

BOLLETTINO TECNICO
N. 4 1966 VOL. XIX
OTTOBRE - DICEMBRE
Spediz. in abbonamento postale - Gruppo IV

FIAT GRANDI
MOTORI

CENTRO

STORICO



CENTRO

Le locomotive Diesel elettriche e Diesel idrauliche per servizio di linea secondo le esperienze delle F. S.

Ing. Vinicio Brandani pag. 105

Omologazione di un nuovo motore ferroviario FIAT

Ing. Edoardo Bellini pag. 116

Recenti sviluppi dell'impiego degli ultrasuoni nella valutazione dimensionale dei difetti

Ing. C. Bondoni pag. 127

STORICO

FIAT



In copertina: La nuova locomotiva Diesel elettrica DE 443 delle Ferrovie Italiane. È dotata di un motore FIAT 2312 SSF della potenza di 2000 Cv a 1000 giri/min.

È stata recentemente consegnata alle Ferrovie dello Stato la nuova moderna locomotiva Diesel elettrica tipo DE 443, dotata di motore FIAT 2312 SSF da 2000 Cv a 1000 giri/min, destinata ai treni delle linee non elettrificate, costruita in collaborazione tecnica tra l'industria nazionale e le Ferrovie dello Stato. Nella sua realizzazione ci si è avvalsi dell'esperienza di oltre un decennio di trazione Diesel che ha consentito di raggiungere risultati di notevole livello. In questa occasione abbiamo il piacere di presentare, nell'articolo che segue, un interessante studio dell'ing. Vinicio Brandani, Ispettore Capo del Servizio Materiale e Trazione delle F.S., in cui si svolge un raffronto fra le locomotive Diesel elettriche e Diesel idrauliche e si espongono le considerazioni che hanno determinato la scelta del tipo di locomotiva recentemente consegnata e della nuova locomotiva DE 343 attualmente in costruzione.

Le caratteristiche dei motori FIAT 2312 SF delle locomotive DE 341 e dei motori FIAT 2312 SSF delle locomotive DE 443 sono già state, in precedenti occasioni, illustrate su queste pagine (vedasi ad esempio i Bollettini n. 3 del 1958, n. 3 del 1961 e n. 4 del 1964) e pertanto si trascurano ogni descrizione.

Riservandoci di descrivere in un prossimo numero i motori 218 SSF delle locomotive DE 343, in un altro articolo di questo stesso bollettino diamo alcune informazioni relative alle prove su di essi eseguite.

Le locomotive Diesel elettriche e Diesel idrauliche per servizio di linea secondo le esperienze delle F. S.

ing. Vinicio Brandani

Il 1955 segna l'inizio del programma di Dieselizzazione delle F. S.; vengono acquistate 25 locomotive Diesel, tutte catalogabili in una stessa classe dal punto di vista della utilizzazione, delle quali 20 con trasmissione elettrica (DE 341) e 5 con trasmissione idraulica (DI 342).

Nel 1959-60 si passa all'ordinazione di una seconda serie molto più consistente numericamente, costituita da 85 locomotive Diesel elettriche (DE 341) e 15 Diesel idrauliche (DI 342), delle quali le caratteristiche salienti d'impostazione, simili alle precedenti, sono raccolte nel prospetto n. 1. Nel 1963 le F. S., sulla base di una esperienza ormai acquisita, decidono l'ordinazione di altre 125 locomotive Diesel elettriche (DE 343 e DE 443) perfezionate e potenziate rispetto alle precedenti.

1.0 Criteri di scelta

L'indirizzo iniziale delle F.S. orientato preferenzialmente verso le trasmissioni Diesel elettriche trova la sua giustificazione nelle caratteristiche di progetto dei due tipi di locomotive (DE 341 e DI 342). La scelta definitiva (locomotive DE 343 e DE 443) è invece essenzialmente frutto della esperienza di esercizio fatta con i primi due tipi di locomotive.

1.1 Confronto delle caratteristiche - Impostazione del progetto

Sulla rete F.S. la dieselizzazione ha interessato solo quelle linee per le quali la elettrificazione in c.c. 3000 V non è economica. Sono linee a medio o scarso traffico, con caratteristiche piano-altimetriche molto variabili, con velocità massima non eccessivamente elevata, con armamento di tipo non pesante, in condizioni generalmente

di non elevata efficienza dal punto di vista manutenzione e con previsioni di risanamento non di immediata attuazione.

Le condizioni generali richiamate e quelle particolari riguardanti le pendenze delle linee, il carico a rimorchio, la velocità di impostazione dei treni per un esercizio economico hanno portato a delineare le caratteristiche delle locomotive Diesel che possono così condensarsi:

- peso per asse 16 ÷ 17 t
- rodiggio Bo-Bo per ragioni economiche e per ridurre le sollecitazioni sulla via
- potenza ai cerchioni minima 1000 ÷ 1200 Cv
- coefficiente di aderenza complessivo della locomotiva minimo utilizzabile in servizio 0,18 ÷ 0,20
- coefficiente di « souplesse » (considerato come rapporto fra la velocità massima e quella minima continuativa alla piena potenza) circa 4.

Su tali basi fu articolato il progetto delle locomotive Diesel con trasmissione elettrica di concezione prettamente italiana e di quelle con trasmissione idraulica, derivate direttamente dalla esperienza tedesca e costruite su licenza in Italia (tutti i cambi idraulici, i gruppi inversori, gli alberi cardanici ed i ponti sugli assi sono originali tedeschi; dei motori Maybach, solo 5 sono stati importati direttamente dalla Germania).

1.2 Caratteristiche delle locomotive DE 341 e DI 342

Le caratteristiche principali sono raccolte nel prospetto n. 1. Sebbene profondamente diverse dal punto di vista

del complesso di trazione le due locomotive sono catalogabili nella stessa classe agli effetti della capacità di traino e quindi della utilizzazione.

Un rapido esame comparativo dei sistemi di trasmissione utilizzati sui due tipi di locomotive giustificherà la scelta preferenziale numerica fatta dalle F.S. senza il conforto preventivo di una esperienza diretta.

1.3 Potenza per unità di peso

Da questo punto di vista la locomotiva Diesel idraulica offriva maggiori vantaggi; se ci si riferisce alla potenza di taratura dei motori a bordo ed al peso a piene scorte per le due locomotive si ottengono i seguenti valori:

Prospetto 1			
CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEL COMPLESSO DI TRAZIONE DELLE LOCOMOTIVE DE 341 e DI 342			
LOCOMOTIVA	DE 341		DI 342
Motori Diesel	1 FIAT 2312 SF 12 cilindri a V sovralimentato		2 ANSALDO MAYBACH MD 435 8 cilindri a V sovralimentati
	Potenza nominale (U.I.C.) 1400 Cv a 1000 giri/min		Potenza nominale (U.I.C.) 2 x 800 Cv a 1500 giri/min
	Potenza di taratura in esercizio 1400 Cv		Potenza di taratura in esercizio 2 x 700 Cv
	Cilindrata totale litri 134,6		Cilindrata totale litri 2 x 43
	Avviamento elettrico utilizzando la dinamo principale come motore		Avviamento con motorini elettrici a c.c. 110 V
	oppure:		oppure:
	1 BRED-PAXMAN 12 YLX 12 cilindri a V sovralimentato		2 MAYBACH MD 440 8 cilindri a V sovralimentati
	Potenza nominale (U.I.C.) 1500 Cv a 1000 giri/min		Potenza nominale (U.I.C.) 2 x 1000 Cv a 1500 giri/min
	Potenza di taratura in esercizio 1400 Cv		Potenza di taratura in esercizio 2 x 875 Cv
	Cilindrata totale litri 154,2		Cilindrata totale litri 2 x 43
	Avviamento elettrico utilizzando la dinamo principale come motore		Avviamento con motorini elettrici a c.c. 110 V
Trasmissione	ELETTRICA		IDRAULICA
	Generatrice principale Marelli a 8 poli, auto-ventilata, net-input 970 kW a 1000 giri/min		2 cambi idraulici Mekydro, sospesi sui carrelli, ciascuno con trasformatore di coppia e scatola ingranaggi a 4 stadi, con investitore di marcia
	4 motori di trazione TIBB eccitati in serie, sospesi a nastro, con potenza continuativa di 230 kW ciascuno		Accoppiamento tra motori, cambi e assi mediante giunti elastici, alberi cardanici e ponti
Regolazione	Apparecchiatura di comando, regolazione e controllo C.G.E.		Sistema di comando idraulico, automatico, con dispositivo di comando pneumatico
	Regolazione potenza secondo 8 posizioni del controller di banco, effettuata elettricamente agendo sia sui giri che sulla mandata delle pompe di iniezione del Diesel		Regolazione potenza agendo su mandata pompe di iniezione del Diesel, con fini variazioni fino al valore massimo
Peso	69 t		64 t
Autonomia (in base alle scorte di combustibile)	600 km a 2/3 della potenza ed alla velocità di 70 km/h		600 km a 2/3 della potenza ed alla velocità di 70 km/h

- 22 Cv/t per la Diesel idraulica
- 20 Cv/t per la Diesel elettrica

La differenza (10%) non era importante, ma era suscettibile di diventarlo all'epoca in cui furono studiate le prime locomotive, ove si fossero attuati sulle Diesel idrauliche gli stessi accorgimenti usati, soprattutto nella costruzione della parte meccanica, sulle Diesel elettriche.*

1.4 « Coefficiente di souplesse »

Il rapporto tra velocità massima e minima di piena utilizzazione della potenza era favorevole nelle locomotive Diesel idrauliche in modo importante: circa 6 contro 4 delle locomotive Diesel elettriche.

Bisogna considerare che le locomotive DI 342 hanno in opera un cambio Maybach costituito da un convertitore sempre in presa e da 4 marce meccaniche, cioè quanto di meglio sia stato fatto per ottenere un elevato coefficiente di « souplesse ». Peraltro, tenuto conto delle velocità massime consentite dalle linee da dieselizzare e delle velocità minime economiche d'impostazione degli orari un coefficiente 4 per il caso particolare delle F.S. era senz'altro sufficiente.

1.5 Costante di tempo termica

La temperatura degli isolanti nel caso delle trasmissioni elettriche, quella dell'olio del cambio nelle trasmissioni idrauliche limitano l'utilizzazione della piena potenza delle locomotive al di fuori del campo di velocità individuato dal coefficiente di « souplesse ».

Quando, per tempi necessariamente limitati si debba lavorare a piena potenza al di fuori di detti limiti, ad es. al di sotto della velocità continuativa inferiore, le possibilità dei due tipi di trasmissione sono sensibilmente diverse. Infatti la trasmissione elettrica consente di ottenere, per tempi limitati, sforzi anche notevolmente superiori a quello continuativo, la trasmissione idraulica non lo consente che in misura trascurabile per cui anche in avviamento lo sforzo medio su cui si può fare assegnamento è quello continuativo.

Nel caso particolare delle locomotive DE 341 lo sforzo orario è superiore del 10% allo sforzo continuativo, quello per 10 minuti del 35%.

Sulla locomotiva DI 342 lo sforzo uniorario coincide praticamente con quello continuativo, quello per 10 minuti lo supera di appena il 4-5%.

Tale diverso comportamento è giustificato dal valore molto diverso delle costanti di tempo termiche nelle due

trasmissioni e dal diverso andamento delle perdite nelle trasmissioni stesse al di fuori del campo di piena utilizzazione della potenza.

Quanto detto spiega la necessità, nelle locomotive Diesel idrauliche di mantenere il valore dello sforzo continuativo a valori molto elevati e prossimi a quello dello sforzo massimo e ridimensiona notevolmente, fino ad annullarli praticamente, i vantaggi della trasmissione D.I. a proposito del coefficiente di « souplesse » (V. punto 1.4).

Rendimento complessivo. - Il rendimento di una trasmissione elettrica è superiore a quello di una trasmissione idraulica.

Quantitativamente nel caso delle locomotive DE 341 e DI 342 sono stati ottenuti i risultati raccolti nella seguente tabella:

Rendimento globale della trasmissione alla piena potenza			
Trasmissione	Rendimento medio	Rendimento max	Rendimento minimo
Diesel elettrica	84,5	85,5	82
Diesel idraulica	77,5	79	71

Il miglior rendimento della trasmissione elettrica comporta insieme un minor consumo di combustibile ed una migliore utilizzazione della potenza del motore termico.

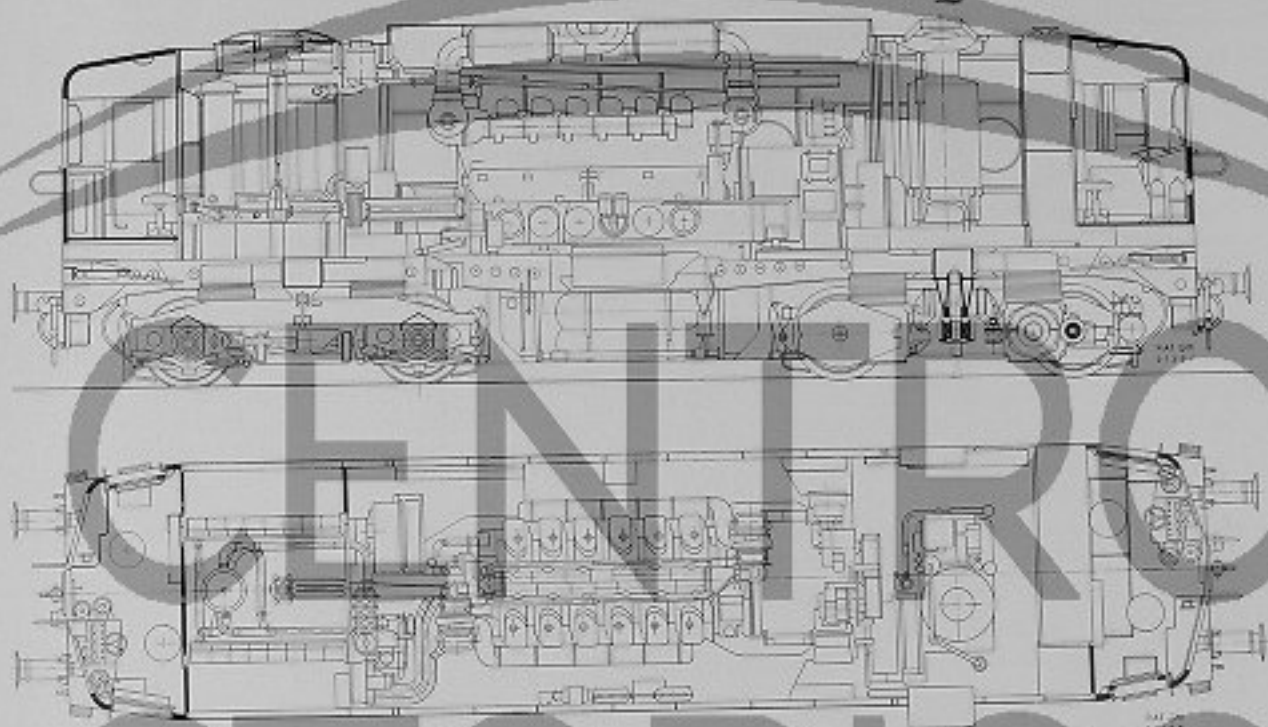
1.6 Consumo di combustibile per unità di lavoro di trazione

Sulle locomotive DE 341 e DI 342 la differenza dei consumi di combustibile per Cvh ai cerchioni è ulteriormente accentuata dal diverso consumo specifico dei motori, dal diverso consumo a vuoto, dalla diversa potenza assorbita dagli ausiliari.

Diversi treni di caratteristiche differenti (merci, accelerati, diretti, direttissimi, rapidi) effettuati prima con due locomotive DE 341 poi con una DI 342 e con l'ausilio della carrozza dinamometrica delle FF.SS. hanno fatto registrare i risultati raccolti nella seguente tabella:

Consumo di combustibile per unità di lavoro ai cerchioni ricavato su alcuni treni prova		
Loco	Motore	Consumo medio g/Cvh
DE 341	FIAT	210
DE 341	Breda	215
DI 342	Maybach	250

* Nel progetto della cassa delle locomotive DE 341 furono utilizzati tutti gli accorgimenti possibili per ridurre al minimo i pesi, proprio in considerazione del maggior peso dell'apparato di propulsione. Per la locomotiva DI 342 tale cura non era necessaria. A locomotive costruite i pesi della cassa risultarono: 15850 kg per le DE 341, 22250 kg per le DI 342.



La locomotiva Diesel elettrica
DE 341 azionata da un motore
FIAT tipo 2312 SF

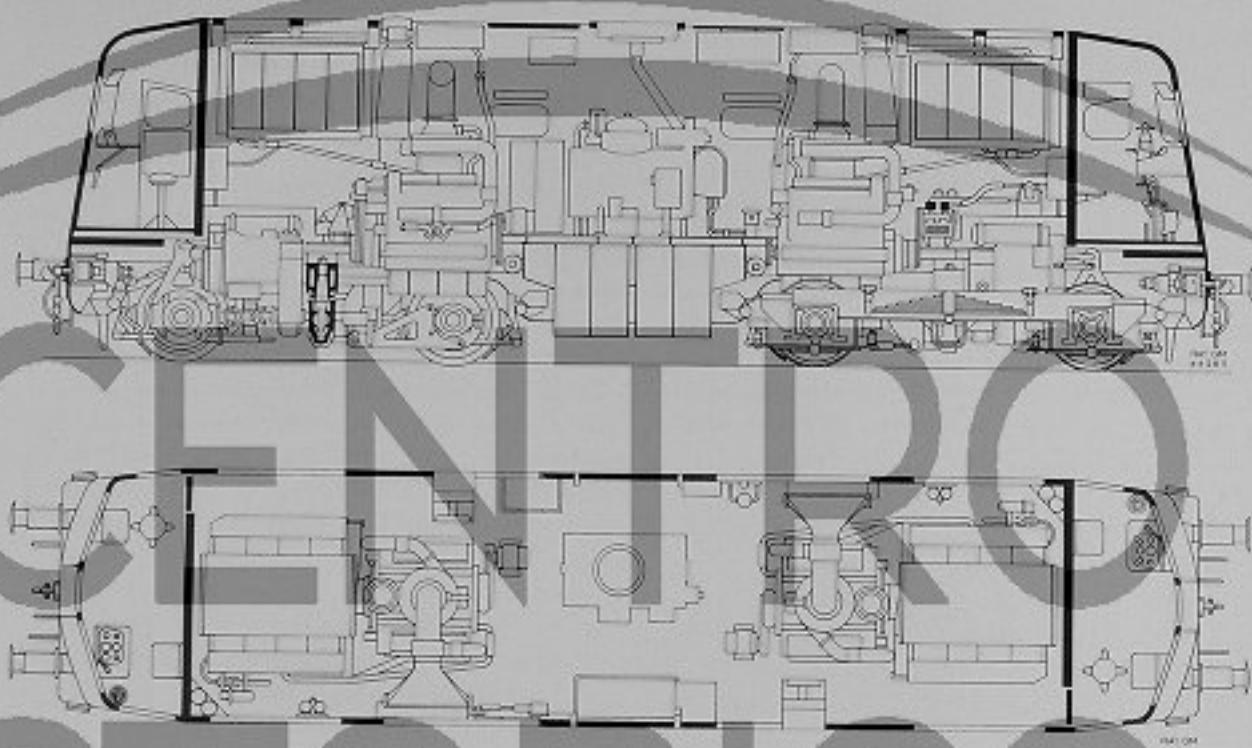
1.7 Aderenza

La locomotiva DI 342 ha i due assi di ciascun carrello collegati meccanicamente fra loro, la locomotiva DE 341 ha gli assi ad azionamento singolo con i 4 motori accoppiati in parallelo. Per tali ragioni entrambe le locomotive promettevano, almeno in sede di progetto, buoni risultati dal punto di vista dell'aderenza.

