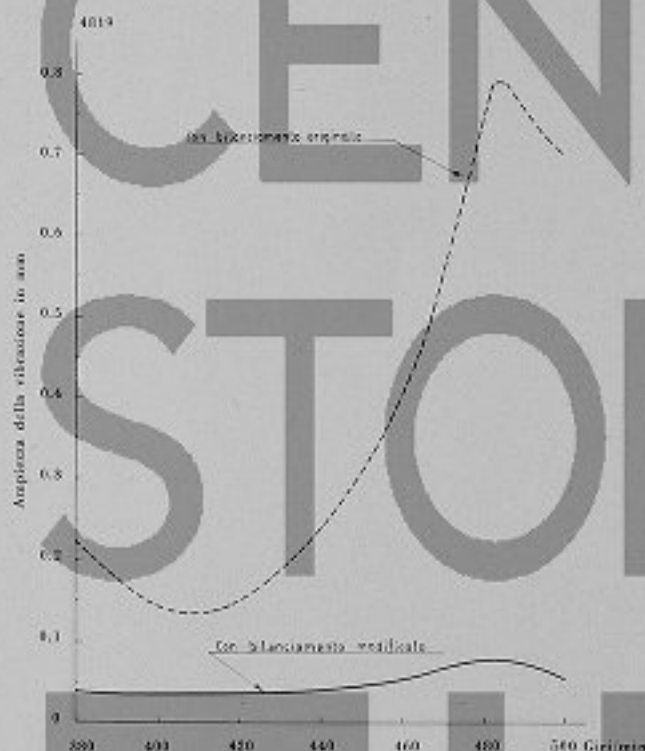


Fig. 5 - Nave coloniale. Curva di risonanza a 4 nodi rilevata sull'estremità poppiera dello scafo, prima e dopo la modifica del bilanciamento dei gruppi elettrogeni

sua deformata elastica (fig. 4), i gruppi elettrogeni risultavano collocati in un ventre della vibrazione e quindi si provvide ad eliminare la causa eccitante, riducendo ad 1/4 circa del suo valore iniziale la forza libera verticale del manovellismo dei gruppi elettrogeni. Tale forza era, in valore assoluto di intensità normalmente accettabile date le caratteristiche del motore come del resto era stato confermato dal fatto che lo stesso motore, a bordo di altri scafi con diverse frequenze proprie di vibrazione, non aveva mai innescato vibrazioni.

La riduzione della forza libera d'inerzia del manovellismo fu ottenuta, analogamente al caso

precedente, variando i pesi delle masse in moto alterno del manovellismo dei cilindri motori degli elettrogeni ed applicando un contrappeso rotante sulla manovella della pompa aria degli stessi elettrogeni.

Anche in questo caso i risultati delle semplici modifiche apportate furono positivi, in quanto che la vibrazione a 4 nodi praticamente scomparve come è confermato dal confronto delle curve di risonanza rilevate prima e dopo la realizzazione della modifica in parola (fig. 5).

Con il nuovo bilanciamento le forze libere secondarie risultavano, sebbene piccole in valore assoluto, doppie di quelle corrispondenti al bilanciamento iniziale. Ciò però non ebbe conseguenze nocive per la lontananza della loro frequenza da quella di vibrazione libera dello scafo.

c) Crediamo utile esporre più diffusamente i risultati di una ricerca eseguita per eliminare le vibrazioni a 2 nodi manifestatesi in un tipo di scafo, costruito in più esemplari, lungo circa 60 m con dislocamento a pieno carico di 1300 t circa azionato da un motore Diesel, 2 tempi, semplice effetto a 4 cilindri della potenza normale di 600 Cv a 220 giri/min.

In detti scafi, per via della posizione appoppata del motore di propulsione che veniva così a trovarsi in un ventre della vibrazione a 2 nodi e delle caratteristiche di bilanciamento e di calettamento delle manovelle motrici, fu possibile eliminare le vibrazioni con la semplice applicazione di un contrappeso sul volano.

In sede di progetto, le caratteristiche di bilanciamento del motore, considerate indipendentemente dalle caratteristiche dello scafo, risultavano abbastanza soddisfacenti.

Tenuto conto del tipo di motore, il esaltamento delle 4 manovelle motrici e di quello della pompa aria era il più indicato per ottenere la maggiore regolarità del momento torcente, l'ampiezza minima delle vibrazioni torsionali della linea d'assi ed il minor valore delle azioni libere d'inerzia del manovellismo, che sono riportate, nella seguente tabellina:

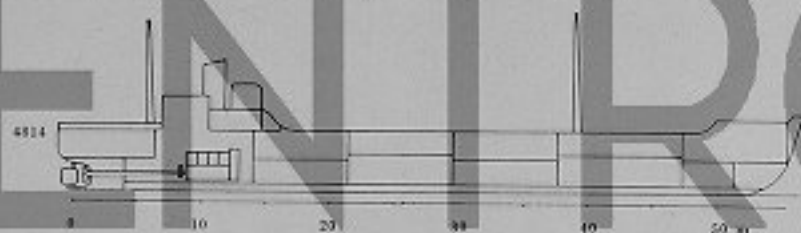
AZIONI LIBERE VERTICALI (N = 220 giri/min)					
		Primarie	Romanti	Rivoltanti	Secondarie
FORZE	(t)	2,25	3,30	5,55	0,645
MOMENTI	(ton)	2,68	2,40	5,16	3,23

La frequenza libera di vibrazione a 2 nodi dello scafo a circa $\frac{3}{4}$ di carico risultò di 222 per/min praticamente coincidente con i giri di funzionamento normale del motore (220 giri/min).

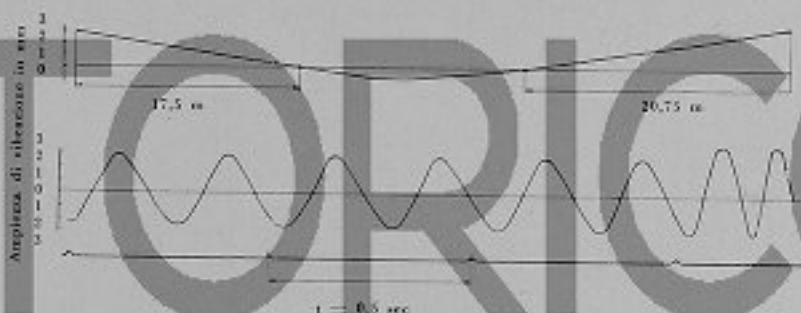
I vibrogrammi dello scafo (fig. 6) rilevati con il motore funzionante alla sua velocità normale, confermarono l'esistenza di vibrazioni longitudinali a 2 nodi di notevole intensità di cui si riporta nella stessa figura, la linea elastica.

conveniente risultato, tenendo conto anche della posizione del motore rispetto ai nodi della deformata elastica, quella consistente nell'applicazione di un contrappeso rotante sistemato sulla corona del volano ed il cui studio fu fatto in base ad elementari considerazioni qui brevemente esposte.

L'esame dei vibrogrammi e delle caratteristiche di bilanciamento del motore aveva rivelato che le azioni capaci di innescare le vibrazioni verticali a



A) Motore senza contrappeso sul volano



B) Motore con contrappeso sul volano

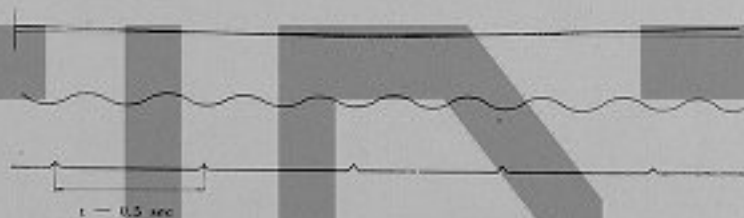


Fig. 6 - Motonave da carico da 750 t
Linee elastiche e vibrogrammi della vibrazione a 2 nodi rilevati a poppa con scafo a circa $\frac{3}{4}$ del pieno carico a 220 giri/min del motore prima e dopo l'applicazione del contrappeso sul volano

Il rilievo dei vibrogrammi fu esteso a varie condizioni di carico dello scafo, per cui fu possibile disegnare le varie curve di risonanza dello scafo ai vari dislocamenti (es. fig. 7 per il dislocamento a $\frac{3}{4}$ di carico), e la curva che rappresenta la legge di variazione della frequenza della nave in funzione del suo dislocamento (fig. 8).

Tra le varie soluzioni praticamente possibili per eliminare le suddette vibrazioni di scafo la più

2 nodi erano le azioni d'inerzia primarie F_1 e le componenti verticali delle azioni rotanti F_2 , essendo la loro frequenza di pulsazione praticamente coincidente con la frequenza propria di vibrazione a 2 nodi dello scafo.

Le azioni secondarie non erano da prendere in considerazione, essendo la loro frequenza di pulsazione circa doppia della frequenza di scafo.

Sulle ascisse dello schizzo di fig. 9 rappresen-

tante in scala opportunamente ingrandita il tratto della linea elastica di fig. 6 A) a monte del nodo poppiero e cioè in corrispondenza del locale macchine, sono riportate le distanze delle rette d'azione delle forze d'inerzia (mezzerie dei vari cilindri e del volano) dal nodo poppiero e sulle ordinate le corrispondenti ampiezze di vibrazione.

Nella prima riga della tabella seguente sono riportati i singoli valori delle forze d'inerzia agenti nel piano verticale (somma vettoriale delle forze alterne primarie e delle rotanti), mentre nella terza riga della stessa tabella sono segnati i valori dei

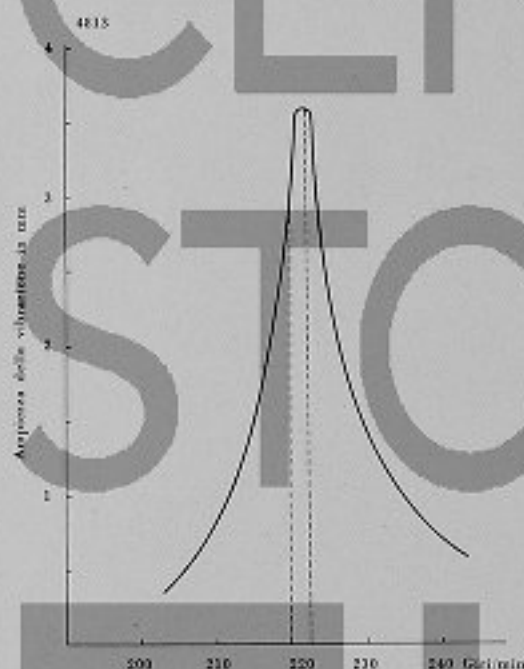


Fig. 7 - Motonave da carico da 750 t

Curva di risonanza della vibrazione a 2 nodi rilevata a poppa e con scafo a $\frac{3}{4}$ di carico

lavori delle dette forze d'inerzia corrispondenti agli spostamenti virtuali di cui sono suscettibili, per effetto della vibrazione, i punti dell'asse elastico della nave a cui esse sono applicate.

Elemento eccitante		Cil. mot. 1	Cil. mot. 2	Cil. mot. 3	Cil. mot. 4	P. A.
$F_s + F_r$	(t)	13,63	13,63	13,63	13,63	5,55
Ampiezza	(mm)	1,08	0,95	0,83	0,70	0,58
Lav. virt.	(Kgm)	14,73	12,94	11,30	9,54	3,22

Indicando con $L_s = (F_s + F_r) y_i$ il lavoro virtuale compiuto dalla forza d'inerzia verticale ($F_s + F_r$) di un cilindro generico per la corrispondente ampiezza della vibrazione y_i , la condizione di equilibrio del sistema è espressa notoriamente dalla:

$$\sum_{i=1}^{i=n} (F_s + F_r) y_i = 0$$

essendo la sommatoria estesa a tutte le masse del motore che originano azioni d'inerzia del tipo considerato.

Evidentemente la suddetta sommatoria dei lavori virtuali è vettoriale, non essendo le forze d'inerzia generate dalle varie masse in moto nel medesimo piano longitudinale del motore, ma in piani diversi del fascio, il cui asse coincide con l'asse longitudinale del motore e sfasati l'uno ri-



Fig. 8 - Motonave da carico da 750 t

Frequenza propria di vibrazione a 2 nodi dello scafo in funzione del dislocamento

spetto all'altro secondo l'ordine di calettamento delle varie manovelle.

Risulta quindi conveniente eseguire detta somma vettoriale per via grafica in base al calettamento del manovellismo, come mostrato nella stessa fig. 9.

Pertanto se l'intensità e lo sfasamento delle forze d'inerzia verticali non è tale da verificare la suddetta condizione di equilibrio, affinché ciò avvenga basta creare un lavoro virtuale L_s , rappresentato dal lato di chiusura del poligono di fig. 9, per cui sia verificata la

$$\sum_{i=1}^{i=n} (F_s + F_r) y_i + L_s = 0$$

Il lavoro L_s si può considerare come prodotto di una forza F_s , variabile nel piano longitudinale dello scafo con la stessa legge sinusoidale delle primarie e rotanti e della stessa frequenza, per l'ampiezza y_i , dello spostamento virtuale corrispondente

al punto della linea elastica al quale si applica la forza F , e quindi da esso si può desumere, noti dalla linea elastica il valore di y , l'intensità della forza d'inerzia F_x . Detta forza risulta tanto più piccola quanto maggiore è la corrispondente ampiezza della linea elastica e quindi, nel caso di motonavi del tipo qui considerato, quanto più dista il suo punto di applicazione dal nodo poppiero della nave.

delle varie manovre e l'entità delle masse alterne e rotanti, non risultarono variate, rispetto alle condizioni iniziali di progetto, né la irregolarità ciclica del momento torcente, né la sommatoria vettoriale dei momenti armonici eccitanti le vibrazioni torsionali della linea d'assi, né la frequenza delle vibrazioni torsionali proprie di quest'ultima. Infine le caratteristiche di bilanciamento del motore risultarono in complesso migliori di quelle iniziali



Fig. 9 - Motonave da carico da 750 t

Tratto della linea elastica della vibrazione a 2 nodi in corrispondenza del motore e poligono dei lavori virtuali dovuti alle forze d'inerzia libere del motore

Pertanto in pratica risultò conveniente creare la F_x nella massa del motore più vicina alla poppa e cioè sul volano mediante l'applicazione su di esso di una massa eccentrica, quasi in opposizione di fase alla manovella della pompa aria di dimensioni tali da creare la forza d'inerzia rotante di intensità richiesta, senza variare praticamente il momento dinamico totale del volano.

In tal modo si eliminarono le cause innescanti la vibrazione senza alterare le caratteristiche di funzionamento del motore.

Infatti, essendo rimasti invariati il calettamento

come risulta dal confronto dei valori della tabellina della pagina 18 con quelli della seguente tabellina in cui sono riportate le azioni libere d'inerzia verticali del motore con il contrappeso sul volano.