Nell'esercizio pratico tale promessa è stata mantenuta dalle locomotive DE 341 soprattutto nei confronti

dei risultati ottenuti con le locomotive elettriche 3000 V c.c.

Esiste nei pressi di Firenze, dove ha sede il Servizio Trazione, una linea di valico dell'Appennino, elettrificata (Pistoia - Porretta - Bologna) ad andamento piano-altimetrico impegnativo (curve con raggio di 350 e 400 m, pendenza 26‰), con armamento non pesante ed in condizioni di manutenzione mediocri e con numerose gallerie, che è ormai divenuta per tutte le locomotive il banco di prova agli effetti della aderenza.



La locomotiva Diesel idraulica
DI 342 azionata da due motori
Ansaldo Maybach tipo MD 435



Le due locomotive sono state provate in condizioni analoghe su tale linea utilizzando le apparecchiature e le carrozze sperimentali del Servizio Trazione.

La locomotiva DE 341 ha trainato un carico superiore (375 t contro 341 della locomotiva DI 342); tenuto conto però del maggior peso della locomotiva DE 341, il coefficiente di aderenza è praticamente uguale nei due casi (0,22 nei due casi).

L'indagine sperimentale approfondita ha fornito una notevole messe di informazioni, fra le quali si ritiene

opportuno richiamare quelle più caratteristiche dei due tipi di trasmissione agli effetti dell'aderenza: l'accoppiamento dei motori in parallelo sulle locomotive Diesel elettriche ed il collegamento meccanico degli assi di uno stesso carrello sulle Diesel idrauliche.

La disposizione in parallelo dei 4 motori di trazione favorisce in modo efficace e importante la pronta ripresa dello slittamento dei singoli assi come hanno mostrato gli oscillogrammi della tensione delle dinamo tachimetriche e quelli della corrente dei motori di trazione. Tale

risultato può essere ulteriormente migliorato bloccando l'aumento della tensione o meglio abbassandone il valore, all'atto dello slittamento, allorché riducendosi la corrente complessiva dei motori, la tensione tende ad aumentare.

Il collegamento meccanico degli assi di uno stesso carrello (è il caso delle locomotive DI 342) dovrebbe migliorare in qualche modo il comportamento della locomotiva agli effetti dell'aderenza, in quanto lo slittamento singolo di un asse crea un trasferimento di una parte della sua coppia sull'altro asse e facilita la ripresa dell'aderenza. Peraltro, come le prove e l'esperienza hanno mostrato, il collegamento torsionale degli assi di tipo elastico, crea due ordini di problemi:

1.7.1 Ripartizione di coppia fra i due assi collegati

La ripartizione della coppia fra i due assi collegati è indeterminata; infatti detta ripartizione è funzione della elasticità e dei giochi dei due rami della trasmissione e della posizione angolare istantanea relativa fra l'albero di uscita del cambio e i due assi della locomotiva collegati.

Quest'ultima è indeterminata in quanto si modifica continuamente al minimo cenno di slittamento di un asse rispetto all'altro.

Sulle locomotive DI 342 sono state misurate in condizione di regime, coppie sugli assi collegati uguali rispettivamente al 30 % ed al 70 % di quella complessiva per carrello.

E' difficile valutare le conseguenze di tale entiva distribuzione della coppia agli effetti dell'aderenza; si ha ragione però di ritenere che essa pregiudichi seriamente i vantaggi dovuti al collegamento degli assi, fino ad annullarli.

1.7.2 « Brutage »

Per il particolare tipo di accoppiamento ruota-rotaia, la applicazione della coppia realizzata attraverso una trasmissione elastica può provocare, in condizioni di marcia al limite dell'aderenza, l'insorgere di fenomeni di « brutage ». Questo si manifesta sotto forma di oscillazioni della coppia di notevole ampiezza e frequenza, indotte da oscillazioni della velocità angolare delle ruote in condizioni di aderenza critiche al limite fra attrito di pseudoslittamento e di slittamento vero e proprio.

Le frequenze di oscillazione nel caso di un asse ad azionamento singolo sono comprese fra 8 e 12 Hz, le coppie possono raggiungere valori di cresta anche notevolmente superiori a quelli normali.

Secondo l'esperienza delle F. S. tale fenomeno è raro negli assi ad azionamento singolo e ben difficilmente le sollecitazioni indotte nella trasmissione arrivano a pregiudicarne la durata. Nel caso invece di assi collegati elasticamente fra loro il « brutage » si presenta molto più facilmente e le coppie di circolazione fra un asse e

l'altro arrivano a valori notevolmente elevati e sicuramente pericolosi per gli organi della trasmissione.

Sulle locomotive DI 342 la frequenza del « brutage » è costante e dell'ordine di 14 Hz, le coppie misurate sugli alberi cardanici arrivano in qualche caso a 4 volte la coppia massima. Nei numerosi casi di rottura delle corone dei ponti sugli assi e degli assili stessi riscontrati sulle locomotive DI 342 si ritiene che il « brutage » abbia avuto una parte di responsabilità determinante.

Quando le F. S. iniziarono il loro programma di dieselizzazione questi fenomeni non si conoscevano, almeno nelle loro conseguenze: una preferenza dal punto di vista « trasmissione della potenza agli assi » era stata accordata alle locomotive Diesel elettriche unicamente in considerazione della vasta e sicura esperienza ottenuta direttamente nel campo della grande Trazione Elettrica a c.c.

1.8 Resistenza al moto - Stabilità di marcia

Le prove non hanno dimostrato differenze apprezzabili fra le due locomotive agli effetti della resistenza al moto. Una lieve differenza è stata riscontrata a pari condizioni nelle spinte laterali sui binari, maggiori sulle locomotive DI 342. Probabilmente ciò è in relazione con il maggior momento d'inerzia della cassa delle DI 342, che sono bimotoriche ed hanno un interperno minore (7300 mm contro 7640 mm).

2.0 Risultati di esercizio

Il confronto in esercizio fra due tipi di locomotive è, dal punto di vista delle caratteristiche che le differenziano, sempre arduo anche se le locomotive hanno uguale capacità di trazione e prestano servizio in condizioni paragonabili.

Il confronto fra le locomotive DE 341 e DI 342 diventa ancora più difficile in relazione alla diversa consistenza numerica dei due tipi di locomotive (circa 100 le prime, 20 le seconde) ed alle diverse caratteristiche della loro motorizzazione.

Pur tuttavia l'esercizio ha fornito ai tecnici delle F. S. attraverso il confronto fra le locomotive DE 341 e DI 342 gli elementi obiettivi per un orientamento favorevole alle prime, orientamento di cui si è tenuto conto nell'ordinazione delle nuove locomotive. Nel seguito si è cercato di enumerare tali elementi, la validità dei quali deve considerarsi ristretta alla esperienza delle F. S. sui due tipi di locomotive descritti.

2.1 Prestazioni

Due elementi appaiono di notevole importanza da questo punto di vista:

- la potenza di taratura dei motori che ne condiziona la vita e che definisce il carico a rimorchio ad una certa velocità o, ciò che è lo stesso, la velocità

di impostazione d'orario per un determinato carico a rimorchio.

- b) il coefficiente di aderenza utilizzabile in servizio, cioè praticamente la prestazione in salita delle locomotive.

Sul primo punto l'esperienza è stata quanto mai chiara:

- sulle locomotive DE 341 la potenza di taratura iniziale di 1400 Cv (Potenza U.I.C.) dei motori FIAT 2312 SF e Breda-Paxmann 12 YLXL è rimasta tale anche in seguito.
- sulle locomotive DI 342 i motori Ansaldo-Maybach MD 835 di 2 x 800 Cv (Potenza U.I.C.) sono stati inizialmente tarati a bordo a 2 x 700 Cv proporzionando a tale potenza in sede di costruzione la coppia di ingranaggi moltiplicatrice all'ingresso del cambio idraulico, nel senso che a ciascun motore veniva richiesta a 1500 giri/min una potenza complessiva (ausiliari + cambio idraulico) di 700 Cv. Successivamente questa potenza è stata ulteriormente ridotta del 10 %, mediante intervento sulle pompe d'iniezione, per garantire ai motori una « vita » in servizio sufficientemente lunga e tranquilla. Per tali ragioni le due locomotive in condizioni iniziali praticamente di parità dal punto di vista della prestazione sono, al momento, sensibilmente diverse.

Sul secondo punto, relativo alla prestazione massima delle locomotive in salita è stato necessario introdurre qualche modifica rispetto alle condizioni di origine, anche in questo caso a svantaggio delle locomotive Diesel idrauliche DI 342.

Tanto per fare un esempio, su linee con pendenza media del 25‰ e curve di 300 m era stata inizialmente fissata una prestazione per le locomotive DI 342 di 320 t, per le DE 341 di 300 t.

La differenza era stata stabilita in funzione del diverso carico continuativo delle due locomotive.

Su tutte le linee della rete con le caratteristiche richiamate, la prestazione delle locomotive DE 341 è stata lasciata a 300 t, quella delle locomotive DI 342 è stata ridotta a 290 t; in qualche tratto particolarmente difficile (Olbia - Monti della rete Sarda) si è dovuto scendere, per garantire il servizio, addirittura a 250 t. Nonostante tale impegnativa riduzione, le locomotive utilizzate sul tratto di linea richiamato hanno presentato più frequentemente gli inconvenienti tipici (rottore dei denti e delle corone dei ponti, rottore degli assi) legati, secondo quanto hanno dimostrato le indagini sperimentali, ai fenomeni di « brutage ».

Soprattutto la preoccupazione per tali inconvenienti ha consigliato la riduzione di prestazione delle locomotive. Si è cercato in un primo tempo di potenziare le capacità di traino delle locomotive munendole di un dispositivo antislittante accelerometrico con intervento diretto sulla frenatura dei singoli carrelli; ben presto si è dovuto

rinunciare a tale forma di intervento (ceppi di ghisa sui cerchioni) perché i fenomeni di brutage ne risultarono esaltati anziché smorzati. Successivamente il dispositivo antislittante è stato fatto agire anche nel senso di ridurre la potenza dei motori termici; infine, esaminate tutte le possibilità pratiche di ulteriori interventi, è stato deciso di destinare le locomotive DI 342 alle linee ad andamento pianeggiante riservando quelle acclivi alle DE 341.

2.2 Consumo di combustibile

Facendo riferimento agli esercizi 1963-64 e 1964-65 si hanno i seguenti risultati:

Locomotive DI 342: 0,63 kg/ETKVTC

Locomotive DE 341: 0,55 kg/ETKVTC

La ETKVTC (ettotonnellate km virtuale treno completo) è una unità convenzionale del lavoro di trazione corrispondente a 500.000 kgm. La differenza, molto evidente, è in armonia con i risultati ottenuti nelle prove dinamometriche riportati nella presente relazione ed è legata sia al diverso tipo di trasmissione che alla diversa motorizzazione.

2.3 Consumo lubrificanti

Anche in questo caso il vantaggio a favore della locomotiva DE 341 è notevole. Mediamente:

35 g/km, per le locomotive DE 341

70 g/km, per le locomotive DI 342

km, = km reali effettivamente percorsi.

La differenza è dovuta alle trasmissioni ed alla motorizzazione, notevolmente diversa nei due casi sia per numero di motori che per caratteristiche.

3.0 Utilizzazione e costi per riparazioni

La percorrenza annua media delle locomotive DE 341 è di ca. 100.000 km/anno, quella delle DI 342 di ca. 60.000 km/anno.

I costi vengono riportati per capitoli di spesa.

3.1 Manutenzione corrente

Il consuntivo delle ore di mano d'opera impegnate e della spesa per 1000 km, delle due locomotive, è rispettivamente:

- per le locomotive DE 341: 28 ore per 1000 km,
L. 57.150 per 1000 km,
- per le locomotive DI 342: 41 ore per 1000 km,
L. 83.680 per 1000 km,

Tali valori ricavati dai consuntivi degli anni 1964-65 risultano eccessivi rispetto a quanto è auspicabile aspettarsi. Bisogna infatti tener conto delle seguenti circostanze:

- le locomotive sono utilizzate in servizi di linea su linee acclivi e quindi a velocità media molto limitata;
- l'utilizzazione in ore per giornata è ugualmente bassa in relazione alle limitate esigenze di servizio su linee a traffico essenzialmente scarso (le due circostanze insieme giustificano la bassa utilizzazione in km./anno delle locomotive riportate più sopra);
- permane tuttora una certa esuberanza di mano d'opera nei Depositi locomotive che risente ancora dell'inquadramento e dell'organizzazione stabiliti a suo tempo per le locomotive a vapore;
- l'eccessiva prudenza mantenuta fin dai primi tempi della dieselizzazione porta a moltiplicare le operazioni di visita, i controlli, le verifiche, gli smontaggi, i rimontaggi ecc. nella manutenzione corrente.

Tali valori verranno senz'altro ridotti in modo importante; essi quindi in senso assoluto non rispecchiano una situazione di reale necessità; in senso relativo, cioè per il confronto fra i due tipi di locomotive essi forniscono una indicazione sicuramente significativa a favore della locomotiva DE 341.

3.2 Riparazioni cicliche

Secondo il programma preventivo ed in fase di attuazione le locomotive DE 341 effettuano una revisione generale o grande riparazione ogni 700.000 km, una revisione intermedia a metà percorrenza cioè ogni 350.000 km. Per le DI 342 la revisione generale avviene ogni 600.000 km, quella intermedia ogni 300.000 km.

Per quanto riguarda il costo delle riparazioni cicliche un consuntivo esiste solo per le riparazioni intermedie.

Le ore complessive di mano d'opera per riparazione ciclica intermedia praticamente si equivalgono per i due tipi di locomotive e sono così ripartite:

Loco		DE 341	DI 342
Cassa *	ore	1000	600
Carrelli	ore	600	600
Motori	ore	600	1000
Totale	ore	2200	2200

Per le grandi riparazioni le spese di mano d'opera sono poco superiori a quelle impiegate in una riparazione intermedia, le spese per materiali sono invece sensibilmente più elevate in relazione ad un criterio nella sostituzione delle parti di ricambio più cautelativo ed impegnativo.

* Nella voce cassa sono compresi gli impianti e le apparecchiature in essa contenuti con la sola eccezione del motore termico.

L'incidenza del costo complessivo (materiali più mano d'opera) per riparazioni intermedie riferiti ad una percorrenza di 1000 km è il seguente:

circa L. 15.000 per 1000 km, per le locomotive DE 341
circa L. 17.000 per 1000 km, per le locomotive DI 342

Anche in questo caso i valori debbono considerarsi in eccesso per le considerazioni espresse a proposito del costo per manutenzione corrente.

I risultati di esercizio, infatti portano ad aumentare la percorrenza fra due riparazioni cicliche.

Si sono già superati per le locomotive DE 341 i 400.000 km per le riparazioni intermedie, il traguardo che ci si ripromette di raggiungere è 450.000 ÷ 500.000 km, cioè 900.000 ÷ 1.000.000 di km fra due grandi riparazioni. Tale traguardo non è nemmeno pensabile per le DI 342 per le quali un allungamento notevole delle percorrenze rispetto a quello attuale lascerebbe prevedere un aumento ingiustificato sul piano economico delle riparazioni speciali non programmate richieste dai casi di avaria.

4.0 Disponibilità, impegno, riserva

Un indice notevolmente importante del comportamento in esercizio di un gruppo di locomotive è l'indice di disponibilità, inteso come rapporto fra numero delle locomotive atte al servizio e numero totale delle locomotive in dotazione. Un altro elemento ugualmente significativo è il numero di inconvenienti per locomotiva riferiti ad una determinata percorrenza. I dati di esercizio che si riportano di seguito risentono anche della diversa consistenza numerica dei due tipi di locomotive, favorevole alle DE 341.

4.1 Indice di disponibilità

Molto brevemente il consuntivo dell'esercizio nel 2° semestre 1964 e per l'intero 1965 è risultato:

- per le locomotive DE 341: 87% per il 2° semestre 1964
85% per l'intero 1965
- per le locomotive DI 342: 78% per il 2° semestre 1964
76% per l'intero 1965

cioè la percentuale di locomotive ferme per riparazioni programmate e non programmate o in attesa di riparazione è stata mediamente negli ultimi due esercizi del 14% per le DE 341, del 23% per le DI 342. Cioè ancora supponendo di prevedere una utilizzazione in turno e fuori turno di 100 unità per entrambi i tipi di locomotive, è necessaria una dotazione di c.a. 116 locomotive DE 341 e c.a. 130 locomotive DI 342.