AZIONI LIBERE VERTICALI (N = 220 giri/min)					
		Primarie	Rotanti	Bilanciati	Secondarie
FORZE	(t)	2,25	0,68	1,57	0,645
MOMENTI	(tm)	2,68	7,95	5,27	3,23

Evidentemente l'applicazione di un contrappeso rotante dà luogo oltre che alla desiderata azione eccitante nel piano verticale dello scafo anche ad un'azione dello stesso tipo e frequenza nel suo piano orizzontale.

Questa ultima però nel caso in esame non causò inconveniente alcuno perchè le frequenze proprie di vibrazione dello scafo nel suo piano orizzontale risultavano (come avviene in molti casi) sufficientemente lontane da quelle dell'azione orizzontale libera.

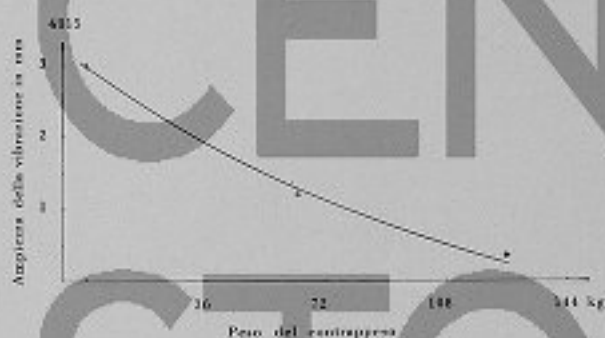


Fig. 10 - Motonave da carico da 750 t - Ampiezza della vibrazione a 2 nodi, misurata a poppa a 220 giri del motore in funzione del contrappeso sul volano

I vibrogrammi eseguiti dopo l'applicazione del suddetto contrappeso confermarono le conclusioni dedotte dal calcolo; nella fig. 6 B sono rappresentati il vibrogramma e la linea elastica dello scafo con dislocamento a $\frac{3}{4}$ di carico e con motore funzionante ai giri normali e munito di un contrappeso sul volano di dimensioni tali da creare una forza centrifuga corrispondente all'85%, circa della forza centrifuga richiesta dal calcolo.

Furono inoltre eseguiti rilievi delle ampiezze delle vibrazioni di scafo con contrappesi di dimen-

sioni varie, tenendo costanti i giri del motore ed il dislocamento della nave; in base ad essi fu disegnata la curva di fig. 10 che rappresenta appunto la legge di variazione delle ampiezze al variare del peso del contrappeso sul volano essendo beninteso costante la distanza del suo baricentro dall'asse di rotazione.

Fra le altre soluzioni possibili fu presa anche in considerazione quella consistente nell'applicazione di due contrappesi rotanti sistemati uno sulla manovella della pompa aria e l'altro sul volano, ma di massa un po' minore di quella corrispondente alla soluzione adottata.

Detta soluzione poteva essere ritenuta preferibile a quella realizzata perchè dà luogo ad un bilanciamento migliore dal punto di vista formale di quello esposto nell'ultima tabellina risultando i momenti rotanti liberi quasi nulli e le azioni libere verticali notevolmente minori.

Però nel caso specifico qui trattato ragioni di carattere costruttivo rendevano difficile l'applicazione del contrappeso rotante sulla pompa aria per cui fu scelta la soluzione illustrata che diede dei risultati soddisfacenti.

Un'altra suggestiva soluzione dello stesso problema, consisteva nello scalettare semplicemente la manovella della pompa aria di 180° rispetto alla sua posizione attuale e nel bilanciare parzialmente le sue masse rotanti con un contrappeso di opportune dimensioni.

Anche tale soluzione risultò meno consigliabile delle precedenti giacchè, se agli effetti della capacità di annullamento delle vibrazioni di scafo equivale alle prime, essa altera le caratteristiche di bilanciamento del motore liberando azioni d'inerzia più grandi di quelle corrispondenti al bilanciamento di progetto.

Dott. ing. NICOLÒ MANCUSO.

Affermazioni dello spettrografo nel campo delle analisi metallurgiche

Ricordati i principi fondamentali dell'analisi chimico-spettroscopica si elencano alcuni tipi moderni di apparecchiature e si dà un cenno agli studi più recenti effettuati in questo campo. Il laboratorio spettrografico dello Stabilimento ha svolto, oltre alla normale attività analitica per il controllo dei materiali immessi in lavorazione, anche delle ricerche originali per la determinazione del tungsteno, del vanadio, del cromo negli acciai rapidi, circa le quali si riferisce.

Qualche accenno ai più recenti sviluppi.

Sino a pochi anni fa l'analisi delle leghe metalliche veniva eseguita esclusivamente per via chimica cioè mediante l'attacco del campione con opportuni reattivi, che portano gli elementi metallici in soluzione sotto forma ionica, e successiva misura quantitativa dei ioni stessi. Solo da poco tempo, le principali industrie metallurgiche hanno adottato nei loro laboratori un nuovo metodo di ricerca analitica che presenta notevoli vantaggi di rapidità ed economia, basato sull'esame dello spettro ottico ottenuto mediante dispersione con un prisma di quarzo

e il Bohr, con i suoi postulati sulla teoria corpuscolare della radiazione e sui quanti di energia, poté preparare la via alla meccanica quantistica che ci doveva portare all'interpretazione completa di uno spettro.

Fu trovato infatti che, mentre i solidi ed i liquidi emettono spettri continui inutilizzabili per un'analisi spettrale, i vapori invece a temperature elevate quali si possono raggiungere mediante scintilla ad alta tensione (si utilizza nel nostro caso la corrente alternata alla tensione di 6000-12000 Volt), emettono una luce complessa formata da radiazioni monocromatiche a lunghezza d'onda (λ) definita e

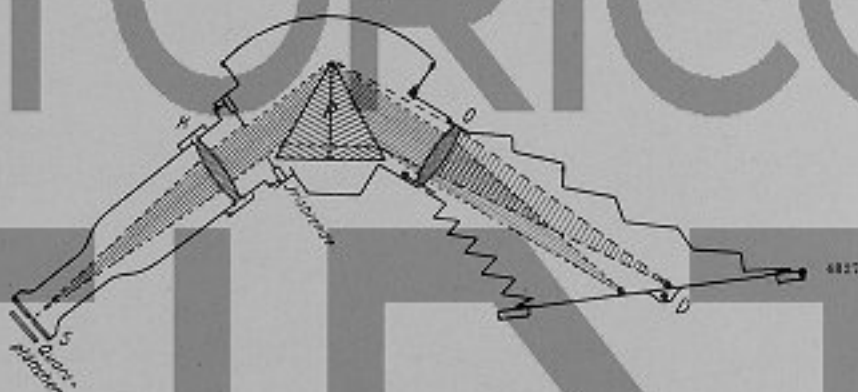


Fig. 1 - S fenditura, K obiettivo collimatore, P prisma di base
O obiettivo della camera, D lastra fotografica

od altro mezzo adatto. L'apparecchio usato prende il nome di spettrografo.

Il principio sopra cui si basa l'analisi spettrografica è il risultato di una lunghissima serie di tentativi e di studi che ebbero inizio con le osservazioni scientifiche di Newton sulla composizione spettrale della luce bianca. Grazie a quegli studiosi che continuarono il perfezionamento degli apparecchi, non solo, ma si dedicarono allo studio diretto degli spettri, Balmer e Rydberg furono in grado di fornire una interpretazione empirica delle righe spettrali nel caso dell'idrogeno, dei metalli alcalini ed alcalino-terrosi

invariabile, sempre qualora non intervengano l'effetto Stark, l'effetto magnetico (Zeeman), l'effetto gravitazionale (Einstein), ecc. Questa luce complessa viene raccolta in una fenditura a larghezza regolabile (da 0 a 0,3 mm.) dispersa da un prisma di quarzo e focalizzata da un sistema ottico su di una lastra fotografica sotto forma di spettro costituito da tante immagini della fenditura quante sono le lunghezze d'onda presenti nella radiazione in esame. La fig. 1 illustra schematicamente il percorso dei raggi.

L'origine di queste luci monocromatiche ci è stata appunto spiegata dal Bohr ed è dovuta

agli elettroni periferici (od elettroni di valenza) i quali sono gli unici ad intervenire nelle reazioni chimiche.

Nell'atomo neutro non eccitato questi elettroni ruotano su orbite stazionarie in equilibrio dinamico, unico equilibrio che permetta il loro movimento senza emissione di energia; sotto l'effetto di una eccitazione termica, di un urto anelastico, di un assorbimento di radiazione, essi abbandonano queste orbite per portarsi su altre più esterne di minor stabilità, ma a potenziale superiore. Una volta cessata l'eccitazione, il ritorno nelle posizioni primitive provoca emissione di una radiazione la cui frequenza dipende dai valori energetici di partenza e di arrivo.

può ripetere tante volte quanti sono gli elettroni di valenza, si verificherà emissione di varie frequenze e quindi nello spettro, compariranno le righe spettrali ad esse corrispondenti. Per accordo internazionale, le righe corrispondenti all'atomo neutro, all'atomo ionizzato 1, 2, 3 ... volte, vengono indicate col simbolo dell'elemento accompagnato dall'indice I, II, III, IV ... ecc.

Così la riga Ca II 3179 è la riga relativa all'atomo di calcio ionizzato una volta, la Mg II 2803 è la riga relativa all'atomo di magnesio ionizzato una volta e la Al I 3082 quella relativa all'atomo neutro di alluminio (fig. 2).

Sempre dipendente dalla natura dell'atomo ed in particolare dalla disposizione dei suoi elettroni

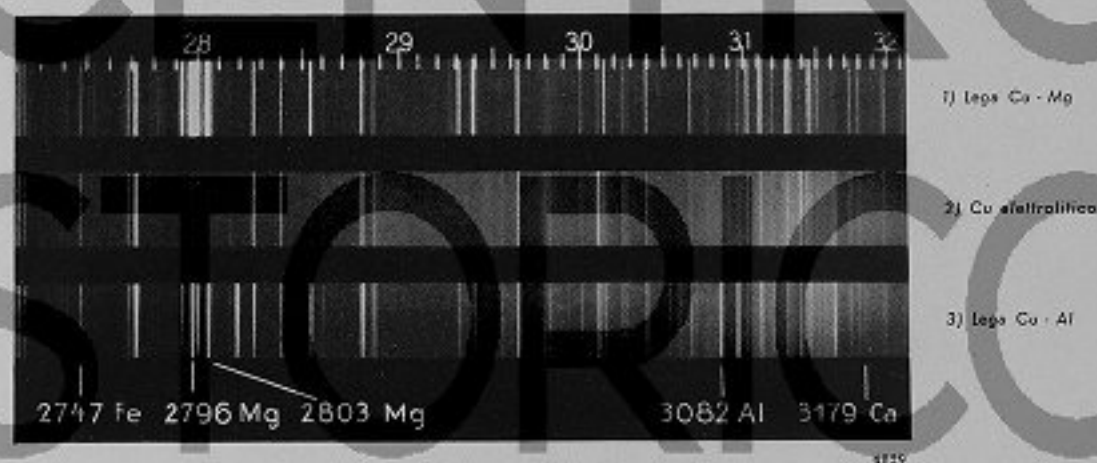


Fig. 2 - Leghe di rame (Q 24 Zeiss)

Il Bohr fissò nei suoi postulati il valore di tale frequenza ν (rapporto tra la velocità della radiazione nel vuoto e la corrispondente lunghezza d'onda) con la formula

$$\nu = \frac{W_1 - W_2}{h}$$

ove W_1 e W_2 rappresentano i valori energetici rispettivamente di partenza e di arrivo ed h la costante di Plank.

Con tale formula si ebbe la conferma dell'ipotesi introdotta dal Plank stesso relativa all'emissione o all'assorbimento di energia: l'oscillatore non può che cedere o prendere quantità finite di energia multiple del valore $h\nu$ che venne perciò denominato « quanto ».

Se l'eccitazione è sufficientemente forte si può fare in modo che l'elettrone abbandoni definitivamente l'atomo; in questo caso esso restituirà una particolare quantità di energia detta di ionizzazione a cui corrisponde una particolare lunghezza d'onda. Poiché questo effetto di ionizzazione si

è l'ordine di molteplicità delle righe spettrali. I quattro numeri quantici che caratterizzano la posizione degli elettroni sui livelli energetici, obbediscono a particolari leggi che permettono di stabilire un ordine di molteplicità pari o dispari per quegli elementi dotati di numero dispari o pari di elettroni periferici. Nello spettro dell'elio per es. vi sarà un sistema di singoletti e un sistema di tripletti, mentre doppietti e quartetti compariranno negli spettri degli elementi a tre elettroni esterni.

Lo studio completo di uno spettro porterà quindi ad una esatta conoscenza della natura chimico-fisica dell'elemento corrispondente.

Ma il metodo spettrografico non viene oggi utilizzato unicamente per una valutazione qualitativa. Già alla fine del secolo scorso Hartley, investigando sull'intensità e persistenza delle righe spettrali in funzione della concentrazione, aveva avanzato l'ipotesi di un'analisi quantitativa basata appunto su questa corrispondenza, ipotesi che venne convalidata dal Gerlach una ventina di anni or sono mediante il metodo per rapporto interno oggi generalmente usato.

Mediante cellula fotoelettrica vengono misurati gli annerimenti di particolari righe negli spettri degli elementi in esame e da questi risultati si ricava il tenore degli elementi mediante una curva di taratura. Per ottenere questa curva è necessario spettrografare sulla lastra medesima oltre al provino in studio anche tre o più campioni di analoga composizione, ma a tenori di elementi variabili da un massimo ad un minimo prestabilito. Così ad esempio per procedere all'analisi di un'antifrizione a base piombo (MB. 10) i cui tenori in stagno, rame, antimonio sono rispettivamente:

litativa e da un fotometro per la quantitativa. Naturalmente in questi ultimi anni questi apparecchi hanno subito delle ulteriori trasformazioni e modifiche atte soprattutto a ridurre ancora il tempo di analisi già notevolmente ridotto rispetto a quello necessario al metodo chimico. Il moderno quantometro rappresenta appunto una di queste trasformazioni in quanto risulta da una specie di fusione dello spettrografo e del fotometro: in questo caso infatti è abolita la lastra fotografica e la lettura fotometrica viene automaticamente eseguita da cellule fotoelettriche situate sul piano

27

25

Fe 2689,21 Cr 2677,16

Fe 2518,10 Si 2516,12

Fig. 3 - Coppia omologa Fe - Cr (Q 24 Zeiss)

Fig. 4 - Coppia omologa Fe - Si (Q 24 Zeiss)

Su = 10 %, Cu = 1 %, Sb = 15 %, resto Pb, è necessario ricorrere a tre coppie di campioni tarati nelle seguenti proporzioni in %:

MB. 10 min: Su = 5,40; Cu = 0,50; Sb = 11,50

MB. 10 med: Su = 9,20; Cu = 1,40; Sb = 17,50

MB. 10 max: Su = 12,00; Cu = 2,50; Sb = 19,50

Le righe scelte per la valutazione fotometrica (righe omologhe) sono righe sensibili alle concentrazioni ed in grado quindi di segnalare le variazioni di questa con la loro intensità di annerimento. Per il cromo ad esempio la coppia omologa scelta è la Fe 2689,21/Cr 2677,16 (fig. 3) e per il Silicio è Fe 2518,1/Si 2516,1 (fig. 4).