4.2 Inconvenienti di esercizio

Gli inconvenienti di esercizio, per avaria delle locomotive, complessivi e riferiti ad una percorrenza di

100.000 km per locomotiva, sono riportati per gli esercizi 1964 e 1965 nella seguente tabella:

Inconvenienti di esercizio loco DE 341 e DI 342					
Anno	Tipo di inconven.	DE 341		DI 342	
		n. complessivo	n. per 100.000 km loco	n. complessivo	n. per 100.000 km loco
1964	Con spostamento loco di riserva	117	1,085	14	0,981
	Senza spostam. loco di riserva	12	0,111	6	0,421
	Totali	129	1,196	20	1,421
1965	Con spostamento loco di riserva	102	0,976	17	1,161
	Senza spostam. loco di riserva	8	0,076	5	0,341
	Totali	110	1,052	22	1,502

5.0 Le nuove locomotive DE 343 e DE 443 delle F.S.

Sulla scorta di tali risultati quando si è presentata l'occasione di acquistare altre 125 locomotive destinate ai servizi di linea non ci sono stati dubbi sulla scelta.

5.1 Caratteristiche di progetto

Tutte le 125 locomotive sono Diesel Elettriche ed hanno un rodiggio del tipo BoBo, 50 denominate DE 443 da 2000 Cv per un peso complessivo a piene scorte di circa 70 t, 75 denominate DE 343 da 1500 Cv e con un peso di circa 60 t.

La potenza massima è notevolmente elevata in entrambi i casi: 28,5 Cv/t per le DE 443, 25 Cv/t per le DE 343.

Tali valori devono considerarsi dei limiti difficilmente superabili sia per le locomotive DE 443, le quali hanno a bordo motori semilenti derivati dai due tipi installati sulle DE 341, sia per le DE 343 sulle quali, per ragioni di unificazione, è stato stabilito di montare gli stessi carrelli, motori elettrici compresi, delle locomotive DE 443.

Il progetto delle due locomotive è stato articolato su un duplice rango di caratteristiche nettamente differenziate: per le DE 343: peso per asse ridotto per ottenere anche su linee ad armamento non pesante velocità di circolazione paragonabili al materiale «leggero» (automotrici) con conseguente limitazione del peso/asse max (15 t), potenza ai cerchioni non inferiore a quella delle DE 341;

per le 443: caratteristiche di potenza e prestazione di almeno il 30 ÷ 35% superiore a quello delle DE 341 ma con lo stesso peso per asse.

Tenuto conto delle limitazioni di peso e dell'unificazione dei carrelli, è risultato obbligato il ricorso al carrello monomotore, che in partenza con la concentrazione di potenza in un solo motore e la riduzione del passo prometteva una cospicua riduzione di peso.

5.2 Caratteristiche principali del complesso di trazione delle locomotive DE 343 e DE 443

Sono riportate nel prospetto n. 2 le caratteristiche principali della locomotiva dal punto di vista dell'apparato di propulsione.

5.3 Dati caratteristici. Pesì. Prestazioni delle due locomotive

Questi dati sono raccolti nel prospetto n. 3 allegato. Da essi è possibile giudicare le ottime caratteristiche generali delle due locomotive che le pongono ai primi posti fra le più moderne locomotive europee della stessa classe.

5.4 Qualche risultato ottenuto su una locomotiva prototipo

Si riportano brevemente alcuni risultati sperimentali ottenuti su un rotabile sperimentale costituito dal telaio della locomotiva DE 343 zavorrato (per ottenere prima il peso della locomotiva DE 343 e poi delle DE 443) e dai carrelli completi dei motori di trazione.

5.4.1 Prove di trazione

I motori elettrici delle nuove locomotive sono stati alimentati dal gruppo elettrogeno di una locomotiva DE 341.

Le indagini più interessanti effettuate hanno interessato la prestazione al limite dell'aderenza e il «brutage».

Con la locomotiva zavorrata per ottenere il peso delle DE 443, sono stati trasportati su pendenze complessive del 13‰ 935 t a rimorchio, e su pendenze del 27‰ 405 t a rimorchio anche in condizioni atmosferiche avverse. Le locomotive DE 343 e 443 hanno la trazione bassa in modo da compensare integralmente il cabraggio dei carrelli.

Si è cercato di provocare anche su queste locomotive il «brutage», riuscendovi, naturalmente, come c'era da aspettarsi per la presenza di carrelli monomotori; rispetto alle locomotive Diesel Idruliche DI 342 però è stato riscontrato che il fenomeno è molto meno frequente e che le sollecitazioni sugli organi della trasmissione sono molto più contenute. Ciò è da mettere in relazione probabilmente con la minore elasticità della trasmissione meccanica alle ruote.*

* La modifica della caratteristica esterna V/I ai valori elevati di I e l'irrigidimento della trasmissione hanno praticamente eliminato il "brutage" alle prove sulla prima DE 443.

Prospetto 2

CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEL COMPLESSO DI TRAZIONE DELLE LOCOMOTIVE DE 343 e DE 443

LOCOMOTIVA	DE 343	DE 443
Motori Diesel	1 FIAT 218 SSF Potenza (U.I.C.) 1500 Cv a 1500 giri/min (p.m.e. 14,1 kg/cm², v.m.s. 11,5 m/sec) Potenza di taratura in esercizio 1350 Cv a 1500 giri/min Cilindrata totale 63,8 litri Avviamento elettrico utilizzando la dinamo principale come motore oppure: 1 BREDA - PAXMANN 12 YJC Potenza (U.I.C.) 1650 Cv a 1500 giri/min (p.m.e. 12,55 kg/cm², v.m.s. 10,8 m/sec) Potenza di taratura in esercizio 1350 Cv a 1500 giri/min Cilindrata totale litri 78,8 Avviamento elettrico utilizzando la dinamo principale come motore	1 FIAT 2312 SSF Potenza (U.I.C.) 2000 Cv a 1000 giri/min (p.m.e. 13,4 kg/cm², v.m.s. 9 m/sec) Potenza di taratura in esercizio 1900 Cv a 1000 giri/min Cilindrata totale litri 134,6 Avviamento elettrico utilizzando la dinamo principale come motore oppure: 1 BREDA - PAXMANN 12 YLC Potenza (U.I.C.) 2000 Cv a 1000 giri/min (p.m.e. 11,7 kg/cm², v.m.s. 8,9 m/sec) Potenza di taratura in esercizio 1900 Cv a 1000 giri/min Cilindrata totale litri 154,2 Avviamento elettrico utilizzando la dinamo principale come motore
Trasmissione	ELETTRICA Generatrice principale TIBB a 6 poli, autoventilata, net-input 955 kW a 1500 giri/min 2 motori di trazione Breda-Elettromeccanica a 8 poli net-input 2 x 560 kW Trasmissione alle ruote: elastica a mezzo asello dazante collegamento fra pignone e rotore a mezzo albero elastico (O.M.)	ELETTRICA Generatrice principale A.S.G. a 8 poli, autoventilata, net-input 1340 kW a 1000 giri/min 2 motori di trazione Breda-Elettromeccanica a 8 poli net-input 2 x 560 kW Trasmissione alle ruote: elastica a mezzo anello dazante collegamento fra pignone e rotore a mezzo albero elastico (O.M.)
Regolazione	Sistema a regolazione esterna « Autoload ». Apparecchiature di comando, regolazione e controllo E. Marelli e C. Regolazione della potenza su 14 posizioni del "controller" di banco	Sistema a regolazione esterna « Amplistat ». Apparecchiature di comando, regolazione e controllo C.G.E. Regolazione della potenza su 14 posizioni del "controller" di banco
Peso	59,5 t	69,5 t
Autonomia (in base alle scorte di combustibile)	650 km a 2/3 della potenza ed alla velocità di 70 km/h	700 km a 2/3 della potenza ed alla velocità di 70 km/h

5.4.2 Prove di stabilità di marcia

Insieme al « brutage » ed a causa del carrello con passo notevolmente ridotto, preoccupava all'atto del progetto delle due locomotive, il comportamento in marcia agli effetti del « lacet » (serpeggio).

Tale preoccupazione era particolarmente sentita per la locomotiva DE 343 che ha la cassa più corta ed alla quale sono richieste le prestazioni più impegnative sotto tale aspetto (velocità di corsa uguale a quella dei mezzi leggeri).

Le prove sono state effettuate spingendo e trainando il rotabile sperimentale zavorrato per ottenere il peso

delle locomotive DE 343, con cerchioni nuovi e con cerchioni usurati dopo 35.000 km di percorrenza.

Il comportamento in marcia è stato del tutto soddisfacente sia su armamento in cattive condizioni di manutenzione alle velocità ammesse per il materiale leggero ed a velocità superiori, sia su armamento in ottime condizioni e fino a velocità largamente superiori a quella massima della locomotiva.

Scollegando meccanicamente i motori elettrici si è riusciti a raggiungere i 200 km/h, le condizioni di marcia permangono sicuramente buone fino a 170 km/h con cerchioni usurati.

6.0 Conclusioni

Riassumendo le F. S. hanno iniziato il loro programma di dieselizzazione per il servizio di linea acquistando e utilizzando indifferentemente locomotive Diesel elettriche e Diesel idrauliche della stessa classe, sia pure con una preferenza numerica per le prime in relazione ad una maggiore esperienza diretta sulla trasmissione della potenza agli assi.

Successivamente e dopo un'esperienza di esercizio decisamente significativa, l'orientamento è stato solo verso le locomotive Diesel elettriche.

La scelta fatta dalle F. S. si riferisce ad una esperienza diretta su due tipi di locomotive ben definiti, i risultati quindi non possono essere, almeno per intero, estesi alla trazione Diesel elettrica e Diesel idraulica soprattutto considerando che anche quest'ultima ha fatto rispetto al periodo della scelta notevoli progressi.

Alcuni aspetti di notevole importanza agli effetti della scelta possono essere purtuttavia generalizzati; essi sono:

- il comportamento in esercizio (e le spese per manutenzione e riparazioni) particolarmente di motori Diesel veloci e notevolmente spinti;
- la frequenza con cui si verificano fenomeni di «brutage» con tutte le loro conseguenze sugli organi della trasmissione;
- il coefficiente di aderenza conseguentemente utilizzabile con sicurezza in esercizio.

Probabilmente sulla rete delle F. S. tali aspetti sono stati accentuati in relazione al fatto che le locomotive Diesel fanno servizio su linee acclivi che richiedono sforzi al limite dell'aderenza e utilizzazioni spinte e prolungate della potenza termica.

Altrove, dove queste esigenze non si presentassero, probabilmente le condizioni di lavoro delle locomotive Diesel idrauliche DI 342 sarebbero più tranquille ed il comportamento generale paragonabile a quello delle DE 341.

Un'ultima considerazione riguarda il prezzo di acquisto delle due locomotive che è a favore delle locomotive Diesel idrauliche; in particolare all'epoca in cui furono ordinate si spesero

- per le locomotive DI 342: 121 milioni/loco
- per le locomotive DE 341: 128 milioni/loco

Tale differenza dell'ordine del 6% è risultata però marginale rispetto alle spese di esercizio delle due locomotive decisamente a favore delle locomotive DE 341.

Prospetto 3					
CARATTERISTICHE - PESI - PRESTAZIONI					
LOCOMOTIVE			DE 343	DE 443	
DATI CARATTERISTICI	Scartamento	mm	1435	1435	
	Lunghezza totale	m	13240	14040	
	Larghezza totale	m	3000	3000	
	Altezza totale	m	4250	4280	
	Interperno	m	7600	8460	
	Passo carrelli	m	1960	1960	
	Diametro delle ruote	m	1040	1040	
	Rapporto di trasmissione		1/2,56	1/2,56	
P E S I	Totale a pieno scorte	t	59,5	69,5	
	Motore termico impianto di refrigerazione ed accessori	%	12	20	
	Telaio, cassa, impianti e accessori	%	25	23	
	Carrelli senza motori di trazione	%	30	26	
	Generatrice principale e motori di trazione	%	20	18	
	Macchine elettriche ausiliarie, comando regolazione, cablaggio, accumulatori	%	8	7	
	Rifornimenti completi	%	5	6	
P R E S T A Z I O N I	Sforzo max	kg	19.000	22.000	
	coefficiente di aderenza corrispondente		0,32	0,315	
	Sforzo continuativo	kg	11.000	14.000	
	coefficiente di aderenza corrispondente		0,185	0,2	
	Potenza ai cerchioni corrisp.	Cv	1030	1480	
	Coefficiente di "souplesse"		4,8	4,1	
	Velocità max	km/h	130	130	

Omologazione di un nuovo motore ferroviario FIAT

ing. Edgardo Bellini

1) Premessa

Il motore FIAT 218 SSF, entrato recentemente in produzione nel nostro Stabilimento, è un Diesel veloce della potenza normale di 1500 Cv a 1500 giri/min (p.m.e. = 14,1 kg/cm²) con 8 cilindri (diametro 210 mm, corsa degli stantuffi 230 mm) disposti su due file a « V » di 90°, sovralimentato con due turbosoffianti azionate dai gas di scarico e con raffreddamento dell'aria di sovralimentazione.

Per le sue doti di leggerezza e di compattezza, particolarmente desiderate nell'impiego ferroviario, questo motore si allinea con quelli di concezione più moderna nella produzione mondiale.

Un primo lotto di 45 esemplari, attualmente in costruzione, è destinato alle nuove Locomotive Diesel-elettriche della serie D 343 delle F. S. (Ferrovie dello Stato Italiano): in questa sistemazione il motore è accoppiato ad una generatrice a corrente continua Tecnomasio Brown Boveri.

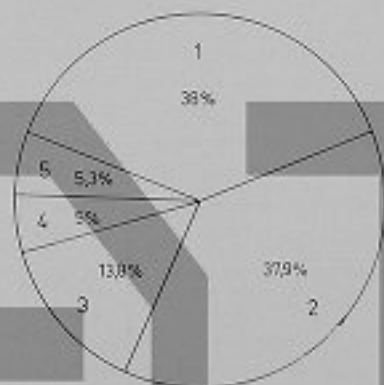
Prima di dare inizio alla costruzione della serie, un prototipo sperimentale è stato appositamente allestito per curarne la messa a punto sul banco di prova e per accertarne successivamente la bontà del comportamento termico e meccanico in funzionamento prolungato.

La messa a punto, iniziata nel Settembre 1964 e protrattasi per 6 mesi con oltre 1500 ore di moto, ha avuto lo scopo di ricercare la migliore soluzione per gli organi principali del motore, con particolare riguardo alla forma della camera di combustione, al dimensionamento dei dispositivi di iniezione del combustibile, all'assetto dell'apparato di sovralimentazione: le prove di funzionamento sono state intercalate da ripetuti smontaggi per i necessari controlli delle condizioni di lavoro degli organi interni e per l'applicazione delle successive varianti e modifiche in esperimento.

A conclusione di questo ciclo di esperienze lo stesso motore è stato poi sottoposto alla prova ufficiale « di tipo U.I.C. », la prima delle prove previste per la omologazione di un motore ferroviario.

Secondo le norme indicate nella Fiche U.I.C. 623 OR sono state eseguite le prove seguenti:

- Rilievo del bilancio termico alla potenza normale (ved. fig. 1).
- Rilievo delle curve caratteristiche, ossia delle potenze e delle coppie sviluppate dal motore al variare della velocità e per determinate aperture degli organi di regolazione del combustibile corrispondenti a quelle richieste per sviluppare il 25 %, il 50 %, il 75 % ed il 100 % della potenza normale di 1500 Cv alla velocità normale di 1500 giri/min (ved. fig. 2).
- Funzionamento continuativo della durata di 100 ore suddivise in:
 - 80 ore alla potenza normale;
 - 1 ora in sovraccarico del 10 %;
 - 10 ore a 4 diverse frazioni di carico e di velocità, scelte sulla curva di coppia massima ammissibile;
 - 9 ore a periodi alternati di 6 minuti a pieno carico e 4 minuti al minimo, a vuoto.



- 1 - Calore trasformato in potenza utile
- 2 - Calore disperso dai gas di scarico e per irraggiamento
- 3 - Calore asportato dall'acqua di raffreddamento del motore
- 4 - Calore asportato dall'acqua di raffreddamento dell'aria di sovralimentazione
- 5 - Calore asportato dall'olio per lubrificazione generale e raffreddamento stantuffi

Fig. 1 - Bilancio termico del motore 218 SSF alla potenza normale di 1500 Cv a 1500 giri/min

L'esito della prova di tipo U.I.C. e della successiva revisione sono stati giudicati buoni dalla Commissione di controllo e pertanto il motore è stato ammesso alle ulteriori prove di omologazione.

2) Prova O.R.E. di lunga durata

Con l'estendersi dell'impiego dei motori Diesel in sostituzione della macchina a vapore e in considerazione delle condizioni di esercizio piuttosto gravose a cui essi generalmente sono destinati (locomotive di manovra oppure per servizio di linea su tratti della rete ferroviaria

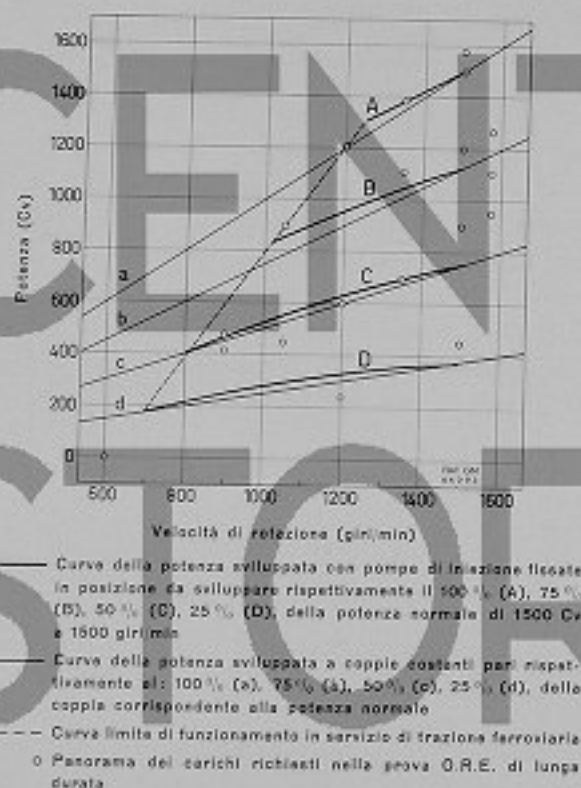


Fig. 2 - Curve caratteristiche del motore 210 SSF

particolarmente tormentati, la cui elettrificazione non sarebbe economicamente conveniente), le Amministrazioni sono state indotte ad esigere collaudi sempre più severi e a stabilire delle norme di applicazione internazionale per l'accettazione e la classificazione dei motori destinati al servizio di trazione.