L'apparecchiatura necessaria per questo tipo di analisi è costituita oltre che dallo spettrografo, anche da uno spettro proiettore per la ricerca qua-

fuocale del prisma e precisamente in opportune posizioni corrispondenti alle righe omologhe. Le cellule comunicano attraverso a degli amplificatori ionici con dei contatori che forniscono direttamente i dati di analisi senza l'intervento dell'operatore avendo questi provveduto in precedenza alla taratura dell'apparecchio, taratura valida per analisi di leghe del medesimo tipo.

Un altro apparecchio che potrebbe sostituire il fotometro è quello segnalato nel 5° congresso del *Groupe pour l'avancement des méthodes spectrographiques* di Parigi, apparecchio ancora attualmente oggetto di studio. Secondo questo nuovo progetto, la cellula fotoelettrica verrebbe illuminata alternativamente da una luce ad intensità nota e dalla medesima luce dopo il passaggio attraverso le righe di uno spettrogramma; le diverse deviazioni dell'indice del galvanometro, dovute alle variazioni di

intensità luminosa sono compensate da un compensatore a cuneo collegato ad un relay scrivente. Anche in questo caso viene abolito l'intervento dell'operatore poichè tutto procede meccanicamente.

Si prospetta pure la possibilità di sostituzione della fenditura posta innanzi al prisma di quarzo con uno specchio cilindrico di dimensioni capillari (attuabile quindi con una colonnina di mercurio), ciò per abolire la necessità di un allineamento rigoroso della scintilla sul banco ottico.

Queste modificazioni, pur arrecando ulteriori vantaggi di rapidità rispetto all'apparecchiatura precedente, basano il loro funzionamento sul medesimo principio che guidò anni or sono i primi spettrografisti.



Fig. 5 - Coppia omologa Fe-C
(Spettrografo di quarzo monoprismatico Fouss)

Oltre ad apportare modificazioni nelle apparecchiature, si è cercato in questi ultimi anni di allargare il campo di applicazione dell'analisi spettrografica. Uno dei problemi più interessanti alla cui soluzione hanno contribuito molti noti spettrografisti quali il Convey, il Gmelin, il Gatterer, è quello riguardante l'analisi spettrografica quantitativa del carbonio, analisi un tempo ritenuta impossibile. Oggi tale determinazione è limitata al campo sperimentale necessitando di apparecchiature di cui sono ancora sprovvisti i comuni laboratori spettrografici, ma certamente i progressi fatti si può dire quotidianamente dalla spettrografia, permetteranno un giorno di effettuare tali analisi correntemente come già correntemente si opera nei riguardi di altri numerosi elementi. La difficoltà riscontrata in tali determinazioni è dovuta alla posizione caratteristica della coppia omologa C III 2296,86/Fe III 2295,86 Å e alla natura stessa di queste due righe.

Entrambi infatti risultano da una doppia ionizzazione dell'atomo di carbonio e di ferro, ma mentre il potenziale di seconda ionizzazione del C raggiunge il valore di 53,5 Volt-elettrone (eV) per il ferro invece sono sufficienti 30,48 eV. L'eccitazione delle linee del carbonio richiede quindi condizioni di alta energia e di conseguenza nello spettro è presente una grande quantità di ferro ionizzato che provoca la soppressione parziale, se non addirittura totale della 2296,86. Per l'analisi è quindi necessario

l'uso di uno spettrografo a grande potere separatore, in particolare uno spettrografo a due prismi come quello usato dal Gmelin appunto in questo caso. A tali osservazioni portarono un grande contributo gli esperimenti preliminari eseguiti con uno specchio rotante ad asse verticale, apparecchio che permise uno studio accurato sulla natura delle scariche di scintille non controllata con o senza distanza di scintillamento ausiliario, e sull'effetto di getti di aria attraverso la distanza analitica.

La fig. 5 illustra la posizione della sopraccennata coppia omologa in uno spettro di acciaio.

La spettrografia moderna si è anche occupata ultimamente di un problema pratico riguardante la preparazione dei campioni analitici. Le conchiglie in sabbia e in ghisa oggi usate correntemente per la colata degli elettrodi, non presentano il metodo più sicuro per ottenere un campione esente da irregolarità di struttura e perfettamente omogeneo nella composizione. Ultimamente la Ford-Motor Co. dopo alcuni infruttuosi tentativi di colata in vetro pyrex, ha adottato conchiglie con rivestimento di molibdeno; l'efficacia di tale rivestimento è stata messa in evidenza in quanto si è potuto constatare un notevole miglioramento apportato alla struttura granulata ed alla uniformità.

Per quanto riguarda ai vantaggi del metodo spettrochimico questi si possono riassumere nel modo seguente.

- 1) Grande sensibilità. E' possibile segnalare tracce di sostanze presenti in percentuali minime. Il limite inferiore di sensibilità è circa del 0,0001%. Lo spettrografo in questo caso sostituisce vantaggiosamente il metodo polarografico, potenziometrico, colorimetrico.
- 2) Rapidità di analisi. L'analisi di un'antifrizione al piombo, per esempio, che richiede normalmente quattro cinque ore se effettuata per via umida, può essere eseguita allo spettrografo in meno di mezz'ora. A questa rapidità contribuisce inoltre la possibilità di effettuare spettrogrammi direttamente su pezzi finiti.
- 3) Consumo minimo del campione. La quantità richiesta per l'esecuzione di uno spettrogramma è dell'ordine di qualche milligrammo.
- 4) Possibilità di esaminare diversi punti del campione.
- 5) Facilità di conservazione dei risultati sotto forma di spettrogrammi.
- 6) Messa in evidenza simultanea di elementi differenti. L'analisi chimica viene notevolmente facilitata se preceduta da una valutazione spettrale qualitativa. Un rapido esame dello spettro permette di segnalare presenza di elementi il cui riconoscimento per via umida richiederebbe altrimenti un lungo lavoro di ricerca.

Applicazioni nel nostro Laboratorio.

Le analisi di tipo corrente che il laboratorio spettrografico della Grandi Motori è oggi in grado di effettuare riguardano metalli antifrizioni al piombo e allo stagno, i vari tipi di ghise fuse giornalmente nella fonderia e gli acciai.

Nella messa a punto dei metodi ciò che ha richiesto più tempo e studio è stata la ricerca degli elettrodi adatti.

L'uso di due elettrodi dello stesso materiale è facilmente praticabile per le ghise e le antifrizioni perchè tali leghe vengono direttamente preparate nella nostra fonderia; per gli acciai invece, essendo richiesto un poco economico lavoro di tornitura siamo stati indotti alle ricerche di un contro elettrodo di metallo puro al fine di poter eseguire gli spettrogrammi operando direttamente sui pezzi che ci vengono sottoposti a controllo. Tale problema è di facile soluzione per quanto riguarda gli acciai comuni: l'alluminio puro si presta molto bene come contro elettrodo da contrapporsi all'acciaio, perchè le sue righe spettrali non disturbano le coppie di righe omologhe scelte per la valutazione quantitativa del silicio, manganese, cromo, rame, nichel, coppie comunemente usate anche nella fotometria delle ghise.

Contributo delle ricerche sull'analisi spettrografica degli acciai rapidi.