Per la regolamentazione dei collaudi di motori Diesel destinati alle Amministrazioni Ferroviarie associate alla U.I.C. (Union Internationale des Chemins de Fer) il compito di emanare le relative norme, di provvedere alla sorveglianza durante l'esecuzione delle prove e di decidere in merito all'esito delle stesse è affidato ad un apposito organismo tecnico denominato O.R.E. (Office de Recherches et Essais) che ha sede ad Utrecht.

In base alle norme elaborate da questo Ente, l'accettazione definitiva di un motore viene attualmente acquisita dopo avere superato, oltre alla prova « di tipo U.I.C. », anche una prova di « omologazione » in due tappe da svolgersi con le seguenti modalità:

- 1^a tappa: prova di un motore montato su una locomotiva per la durata di:
 - 2000 ore se si tratta di servizio di linea
 - 3000 ore se si tratta di servizio di manovra.
- 2^a tappa: prova contemporanea di 3 motori montati su locomotive, ciascuno per la durata di:
 - 4000 ore se si tratta di servizio di linea
 - 5000 ore se si tratta di servizio di manovra.

Il superamento delle suddette prove conduce all'iscrizione del motore in appositi elenchi pubblicati periodicamente sul Bollettino dell'O.R.E. e così definiti:

- Elenco n° 1: motori ammessi alla prova di Omologazione (quelli che sono stati sottoposti con buon esito alla prova di tipo U.I.C.).
- Elenco n° 2: motori raccomandati per allestire una piccola serie di locomotive, comprendente cioè non più di 25 motori (quelli che hanno superato la prima tappa di Omologazione).
- Elenco n° 3: motori raccomandati per allestire una grande serie di locomotive, comprendente cioè più di 25 motori (quelli che hanno superato la seconda tappa di Omologazione).

Le prove di omologazione sono fra loro cumulabili con i seguenti criteri:

- Se le due tappe vengono condotte successivamente, si conteggiano nella seconda tappa le ore di funzionamento del motore che ha già superato la prima tappa qualora lo stesso esemplare, insieme con altri due, sia sottoposto al proseguimento della prova senza avere subito nel frattempo revisioni o riparazioni importanti.
- Se le due tappe vengono condotte contemporaneamente mettendo in servizio fin dall'inizio tre motori, si ritiene conclusa la prima tappa quando almeno uno di essi avrà raggiunto le 2000 ÷ 3000 ore di funzionamento prescritte.

L'esecuzione delle prove di omologazione su macchine in servizio si presenta difficile non tanto per gravosità delle condizioni di funzionamento del motore quanto per difficoltà di ordine pratico; in particolare perchè:

- l'Amministrazione Ferroviaria interessata deve mettere a disposizione tratti di rete rispondenti a particolari caratteristiche;
- il Costruttore del motore, nell'attesa che dapprima sia completamente allestita la locomotiva per dare inizio alla prova e che poi sia trascorso il tempo necessario per l'esecuzione della prova stessa (naturalmente molto superiore alle ore di moto prescritte), deve sopportare un notevole ritardo prima di ottenere

l'esercizio nel Bollettino dell'O.R.E.; e ciò può anche comportare il rischio che, in caso di esito negativo, gli sia contestata la fornitura quando abbia completato l'approntamento di tutta la serie;

- l'O.R.E. deve distaccare periodicamente Funzionari appartenenti a diverse Amministrazioni per i necessari controlli nel corso della prova.

Per ovviare in parte a queste difficoltà l'O.R.E. ha acconsentito che, limitatamente alla prima tappa di omologazione, sia lasciata al Costruttore del motore la facoltà di scegliere fra la prova in servizio ed una equivalente prova al banco, detta « di lunga durata », da effettuarsi secondo le modalità enunciate nel documento O.R.E. B 13/RP 10.

Per la seconda tappa, invece, rimane sempre obbligatoria la prova in servizio oppure la parte complementare di essa, quando sia già stata superata la prima tappa in servizio o al banco.

Il programma della prova di lunga durata è stato elaborato dall'O.R.E. col criterio che essa risulti non meno gravosa, come cimento del motore, rispetto alla prova di 2000 ÷ 3000 ore in servizio, pur essendo la durata di questa prova al banco ridotta a 840 ore. Infatti, la potenza in essa richiesta al motore rappresenta mediamente il 70 % di quella normale, mentre in servizio di trazione si può ritenere che non superi il 30 %; inoltre per tutta la durata della prova sono imposte delle variazioni periodiche di carico assai più frequenti ed accentuate di quelle richieste nella pratica ferroviaria.

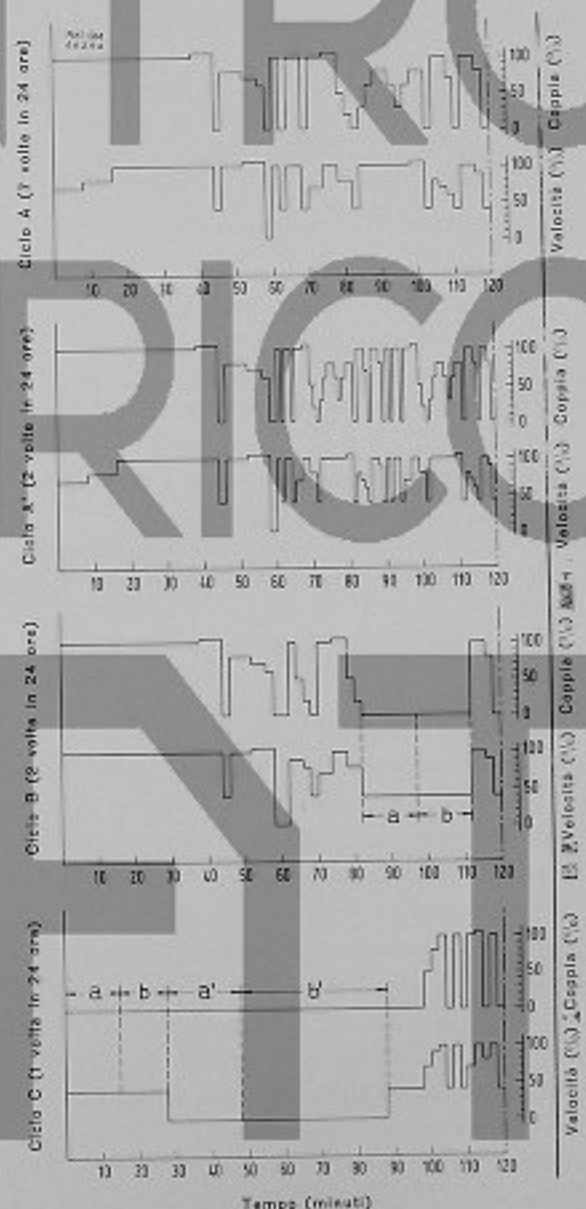
Più precisamente, simulando le condizioni di esercizio del motore sulla locomotiva, volutamente aggravate per compensare la minore durata di questa prova rispetto a quella in servizio e per accelerare l'insorgere di eventuali difetti del materiale, l'O.R.E. ha stabilito che questa prova si svolga in 35 periodi consecutivi di 24 ore, ciascuno dei quali composto di cicli denominati A, A', B, C della durata di 2 ore e succedentisi come segue:

Ore	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Ciclo	A	A	A	B	A'	A	C	A	A'	B	A	A	

Ciascun ciclo comporta variazioni della velocità e della coppia sviluppate dal motore secondo determinati schemi rappresentati nei diagrammi della fig. 3, nei quali le due grandezze suddette sono espresse, la prima, come percentuale del valore normale e, la seconda, come percentuale del valore massimo ammesso alla velocità corrispondente. Complessivamente nelle 840 ore di prova sono comprese:

- 790 ore di moto effettivo di cui 220 al carico normale, 65 al 5 % di sovraccarico, 60 al 5 % di sovravelocità e le rimanenti a carichi ridotti (ved. fig. 2);

- 1055 passaggi rapidi dall'andatura minima a quella di pieno carico;
- 315 fermate del motore della durata di 2 ÷ 4 minuti, seguite dalla immediata ripresa del pieno carico entro un tempo massimo di 30 secondi;
- 35 fermate di 1 ora (una volta al giorno nel ciclo C) durante la quale la temperatura dell'acqua di raffreddamento all'uscita motore deve essere artificialmente abbassata, entro i primi 20 minuti, fino a 20°C e mantenuta poi a tale valore per i rimanenti 40 minuti.



----- Regolazione temperatura acqua uscita motore:
 a - abbassare gradualmente a 40°C
 b - mantenere a 40°C
 a' - abbassare gradualmente a 20°C
 b' - mantenere a 20°C

Fig. 3 - Schema dei cicli di funzionamento

La prova deve essere condotta sotto la sorveglianza di una Commissione Internazionale nominata dall'O.R.E. e composta da almeno tre membri appartenenti ad Amministrazioni diverse. Nel corso di essa, oltre al rilievo di tutti i dati a scadenze determinate, devono venire registrati (con apparecchi sigillati) i principali parametri in modo da documentare la continuità e la rispondenza delle condizioni di funzionamento del motore agli schemi di marcia prescritti. Al termine della prova il motore deve essere completamente smontato per un controllo visivo e dimensionale di tutti i suoi organi.

Da quanto sopra esposto appare evidente che la prima tappa della omologazione effettuata con la prova al banco di lunga durata può essere considerata, per il Costruttore, assai più impegnativa di quella in servizio su una locomotiva; tuttavia, in considerazione dei vantaggi derivanti da una accelerata iscrizione sul Bollettino dell'O.R.E., nel caso del nostro motore 218 SSF è stata scelta questa via accettando le notevoli difficoltà che essa comporta.

Tutte le apparecchiature di condotta del motore, di misura e di registrazione dei dati di funzionamento erano sistemate in una cabina insonorizzata separata dal motore, ma dalla quale erano ben visibili sia il motore che il quadrante del dinamometro del freno, sul quale era possibile leggere direttamente il carico ad esso applicato.

In relazione alle due principali grandezze da controllare nel corso della prova e cioè coppia frenante e velocità di rotazione, oltre ai comandi manuali degli organi di regolazione del motore e del freno (lasciati in uso come manovra di ultima emergenza) e in aggiunta ai normali dispositivi di telecomando delle suddette regolazioni da un posto di manovra centralizzato, secondo la pratica ormai generalizzata in tutti i banchi di prova moderni (e qui adottata come prima emergenza), si è provveduto a dotare il banco delle seguenti apparecchiature:

a) Un dispositivo per il comando semiautomatico dei suddetti telecomandi che permette, con il semplice azionamento di un selettore a 8 posizioni per le velocità (compreso lo « stop ») e di un selettore a 12 posizioni per le coppie frenanti, di portare rapidamente ed automaticamente il motore ed il freno a funzionare all'andatura prescelta dall'operatore fra quelle previste nel programma della prova O.R.E.

Questo dispositivo tiene sotto controllo l'esecuzione dell'ordine ed effettua automaticamente le eventuali correzioni, in modo da assicurare una assoluta costanza e stabilità nelle condizioni di marcia del motore, cioè nella coppia e nella velocità.

b) Un dispositivo temporizzato (programmatore a schede perforate) che in modo assolutamente automatico, cioè senza il minimo intervento dell'operatore (tranne che alla fine di ogni ciclo di 2 ore per la sostituzione della scheda) agisce sui telecomandi anzidetti e fa svolgere la prova secondo un programma prestabilito, nel caso nostro secondo i cicli A, A', B, C della prova O.R.E. (ved. fig. 4).

Sul pannello dell'apparecchio è disposta una serie di spie luminose indicante in ogni istante: il tipo di ciclo in corso, il carico (velocità e coppia), i minuti totalizzati dall'inizio del ciclo.

Il programmatore dei cicli, che ha costituito la novità più interessante dell'impianto, altamente apprezzata anche dai Controllori dell'O.R.E., è stato normalmente impiegato nel corso della prova; i dispositivi semiautomatici di cui al punto a) sono stati conservati in funzione di riserva senza essere, in pratica, mai impiegati.

Il banco di prova oltre alle ordinarie apparecchiature di:

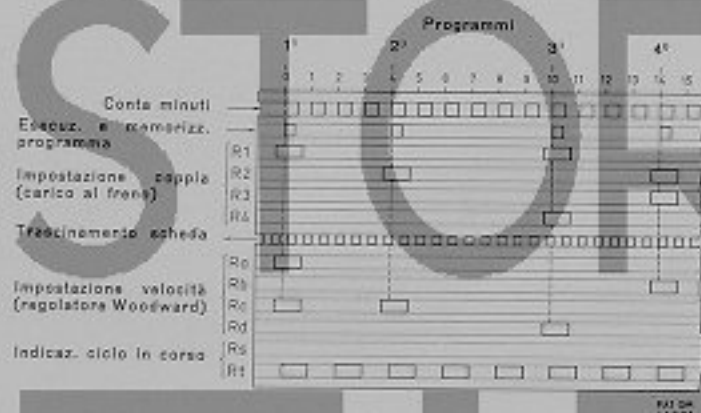
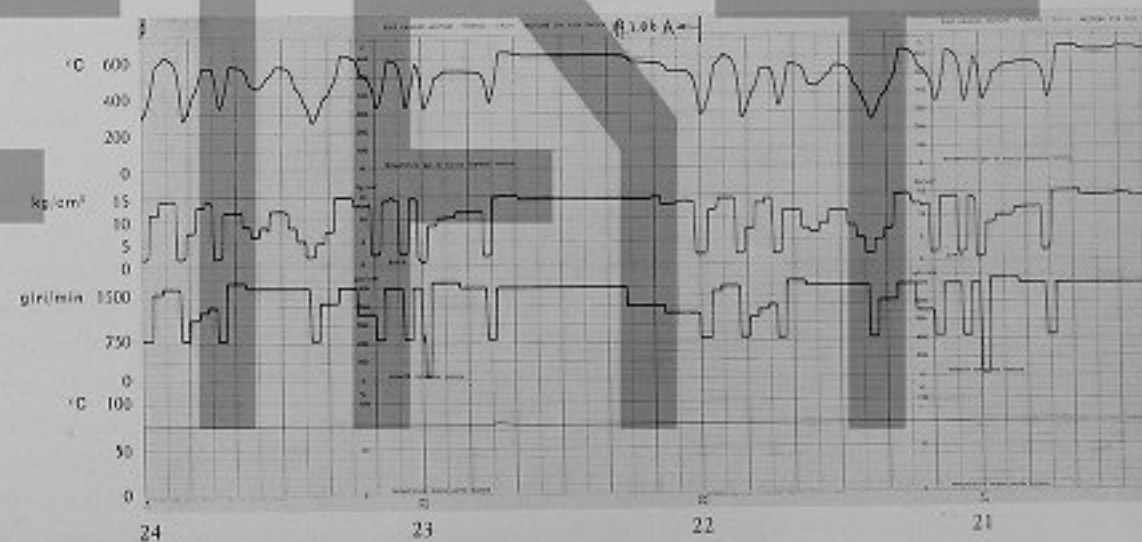
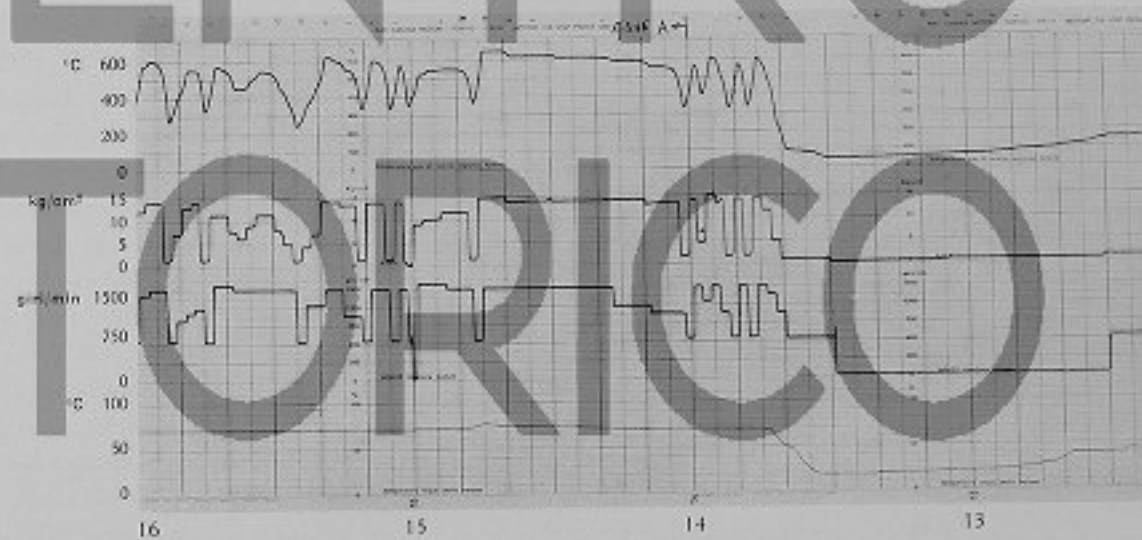
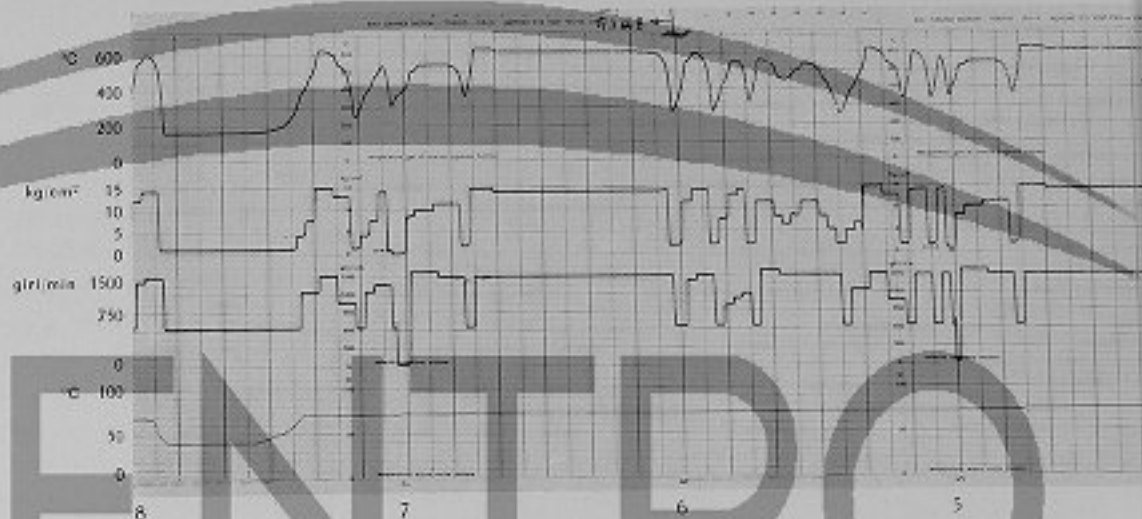


Fig. 4 - Facsimile di scheda perforata per la programmazione dei cicli della prova O.R.E.