Non così semplice invece è la ricerca del contro elettrodo da usare nell'analisi spettrografica degli acciai rapidi. E' questo un argomento che è stato trattato, a lungo nel nostro laboratorio allo scopo di avere un rapido controllo delle qualità degli acciai rapidi di normale impiego nella fabbricazione degli utensili da taglio.

In questa parte è sviluppato brevemente il metodo da noi usato a tale scopo e basato essenzialmente su di un lavoro sistematico di confronto tra i dati analitici ottenuti con vari contro elettrodi e i dati ottenuti mediante l'uso di coppie di elettrodi uguali.

Elenchiamo brevemente le apparecchiature usate:

Apparecchiatura usata. — Generatore di scintille Feussner.

— Spettrografo Zeiss Q 24.

— Fotometro a righe spettrali Zeiss.

Le prescrizioni di lavoro usate nel corso di queste prove sono:

— Forma degli elettrodi: cilindretti \varnothing 4 mm.

— Distanza analitica: 2 mm.

— Superficie attiva: a cupola per elettrodi uguali, piana e a cupola con contro elettrodo.

— Diaframma intermedio: 0

— Diaframma camera: 1:10

— Filtro a tre gradini: 100% - 20% - 3%.

- Fenditura spettrografo: 0,02 mm.
- Eccitazione: PF4 1/1 C 1/1 L.
- Resistenza sul primario: 75 ohms.
- Prescintillamento: 4 o 6 minuti a seconda delle prove.
- Posa: 2' o 1' e 30".
- Sviluppo: R 2 Ferrania.
- Fissaggio: F 1 Ferrania.
- Sorgente luminosa del fotometro: lampadina Osram 12 V 25 W.
- Obbiettivi: 10 x 0,30 Zeiss.
- Prefenditura cella: 2 mm.
- Fenditura cella: 0,30 mm.
- Lastre: Ultra Contrasto Orto (UCO), Contrasto (C), Normal Orto (NO).

Righe analitiche utilizzate per la valutazione fotometrica.

Cromo:

Fe 2689,21 (150) Cr II 2677,46 (300 r).
Righe perturbatrici: V I 2688,71 (100 R) e V. 2689,83 (100 R)
Cu II 2689,29 (300).

Vanadio:

Fe I 3083,74 (500) V II 3110,70 (300 R).
Righe perturbatrici: Ti 3110,67 (70).

Tungsteno:

Fe I 4005,24 (200) W I 4008,75 (45).
Righe perturbatrici: Fe I 4009,71 (100).

Le righe perturbatrici per la coppia omologa Fe-Cr dovute al vanadio sono sempre presenti nei nostri acciai, ma non arrecano disturbo in quanto debolissime.

La riga spettrale Cu II 2689,29 (300) interessa solo in caso dell'impiego di un contro elettrodo di rame. Anche a tali condizioni però, il valore degli annerimenti della Fe 2689,21 non risente che di un aumento costante avente come unica conseguenza quello di provocare uno spostamento della curva di taratura parallelo alla posizione primitiva.

Le linee perturbatrici per le coppie Fe-W e Fe-V dovute al Ti, non devono essere prese in considerazione in quanto i campioni da noi usati non contengono tale elemento.

La riga Fe I 4009,71 vicine alle W I 4008,75 è debolissima e influisce di un valore costante e trascurabile sugli annerimenti della W I 4008,75.

Calcolo dei ΔS o differenza di annerimenti.

L'analisi spettrografica e fotometrica è basata esclusivamente sulla proporzionalità esistente tra le concentrazioni dei vari elementi della lega in esame

e i così detti ΔS o differenze di annerimento che vengono calcolati con il logaritmo di A_2/A_1 intendendo con A_2 la deviazione segnalata sulla scala del galvanometro per l'elemento base e A_1 la deviazione relativa all'elemento in esame. In formula

$$\Delta S = \lg \frac{A_2}{A_1}$$

Per ottenere una curva di taratura ad andamento rettilineo (almeno per un determinato intervallo di concentrazione) si ricorre alla carta logaritmica doppia valutando cioè il logaritmo delle concentrazioni in funzione dei rapporti A_2/A_1 .

Come mostra chiaramente la figura i ΔS relativi al Cr possono considerarsi stabilizzati dopo 3 minuti di scintillamento. Le variazioni verificatesi dopo questo periodo di tempo sono di entità trascurabile.

Nel caso del tungsteno sono sufficienti due minuti per raggiungere il valore costante; questa stabilità però viene mantenuta non oltre i sette minuti ed è quindi necessario regolare il tempo di prescintillamento e di posa in modo da non superare tale limite.

I valori dei ΔS per il vanadio variano pochissimo in funzione del tempo se non si tiene conto dell'andamento leggermente decrescente compreso nei primi due minuti.



Fig. 6 - Curve di prescintilla (ΔS - Tempo)

Verifica dei tempi di prescintillamento e di posa.

Per l'esecuzione dello spettrogramma è necessario osservare un certo periodo di prescintillamento al fine di ottenere una scintilla stabile, di portare cioè i ΔS ad un valore costante per tutta la durata della posa.

Nel caso degli acciai rapidi si dovettero tracciare i grafici relativi alle variazioni dei ΔS in funzione dei tempi di scintillamento per le coppie omologhe del Cr, V, W sopraccennate (si è fatto uso della coppia (acciaio rapido + acciaio rapido).

Nella fig. 6 sono rappresentati i grafici dei tempi di prescintillamento del cromo, del tungsteno, del vanadio; sulle ascisse sono segnati i tempi, sulle ordinate i ΔS .

Dispersione dei punti figurativi - Pendenza delle curve di taratura.

Le prove analitiche furono effettuate con sei campioni di acciaio rapido a tenori noti di Cr - W - V come da tabella seguente (tab. N. 1):

	AR 1	AR 2	AR 3	AR 4	AR 5	AR 6
Cromo %	2,05	3,85	5,05	2,05	3,50	4,95
Tungsteno %	7,60	13,5	17,6	9,40	12,0	16,1
Vanadio %	2,20	2,20	2,20	1,32	1,70	2,50

Tab. 1 - Composizione in % dei campioni in acc. rapido

A questi si sono contrapposti a volta a volta elettrodi in ferro, rame ed alluminio.

I dati sono stati in seguito confrontati con quelli ottenuti mediante l'uso dei due elettrodi in acciaio rapido uguali.

Fin dagli inizi si è riscontrato, usando contro-elettrodo di alluminio, una irregolarità nella dispersione dei punti figurativi, irregolarità che il laboratorio centrale della GAMS di Parigi segnala in una relazione dedicata agli acciai rapidi attribuendola ad una scarica insufficiente e alla natura stessa del contro-elettrodo.

Poichè queste particolarità non si riscontrano con il contro-elettrodo di rame o di ferro, le prove successive sono state dedicate a questi due tipi di

4. - Le pendenze massime si riscontrano per tutti i tipi di lastre e per tutti i tipi di contro-elettrodo nelle curve di taratura del tungsteno.

5. - Una riduzione del tempo di posa compensata con maggior tempo di sviluppo non varia praticamente il risultato e permette di operare con maggior rapidità.

Per ogni curva di taratura relativa ad un particolare elemento sono state calcolate le pendenze.

Nella fig. 7 sono tracciate le curve di taratura del vanadio, tungsteno, cromo ricavate in base alla fotometria delle lastre S.49/139 - UCO - Acc. Rap. + Al e S.49/157 - NO - Acc. Rap. + Cu.

Risulta evidentissimo il contrasto fra le due pendenze e l'arbitrarietà delle curve nel caso di forti

N. lastra	Tipo di lastra	Elettrodi		Tens. rete	Fend. spett. in mm	Pre-Scarica	Posa	Sviluppo		Pendenza sull'asse delle concentrazioni		
		natura	sup. attiva					temperat.	tempo			
S/48/316	U.C.O.	Acc + Acc	Cupola	210	0,02	4'	2'	(Metolide.) 19°-20°	3'	52°	40°	37°
S/49/131	U.C.O.	Acc + Cu	Piano cupola	210	0,02	4'	2'	" "	3'	50°	31°	39°
S/49/139	U.C.O.	Acc + Al	" "	210	0,02	4'	2'	" "	3'	34°	23°	29°
S/49/139	U.C.O.	Acc + Fe	" "	210	0,02	4'	2'	" "	3'	40°	31°	35°
S/49/127	C	Acc + Acc	Cupola	210	0,02	4'	2'	(R 22) 23°	1' 10"	forte ann.	45°	39°
S/49/133	C	Acc + Cu	Piano cupola	210	0,02	4'	2'	" "	1' 10"	61°	47°	43°
S/49/157	NO	Acc + Cu	" "	205-210	0,02	4'	2'	" "	1' 10"	63°	51°	51°
S/49/158	NO	Acc + Cu	" "	205-215	0,02	4'	2'	" "	1'	60°	50° for. dis.	52°
S/49/158	NO	Acc + Acc	Cupola	205-215	0,02	4'	2'	" "	1'	Ancorimen.	forti	
S/49/162	NO	Acc + Cu	Piano cupola	205-210	0,015	4'	1 1/2'	" "	1' 30"	59°	52°	48°
S/49/162	NO	Acc + Acc	Cupola	205-210	0,015	4'	1 1/2'	" "	1' 30"	60°	42°	46°

Tab. 2 - Valori di pendenze sull'asse delle concentrazioni relative a varie prescrizioni di lavoro

contro-elettrodo e in questi ultimi tempi al solo contro-elettrodo di rame. Con quest'ultimo infatti è possibile uguagliare i valori di pendenza e di scarto ottenuti mediante la coppia acciaio rapido + acciaio rapido.

Abbiamo riportato nella tab. N. 2 alcuni tra i dati più significativi riguardanti i valori di pendenze delle curve di taratura ottenute variando il tipo di lastra, la composizione dello sviluppo, la natura del contro-elettrodo, il tempo di posa.

Osserviamo:

1. - L'inclinazione delle curve analitiche rispetto all'asse delle concentrazioni (K) per le coppie acc. rap. + ferro e acc. rap. + alluminio è notevolmente inferiore all'inclinazione per le coppie acc. rap. + rame e acc. rap. + acc. rap.

2. - Il vantaggio di una maggior inclinazione si accentua con l'uso di lastre Contrasto e Normal Orto e dello sviluppo R 22 Ferrania.

3. - Nel caso del rame questi valori vengono ad uguagliare e talvolta a superare quelli relativi alla coppia di elettrodi uguali.

dispersioni. Per il vanadio e tungsteno il valore delle inclinazioni per la coppia Acc. Rap. + Cu è circa il doppio di quello relativo alla coppia Acc. Rap. + Al.

Sono state inoltre calcolate le dispersioni dei punti figurativi mediante un regolo per scarti in percentuale ricavato dalla stessa scala logaritmica in uso per le curve analitiche (tab. N. 3).

Le medie di questi scarti ci permettono di trarre le seguenti conclusioni:

ELEMENTI	COPPIE DI ELETTRODI:		
	Acc. + Fe Rap.	Acc. + Cu Rap.	Acc. + Acc. Rap. + Rap.
W	9,1	2,7	3,5
V	3,5	2,1	2
Cr	5,2	1,0	3,5

Tab. 3 - Scarto in % delle dispersioni dei punti figurativi

1. - Gli scarti più deboli si verificano per il vanadio sia questo analizzato su spettrogrammi acc. rap. + acc. rap. che acc. rap. + controlettrodo.

2. - Gli scarti maggiori si verificano per il tungsteno nella determinazione fatta con il controlettrodo di ferro.

3. - Poichè la forte dispersione dei punti figurativi e la pendenza minima rendono arbitraria la

dei dati un caso da scartare a priori. Il controlettrodo di ferro pur presentando delle buone inclinazioni nelle curve di taratura, presenta una troppo forte dispersione nei punti figurativi del tungsteno.

Il rame è, a nostro avviso, l'elemento più adatto per l'analisi spettrografica degli acciai rapidi. E ciò non solo nei riguardi degli altri elementi usati

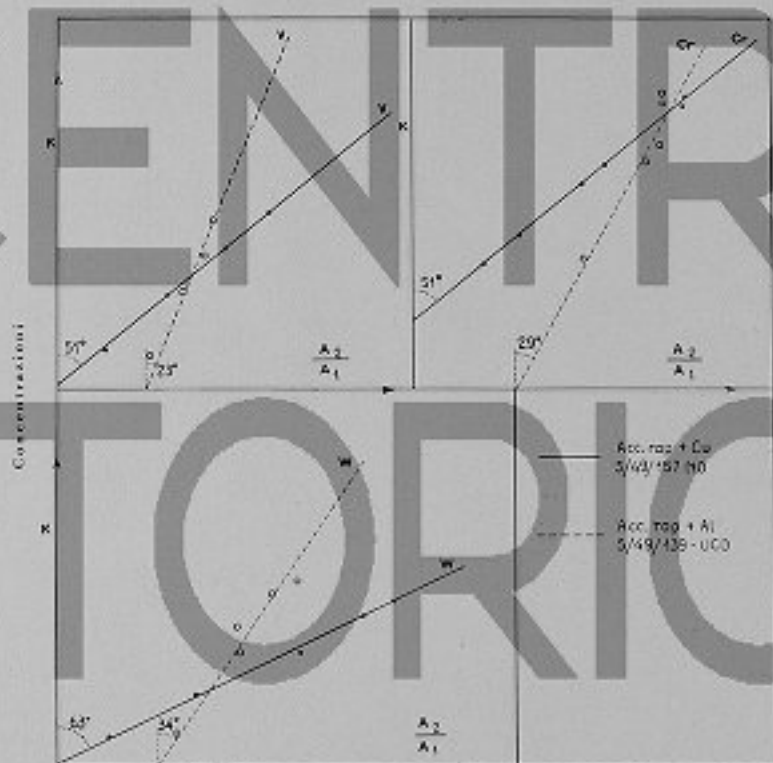


Fig. 7 - Curve di taratura del V, W, e Cr

posizione della curva di taratura e difficilissima l'interpolazione, è praticamente impossibile la determinazione del tungsteno nel caso di spettrogrammi eseguiti su coppia acc. rap. + Fe.

Conclusione.

Nelle nostre ricerche nel campo degli acciai rapidi abbiamo riscontrato che l'impiego di un controlettrodo di alluminio è per l'incostanza

come controlettrodi ma anche nei riguardi della coppia di elettrodi uguali in acciaio rapido.

Nei confronti di questi ultimi il rame possiede inoltre il grande vantaggio di potersi usare come controlettrodo con la possibilità cioè di effettuare l'analisi direttamente sui pezzi senza che si renda necessaria la preparazione di elettrodi. E ciò con notevole vantaggio del fattore tempo e del fattore economico.

Dott. SILVIA ROSETTA.