In effetti, grazie all'accurata preparazione della prova, all'allestimento di un impianto adeguato alla severità ed alla molteplicità dei controlli richiesti, alla realizzazione di un banco completamente automatizzato sia per la parte operativa che per quella dei rilievi, tutte le difficoltà hanno potuto essere superate con pieno successo; e questo costituisce finora il secondo caso in Europa di una prova di questo genere portata a termine con esito positivo.

3) Impianto e banco di prova

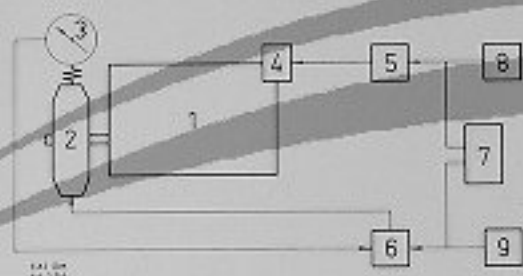
Il motore era accoppiato ad un freno idraulico con l'interposizione di un volano dimensionato in modo da ottenere caratteristiche inerziali paragonabili a quelle del gruppo motore-generatrice che sarà installato sulla locomotiva.



- 1 - Temperatura gas ingresso turbina
- 2 - Pressione media effettiva
- 3 - Velocità motore
- 4 - Temperatura acqua uscita motore



Fig. 5 - Stralcio della banda di registrazione continua di alcuni dati caratteristici di funzionamento relativa ad un intero periodo di 24 ore



- 1 - Motore
2 - Freno idraulico
3 - Dinamometro con trasmettitore della posizione dell'indice
4 - Registratore Woodward P. O.
5 - Dispositivo di controllo della velocità
6 - Dispositivo di controllo della coppia
7 - Programmatore a schede perforate
8 - Selettore manuale della velocità a 8 posizioni (di riserva)
9 - Selettore manuale della coppia a 12 posizioni (di riserva)

Fig. 6 - Schema dei dispositivi per la completa automazione del banco di prova O.R.E. del motore 218 SSF

- misura e controllo dei dati di funzionamento (manometri, termometri a distanza, centralino pirometrico ecc.);
- registrazione continua dei 4 parametri prescritti (velocità del motore, coppia, temperatura dei gas all'ingresso turbosolforante, temperatura dell'acqua all'uscita motore);
- allarme e arresti di sicurezza (per deficienza di pressione olio, sovratemperatura dell'acqua, eccesso di velocità);



Fig. 8 - Banco di manovra impiegato nella prova O.R.E. di lunga durata del motore 218 SSF

Sono visibili dall'alto in basso: la finestra d'ispezione, il quadro a spia luminosa indicanti il ciclo ed il carico in atto, gli strumenti a quadrante (manometri e termometri a distanza), la manopola del gaslettori per il controllo dei giri e della coppia (comando di riserva), la leva per l'avviamento del motore ad aria compressa. Sulla parete laterale: il centralino pirometrico per la misura della temperatura dei gas di scarico.

- inserzione automatica degli ausiliari di impianto;
 - regolazione manuale ed autoregolazione dei circuiti;
- è stato fornito anche di un dispositivo automatico di rilievo e scritturazione (data-logger) avente una capacità di 30 canali.

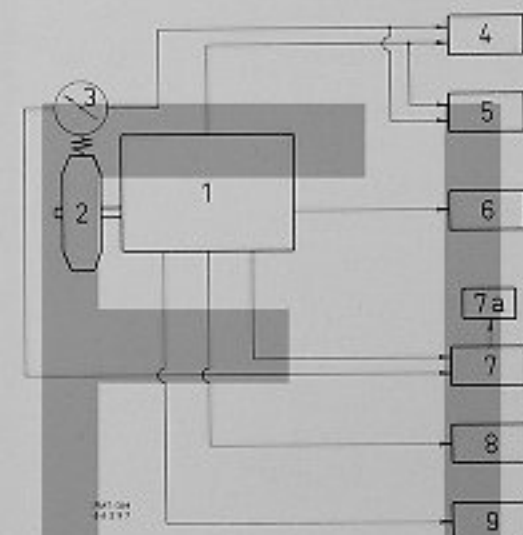
Questo « data-logger », completamente di progettazione e costruzione FIAT, mod. ACE 186/2, è in grado di esplorare 30 posizioni di misura dei dati di funzionamento del motore in 15 secondi (scansione veloce) oppure in 30 secondi (scansione lenta), di segnalare istantaneamente su un quadro i valori letti e di trasmettere contemporaneamente le relative informazioni ad una telescrivente I.B.M. la quale li traduce in scrittura, su un formato a stampa, ad intervalli di tempo prestabiliti oppure in qualsiasi istante desiderato, azionando un apposito pulsante.

Nelle figure 6 e 7 sono rappresentati rispettivamente lo schema dei dispositivi di automatismo del banco di prova e quello della sistemazione degli apparecchi di misura e di registrazione dei dati di funzionamento del motore.

La disposizione del banco di manovra, del quadro strumenti e delle altre apparecchiature contenute nella cabina di controllo è visibile nelle fotografie delle figure 8 e 9.

4) Svolgimento e risultati della prova

La prova O.R.E. di lunga durata del motore 218 SSF ha avuto inizio alle ore 0 del 2 Marzo 1966 ed è terminata alle ore 14 del 6 Aprile, essendo comprese in questo periodo, oltre alle 840 ore prescritte, circa 14 ore



- 1 - Motore
2 - Freno idraulico
3 - Dinamometro con trasmettitore della posizione dell'indice
4 - Registratore continuo Texas a 4 canali
5 - Registratore Honeywell (di riserva)
6 - Registratore Kienzle (solo per velocità e ora di funzionamento)
7 - Data-Logger a 30 canali
7a - Telescrivente I.B.M. dei dati di funzionamento
8 - Quadro strumenti di misura (manometri e termometri a distanza)
9 - Centralino pirometrico dei gas di scarico

Fig. 7 - Schema delle apparecchiature di misura e di registrazione dei dati impiegate nella prova



GRANDI MOTORI

Sala Prove

MOTORE 218 SSF

n° 5588

20° Foglio

Data: 20-3-88

T E M P E R

G A S D I S C A R I C O

ORA

Velocità

Carico

motore

al

freno

C I L I N D R I

INGRESSO TURBINA

USCITA TURB.

1

2

3

4

5

6

7

8

1

2

3

4

1-2

3-4

00,00

giri/min
0000,Kg.
000 0

0000, °C

0000, °C

0000, °C

1259	0090	0000	0045	0060	0053	0049	0049	0043	0050	0042	0076	0061	0064	0049	0060	0045
1329	0605	0006	0180	0183	0154	0117	0086	0038	0120	0059	0170	0107	0090	0049	0100	0056
1359	0607	0009	0378	0401	0388	0369	0344	0337	0342	0337	0490	0487	0464	0447	0420	0389
1429	1490	0099	0497	0510	0507	0515	0523	0525	0507	0511	0617	0620	0633	0624	0494	0510
1459	0000	0000	0363	0370	0359	0322	0323	0314	0297	0294	0447	0428	0397	0375	0381	0350
1529	1490	0080	0467	0465	0473	0445	0447	0442	0469	0440	0537	0516	0527	0483	0429	0413
1559	0613	0010	0324	0345	0322	0300	0277	0247	0277	0265	0429	0418	0395	0370	0387	0345
1629	1500	0101	0496	0509	0504	0505	0518	0517	0504	0506	0612	0608	0627	0612	0492	0504
1659	0000	0001	0372	0380	0376	0322	0329	0322	0340	0279	0453	0429	0420	0373	0386	0353
1729	1018	0047	0458	0467	0468	0457	0449	0439	0453	0442	0558	0546	0553	0522	0453	0446
1759	0592	0017	0452	0455	0462	0448	0429	0430	0439	0431	0549	0540	0543	0513	0449	0439
1829	1501	0100	0500	0512	0505	0505	0518	0519	0504	0506	0615	0610	0629	0616	0494	0506
1859	0000	0000	0383	0386	0386	0337	0322	0339	0360	0323	0468	0448	0424	0403	0397	0368
1929	0611	0007	0237	0267	0193	0145	0119	0052	0167	0066	0285	0204	0175	0096	0217	0129
1959	0609	0010	0348	0369	0358	0337	0310	0287	0314	0301	0456	0444	0419	0394	0397	0360
2029	1501	0100	0494	0507	0501	0495	0510	0509	0500	0497	0610	0603	0622	0603	0489	0500
2059	0000	0001	0372	0381	0361	0327	0332	0318	0347	0302	0457	0424	0421	0382	0383	0354
2129	1487	0080	0467	0470	0467	0440	0437	0432	0457	0432	0533	0508	0513	0469	0422	0403
2159	0611	0009	0347	0364	0347	0328	0305	0282	0302	0295	0451	0443	0420	0397	0400	0366
2229	1500	0101	0496	0507	0508	0495	0514	0514	0499	0502	0611	0606	0623	0610	0489	0500
2259	0000	0000	0375	0367	0386	0329	0335	0319	0352	0304	0446	0434	0423	0385	0389	0354
2329	1482	0085	0466	0465	0474	0442	0439	0434	0459	0430	0535	0512	0517	0474	0425	0407
2359	0608	0009	0339	0354	0343	0322	0301	0274	0299	0292	0447	0441	0415	0394	0400	0364
0029	1487	0099	0497	0506	0505	0496	0513	0512	0505	0505	0609	0606	0624	0610	0488	0504
0059	0000	0000	0380	0389	0373	0343	0340	0333	0358	0317	0462	0436	0430	0395	0390	0365
0129	1492	0082	0468	0470	0477	0436	0442	0433	0467	0428	0538	0510	0519	0470	0426	0403
0159	0612	0010	0348	0365	0350	0329	0310	0287	0310	0303	0455	0446	0424	0403	0401	0367
0229	1487	0099	0492	0505	0498	0493	0510	0513	0502	0501	0604	0600	0620	0605	0483	0499
0259	0000	0000	0384	0405	0398	0345	0336	0343	0360	0316	0464	0443	0424	0393	0395	0364
0329	1487	0082	0460	0465	0470	0433	0428	0421	0454	0417	0522	0497	0500	0453	0415	0389
0359	0608	0009	0378	0389	0382	0365	0345	0329	0348	0340	0487	0473	0463	0438	0423	0394
0429	1486	0099	0494	0508	0501	0497	0513	0512	0495	0506	0608	0609	0622	0609	0488	0502
0459	0000	0000	0387	0404	0401	0358	0347	0343	0363	0318	0459	0446	0432	0394	0397	0364
0530	1486	0080	0470	0468	0467	0467	0454	0451	0471	0455	0551	0539	0549	0514	0445	0439
0549	0924	0049	0416	0415	0416	0385	0357	0349	0365	0369	0528	0512	0474	0459	0448	0403
0559	0611	0010	0323	0342	0318	0296	0275	0241	0272	0259	0428	0417	0384	0364	0386	0343
0629	1486	0099	0495	0505	0504	0500	0512	0508	0499	0501	0608	0605	0620	0606	0488	0499
0659	0000	0000	0357	0365	0326	0319	0320	0315	0315	0297	0447	0411	0411	0381	0373	0346
0729	0611	0007	0239	0268	0197	0152	0116	0049	0167	0077	0288	0207	0175	0096	0218	0126
0759	0610	0007	0317	0337	0318	0292	0269	0236	0269	0255	0422	0412	0377	0354	0383	0332
0829	1488	0101	0499	0510	0504	0513	0520	0516	0501	0507	0615	0617	0628	0617	0492	0505
0859	0071	0003	0354	0323	0352	0300	0314	0283	0322	0285	0420	0419	0405	0369	0372	0339
0929	0609	0009	0426	0439	0432	0430	0403	0398	0409	0402	0535	0527	0522	0497	0448	0431
0959	0611	0008	0416	0440	0419	0421	0389	0385	0397	0388	0531	0518	0512	0485	0447	0422
1029	1485	0100	0502	0515	0508	0530	0528	0525	0507	0512	0621	0630	0639	0630	0501	0515
1059	0000	0000	0367	0370	0327	0320	0327	0308	0339	0299	0456	0416	0419	0380	0377	0350
1129	1485	0084	0473	0482	0472	0460	0457	0452	0477	0447	0552	0530	0546	0499	0439	0428

DESTINATO

B 9.8 feuille 7

PROVA ORE di lunga durata

Moteur 218 SSP

No. 6686

A T U R E

ARIA SOVRALIM.			Temp. amb.	A C Q U A								OLIO	
Mandata soll. 1	Mandata soll. 2	Dopo refrig.		Entrata motore	Uscita sinistra	Uscita destra	Refrig. aria (E)	Refrig. aria (U)	Refrig. olio (E)	Refrig. olio (U)	Entrata Motore	Uscita Motore	
0000, °C			000,0 °C										
0032	0034	0045	0157	0216	0438	0419	0465	0506	0506	0495	0357	0389	
0030	0031	0042	0152	0276	0372	0360	0465	0497	0497	0505	0398	0440	
0080	0077	0043	0162	0651	0735	0719	0433	0471	0471	0495	0508	0602	
0106	0103	0050	0178	0691	0770	0761	0479	0517	0517	0538	0576	0685	
0069	0067	0043	0170	0646	0731	0713	0438	0462	0461	0486	0540	0638	
0077	0075	0038	0173	0659	0729	0717	0389	0421	0421	0440	0499	0614	
0069	0066	0042	0171	0651	0731	0718	0410	0429	0430	0453	0516	0613	
0106	0102	0049	0176	0689	0764	0756	0469	0506	0506	0527	0566	0676	
0070	0069	0044	0176	0655	0740	0721	0438	0461	0461	0485	0540	0640	
0085	0083	0042	0172	0657	0731	0719	0401	0432	0432	0453	0507	0615	
0084	0083	0041	0170	0657	0732	0719	0399	0431	0430	0452	0506	0614	
0107	0103	0051	0170	0698	0773	0765	0476	0514	0513	0534	0578	0688	
0076	0073	0046	0171	0651	0734	0717	0444	0469	0470	0495	0549	0651	
0040	0037	0035	0175	0518	0612	0607	0339	0350	0350	0368	0461	0536	
0073	0069	0038	0172	0640	0724	0709	0367	0393	0393	0415	0460	0557	
0104	0100	0048	0172	0693	0774	0760	0461	0502	0502	0522	0562	0673	
0069	0069	0043	0173	0652	0734	0717	0434	0458	0459	0483	0540	0639	
0072	0072	0038	0174	0659	0730	0715	0385	0414	0415	0434	0496	0609	
0071	0069	0042	0169	0653	0734	0719	0411	0432	0431	0456	0514	0614	
0105	0101	0049	0169	0662	0743	0731	0459	0497	0497	0518	0556	0667	
0069	0069	0044	0167	0668	0750	0734	0432	0458	0458	0483	0539	0643	
0073	0073	0039	0164	0659	0733	0719	0387	0421	0421	0442	0495	0608	
0071	0069	0045	0162	0656	0739	0727	0443	0469	0469	0494	0527	0622	
0102	0100	0050	0156	0706	0788	0774	0469	0507	0507	0527	0568	0681	
0070	0070	0043	0158	0656	0739	0722	0427	0453	0453	0478	0535	0641	
0074	0072	0039	0157	0659	0732	0717	0412	0460	0460	0484	0501	0611	
0071	0069	0041	0157	0652	0737	0724	0420	0464	0464	0490	0509	0607	
0101	0099	0047	0152	0697	0779	0766	0438	0488	0487	0512	0544	0659	
0070	0069	0040	0151	0654	0736	0719	0390	0414	0413	0439	0516	0630	
0070	0069	0035	0154	0655	0729	0715	0349	0379	0379	0398	0477	0598	
0076	0073	0045	0149	0705	0798	0771	0459	0510	0510	0536	0526	0619	
0101	0099	0051	0152	0655	0737	0727	0477	0517	0516	0538	0565	0674	
0069	0069	0040	0149	0652	0732	0716	0389	0412	0412	0438	0516	0630	
0080	0078	0048	0123	0714	0800	0774	0482	0522	0522	0544	0544	0651	
0065	0064	0041	0146	0643	0732	0717	0405	0428	0427	0450	0508	0607	
0067	0064	0049	0150	0646	0731	0717	0499	0541	0541	0564	0551	0636	
0100	0099	0049	0155	0664	0749	0734	0457	0498	0496	0519	0562	0672	
0069	0067	0045	0164	0707	0813	0781	0449	0487	0486	0514	0540	0631	
0038	0035	0041	0166	0423	0503	0496	0443	0474	0474	0491	0480	0537	
0068	0064	0043	0162	0637	0727	0703	0417	0429	0430	0451	0506	0599	
0105	0103	0049	0166	0665	0747	0733	0465	0502	0502	0523	0565	0671	
0069	0068	0042	0174	0657	0754	0727	0420	0445	0445	0471	0536	0627	
0084	0083	0044	0177	0675	0758	0739	0435	0464	0464	0487	0528	0624	
0086	0083	0042	0186	0707	0793	0769	0408	0437	0437	0461	0517	0617	
0109	0109	0050	0197	0706	0788	0775	0473	0510	0510	0530	0578	0683	
0073	0071	0044	0201	0669	0763	0738	0435	0458	0457	0484	0548	0637	
0081	0080	0041	0192	0664	0735	0721	0408	0439	0440	0459	0512	0621	



- 1 - Programmatores dei giri e scheda perforata
- 2 - Registratore Texas (di servizio)
- 3 - Registratore Honeywell (di riserva)
- 4 - Data-Logger FIAT modello ACE 186/2
- 5 - Telescrivente I.B.M.

Fig. 9 - Sistemazione delle apparecchiature di comando e di registrazione

di fermate non previste dovute a cause varie (ved. più avanti).

Essa è stata condotta sotto la sorveglianza di tre Controllori dell'O.R.E., uno italiano delle F.S., uno austriaco delle O.B.B. (Österreichische Bundes-Bahnen) ed uno tedesco della D.B. (Deutsche Bundesbahn).