MOTONAVE SURRIENTO. — *Alla fine di maggio è salpata da Genova la motonave Surriento della Flotta Lauro.*

Snella ed elegante nella sua bianca linea, signorile e di buon gusto nel suo nuovissimo arredamento, radicalmente trasformata nel suo apparato motore, che le imprime ora una velocità di 17,5 miglia/ora, essa — che è la ex S. Maria costruita in Inghilterra nel 1928 dalla Furness S.B. Co. — è una bellissima nave che riporterà al suo antico prestigio la nostra bandiera sulla linea regolare dell'Australia, a cui è destinata in coppia con la M/n Napoli dello stesso Armatore.



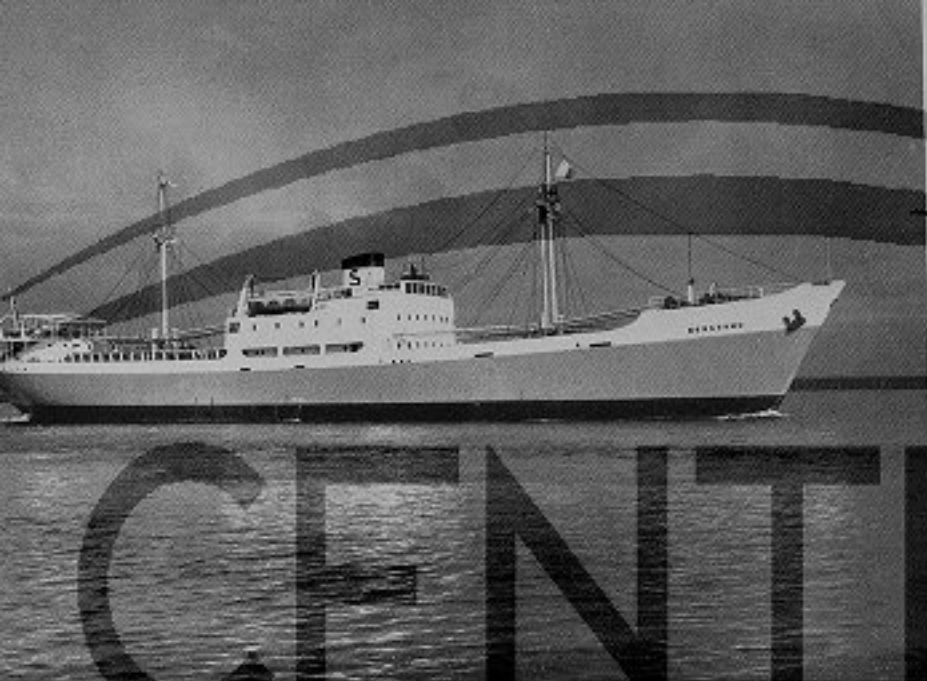
M/n
Surriento

4331

Noi ci siamo occupati della revisione e del rimodernamento dell'apparato motore, provvedendo a trasformare col sistema di iniezione Archauloff i due motori principali (a 2 tempi, semplice effetto, 8 cilindri, 680 mm di diametro, sviluppati in precedenza la potenza di 2×4000 HP a 100 giri/min) e sistemando al posto di due dei vecchi ausiliari due nuovi gruppi aventi lo stesso ingombro, ma di potenza circa doppia (a 2 tempi, semplice effetto, 5 cilindri, 360 mm di diametro, sviluppati la potenza di 2×875 HP a 250 giri/min.).

Soppressi i quattro compressori direttamente accoppiati ai motori principali, sostituite tutte le testate cilindro con altre uguali a quelle montate sui nostri motori di tipo più recente, sistemati i nuovi dispositivi di iniezione e di manovra, trasformato il circuito di raffreddamento cilindri e stantuffi da acqua salata ad acqua dolce, rifatta buona parte delle tubazioni, sostituiti due dei quattro ausiliari, sistemate le caldaie a gas di scarico a valle dei motori principali e dei due nuovi ausiliari, l'apparato motore non solo ha cambiato d'aspetto, ma ha soprattutto guadagnato un buon $20 \div 25\%$ nella potenza (la velocità di rotazione dei motori principali è passata da 100 a $110 \div 112$ giri/min e la velocità nave è aumentata di oltre un miglio/ora) e nella praticità e sicurezza di esercizio.

I risultati del primo viaggio, durato circa due mesi, hanno pienamente corrisposto a quelli delle prove in mare e all'aspettativa nostra e dell'Armatore, confermando ancora una volta la convenienza tecnica ed economica di simili radicali trasformazioni, purchè progettate ed eseguite con la necessaria serietà e competenza.



M/n Bergsund

MOTONAVI DELLA REDERI AKT. SVEA DI STOCOLMA. — È stata pure ultimata in questi mesi la consegna da parte di un Cantiere Inglese delle sei motonavi miste da 1850 t tipo « Bergsund », costruite per conto della SVEA AKT. di Stoccolma e fornite ciascuna di un motore di propulsione Fiat-Ansaldo della potenza normale di 1500 HP a circa 200 giri/min (a 2 tempi, semplice effetto, 6 cilindri, diametro 450 mm). Sale così ad oltre 23 il numero delle motonavi Scandinave costruite dopo la guerra e fornite di apparato motore FIAT, e questo numero si arricchirà tra breve delle altre 8 unità ora in allestimento.

RIMORCHIATORE PROVENÇAL 3°. — È stato consegnato verso la metà di giugno dal Cantiere I.N.M.A. di La Spezia alla Soc. Provençal de Remorquage il rimorchiatore Provençal 3°, destinato al servizio del porto di Marsiglia. Un secondo rimorchiatore gemello è in costruzione mentre stanno svolgendosi trattative per ulteriori forniture.

Accenniamo a questi rimorchiatori perché sono costruzioni un poco insolite nei nostri cantieri, ed anche nei nostri porti, stante le dimensioni dello scafo — che sono ridotte al minimo possibile per migliorare al massimo la manovrabilità — e la potenza installata — che è relativamente alta per consentire l'intervento anche nei rimorchi più difficili e pesanti.

Buona parte dello scafo sotto il ponte di coperta è occupato dall'apparato motore che è costituito da un motore a due tempi, semplice effetto, 5 cilindri 360 mm di diametro, direttamente reversibile, il quale sviluppa la potenza normale di 875 HP a circa 250 giri/min e la potenza massima di 1100 HP a 260 giri/min.

MOTONAVE A. USODIMARE. — Con la recente entrata in servizio dell'A. Usodimare tutte e sei le motonavi miste della serie dei « Navigatori » sono in linea sulle rotte che da Genova toccano i più lontani porti d'oltremare, ove, dopo la parentesi della guerra, si riportano quella tradizionale nota di signorilità e di perfezione nei servizi che è tutta propria delle navi della « Italia » Società di Navigazione.

Come le gemelle, l'Usodimare è fornita di un motore di propulsione (a due tempi, doppio effetto, 9 cilindri, diametro 640 mm, della potenza normale di 7500 HP a circa 125 giri/min) di costruzione FIAT-C.R.D.A.

MOTONAVE ZAGREB. — Sono state eseguite in giugno le prove di mare della M/n mista Zagreb, costruita a Fiume dalla « Producers III May » per la Glavna Uprava Brodogradnje.

Essa è la prima di una serie di 4 navi aventi un dislocamento a pieno carico di 2850 t ed una velocità di esercizio di circa 14 miglia orarie. È munita di un apparato motore costituito da un motore principale a due tempi, semplice effetto, 7 cilindri, diametro 520 mm, della potenza normale di 2400 HP a 150 giri/min e da tre gruppi elettrogeni a 4 tempi, semplice effetto, 6 cilindri, 180 mm di diametro della potenza unitaria di 150 HP a 750 giri/min.