Nel corso della prova sono stati effettuati tutti gli accertamenti richiesti dal Regolamento e necessari per la compilazione del rapporto finale. In particolare, il rilievo dei dati caratteristici di funzionamento è stato fatto una volta al giorno, sempre in corrispondenza del periodo di marcia alla velocità ed alla potenza normale durante un ciclo A. Dall'esame di questi dati si è osservato che il comportamento termico del motore non ha subito variazioni degne di nota dall'inizio alla fine della prova.

A titolo di esemplificazione dei rilievi effettuati vengono qui riprodotti uno stralcio della banda di registrazione continua (ved. fig. 5) e un foglio contenente le letture periodiche effettuate dal « data-logger » ad intervalli di 30 minuti, relativi ad un intero periodo di 24 ore di prova.

Il tempo di ripresa del motore nel passaggio dal funzionamento al minimo (600 giri/min a vuoto) al pieno carico (1500 giri/min - 1500 Cv) si è sempre mantenuto intorno ai 22 secondi, valore che può essere ritenuto soddisfacente, compatibilmente con le possibilità di riempimento del freno idraulico, e comunque inferiore al tempo massimo di 30 secondi che l'O.R.E. stesso ammette tenendo conto che, anche in esercizio, per accelerare il motore e il rotore della generatrice e per portare la

turbosoffiante alla velocità di regime non si può scendere a valori molto più bassi.

Il tipo di combustibile impiegato è stato gasolio con caratteristiche controllate periodicamente presso un Laboratorio qualificato, conformi alle prescrizioni. I consumi di combustibile sono stati misurati una volta al giorno per cicli completi e alternativamente per ciascun tipo di ciclo; anche da questi rilievi è rimasta confermata la regolarità di comportamento del motore nelle diverse condizioni di marcia, poiché tra l'inizio e la fine della prova si sono avute variazioni del consumo contenute entro l'1%.

Per la lubrificazione generale è stato impiegato olio FIAT Urania SAE 40; detergente supplemento 3. La misura del consumo di olio è stata fatta in maniera continua prelevando giornalmente da una cassetta, montata su una bilancia, il quantitativo pesato occorrente per ripristinare nella coppa del motore il livello controllato all'inizio della prova. Da questi rilievi si è osservata una progressiva diminuzione del consumo, probabilmente per effetto di una sempre migliore tenuta degli anelli elastici e raschiaglio sulle camicie cilindro, dovuta ad un più completo adattamento e levigatura reciproci. È prevedibile, perciò, che il consumo specifico di 1,5 g/Cv.h rilevato mediamente per tutta la durata di questa prova sia destinato ad abbassarsi ancora durante l'esercizio sulle locomotive.

Nel corso della prova è stata effettuata una sola operazione di manutenzione, che non ha comportato alcuna interruzione: si è trattato della pulizia dei filtri olio eseguita, dopo 537 ore, sia sui filtri a cartucce, sia sui filtri centrifughi Glacier.

Le interruzioni della prova e le relative cause e durate figurano dal seguente prospetto:

Data	Causa dell'interruzione	Durata
5.3.1966	Bruciatura della valvola avviamento del cilindro n° 3	53 minuti
11.3.1966	Rottura del tubo scarico gas a valle della turbosoffiante n° 2	65 minuti
	Manca di energia elettrica sulla rete (per ausiliari d'impianto e strumentazione)	4 minuti
13.3.1966	Bruciatura della valvola avviamento del cilindro n° 2	50 minuti
25.3.1966	Avaria al cilindro n° 4	11h 24 min.

Complessivamente, quindi, si sono avute interruzioni per 14h 16 min, così distribuite:

- 4 min. per cause accidentali (mancanza energia elettrica);
- 2h 48 min. per cause esterne al motore conside-

rando tra queste, oltre alla rottura del tubo di scarico gas, anche le bruciature delle valvole di avviamento poichè si tratta di dispositivi adattati provvisoriamente per la prova al banco (sulla locomotiva, infatti, l'avviamento del gruppo sarà ottenuto a mezzo della generatrice principale):

— 11h 24 min. per avaria vera e propria del motore.

In merito a questa avaria si precisa che si è trattato della rottura dello stelo di una delle due valvole di scarico del cilindro n. 4 e del conseguente distacco del fungo che, interferendo con il movimento dello stantuffo, ha provocato il danneggiamento, sempre sullo stesso cilindro, delle altre 3 valvole, delle relative aste e traversini di comando, dello stantuffo e della testata cilindro nelle loro zone affacciate alla camera di combustione. Sono rimaste intatte, invece, la camicia cilindro, la superficie laterale dello stantuffo, le fasce elastiche e lo spinotto; nè hanno sofferto alcun danno tutti gli altri organi del manovellismo (biella, cuscinetti, perno di manovella), inerenti al cilindro in avaria, come pure gli altri cilindri e tutte le altre parti del motore.

E' risultato subito evidente che la rottura della valvola è stata causata da una anormale usura del collarino in due pezzi (semiconi) che ne blocca l'estremità superiore sul piattello reggimolla: tale usura ha dato luogo ad un progressivo infossamento di detti semiconi ed al conseguente scorrimento della valvola verso il basso fino a provocarne la rottura per urto contro lo stantuffo.

Le indagini condotte su questi semiconi, costruiti da un fornitore esterno, hanno dimostrato che i pezzi in questione, come pure alcuni di quelli nuovi disponibili tra le scorte di magazzino, non avevano le caratteristiche meccaniche prescritte sul disegno FIAT. Questa anomalia è stata riconosciuta anche dal fornitore il quale ha potuto riscontrare che tra le barre da cui detti particolari erano ricavati, acquistate presso un sub-fornitore allo stato bonificato, ve ne erano alcune, sfuggite al collaudo statistico, che denunciavano un trattamento termico insufficiente o addirittura inesistente.

In considerazione del fatto che l'incidente non era da attribuire a difetto di progetto la Commissione decideva che il motore fosse rimesso in efficienza con la sostituzione dei particolari danneggiati e la Direzione stessa dell'O.R.E., tempestivamente informata dell'accaduto e delle constatazioni relative, esprimeva parere favorevole per la immediata ripresa della prova.

5) Revisione e osservazioni finali

Al termine della prova il motore è stato completamente smontato per sottoporre le diverse parti all'esame dei Controllori dell'O.R.E.



Fig. 10 - Vista esterna ed interna di una camicia cilindro in ottime condizioni riguardo alla corrosione ed alla usura

Le risultanze di questi controlli sono state le seguenti:

- **Basamento - Incastellatura** - Queste parti si presentavano come nuove; buone, in particolare, le sedi dei cuscinetti di banco e assente ogni minima traccia di corrosioni e cavitazioni nelle camere d'acqua.



Fig. 11 - Parte superiore di uno stantuffo ove è ben visibile l'assenza di depositi carboniosi



Fig. 12 - Superficie laterale dello stantuffo con fasce elastiche e loro sedi senza incrostazioni o segni anormali di lavoro

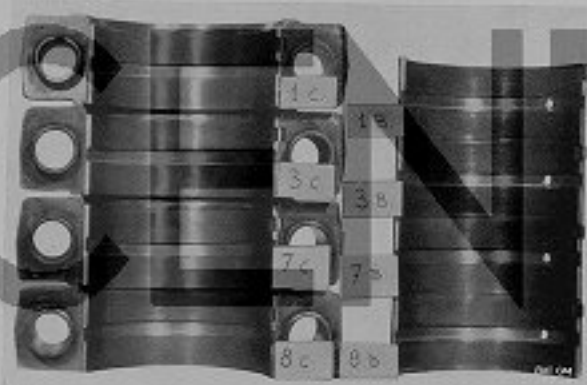
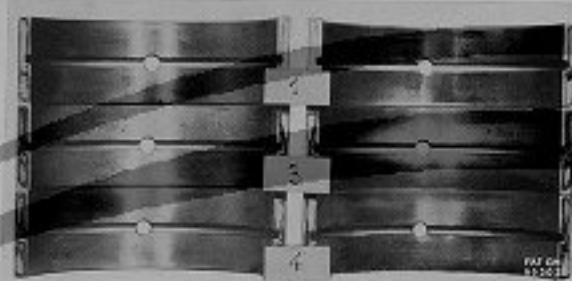


Fig. 13 - Cuscinetti di banco (sopra) e cuscinetti di biella (sotto) ove si può notare lo strato protettivo di piombo-stagno ancora intatto

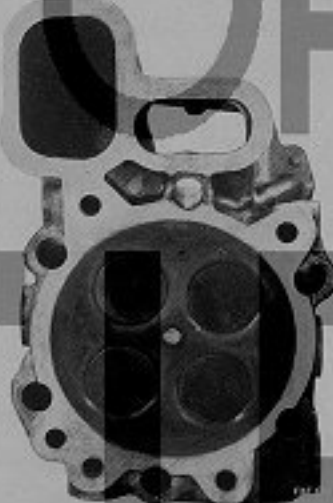


Fig. 14 - Superficie della camera di combustione di una testata cilindro assolutamente priva di incrostazioni

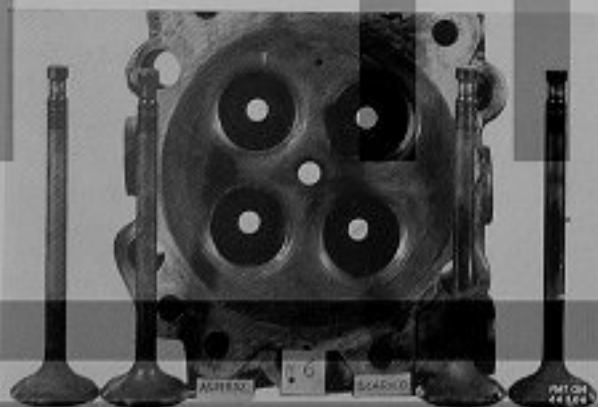


Fig. 15 - Valvole e sedi valvole di una testata

- *Camicie dei cilindri* - In ottimo stato, sia all'interno dove non si riscontrava alcuna usura, sia all'esterno dove non vi era alcuna traccia di corrosione o cavitazione (ved. fig. 10).
- *Stantuffi* - Ottimo stato generale: assenza di depositi carboniosi sulle superfici superiore e laterale. Sedi delle fasce elastiche senza incrostazioni e con usure inapprezzabili (ved. figg. 11-12).
- *Fasce elastiche* - Tutte integre, libere nelle proprie sedi e senza sbavature o segni anormali di lavoro (ved. fig. 12).
- *Bielle motrici* - In buono stato, senza alcun difetto né sulla sede del cuscinetto di testa né sulla boccola di piede.
- *Albero motore* - Controllato con apparecchio magnetoscopico è risultato esente da difetti in tutte le sue parti. Perni e ingranaggio di comando della distribuzione in ottimo stato.
- *Cuscinetti di banco e di biella* - In perfetto stato di conservazione, senza rigature né corrosioni: ancora intatto il leggerissimo strato di protezione di piombo-stagno (ved. fig. 13).
- *Testate dei cilindri* - Superficie della camera di combustione pulita e seggi delle valvole in buone condizioni. Su alcune guide delle valvole, specialmente di aspirazione, è stata notata una usura piuttosto accentuata però senza alcun segno di grippatura fra stelo valvola e relativa guida (ved. figg. 14-15).
- *Valvole di aspirazione e scarico* - Ottime le condizioni delle sedi di lavoro e degli steli: su alcune valvole di aspirazione sono stati osservati depositi carboniosi friabili, dalla parte del lungo verso il condotto della testata (ved. fig. 15).
- *Semiconi di bloccaggio delle valvole* - In relazione all'avaria verificatasi durante la prova è stato fatto un esame accurato di questi particolari e su alcuni di essi sono stati riscontrati segni di riscaldamento sulla sede conica di appoggio del collarino della valvola e tracce di usura e di infossamento sulla superficie conica esterna (ved. fig. 16).

Dal controllo delle caratteristiche meccaniche del materiale, attraverso la misura della durezza Brinell Hd e della resistenza R, effettuata per tutti i 64 pezzi montati sul motore, si sono avuti i seguenti risultati:

- per il 15 % dei pezzi: Hd > 223
R > 80 kg/mm²
- per il 60 % dei pezzi: Hd = 223 ÷ 197
R = 80 ÷ 70 kg/mm²
- per il 25 % dei pezzi: Hd = 197 ÷ 183
R = 70 ÷ 65 kg/mm²



Fig. 16 - Semiconi di bloccaggio della valvola di aspirazione e scarico

Considerato che i pezzi che denotavano un comportamento anormale erano quelli aventi $R < 70 \text{ kg/mm}^2$ e che su quelli che avevano provocato l'avaria si era trovato $R = 60 + 65 \text{ kg/mm}^2$, si è potuto concludere che il valore $R = 80 + 95 \text{ kg/mm}^2$ prescritto sul disegno FIAT offre un margine di sicurezza più che sufficiente.

- *Alberi a camme comando valvole e pompe* - Camme e cuscinetti in buone condizioni.
- *Ruotismi* - Dentature degli ingranaggi di comando della distribuzione, delle pompe iniezione e delle pompe acqua ed olio in ottimo stato, come nuovi.

- *Pompe iniezione - Iniettori* - Il funzionamento delle pompe di iniezione è sempre stato regolare. Gli iniettori, controllati a fine della prova, conservavano ancora inalterate la pressione di scatto e la regolarità di polverizzazione.
- *Pompa acqua* - In ottimo stato, come nuova.
- *Pompa olio* - In buone condizioni i cuscinetti e gli ingranaggi di comando. Sui rotori ad ingranaggi della pompa vera e propria sono state riscontrate alcune rigature sui denti, dovute alla introduzione di particelle metalliche di piccole dimensioni.
- *Turbosoffianti Brown Boveri* - Normali depositi carboniosi, in leggero strato, sulle palette delle turbine mentre le palette dei compressori erano pulite. I cuscinetti dei rotori si presentavano in ottime condizioni.
- *Regolatore Woodward PG* - Nessuna anomalia: il funzionamento è stato regolare e soddisfacente per tutta la durata della prova.

A conclusione della prova di lunga durata i Controllori dell'O.R.E. potevano dichiarare, nel loro rapporto finale, che essa si era svolta in maniera del tutto soddisfacente, in piena osservanza delle norme e che lo stato degli organi visitati nella successiva revisione era da considerarsi veramente buono.

L'esito favorevole della prova veniva sanzionato definitivamente, nel Dicembre 1966, con l'iscrizione del motore FIAT 218 SSF nell'Elenco n. 2 dei motori che hanno superato la 1^a tappa di omologazione e con la relativa pubblicazione nel Bollettino dell'O.R.E. n. 24 del Gennaio 1967.

Recenti sviluppi dell'impiego degli ultrasuoni nella valutazione dimensionale dei difetti

p. i. C. Bordoni

Premessa

Al miglioramento della qualità della produzione delle industrie meccaniche, che si è avuto con incremento costante dal dopoguerra ad oggi, hanno sensibilmente contribuito i metodi di controllo non distruttivo, in continuo e progressivo perfezionamento. In particolare la produzione dello stabilimento FIAT Grandi Motori, che non è di grande serie e comporta la costruzione di pezzi di peso e dimensioni molto diverse, aventi esigenze di servizio anch'esse varie, trova giovamento dall'impiego dei mezzi di controllo non distruttivi. Si presenta quindi la necessità d'impiegare, a seconda delle esigenze, metodi di controllo diversi e soprattutto rapidi, in modo da estendere il più possibile il loro uso, proprio perchè, non essendo la produzione di serie, è più difficoltosa la messa a punto dei sistemi produttivi.

Per soddisfare le varie esigenze di collaudo vengono usati:

- per difetti superficiali o di poco sotto la superficie, metodi basati su liquidi penetranti o magnetoscopici;
- per difetti interni, raggi X, radiazioni γ ed ultrasuoni.

Già in precedenti descrizioni avevamo avuto modo di trattare dettagliatamente i principi di funzionamento e le modalità d'impiego dei metodi di prova non distruttivi sopra elencati e quindi non riteniamo in questa relazione di dilungarci su di essi, che frattanto sono venuti di dominio comune. Intendiamo invece ritornare sugli ultrasuoni che, come metodo di collaudo, attualmente hanno raggiunto il maggiore perfezionamento e sono in continuo sviluppo.

Nel nostro stabilimento, per l'impiego degli ultrasuoni, non solo miriamo alla graduale formazione di tecnici specializzati ma, per togliere al metodo ogni carattere soggettivo, tendiamo a stabilire delle norme d'impiego che escludano forti variazioni dei parametri che più influiscono sui risultati.

I più importanti fra questi parametri sono:

- l'energia con la quale viene emesso il fascio sonoro (generalmente indicata come impulso);

- l'amplificazione del segnale di ritorno;
- la forma e dislocazione del difetto;
- l'assorbimento dell'energia sonora per effetto della struttura del materiale;
- le condizioni di accoppiamento.

Un buon operatore con la sua esperienza può tenere conto con discreta approssimazione della incidenza di questi parametri sulla entità dei difetti, ma la fiducia di un metodo non può certo basarsi sull'abilità dell'operatore. Per questi motivi man mano che se ne presenta l'occasione introduciamo, nel nostro stabilimento, delle norme di controllo, in modo che l'iniziativa dell'operatore e l'incidenza dei parametri sopra indicati influiscano il meno possibile sui risultati della prova. Come esempi applicativi di questi indirizzi descriviamo di seguito due casi caratteristici di controllo: di un albero a manovelle fucinato e di tubi a forte spessore impiegati per mandare la nalta dalle pompe d'iniezione ai polverizzatori.

Metodi di esame impiegati

Nei due esempi che seguono gli esami con gli ultrasuoni vengono effettuati secondo i metodi per riflessione e per trasparenza.

Il metodo a riflessione utilizza un solo tastatore per emettere e ricevere la vibrazione ultrasonora. Il tastatore a contatto con il pezzo in esame, se eccitato, emette un impulso di ultrasuoni che percorre il pezzo fino a incontrare una parete riflettente che lo rinvia al tastatore che funziona da trasmettente e ricevente. Adatte apparecchiature elettroniche rilevano in modo vettoriale il tempo trascorso, e quindi la distanza percorsa dalle onde sonore, fra la partenza ed il ritorno al tastatore. Gli estremi del vettore vengono segnati da un « picco » di inizio e uno di fondo.

Il metodo a trasparenza differisce da quello ora descritto unicamente per il fatto che si impiegano due singoli tastatori, uno trasmettente e l'altro ricevente, in modo che un eventuale difetto che funzioni da parete riflettente riduce od annulla l'energia che arriva al tastatore ricevente e di conseguenza il « picco di fondo ».

Principio del metodo di valutazione quantitativa dei difetti

Mentre per i difetti di grandi dimensioni è possibile dare una valutazione quantitativa dell'estensione usando il fascio di ultrasuoni come indicatore del contorno geometrico, è più difficile valutare, sia pure in modo approssimato, i difetti di piccole dimensioni.

E' uso generale di stabilire una graduatoria di gravità dei difetti valutando il rapporto fra il picco del difetto ed il picco di fondo.

Il metodo però è soggetto a diverse imperfezioni, non esclusa quella di pezzi che per cause geometriche non danno luogo al picco di fondo. Con il metodo che descriveremo è possibile in ogni caso misurare quantitativamente la parte di energia inviata nel pezzo che viene riflessa dal difetto e siccome la quantità di energia riflessa è in relazione alla superficie riflettente, è possibile da questa risalire al *diametro medio convenzionale del difetto*.

Questo metodo che trova il miglior modo di applicazione quando l'esame dei difetti è fatto per riflessione, si avvale dei perfezionamenti delle moderne apparecchiature ad ultrasuoni che permettono di misurare il rapporto fra la quantità di energia trasmessa e quella di ritorno.

La misura viene realizzata, come vedremo in seguito, con un deamplificatore tarato in decibel (dB).

Come è noto il dB, (decima parte del « bel ») è una unità di misura logaritmica usata per valutare il rapporto fra due valori di potenza elettrica.

I « dB » rappresentano quindi il logaritmo decimale del rapporto fra due potenze elettriche. Comunemente il « bel » ed il suo sottomultiplo « decibel » vengono usati nelle misure di potenza della trasmissione telefonica, radiotelevisiva e per la valutazione indiretta dell'intensità dei rumori. In questo caso le onde sonore, agendo su apposite membrane, producono delle deformazioni proporzionali alla potenza d'urto che possono essere trasformate con strumenti radiotelefonici in energia elettrica la quale, rapportata ad un valore di energia preso come unitario, viene misurata in « dB ».

La misura che si ottiene con il deamplificatore rappresenta quindi il logaritmo decimale del rapporto fra l'energia trasmessa dalla sonda e quella di ritorno.

Per la valutazione dell'entità dell'energia trasmessa e ricevuta si prendono come indici di misura le altezze dei picchi, ottenuti con i particolari artifici di seguito descritti, che sono funzione delle pressioni sulla sonda piezoelettrica prodotte dall'energia di ritorno.

Per la misura dell'energia trasmessa ci si avvale dell'aiuto di un campione di taratura costituito da una piastra di acciaio dolce, di limitato spessore (ca. 25 mm) di sufficiente ampiezza (diametro almeno doppio di quello della sonda) e con le superfici piane, lisce e parallele. Operando con la sonda su questa piastra campione viene

praticamente riflessa tutta l'energia trasmessa dall'apparecchiatura.

Quando, durante l'esame del pezzo da controllare si manifesta il picco di un difetto, lasciando il deamplificatore, tarato in dB, con l'indice sullo zero, si varia l'energia di emissione dello strumento fino a portare il picco del difetto ad una altezza di poco inferiore a quella del quadrante dell'apparecchio, che viene considerata come unitaria per tutto il resto della prova. Quindi si porta la sonda sulla piastra campione che, riflettendo tutta l'energia trasmessa darà un picco di altezza considerevolmente maggiore a quella presa come unitaria. Si agisce allora sul deamplificatore fino a portare il picco ottenuto sulla piastra campione all'altezza unitaria.

Il valore che segnerà l'indice del deamplificatore sarà proporzionale al rapporto fra l'energia necessaria per ottenere il picco di altezza unitaria del difetto e quella che sarebbe necessaria se il 100% dell'energia trasmessa venisse riflessa.

Prendendo come indici delle energie le altezze dei picchi sul quadrante dell'apparecchio è possibile scrivere la seguente relazione:

$$dB = 20 \log \frac{H_0}{H_e} \quad (1)$$

dove:

dB = valore in decibel letto sull'indice del deamplificatore

H_0 = altezza picco di fondo del disco campione

H_e = altezza picco del difetto.

Considerando il valore di H_e come unitario la (1) può essere scritta:

$$\log H_0 = \frac{dB}{20} \quad (2)$$

che consente di valutare il valore di H_0 .

Se nel pezzo in esame non esistessero dispersioni, il valore di H_0 esprimerebbe l'energia trasmessa necessaria a portare l'eco del difetto ad altezza unitaria. In pratica H_0 comprende anche una parte dell'energia necessaria a compensare l'assorbimento dovuto alla struttura del materiale e la dispersione geometrica del fascio di onde sonore.

Per determinare approssimativamente la correzione da apportare si opera come segue:

Si appoggia il tastatore su una posizione del pezzo in esame non difettosa tale che vi sia una faccia riflettente sufficientemente ampia e ad una distanza pressoché corrisponde alla posizione del difetto. Quindi si porta l'eco di fondo all'altezza unitaria. Si appoggia poi il tastatore sul disco campione e si riporta l'eco di fondo all'altezza unitaria con il deamplificatore. Il valore « dB (T) » sull'indice del deamplificatore corrisponde all'assorbimento totale. Questo valore tiene conto dell'assorbimento dovuto alla struttura del materiale e della perdita di energia per dispersione geometrica.

L'assorbimento dovuto alla struttura del materiale può essere determinato con la seguente equazione dovuta al Krautkrämer (*):

$$dB/mm = \left[dB(T) - 20 \log \frac{2 \cdot f \cdot 4 \lambda}{D^2 \pi} \right] / l \quad (3)$$

dove:

il termine $20 \log \frac{2 \cdot f \cdot 4 \lambda}{D^2 \pi}$ rappresenta la dispersione

dovuta alla relazione geometrica fra la divergenza del fascio sonoro e la distanza del difetto;

dB/mm = assorbimento per mm dovuto alla sola struttura del materiale;

$dB(T)$ = assorbimento totale;

D = diametro in mm del cristallo piezoelettrico della sonda;

l = distanza in mm della parete riflettente;

λ = lunghezza delle onde sonore in mm per la frequenza e il materiale in esame.

L'equazione (2) per la determinazione dell'altezza del picco H_0 verrà così corretta:

$$\log H_0 = \frac{dB - dB/mm \cdot l}{20} \quad (4)$$

dove:

l = distanza in mm del difetto della superficie in esame.

Dal valore di H_0 determinato con l'equazione (4) si ricava il diametro medio del difetto (d) per mezzo della seguente equazione che tiene conto anche della variazione del fascio sonoro riflesso dal difetto in funzione della distanza di questo:

$$d = D \sqrt{\frac{R}{\pi}} \sqrt{\frac{l}{H_0}} \quad (5)$$

dove:

$$R = \frac{1 \cdot 4 \lambda}{D^2} \quad (6)$$

e gli altri simboli corrispondono alle indicazioni date per le equazioni (3) e (4).

L'equazione (5) è valida quando il valore di R è maggiore di 1; nel caso sia uguale o inferiore, quando cioè il difetto è molto vicino alla superficie di prova, si adotta l'equazione seguente:

$$d = D \sqrt{\log \frac{1}{1 - \frac{1}{H_0}}} \quad (7)$$

0,868

Benché anche questo metodo sia soggetto ad errori (come ad esempio: semplificazione ideale dei fenomeni di divergenza e trasmissione del fascio sonoro;

variazioni strutturali lungo il percorso del fascio di onde sonore; forma e posizione del difetto), per grossi particolari è l'unico sistema che dà la possibilità di fornire una valutazione dimensionale dei difetti e quindi di confrontarli fra di loro e di stabilire degli standard di accettazione.

Esempi di valutazione quantitativa dei difetti.

Valutazione dei difetti negli alberi a manovelle con metodo per riflessione

Per valutare la sensibilità del metodo abbiamo costruito due serie di campioni con difetti simulati di forma circolare e con superficie riflettente piana e perpendicolare al fascio di onde sonore.

I difetti simulati sono stati realizzati con diametri di 7 e di 15 mm e con distanze dal tastatore variabili di 50 in 50 mm, da 50 fino a 450 mm.

Le misure sono state eseguite con una sonda da 2 MHz che è la frequenza normalmente adottata per l'esame dei grossi lucinati, ciò perché la sensibilità di misura è strettamente legata alla frequenza di emissione degli ultrasuoni. Infatti quando il rapporto fra diametro del difetto, considerato idealmente discoidale, e la lunghezza d'onda è inferiore a $\frac{1}{2}$ non si ottiene dall'apparecchio nessuna indicazione utilizzabile e praticamente non si può rilevare il difetto.

L'esperienza ha mostrato che con la frequenza di 2 MHz si è nelle migliori condizioni per valutare un grosso lucinato; frequenze più basse lascerebbero sfuggire difetti che potrebbero essere dannosi, mentre frequenze più elevate porterebbero ad una severità di giudizio inammissibile per un grosso lucinato.

Nel diagramma di fig. 1 sono stati rappresentati gli scostamenti che si sono ottenuti dai diametri effettivi di 7 e 15 mm.

Come primo esempio applicativo riteniamo interessante riportare il caso di un albero lucinato a 5 manovelle per motore a quattro tempi, che abbiamo scartato allo stato di sgrossatura perché, con gli ultrasuoni, era stato trovato difettoso su alcuni perni ed i difetti, valutati con il metodo sopra descritto, risultavano eccessivi.

In contestazione con il fornitore, abbiamo eseguito un confronto fra i difetti reali e quelli determinati, sezionando il 5° perno di manovella che era risultato il più difettoso. L'esempio è stato limitato a tre difetti più appariscenti che giacevano pressoché sullo stesso piano trasversale al perno.

L'esame è stato eseguito con tastatore ad onde longitudinali da 2 MHz. La determinazione dell'assorbimento dovuto alle condizioni strutturali del materiale è stata eseguita sullo stesso perno in una zona non difettosa. Nel fotogramma di fig. 2 si vede il picco di fondo regolato ad altezza unitaria alla distanza di 245 mm ed in una zona priva di difetti.

(*) J. Krautkrämer - Archiv für das Eisenhüttenwesen N. 11/1959 pagg. 693-703.

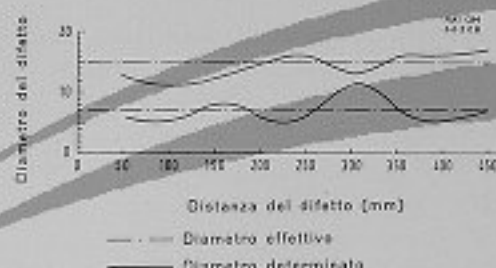


Fig. 1 - Variazioni fra il diametro reale di difetti artificiali e quello determinato attraverso la misura in dB del rapporto fra l'energia trasmessa e riflessa dal difetto

Quindi, appoggiando la sonda con la stessa energia di emissione sulla piastra campione di 25 mm di spessore ed agendo al deamplicatore fino a portare il picco di fondo ad altezza unitaria, si sono ricavati 32 dB corrispondenti al rapporto delle energie trasmessa e ricevuta.

Da questi applicando l'equazione (3) si è calcolato l'assorbimento medio del materiale che è risultato di 0,09 dB/mm.

I tre difetti rilevati e presi come termine di confronto sono indicati nella sezione di fig. 3 con le sigle (a), (b), (c). La sezione passa per il piano medio dei difetti ed è stata ottenuta assottigliando gradatamente la fetta fino a che i difetti considerati risultassero della massima estensione.

Per il difetto (a) che si trova a 50 mm dalla superficie (vedi fig. 4, la quale mostra il fotogramma del difetto con picco di altezza unitaria), sono stati misurati 14 dB. Siccome il valore di R calcolato con l'espressione (6) è risultato circa 1 abbiamo usato per determinare il diametro del difetto l'equazione (7) valida per i difetti vicini alla sonda. Il diametro medio del difetto è risultato 10,1 mm.



Fig. 2 - Fotogramma eseguito in una zona non difettosa del 5° perno di manovella di un albero a 4 tempi allo scopo di determinare l'assorbimento dovuto a cause strutturali

Per il difetto (b) che si trova a 110 mm dalla superficie (vedi fig. 5 del fotogramma con picco di altezza unitaria), il rapporto fra le energie è risultato 25 dB. Per il calcolo è stata usata l'equazione (5) essendo R maggiore di uno. Il diametro medio del difetto è risultato 7,1 mm.

Per il difetto (c) che si trova a 85 mm dalla superficie (vedi fig. 6 del fotogramma di altezza unitaria), il rapporto fra le energie è risultato 18 dB. Il diametro medio del difetto calcolato con l'equazione (5) è risultato di 7,2 mm.

Confrontando le dimensioni medie dei tre difetti della fig. 3 (rispettivamente di 19 - 8 e 11 mm), con quelle



Fig. 3 - Sezione del 5° perno di manovella di un motore a quattro tempi. Si vedono alcuni difetti messi in evidenza con il magnetoscopio

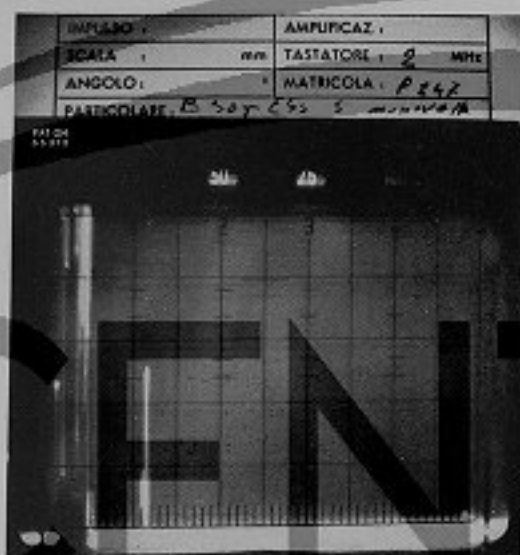


Fig. 4 - Foto-gramma del difetto (a) di fig. 3

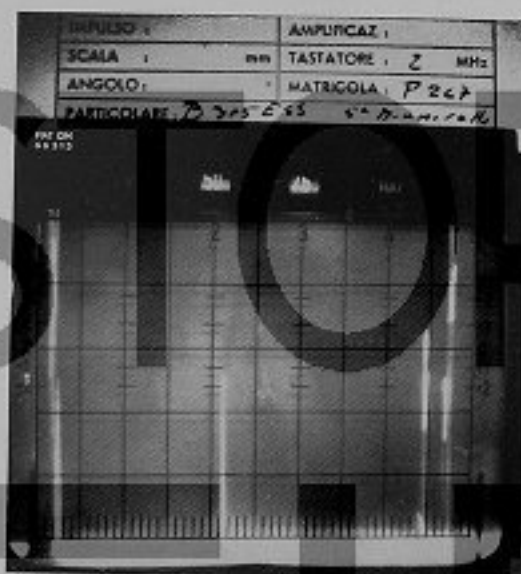


Fig. 5 - Foto-gramma del difetto (b) di fig. 3

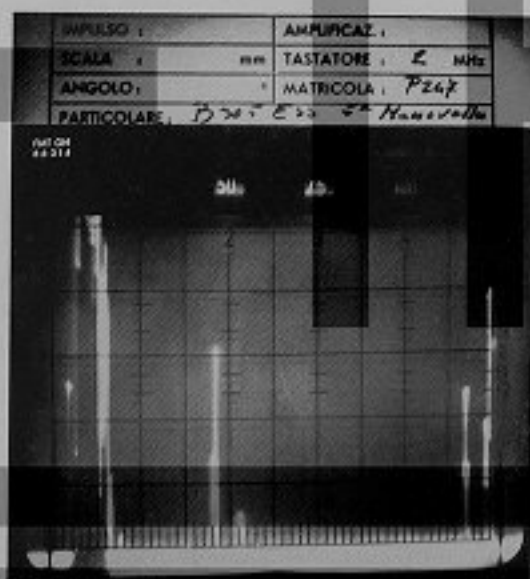


Fig. 6 - Foto-gramma del difetto (c) di fig. 3

calcolate si trova: una certa discordanza di dimensioni per il difetto (a), piena concordanza per il difetto (b) e non molta differenza per il difetto (c).

Il metodo può quindi considerarsi valido se si tiene presente che questi difetti possono avere le forme più impensate. Valga ad ulteriore esempio un difetto sul 7° perno di banco che avevamo calcolato con diametro medio 22,3 mm ed è risultato della forma e dimensioni di fig. 7 (che mostra il difetto a grandezza naturale con segnati in bianco i limiti reali del difetto rimasti fuori della sezione). Il diametro ricavato dalla media aritmetica delle due dimensioni principali è risultato di 23,5 mm, e quindi l'approssimazione del calcolo è più che accettabile.



Fig. 7 - 1 X - Aspetto di un difetto sul 7° perno di banco dell'albero in esame

Principio del metodo a trasparenza adottato per la valutazione dei difetti nelle tubazioni ad alta pressione

Come è già stato accennato, con il metodo a trasparenza si impiegano due sonde, una trasmittente e l'altra ricevente; tanto maggiore è l'energia ricevuta e tanto più alto sarà il picco corrispondente nel quadrante dell'apparecchio. Di conseguenza quanto più grande sarà un difetto tanto più esso impedirà all'energia di trasferirsi alla sonda ricevente e quindi più piccolo sarà il picco segnalato.

Questo costituisce un certo inconveniente perché lascia sempre il dubbio di una cattiva trasmissione del suono e inoltre non permette l'applicazione del metodo di valutazione dei difetti sopra descritto. Per il caso specifico dell'esame dei tubi, il metodo è stato variato in modo che permette di avere, come nel metodo a riflessione, un continuo segnale di accoppiamento e un picco tanto più alto quanto più grande è il difetto. Il principio seguito è indicato in fig. 8. L'esame viene eseguito con il tubo ed i tastatori immersi in acqua in modo che vengono eliminate le difficoltà di accoppiamento.

Sia il tastatore trasmittente che quello ricevente hanno un cappuccio che limita l'ampiezza del fascio e facilita la

focalizzazione in modo che il fascio di ultrasuoni trasmesso venga captato dal tastatore ricevente. Il fascio di ultrasuoni trasmesso attraverso l'acqua di accoppiamento entra nel tubo e, come indicato in fig. 8 A, si smorza ruotando attorno al diametro interno del tubo senza che nessuna porzione venga captata dal tastatore ricevente. Si viene così ad avere sullo schermo dell'apparecchio ad ultrasuoni una semplice linea orizzontale perchè nessun segnale viene ricevuto.

Nel caso vi sia una lesione ad andamento longitudinale sul diametro interno del tubo, ruotandolo opportunamente, è sempre possibile portarlo nella posizione indicata nella fig. 8 B in modo che il difetto rifletta parzialmente il fascio di ultrasuoni e formi, sullo schermo dell'apparecchio, un picco che segnala la ricezione di una parte del fascio sonoro. Questo picco sarà tanto più alto quanto più è profonda la lesione; in genere per le lesioni profonde il residuo fascio sonoro che gira attorno al tubo dà luogo a più picchi per riflessioni successive.

percorso delle onde sonore; l'accoppiamento che si ottiene lavorando in immersione in acqua è sempre costante. E' possibile quindi valutare i difetti attraverso il confronto sperimentale fra le dimensioni degli azeai e l'altezza dei picchi corrispondenti, quando le condizioni di taratura dell'apparecchio ad ultrasuoni sono ripetibili per tutti i tubi da controllare. Riteniamo utile premettere un breve accenno sulle condizioni di funzionamento dei tubi mandati dalla pompe di iniezione ai polverizzatori. Tali tubi, per i motori a due tempi di grandi dimensioni, sono soggetti a escursioni di pressione che oscillano da circa 0 a $800 \div 900 \text{ kg/cm}^2$ con punte che possono toccare eccezionalmente anche i 1000 kg/cm^2 .

A queste variazioni di pressione corrispondono, tangenzialmente al diametro interno, le massime sollecitazioni, che calcolate con l'equazione di Bach e Baumann danno, per alcune pressioni e diametri caratteristici, i valori riportati nella seguente tabella 1:

Tabella 1

Pressione (kg/cm^2)	800	900	1000
$\varnothing$ Tubo (mm)	Sollecitazioni (kg/mm^2)		
27/10	12,6	14,1	15,7
21/8	12,7	14,3	15,9
17/5	11,7	13,1	14,6

Per valutare sperimentalmente l'effetto degli intagli sulle caratteristiche a fatica dei tubi abbiamo ricavato longitudinalmente dai tubi di diametro maggiore (diametro 27/10) delle provette di fatica a flessione rotante di diametro 6,5 senza e con intaglio. Le provette sono state ricavate sia da tubi di uso normale, in acciaio Aq 35, che da tubi sperimentali costruiti con acciai legati di tipo 34 Cr Mo 4 con perlite globulizzata e con acciaio avente la composizione C = 0,08 %; Cr = 5 %; Mo = 0,5 % bonificato (Sigla X 10 Cr Mo 5).

Nella tabella 2 seguente sono raccolte le caratteristiche principali dei tre tipi di acciai considerati:

Tabella 2

Qualità materiale	R kg/mm^2	S _{0.2} kg/mm^2	A ₅ %	HRB
Aq 35	44,7	29	26,6	65
34 Cr Mo 4 con perlite globul.	52,4	—	30,2	79
X 10 Cr Mo 5	69	52,4	16,9	98

Fig. 8 - Schema del principio del metodo di controllo dei tubi a forte spessore. In assenza di difetti il fascio di ultrasuoni si disperde nel tubo (vedi fig. A). Nel caso di presenza di difetti viene captato dal tastatore ricevente e segnalato dall'oscillogramma (ved. fig. B)

Confronto sperimentale fra i segnali rilevati nei tubi difettosi e l'entità del difetto

La struttura del materiale dei tubi, date le relativamente piccole dimensioni, ha influenza limitata sul breve



Fig. 9 - 12 X - Piano di frattura di un tubo di diametro 27/10 lesionato in funzionamento. La lesione è partita da un intaglio di 0,15 mm

I limiti di fatica ottenuti sono indicati nella tabella n. 3.

Tabella 3

Tipo provetta	Limite di fatica degli acciai		
	Aq 35	X10 Cr Mo 5	14 Cr Mo 4 con perlite glob.
Liscia	25	35	27
Con intaglio			
R = 0,25; P = 0,96	15	17	16
R = 0,20; P = 0,17	—	—	19
R = 0,10; P = 0,27	14,5	16	—

R = raggio a fondo gola in mm P = profondità intaglio in mm.

In via indicativa si può considerare:

- le provette con un intaglio di profondità 0,27 mm con raggio 0,10 mm come aventi, grosso modo, lo stesso effetto sulla caduta del limite di fatica che avrebbe, in un tubo diametro 27/10, un intaglio di 0,4 mm di profondità e 0,01 mm di raggio;
- le provette con intaglio di profondità 0,17 mm e raggio 0,20 mm corrispondenti al tubo diametro 27/10 con un intaglio di 0,2 mm di profondità e 0,01 mm di raggio.

Da quanto si è esposto risulta che i tubi mandati a nautica dovrebbero essere perfettamente sani in quanto anche piccoli intagli abbassano pericolosamente il limite di fatica. Tuttavia data la difficoltà di ottenere intere partite di tubi perfettamente sani si possono tollerare lesioni sul diametro interno di profondità non superiore a 0,2 - 0,3 mm e di limitata estensione.

Anche se in apparenza i limiti di fatica determinati sono superiori alle massime sollecitazioni calcolate nella tabella 1, essi subiscono una ulteriore riduzione dovuta ai seguenti fattori:

- i limiti di fatica sono stati da noi determinati per flessione rotante: tali limiti sono superiori di circa il 25 % di quelli per trazione alterna che è la sollecitazione che agisce effettivamente nei tubi;
- i limiti di fatica determinati, sono stati necessariamente eseguiti con provette ricavate dai tubi in senso longitudinale mentre per essere in condizioni paragonabili a quelle di esercizio avrebbero dovuto essere ricavate in senso trasversale, senso secondo il quale agiscono le sollecitazioni dinamiche nei tubi;
- l'effetto della fibratura sulla riduzione del limite di fatica che è sensibile per i tubi di Aq 35, i quali non subiscono alcun trattamento termico antifibra, è minimo per i tubi di 34 Cr Mo 4 per i quali il trattamento di globalizzazione della perlite uniformizza notevolmente la struttura; tuttavia anche nelle migliori condizioni di uniformità strutturale una ulteriore riduzione, sia pur minima del limite di fatica determinato, è da attendersi per effetto della fibratura.

A conferma della necessità di avere tubi possibilmente privi di lesioni citiamo il caso eccezionale di un tubo diametro 27/10 che probabilmente ha lavorato a pressioni molto elevate e si è lesionato in funzionamento, nel quale la lesione iniziale, ben visibile nella fig. 9, era profonda 0,15 mm.

L'esame ad ultrasuoni dei tubi, oggetto della seguente ricerca, è stato eseguito con un apparecchio Krautkrämer USIP 10 che, per mezzo di un livellatore di soglia, permette di evitare picchi di disturbo sulla linea orizzontale dell'oscillogramma che potrebbero interferire con i picchi dei difetti reali.

Date le piccole dimensioni dei tubi occorre poca energia, quindi abbiamo ridotto al minimo l'energia emessa; l'amplificazione è stata aggiustata in modo che le riflessioni dovute alla semplice rugosità sul diametro interno del tubo diano luogo ad un picco molto piccolo come è indicato in fig. 10.

A causa delle diverse condizioni strutturali che presentano tra di loro i tubi, per avere sempre le stesse caratteristiche di taratura, per ogni tubo si tara l'apparecchio in modo da avere, in una zona non difettosa, sempre un piccolo segnale, come indicato in fig. 10, che indichi che tutto il sistema funziona. Con queste condizioni di taratura abbiamo diviso i difetti in quattro categorie:

- *piccoli* - che danno un picco compreso fra il segnale di taratura ed 1/3 dell'altezza unitaria del picco. Nella fig. 11 è indicato il fotogramma di un difetto piccolo;

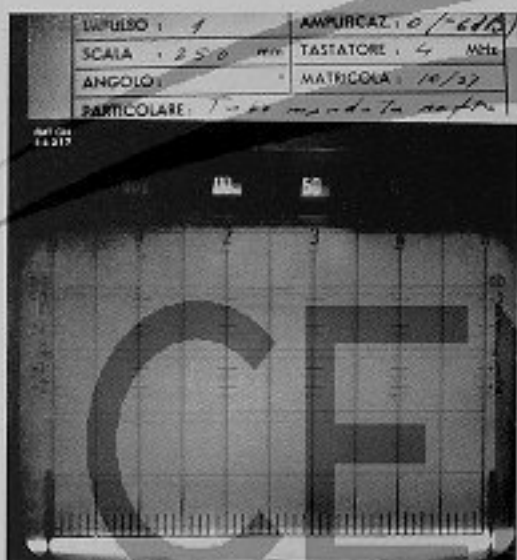


Fig. 10 - Fotogramma che rappresenta l'entità del picco
nesso come taratura e prodotto dalla rugosità della
superficie interna dei tubi non difettosi

- *medi* - che danno picchi singoli o raggruppati di
altezza compresa fra $1/3$ e $2/3$ dell'altezza unitaria
del picco. Nella fig. 12 è indicato il fotogramma di
un difetto medio;

- *grandi* - che danno picchi singoli o raggruppati di
altezza superiore ai $2/3$ dell'altezza unitaria, oppure
di altezza anche leggermente inferiore ma che lasciano
comparire la seconda eco riflessa. Nella fig. 13 è
indicato il fotogramma di un difetto grande;

- *molto grandi* - che danno picchi superiori all'altezza
unitaria e lasciano comparire anche la 2^a e 3^a eco
riflessa, come è indicato nel fotogramma di fig. 14.

Fig. 11 - Fotogramma di un difetto piccolo

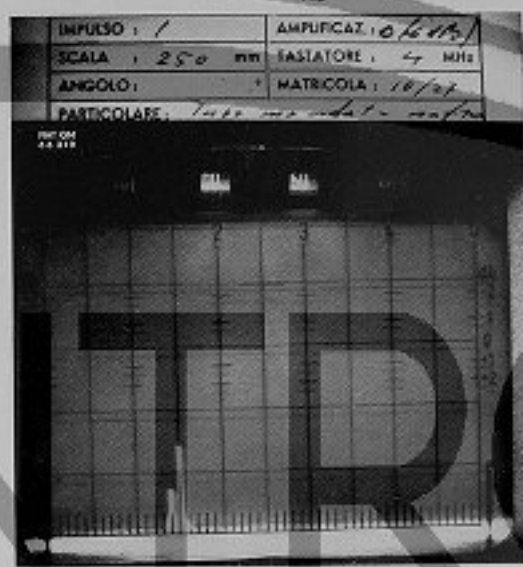
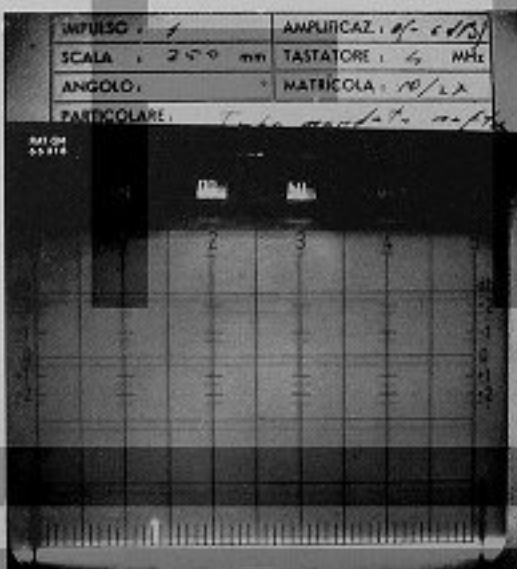


Fig. 12 - Foto-
gramma di un
difetto medio



Fig. 13 - Foto-
gramma di un
difetto grande

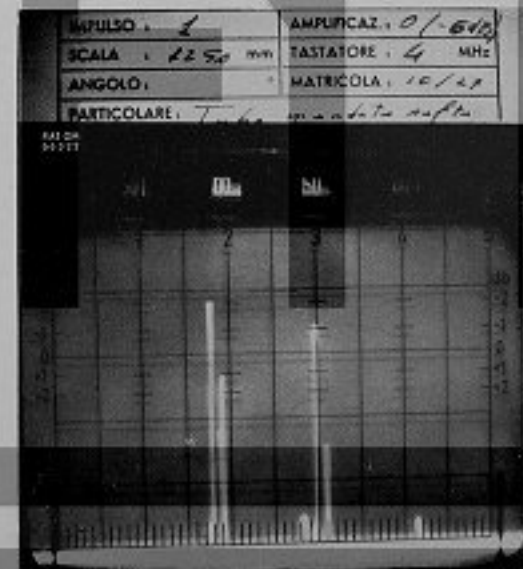


Fig. 14 - Foto-
gramma di un
difetto molto
grande

Fig. 15 - 100 X -
Difetto piccolo,
lesione con pro-
fondità 0,23 mm



Fig. 18 - 100 X - Parte verso il diametro interno del tubo
di un difetto molto grande con profondità lesione 7 mm

Fig. 16 - 100 X -
Difetto medio,
lesione con pro-
fondità 0,40 mm



Il confronto fra il segnale ad ultrasuoni ed il difetto reale è stato eseguito su diversi tubi e con abbastanza buona approssimazione sperimentale si è potuto stabilire quanto segue:

- difetti piccoli - con segnale fino ad $1/3$ dell'altezza unitaria hanno una profondità massima di 0,3 mm. La micro di fig. 15 rappresenta il caso di un difetto *piccolo* con profondità di 0,23 mm ingrandito 100 X;
- difetti medi - con segnale da $1/3$ a $2/3$ dell'altezza unitaria hanno una profondità compresa fra 0,3 e 0,45 mm. La micro di fig. 16 rappresenta il caso di un difetto *medio* di 0,40 mm di profondità;

Fig. 19 - 50 X - Difetto molto grande, invece che una lesione
si è trovato in corrispondenza una zona con grossi fiocchi

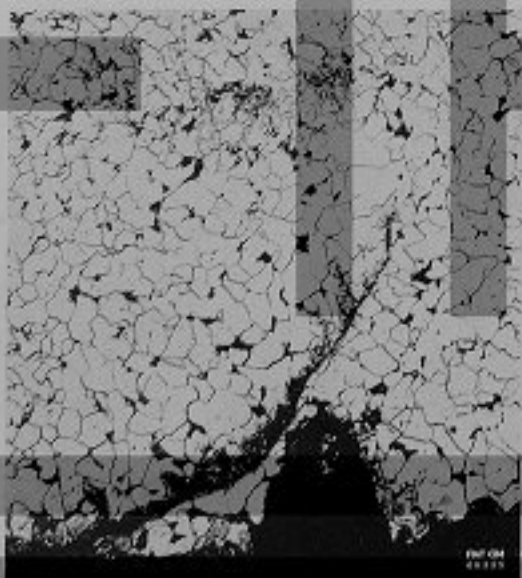


Fig. 17 - 100 X -
Difetto grande,
lesione con pro-
fondità 0,5 mm

— difetti grandi - con segnale oltre $2/3$ dell'altezza unitaria o più bassi ma già con seconda eco riflessa hanno un'altezza compresa fra 0,45 e 1 mm. La micro di fig. 17 rappresenta il caso di un difetto grande con lesione di 0,5 mm di profondità;

— difetti molto grandi - con segnale avente almeno tre echi riflessi con lesioni di profondità superiore ad 1 mm o gravi difetti strutturali. La micro di fig. 18 e 19 rappresentano rispettivamente la parte verso il diametro interno di un tubo diametro 27/10 di una lesione di 7 mm di profondità ed una zona di un tubo diametro 8 x 21 compromessa da una serie di grossi fiocchi attraverso quasi tutta la sezione.

Con l'adozione di questo sistema di controllo siamo riusciti ad ottenere forti miglioramenti qualitativi delle forniture di tubi mandata nostra. Come esempio possiamo indicare il caso di tubi ad alta pressione di una importante ditta europea da tempo nostra fornitrice. Appena instaurato il controllo con ultrasuoni descritto avevano trovato circa:

- 8 % di tubi non difettosi
- 8 % di tubi con difetti fino al grado medio
- 23 % di tubi con difetti fino al grado grande
- 61 % di tubi con difetti fino al grado molto grande

Nelle ultime partite ricevute abbiamo avuto circa:

- 96 % di tubi non difettosi
- 2 % di tubi con difetti fino al grado medio
- 2 % di tubi con difetti fino al grado grande.

Conclusione

Già in altre occasioni avevamo avuto modo di fare conoscere l'importanza che hanno acquisito gli ultrasuoni nel nostro campo produttivo, per i più svariati casi di collaudo e, come per i due esempi sopra descritti, la nostra tendenza ad ottenere dagli ultrasuoni dei controlli il più possibile quantitativi.

Questo sistema di controlli che ha il pregio della rapidità e di poter essere eseguito ovunque, specialmente con le moderne apparecchiature a transistor che possono venire alimentate con batterie, ci ha permesso di estendere gli esami con gli ultrasuoni ai più svariati campi, come: il controllo globale delle saldature (con risposte ben caratteristiche per ogni tipo di difetto anche per i difetti molto chiusi che non sempre possono essere evidenziati con il sistema radiografico); il controllo dell'aderenza del metallo antifrizione sui supporti dei cuscinetti; il controllo delle anomalie strutturali delle fasce elastiche causa di precoci rotture in esercizio; il controllo delle integrità dei tubi; la determinazione di difetti nei grossi lacinati e fusi dove, a causa dei forti spessori, con nessun altro metodo sarebbe possibile ottenere risultati altrettanto precisi; la possibilità di esaminare in posizioni critiche eventuali difetti o lesioni di fatica su particolari installati su motori in esercizio.



CENTRO STORICO FIAT

Pubblicazione trimestrale - Direttore Responsabile: Dott. Ing. GIOVANNI GORIA

Registrato al Tribunale di Casale Monferrato in data 16 Marzo 1955 con il N. 49

Tip. BOTTO, ALESSIO & C. - Via Biblioteca, 6 - Telef. 25-26 - CASALE MONF. - FEBBRAIO 1967

CENTRO

Motore FIAT 218 SSF sul banco allestito per la prova di lunga durata valida come prima tappa di omologazione dei motori ferroviari di grande serie, secondo l'Office de Recherches et Essais (O.R.E.)

